



Fakulta zemědělská
a technologická
Faculty of Agriculture
and Technology

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH FAKULTA ZEMĚDĚLSKÁ A TECHNOLOGICKÁ

Katedra biologických disciplín

Bakalářská práce

Možnosti hydroponického pěstování rostlin a příklady
praktického využití.

Autor práce: Jakub Weidenthaler

Vedoucí práce: Ing. Karel Suchý, Ph.D.

České Budějovice
2023

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne

.....
Podpis

Abstrakt

Cílem práce je uvést jednotlivé možnosti hydroponického pěstování. V literární rešerši je vysvětlen základní princip hydroponie. Dále jsou detailně uvedeny jednotlivé možnosti praktického pěstování rostlin v domácí i velkoplošné produkci a zároveň jsou vysvětleny výhody a nevýhody nejpoužívanějších metod.

V práci jsou posouzeny hlavní výhody a nevýhody hydroponického pěstování. Největším přínosem hydroponie je pěstování rostlin bez nutnosti použití půdy. Hydroponie je tak vhodná i do domácností pro vnitřní pěstování. Může být také použita v městských částech při vertikálním pěstování, kdy dochází k obrovské úspoře plochy. Z hlediska úbytku zemědělské půdy a zhoršování její kvality se hydroponie jeví jako pěstební metoda budoucnosti. Velkou výhodou je také úspora spotřeby vody převážně v recirkulačních systémech.

Existují ale i jednoznačné limitující nevýhody. Největším problémem jsou provozní náklady. S příchodem energetické krize v roce 2022 se ukazuje, že je cena energií nejvíce limitujícím faktorem. Většina hydroponických systémů pro svůj efektivní chod potřebuje neustálý příjem elektrické energie.

Klíčová slova: hydroponie, hydroponické pěstování, hydroponické systémy, zavlažovací metody, živný roztok, substráty

Abstract

The aim of the thesis is to present the different possibilities of hydroponic cultivation. The basic principle of hydroponics is explained in the literature review. Furthermore, the individual possibilities of practical cultivation of plants in domestic production as well as in large-scale production are presented in detail. The advantages and disadvantages of the most used methods are also explained.

The main advantages and disadvantages of hydroponic cultivation are assessed. The biggest benefit of hydroponics is growing plants without the need for soil. Hydroponics is thus also suitable for indoor growing in the home. It can thus be used in urban areas for vertical cultivation, where there is a huge saving of space. In view of the loss of agricultural land and the deterioration of its quality, hydroponics seems to be the crop of the future. The saving of water consumption, mainly in recirculation systems, is also a major advantage.

But there are also clear limiting disadvantages. The biggest problem is operating costs. In 2022, during the energy crisis, the cost of energy is proving to be the most limiting factor. Most hydroponic systems need a constant supply of electricity to effective run.

Keywords: hydroponic, hydroponic cultivation, hydroponic system, irrigation methods, nutrient solution, substrates

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Karlovi Suchému, Ph.D. za cenné rady, vstřícný přístup, věnovaný čas a pomoc při zpracování bakalářské práce.

Obsah

Úvod.....	8
1 Literární přehled.....	9
1.1 Co je hydroponické pěstování	9
1.2 Počátky a historie	9
1.3 Výhody a nevýhody.....	11
1.3.1 Příjem živin	11
1.3.2 Úspora vody a živin	12
1.3.3 Kvalita a škůdci.....	12
1.3.4 Absence půdy	12
1.3.5 Přístup kyslíku ke kořenům.....	13
1.3.6 Druhy nevhodné pro pěstování	13
1.4 Substráty	13
1.4.1 Anorganické substráty.....	14
1.4.2 Organické substráty.....	17
1.5 Živiny	18
1.6 Živný roztok	20
1.7 Osvětlení.....	21
2 Hydroponické pěstební systémy	23
2.1 NFT – Nutrient film technique	23
2.2 DFT – Deep flow technique	25
2.3 Modified hybrid system – NFT a DFT.....	26
2.4 DWC – Deep water culture	26
2.5 Drip system.....	28
2.6 Flood and Drain.....	29
2.7 Aero-hydroponické systémy.....	29

2.8	Aeroponie	32
2.9	Vertikální systém.....	32
2.10	Aquaponie.....	34
2.11	Wick system – pasivní systém	34
3	Cíle práce a hypotézy	36
4	Hydroponické pěstování v praxi	37
4.1	Návštěva hydroponické farmy.....	37
4.2	Návštěva aquaponické farmy	41
5	Výsledky a diskuse.....	44
	Závěr	49
	Seznam použité literatury	51
	Seznam obrázků	57
	Seznam tabulek	58
	Seznam použitých zkratk.....	59

Úvod

Vzhledem k neustále rostoucímu počtu obyvatel na naší planetě představuje potřeba potravin a vody pro lidstvo zásadní problém. Dalším problémem je stále častější a větší znečišťování planety, s čímž souvisí výrazný úbytek kvalitní zemědělské půdy. V mnoha oblastech na naší Zemi je nedostatek pitné vody nebo je nevhodné životní prostředí pro pěstování rostlin. Hydroponické systémy tak mohou poskytnout vhodné prostředí pro pěstování potravin při efektivním hospodaření s přírodními zdroji.

Nastávající drastické globální změny zapříčiňují nerovnováhu klimatu, která je v důsledku globálního oteplování, a to způsobuje v určitých lokalitách extrémní nedostatek vody. Také degradace půdy je velký problém, který je způsoben převážně čím dál tím větším odlesňováním lesů a pralesů a zvyšující se erozí půdy. Kvalitní půda jako taková vzniká velmi pomalým a složitým procesem, a proto je její úbytek velký problém. Z těchto důvodů se hydroponické pěstování nabízí jako velmi příznivá alternativní cesta pro pěstování rostlin bez nutnosti použití půdy.

Cílem této práce je posoudit výhody a nevýhody tohoto principu pěstování. V práci jsou uvedeny praktické možnosti hydroponického pěstování a k tomu základní potřebné vybavení. Dále je zhodnocena náročnost a náklady pro chod jednotlivých hydroponických systémů.

V posledních letech neustále dochází k vývoji nových technologií, materiálů, chytrých systémů a internetu věcí, které jsou velmi užitečné a nápomocné pro rozvoj samotného pěstování. V budoucnosti mohou být očekávány další změny a vylepšení v hydroponických systémech. Především ve složení živných roztoků jako zdroji základních živin pro pěstování.

1 Literární přehled

Na začátku práce je uvedena základní teoretická část, která obsahuje seznámení s pojmem hydroponického pěstování. Následuje uvedení do problematiky daného tématu a jeho historie vzniku. Dále jsou vysvětleny základní podmínky pěstování.

1.1 Co je hydroponické pěstování

Hydroponické pěstování rostlin, je také označováno jako hydroponie. Podle definice jde o možnost pěstování rostlin s přístupem rozpuštěných základních živin ve vodě bez využití půdy (FAO, 2022). Z řeckého významu se jedná o spojení dvou slov, *hydro* = voda a *ponos* = práce. Volným překladem to tedy znamená vodní práce, voda pracuje, nebo pracovat s vodou (Texier, 2021).

Resh (2013) ve své knize uvádí význam tohoto spojení taktéž jako práce s vodou. Tím je označováno pěstování rostlin v substrátu bez půdy a základní výživné prvky jsou poskytovány živným roztokem. To je hlavním rozdílem hydroponického pěstování rostlin oproti běžnému pěstování v půdě.

Hydroponie se dá rozdělit na dva základní způsoby pěstování rostlin ve vodě. Buď kořeny rostlin rostou přímo v živném roztoku s odhalenými kořeny, nebo v dalším inertním substrátu. Nejdůležitějším principem je neustálé okysličování rostlin. Živný roztok potřebuje mít konstantní teplotu a musí být zajištěný přívod kyslíku, aby mohly být rostlinám dodávány živiny, které nutně potřebují (FAO, 2022).

1.2 Počátky a historie

Můžeme říci, že termín hydroponie je poměrně nový, teprve stále se rozvíjející systém. Ale původ této metody pochází již dávno z minulosti. Resh (2013) uvádí jako příklad legendární visuté zahrady Babylonu, kde rostliny měly neustálý přísun vody, ale stále rostly v půdě. Texier (2021) uvádí jako jednu z prvních zmínek o hydroponii plovoucí zahrady Aztéků z Mexika, kde se jednalo o různé spletené plovoucí vory s nánosem bahnitě půdy většinou sopečného původu. Ty samostatně pluly po jezerech, kde z nich zapuštěné kořeny čerpaly vodu. Podobné plovoucí zahrady byly objeveny také v Číně. Dokonce i staré egyptské hieroglyfy uvádí záznamy o pěstování rostlin ve vodě.

Prvním objevitelem vodní výživy rostlin je anglický přírodovědec John Woodward, který roku 1699 svým experimentálním pokusem zjistil, že výživa rostlin je zajišťována pomocí vody (Saraswathi et al., 2018). Při svých pokusech pozoroval, že záleží na obsahu, který je do vody přidáván. Moderním zakladatelem hydroponie

je označován německý vědec Julius Von Sachs, který roku 1860 představil svůj recept na živný roztok (Kutchera a Niklas, 2018). Spolu s chemickým odborníkem Wilhelmem Knopem stanovili základy pro pěstování ve vodě.

Dalším inovátorem v této oblasti byl americký doktor William Frederick Gericke, který se jako první začal věnovat komerčnímu pěstování v praxi a zabýval se hlavně samotným vybavení pěstebních systémů (Resh, 2013). Oproti tomu se ve stejném období v letech 1920-1930 věnoval výzkumu živného roztoku Američan Dennis Robert Hoagland, který vydal roku 1933 slavný recept na Hoaglandův roztok. Tento recept byl v budoucnu lehce upravován, ale dodnes je i nehladě na zastaralou recepturu stále komerčně využíván díky nízkým nákladům.

Obdobím hydroponického pěstování ve velkém měřítku se bohužel stala až druhá světová válka, kdy se osvědčilo pro zásobování vojáků v Tichomoří. Americké letectvo tak vyřešilo problém s poskytováním čerstvé zeleniny svému personálu na skalnatých ostrovech, které toho nejsou normálně schopny (Resh, 2013). I po konci druhé světové války armáda pokračovala ve využívání hydroponie, kdy například americká armáda založila projekt v japonském Chofu o rozloze 22 ha. Od roku 1950 se tak komerční pěstování rozšířilo po celém světě do evropských zemí, Sovětského svazu i Izraele.

V letech 1960-1970 nastalo několik zásadních objevů, díky kterým se posunul další vývoj (Texier, 2021). Ve velkém se začaly používat lehké plastové výrobky, substráty z kamenné vlny a minerální vaty. Zároveň se začaly vyrábět umělé cheláty. Ty se účinně rozpustí a zachovávají obsažené prvky ve velmi malém množství v roztoku (Bugter a Reichwein, 2007).

V letech 1970-1990 se hydroponické systémy i nové technologie dále rozšiřovaly a vznikl nový fenomén domácího – vnitřního pěstování. V roce 1978 byla v Kalifornii založena Lawrenceem Brookem společnost General Hydroponics (Texier, 2021). Cílem společnosti bylo upravit systém pěstování s co nejvyššími výnosy na co nejmenší ploše, ideálně v pokoji městských bytů (Peuchpanngarm et al., 2016). Základem výživy byl živný roztok od Carla Herrmanna z výzkumného centra NASA (Národní úřad pro letectví a vesmír). NASA se již řadu let zabývá výzkumem a použitím hydroponických systému pro pěstování ve vesmírných misích (Stutte, 2006). V té době se hodně začíná hydroponie zkoušet také v Nizozemsku, kde vyvinuli techniku zvanou „moře zeleně“. Hlavním principem výnosu je velké množství malých rostlin oproti malému množství velkých rostlin.

V roce 1995 se společnost General Hydroponics rozšiřuje i na evropský trh a zároveň se rozšiřuje i britská společnost Nutriculture. Nejvíce se pěstování ve vnitřních prostorech rozšiřuje do skandinávských států a poté do států jižní Evropy (Texier, 2021).

V dalších letech se objevovaly nové technologie a vznikaly různé vylepšené pěstební systémy. Nejdůležitějším krokem v rozšíření se stal rozvoj a používání plastů, které nahradily nákladné a těžké betonové konstrukce a nádrže (Resh, 2013). Také rozvoj vhodných čerpadel, časovačů, elektromagnetických ventilů a dalších zařízení umožnil hydroponické systémy automatizovat.

V současnosti jsou automatizované systémy hodně používány a jsou realizovány téměř ve všech klimatických podmínkách pro pěstování zeleniny i rostlin. Spousta těchto systémů pochází ze Spojených států, Kanady, Mexika, ale také z Holandska, Nového Zélandu, Austrálie – především Jižního Walesu (Resh, 2013).

1.3 Výhody a nevýhody

V této části práce jsou uvedeny hlavní výhody a nevýhody hydroponického pěstování. Mezi hlavní výhody patří kontrola živin, možnost okamžité úpravy složení roztoku, úspora vody a okysličení rostlin (FAO, 2022). Naopak nevýhodou jsou pořizovací i provozní náklady, s čímž souvisí nerentabilita pěstování některých druhů plodin.

1.3.1 Příjem živin

Hlavní výhodou je úplná kontrola živin, které budou rostlinám dodány, a to v jakém množství i kvalitě. Zároveň se ale jedná i o možné nebezpečí, protože rostliny nejsou v půdním substrátu, který má schopnost mírnit následky přehnojení a poskytuje kořenům určitou formu ochrany. Tuto schopnost zajišťuje pufrační kapacita, která udržuje stabilní prostředí a tlumí změny pH (Texier, 2021). Většina vědeckých výzkumů zahrnující výživu rostlin je právě proto prováděna v hydroponických systémech (Passioura, 2010).

Další výhodou je možnost okamžité změny obsahu a složení živného roztoku. To je důležité z hlediska fáze růstu některých rostlin, kdy je při každé jednotlivé fázi zapotřebí trochu jiného složení živin. Jedná se o skupinu rostlin, kdy probíhají odděleně vegetativní a generativní fáze. Při pěstování rostlin v půdě potom dochází k přebytkům a prosakování živin do půdy. Texier (2021) uvádí, že okamžitá změna živného roztoku je důvodem rychlejšího růstu a zrání oproti rostlinám v půdě. Jde totiž o signál změny růstu a zároveň jsou splněny ideální podmínky výživy.

1.3.2 Úspora vody a živin

Hosseinzadeh et al. (2017) označují techniku hydroponického pěstování jako velmi účinnou z hlediska vysoké kvality úrody i úspory vody a živin. Zároveň je ale zvýšené riziko rozšíření kořenových exsudátů, které mohou být uvolňovány rostlinami a mohou obsahovat organické kyseliny zpomalující růst rostlin.

Ve srovnání s pěstováním v půdě je používáno mnohem menší množství hnojiv. To je rovnoměrně rozděleno na všechny rostliny. Zároveň nedochází k jeho vyplavování mimo kořenovou zónu a je tak efektivně využíváno (Resh, 2013). Rostliny jsou naopak ve vodě neustále a při správném postupu je jejímu odpařování zabráněno uzavřením pěstebního prostoru s vodou. V uzavřených systémech je nevyužitá voda s živinami zachytávána do retenční nádrže, ve které je obměňována pouze část vody (Texier, 2021).

1.3.3 Kvalita a škůdci

Protože se při pěstování nepoužívá půdní substrát, nedochází tak k nežádoucímu růstu plevelů. Díky tomu se nepoužívají žádné herbicidy a hydroponie je tak šetrná technologie k životnímu prostředí (FAO, 2022). Rostliny jsou také více odolné vůči škůdcům díky rychlejšímu růstu. Z tohoto důvodu je i nižší spotřeba pesticidů, které jsou často nahrazovány méně škodlivými přípravky nebo biologickou ochranou. Pěstování bez půdy také umožňuje vyhnout se mnoha půdním chorobám, které jsou časté pro půdní skleníkové monokultury (Morgan, 2021).

Ho a Adams (1995) uvádějí, že hydroponicky pěstované plodiny mají větší kvalitu, vyšší výnos produkce a zároveň dosahují větších rozměrů než rostliny vypěstované v půdě. Podle Texiera (2021) laboratorní testy nutričních hodnot opakovaně ukazují, že je obsah vitamínů a zdraví prospěšných minerálů až dvojnásobný. To platí i pro pěstování bylin a jejich obsah léčebných látek.

1.3.4 Absence půdy

Díky hydroponii je velkým přínosem možnost pěstování rostlin na místech málo úrodné půdy a s omezeným přístupem vody, například v městských oblastech nebo suchém podnebí (FAO, 2022). Může se jednat i o turistické destinace nízko položených ostrovů Karibiku, kde je neúrodná půda plná soli. V extrémních podmínkách severního a jižního pólu v Arktidě a Antarktidě je hydroponie využívána jako ojedinělý zdroj čerstvé zeleniny. Náklady pro toto pěstování jsou již ovšem dosti vysoké.

Kořeny rostlin rostoucích v půdě vyžadují při svém růstu stále větší prostor. Naopak při hydroponickém pěstování mohou rostliny růst těsně vedle sebe, aniž by se jejich kořeny vzájemně omezovaly. Protože také odpadá často náročná práce s půdou, je hydroponické pěstování vhodné i do vnitřních prostorů (Texier, 2021). Zároveň je zajištěno ideální využití genetického potenciálu rostlin, protože nedochází ke komplikacím s neprodyšností půdy. Oproti klasickým osevním postupům pěstování v půdě není u hydroponie nutné žádné střídání plodin (Resh, 2013).

1.3.5 Přístup kyslíku ke kořenům

Pro správný růst rostlin je důležitý přístup živin a kyslíku ke kořenům, což je u hydroponie maximálně splněno, protože kořeny rostou volně ve vodě nebo v inertním substrátu. Pro pěstitele je tak možné kdykoli zkontrolovat stav kořenů a včas odhalit možné patogeny nebo začínající problémy (Texier, 2021).

Hydroponie je také velmi vhodná pro pěstování rostlin, které mají jako hlavní produkt kořeny, například kořenové byliny. K těmto účelům jsou nejvhodnější aero-hydroponické systémy, které budou v práci uvedeny v kapitole 2. Zvýšená kontrola podmínek vnitřního pěstování navíc umožňují celoroční produkci a sklizeň několikrát do roka (FAO, 2022).

1.3.6 Druhy nevhodné pro pěstování

Některé druhy rostlin nejsou vhodné pro hydroponické pěstební systémy. Pěstování plodin vyrůstajících hluboko v zemi, jako jsou například brambory, mrkve a další hlíznaté potraviny, vyžadují speciální technologie. Dalším omezujícím faktorem je pro některé rostliny zisk z výnosu. Ačkoliv by se například pšenici seté (*Triticum aestivum*) při pěstování v hydroponii skvěle dařilo, její efektivnost s porovnáním nákladů by se nikdy nevyplatila (Texier, 2021).

1.4 Substráty

Inertní substráty označované jako pěstební médium mají hlavní účel poskytnout oporu rostlinám, umožnit kořenům růst v celém médiu a absorbovat vodu s živinami z živného roztoku (Morgan, 2021). Většina hydroponických systémů využívá inertní substráty místo půdy, do kterých je přiváděn živný roztok se základními živinami. Hlavním pravidlem je, že substrát musí po každém zalití správně proschnout, aby se ke kořenům dostal čerstvý kyslík. Při neustálém zavlhčení dochází k jeho nedostatku. Zároveň by substrát neměl vyschnout úplně. Je ale možné pěstovat rostliny i s kořeny pouze volně ve vodě, kdy je však nutné zajistit jejich okysličování (Resh, 2013).

Texier (2021) uvádí, že se inertní substrát vyznačuje mnohem větší hustotou půdních pórů oproti klasickému půdnímu substrátu. Jedná se nejméně o třetinu, v průměru to bývá až o 35 procent více pórů. Toto okysličení je pro kořeny velmi důležité a je jedním z hlavních důvodů většího a rychlejšího růstu v hydroponii, kde je využita ušetřená energie při růstu v pevné a mnohdy udusané půdě. Z toho plyne výhoda, že inertní substráty nezadržují větší množství vody na delší dobu jako půda.

Pro tyto substráty jsou důležité určité požadavky. Aby neobsahovaly větší množství chloridu sodného, nebo pro rostliny škodlivé a toxické látky. Také je důležité, aby na sebe nevázaly zbytky minerálních solí ze živného roztoku.

Další důležité faktory jsou nasáklivost a propustnost substrátu. Nasáklivost určuje vlastnost substrátu nasáknout určité množství vody a propustnost udává za jak dlouhou dobu nasáklé množství vody vyschne, nebo proteče substrátem. Nejhorší je, pokud je substrát stále mokrá a nevysychá, protože tak dochází k nedostatku kyslíku a úhynu kořenů i rostlin (Texier, 2021). Proto je velmi důležité dodržovat správný způsob zavlažování.

Samotné substráty jsou různorodých forem. Minerální vlny a kokosová vlákna mohou být samovolně uloženy v nádobách, nebo mohou být ve formě kostek zabalené v plastové fólii. Sypké substráty jako perlit, vermikulit, keramzit, piliny, borka stromů a další, se vkládají do pytlů, květináčů, vaniček aj. (Morgan, 2021).

1.4.1 Anorganické substráty

Substráty můžeme rozdělit na dvě základní skupiny – anorganické a organické. První skupina zahrnuje přirozeně se vyskytující média jako jsou písek, štěrk, škvára, pemza či média uměle vyrobená z minerální vlny jako jsou perlit, vermikulit, keramzit a kamenná vlna. Nejčastěji používané materiály jsou vyrobené z minerální vlny (perlit či kamenná vlna) a to z důvodu nízké ceny. Z organických substrátů jsou nejpoužívanější kokosová vlákna (Morgan, 2021).

Kamenná vlna

Nejpoužívanějším zástupcem z anorganické skupiny substrátů je kamenná vlna označovaná jako rockwool. Dříve byl využíván pouze ve stavebnictví jako izolační materiál. Resh (2013) uvádí, že výrobou substrátů z kamenné vlny se zabývá několik výrobců a hlavním producentem je firma Grodan. Jedná se o směs tří minerálů (čedičový kámen, vápenec a koks). Ty jsou speciálním postupem roztaveny, slity dohromady, a ještě za tepla spřádány do vláken, které se zpracovávají do kostek nebo rohoží

různých tvarů. Podobným způsobem se vyrábí i materiál glasswool, který se liší pouze různou velikostí vláken.

Hlavní výhodou představuje nízká pořizovací cena. Zásadní nevýhodou však je nerovnoměrné vsakování vody do samotné kostky nebo rohože. Voda při zalévání rychle prosakuje do spodní vrstvy, zatímco vrchní část vysychá velmi rychle, což zde způsobuje usazování zbytků minerálních solí. Ty jsou následně odstraňovány proplachováním čistou vodou a z toho důvodu dochází k trvalému přemokření spodní vrstvy (Morgan, 2021).

Kamenná vlna lze opakovaně použít a komerční pěstitelé mohou pěstovat mnoho po sobě jdoucích plodin, kdy jsou rostliny pomocí napařování z minerálních desek odstraněny a pak znovu vysazeny. Také je možná solarizace nebo použití chemických dezinfekčních prostředků, po kterých je ale nutné důkladné propláchnutí vodou. Některé firmy také poskytují pro komerční uživatele recyklační služby použitých desek na nové produkty. Ostatní pěstitelé mohou materiál recyklovat rozdrčením a dalším použitím ve směsích s půdou (Morgan, 2021).

Podle Texiera (2021) je kamenná vlna možná použít na dvě až tři sklizně, kdy poté ztrácí původní fyzické vlastnosti a pevnost. Při výskytu některých nebezpečných patogenů v kořenovém systému je nejlepší se substrátu rovnou zbavit.

Lávové kameny

Většinou se rozdělují podle obsahu křemičitanů a bývají to kvalitní substráty, které jsou velmi lehké a propustné až z 80 %. Nevýhodou je, že při menší hodnotě živného roztoku pH pod 6 jsou náchylné k rozpadu. Také mohou obsahovat vyšší množství hliníku, který se po uvolnění může dostat až do rostlin (Texier, 2021). Využití tohoto substrátu je vhodné především v tzv. tufových příkopech (TUF), které jsou používány například v Izraeli (Nemera et al., 2021).

Pemza a škvára

Pemza je zvláštní druh lávového kamene, který má větší obsah křemičitanů (více než 65 %). Oba materiály vznikají uvolněním velkého množství stlačených plynů důsledkem sopečné aktivity (Texier, 2021). Kvalita a složení těchto materiálů se liší podle místa naleziště, kdy největší kvality dosahují na Islandu.

Jsou to sklovité a vysoce propustné horniny s nízkou objemovou hustotou. Mají nízkou pufráční schopnost a také omezenou schopnost zadržovat vodu. Proto je vhodné je míchat s jiným pěstebním médiem, např. kokosovým vláknem. Obecně neobsahují žádné patogeny ani semena plevelů (Morgan, 2021).

Perlit

Nadýchaná, extrémně propustná granulovitá hmota bílošedé barvy. Lehký substrát sopečného původu, s ještě nižší objemovou hustotou než pemza. Má velkou kapacitu zadržování vody, kdy díky porézní struktuře dokáže zadržet přibližně čtyřikrát více vody, než sám váží. Stejně jako předchozí substráty neobsahuje žádné živiny, má neutrální pH (6-8) a z živného roztoku neváže živiny (Resh, 2013).

Prodává se v různých velikostech, pro hydroponické pěstování je nejvhodnější velikost 1,5 – 3 mm. Kromě pěstování v pytlích se perlit nepoužívá samostatně, protože má tendenci plavat ve vodě. Malé perlitové kuličky jsou vhodné při výsadbě nových sazenic a jejich přesazování, kdy se mladé kořeny nepoškodí při vytahování. Používá se jako příměs do spousty substrátů zejména v kombinaci s vermikulitem. Stejně jako u kamenné vlny je použití perlitu ideální na dvě až tři sklizně, kdy poté dochází k jeho rozkladu. Také je oblíbeným substrátem zelených řas, proto je potřeba zakrýt pěstební nádobu plastem a zamezit tak přístupu světla (Texier, 2021).

Vermikulit

Velmi lehký, pórovitý, granulovitý materiál s vysokou schopností pohlcovat vodu (až pětinasobek své vlastní hmotnosti). Má poměrně vysokou kationtovou kapacitu, proto v zásobě udržuje živiny, které jsou později uvolňovány (Morgan, 2021).

Jeho objemová hustota je velmi nízká a je k dostání v několika velikostech částic od 2 do 8 mm (Texier, 2021). Jemnější částice se používají pro produkci sazenic a větší pro pěstování větších plodin, kdy je možné ho míchat s jinými substráty. Je vhodný pro systémy, kde se nechá substrát plně odkapat a vysušit, čímž se zabrání přemokření a umožní se pronikání vzduchu (Morgan, 2021).

Písek a štěrk

Jsou to jedny z nejstarších používaných substrátů v hydroponii. Hlavní výhodou je jejich dostupnost a nízká cena. Pro použití v hydroponii je ideální velikost částic písku mezi 0,6 až 2,5 mm, protože vlhký jemný písek se může ztuhnout a stát nepropustným pro kyslík. Písek a štěrk nesmí uvolňovat minerály do živného roztoku, nesmí být znečištěny půdou, plevele, semeny, škůdci a chorobami a zasolením (Morgan, 2021).

Štěrk nemá téměř žádnou schopnost zadržovat vodu, proto je nutné neustále rostliny zavlažovat. Je vhodný například do hydroponického systému příliv a odliv. Jeho velkou nevýhodou je vysoká váha, ale jednoduše lze očistit a používat téměř donekonečna. Písek je na tom podobně a má tendenci se snadno vyplavovat z pěstební nádoby (Texier, 2021).

Keramzit – expandovaný jíl

Fyzikální struktura keramzitu je velmi podobná přirozeně se vyskytující pemze. Vyrábí se vypalováním speciálně připravovaných jílu při vysoké teplotě okolo 1 200 °C. Jíl expanduje, čímž zvětší svůj objem a výsledný produkt umožňuje dobře propouštět vodu a vzduch, protože je pórovitý (Morgan, 2021).

Podle Texiera (2021) je výhodou keramzitu, že velmi dobře schne, a proto je možný nepřerušovaný zavlažovací cyklus. Také do sebe nevstřebává ionty z živného roztoku a je velmi stabilní s hodnotou pH kolem 7. Keramzit lze opakovaně dlouhodobě používat a jeho dezinfekce je nenáročná.

1.4.2 Organické substráty

Druhá skupina zahrnuje čistě organické materiály, které mohou být vedlejšími produkty jiných průmyslových odvětví, jako jsou piliny, kokosová vlákna, rýžové slupky nebo jiné zahradnické substráty – rašelina a borka. Z organických substrátů jsou nejčastěji využívána kokosová vlákna (Resh, 2013).

Rašelina, borka a piliny

Prvním zástupcem organických substrátů je rašelina. Samotná rašelina je poměrně kyselá, proto se používá ve směsích s pískem nebo pemzou. Tím se dosáhne zvýšení pH a poklesne schopnost zadržovat vodu. Zároveň se vytvoří vhodnějšího prostředí pro prospěšné mikroorganismy (Texier, 2021).

Morgan (2021) uvádí jako další příklad substrátů borku některých stromů. Ta se začala využívat při klesající dostupnosti a kvalitě rašeliny. Je kompostována s danou formou dusíkatého hnojiva, aby se zničily toxické a pryskyřičné látky. Podobně se používají i čerstvé piliny jako krátkodobý až střednědobý substrát, než se začnou rozkládat a ztrácet strukturu. Piliny se nejvíce jako pěstební médium používají v Austrálii a na Novém Zélandu.

Kokosové vlákno

Tento substrát se vyrábí z vnějších vrstev kokosového ořechu. Namáčením se oddělují delší hrubá vlákna a dalším zpracováním se rozkládá jádro kokosového vlákna. To obsahuje směs kratších vláken a korkových vláken (Morgan, 2021). Tento původně zbytkový materiál je usušen a poté lisován do kuliček, cihel, rohoží nebo pěstebních desek v pytlích. Při zavlažování se kokosový substrát rozpíná (Texier, 2021).

Kokosová vlákna jsou ideální pro pěstování dlouhodobějších plodin jako jsou rajčata, papriky, okurky, melouny, lilky nebo okrasné rostliny, protože struktura kokosu se nerozpadá v průběhu delšího pěstování. Proto je pro kořenovou zónu typické

vysoké provzdušnění a zachování vlhkosti, díky čemu jsou výsledkem vysoké výnosy a dobré zdraví kořenů (Morgan, 2021).

Hlavním problémem je, že kokosová vlákna obsahují větší množství chloridu sodného. To je z důvodu prvotního oddělování slupek, které probíhá namáčením ve slané vodě. Většina kokosů totiž pochází z přímořských oblastí (Texier, 2021). Kokosová vlákna se tedy dříve používala hlavně v otevřených systémech, aby nedocházelo k usazování solí. Dnes je ale substrát upravován výměnou sodíkových iontů za vápníkové. Díky tomu je možné ošetřený substrát používat i v uzavřených systémech. V porovnání s některými jinými pěstebními substráty je při pěstování v kokosových vláknech dosahováno vyšších výnosů (Jordan et al., 2018).

I když kokos funguje samostatně dobře, může být smíchán s jinými médii pro zlepšení jejich vlastností. Například s perlitem v poměru 1:1 se získá médium s dobrou oporou kořenů a s větším udržováním vlhkosti než samotný perlit (Morgan, 2021).

Rýžové slupky

Málo známá a využívaná surovina, ačkoliv se ukazuje, že je efektivní pro řadu rostlin včetně rajčat a jahod. Jako vedlejší produkt z velkých rýžových produkcí v teplých oblastech mají velký potenciál stát se levným a efektivním pěstebním substrátem. Slupky mají střední schopnost zadržovat vodu, pomalou rychlost odvádění vody a typicky nízkou hladinu živin. Slupky lze jednoduše sterilizovat párou, nebo solariizovat pomocí slunečního světla před jejich použitím (Morgan, 2021).

1.5 Živiny

Rostliny pro správný růst a úrodu potřebují důležité chemické prvky, které obecně nazýváme živiny. V tabulce 1.1 jsou uvedeny jednotlivé účinky základních živin v rostlinách. Většinu základních živin rostliny přijímají svými kořeny formou iontů, a to buď kationtů (K^+ , NH_4^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+}), nebo aniontů (NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$).

Příjem živin kořeny můžeme rozdělit do několika fází. První fází je přístup živin do rhizosféry, nejbližší blízkosti kořenů. Další je průnik do volného prostoru kolem buněk kořenů a dále přes polopropustnou membránu – plazmalemu do cytoplazmy, což je vnitřní prostor buněk kořenů. V poslední fázi dochází k transportu samotných živin rostlinou (Vaněk et al., 2016).

Tabulka 1.1: Účinky základních živin v rostlinách (Sulzberger, 2007)

Prvek	Účinek v rostlině
Dusík (N)	Růst výhonů a listů
Fosfor (P)	Především tvorba květů
Draslík (K)	Vývoj kořenů, zpevnění stěn buněk, odolnost
Hořčík (Mg)	Součást chlorofylu
Vápník (Ca)	Stěny buněk, růst kořenů
Síra (S)	Součást aminokyselin
Křemík (Si)	Zpevnění stěn buněk

Rostlinné živiny dělíme podle jejich výskytu a obsahu chemických prvků na makroprvky, mikroprvky a užitečné prvky. Makroprvky neboli makroelementy se vyskytují v rostlinách ve větším množství, většinou v rozmezí desetin až desítek procent. Zastupují je C, O, H, N, P, K, Ca, Mg, S a Fe. Mikroprvky obsahují většinou menší množství do 0,05 procent a patří mezi ně Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl, Ni a Co. Užitečné prvky Na, Si, Al a Co se mohou vyskytovat i ve větším množství, ale potřebují je jen některé rostlinné druhy (Vaněk et al., 2016). Tabulka 1.2 uvádí příznaky nedostatků a přehnojení hlavních živných prvků v rostlinách.

Tabulka 1.2: Příznaky nedostatku a přehnojení živných prvků (Sulzberger, 2007)

Prvek	Příznaky nedostatku	Přehnojení
Dusík (N)	Zakrnělý růst, světlá barva starších listů, nízká sklizeň	Mohutné, náchylné rostliny s vodnatými buňkami
Fosfor (P)	Zesláblý růst, červenavé starší listy, málo květů a plodů	Poruchy látkové výměny
Draslík (K)	Ochablé rostliny, starší listy od okraje světlejší, později tmavá barva, slabý růst kořenů	Zeslabení růstu
Hořčík (Mg)	Starší listy mezi žebry žloutnou	Náchylnost napadením škůdci
Vápník (Ca)	Slabé stěny buněk způsobují hnědnutí na mladých listech, hnědá skvrnitost jablek	Zhoršený příjem fosforu, vytěsňování draslíku a hořčíku
Síra (S)	Žloutnutí mladých listů	-
Křemík (Si)	Slabé stěny buněk, náchylnost k chorobám a škůdcům	-

V hydroponických systémech inertní substráty neposkytují téměř žádné živiny pro rostliny, proto musí být kompletně dodávány živným roztokem. V prvním kroku je potřeba rozpustit minerální ionty ve vodě, které jsou následně dodávány přímo ke kořenům, aby rostliny měly stálý příjem pro vstřebávání a růst.

Rostliny proto nemusí vynakládat velké množství energie pro růst kořenů do značné hloubky v půdě, aby našly vodu a živiny. Z tohoto důvodu se můžou vyvíjet a růst rychleji než rostliny v půdě. Samotné kořeny obsahují velké množství jemných kořenových vlásků, kterými jsou minerální ionty absorbovány a poté transportovány do nadzemních částí rostlin. Kořeny jsou iontově selektivní a určité prvky jsou vyžadovány ve větším množství než jiné (Morgan, 2021).

1.6 Živný roztok

Hydroponický systém můžeme také rozdělovat na otevřený nebo uzavřený (recirkulační) systém. Dělí se podle toho, jestli je živný roztok po použití vypuštěn do odpadu, nebo jestli je recyklován v retenční nádrži a znovu použit (Resh, 2013).

Živné směsi mají za cíl dodávat rostlině všechny požadované základní prvky v poměru blízkém, který rostlina odebírá z živného roztoku. Musí být dodávány všechny makro a mikro prvky potřebné pro růst, ale také musí být odstraňovány usazené ionty, aby byl stále zachován správný poměr živných iontů. Podle potřeby živného složení se rozpouštěním vysoce kvalitních skleníkových hnojiv ve vodě vytvoří koncentrované zásobní roztoky, které se dále upravují ředěním vodou pro potřebné hodnoty pH a elektrické vodivosti (Morgan, 2021). Tyto hodnoty je důležité sledovat po celou dobu pěstebního cyklu. Dále je potřeba sledovat množství zasolení roztoku, tedy jeho salinitu. Salinita zvyšuje hodnoty elektrické vodivosti, která má výrazný vliv na příjem vody rostlinami.

V současných pěstebních systémech bývá složení živného roztoku monitorováno a řízeno systémem internetu věcí (IoT). Ten se skládá ze sítě bezdrátových senzorů, zařízení pro sběr a ukládání naměřených hodnot, zařízení komunikujícími mezi stroji a akčního čerpadla. Díky tomu je možné na dálku pomocí internetové sítě monitorovat a ovládat všechny sledované parametry (Yolanda et al., 2016).

Aby se v uzavřených systémech zabránilo hromadění a šíření kořenových patogenů, provádí se sterilizace roztoku pomocí UV záření, ozonem, filtry, ohříváním nebo pomalou pískovou filtrací. Z hlediska problematiky ekologické likvidace a odvádění živného roztoku, jeho plýtvání a následné znečišťování vody se sběr

a recyklace roztoku staly běžnou praxí (Morgan, 2021). Recyklace živného roztoku je cenově nákladnější a vyžaduje vyšší míru kontroly složení a vyváženosti živin. Také je zapotřebí vysoce kvalitního zdroje vody s nízkým obsahem nežádoucích solí, jako je například sodík, který se v důsledku recyklace hromadí a může snižovat výnosy a způsobovat poškození úrody. Odstranění těchto solí můžeme dosáhnout pomocí zpětného proplachování reverzní osmózou. Kim (2014) ji uvádí jako fyzikální metodu čištění na základě zpětného toku vody, který je poháněn přes membránu reverzní osmózy osmotickým tlakovým rozdílem.

Teplota

Teplota prostředí i roztoku při pěstování rostlin hraje důležitou roli na příjem živin. Texier (2021) uvádí ideální hranici teplot v hydroponii mezi 18 až 22 °C. Drobné výkyvy teplot nejsou velká hrozba, ale zásadní hranicí je teplota 35 °C, kdy začínají kvůli nedostatečnému okysličení umírat kořeny rostlin. Proto je tento problém častý především v tropických oblastech a také v letním období při vnitřním pěstování, kde se ještě teplota zvětšuje díky umělému osvětlení.

pH

Hodnoty pH roztoku zásadně ovlivňují vstřebávání živin rostlinami. Každé prvky ale mají rozdílnou vstřebatelnost. Hodnoty pH by se měly pohybovat ve středních hodnotách a měly by být hlavně stabilní. Navíc pH roztoku má samo o sobě tendenci stoupat. Proto je nutné tyto hodnoty průběžně sledovat a případně upravovat. Pro případné snižování se používá například kyselina fosforečná (Kowalczyk et al., 2008).

Elektrická vodivost

Zvyšující se salinita roztoku zároveň zvyšuje hodnoty elektrické vodivosti, která má výrazný vliv na příjem vody rostlinami. Má velký vliv na stavbu rostlin a na kvalitu a množství jejich plodů (Texier, 2021). Doporučované hodnoty se liší podle růstové fáze rostlin.

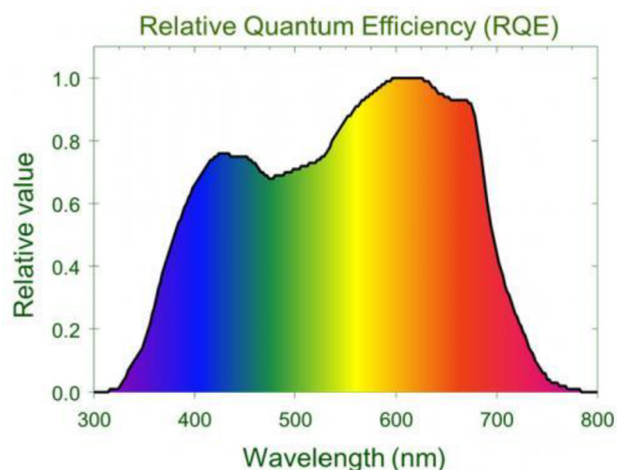
1.7 Osvětlení

Základním zdrojem energie pro fotosyntézu je sluneční záření. Při vnitřním pěstování je toto záření nahrazeno umělým osvětlením. Světlo je viditelné elektromagnetické záření o vlnové délce 390-760 nm. Rostliny účinně využívají pouze část barevného spektra nazývané fotosynteticky aktivní záření (PAR) v rozmezí 400-700 nm (Kozai, 2018). Nejcitlivější jsou na okrajové části barevného spektra, na modré a červené.

Pro fotosyntézu je nejvíce využíváno červené spektrum (obr.1.1). Modré spektrum potřebují rostliny během vegetativní fáze a červené při kvetení a produkci plodů.

Nejpoužívanějším umělým osvětlením byly dlouhodobě metalhalogenidové výbojky (MH) s vysokým obsahem modrého spektra a vysokotlaké sodíkové výbojky (HPS) obsahující hlavně žluté a červené spektrum. Nevýhodou těchto světelných zdrojů byla vysoká teplota, která také představovala riziko spálení listů, proto musely být umístěny dále od rostlin. Také jejich provozní náklady jsou vysoké (Morgan, 2021).

Trendem poslední doby se stávají světlo emitující diody (LED) s vyšší účinností a širokospektrálním rozsahem. Ty procházejí neustálým vývojem. Mají mnohonásobně delší životnost, nižší provozní náklady a neprodukují tak vysoké teploty. Nevýhodu představuje zatím výrazně vyšší pořizovací cena. Spoustu nejnovějších studií naznačuje, že kombinace bílých, modrých a červených LED diod má největší vliv na fotosyntézu a produktivitu jednotlivých rostlin. Podle výzkumu Zhang et al. (2015) jsou například pro růst salátu vhodnější bílé LED diody doplněné o další spektra, než samotné červené nebo modré diody. Hmotnost a plocha salátu se tak při pěstování mnohem zvýšila.



Obrázek 1.1: Barevné spektrum využívané při fotosyntéze (MSU, 2014)

2 Hydroponické pěstební systémy

Každý hydroponický systém obsahuje většinu základních součástí, liší se různými detaily a propracovaností. Mezi základní součásti patří čerpadlo, retenční nádrž (zásobník na vodu), trubky a hadice vedoucí živný roztok, odtokový kanálek pro přebytečnou vodu, podpurný systém rostlin a pěstební nádoby (Kozai, 2018).

Nejpoužívanějšími hydroponickými systémy jsou aktivní systémy, které zajišťují cirkulaci živného roztoku a potřebné okysličování vody v pěstebním systému. Tento princip umožňují vodní a vzduchová čerpadla. Existuje spousta společností, které se zabývají prodejem jednotlivých částí hydroponických systémů nebo kompletně sestavených pěstebních systémů včetně zařízení. U některých systémů jsou následně uvedeny ceny od společnosti Growmarket, která je nabízí na svém e-shopu. Následující systémy jsou hlavní zavlažovací systémy, které se v současné době používají při velkokapacitním pěstování rostlin.

2.1 NFT – Nutrient film technique

Jedním z nejrozšířenějších aktivních pěstebních systémů je **metoda živné vrstvy**, která je používána především pro pěstování rychle rostoucích plodin jako jsou listové saláty a bylinky. Objevitelem je Allen Cooper z Anglie, který využil v šedesátých letech 20. století zdokonalování plastových materiálů a netkaných textilií. Tato metoda se nejvíce používá v Anglii a Austrálii pro pěstování hlávkového salátu (Texier, 2021).

Princip spočívá v pomalu tekoucí mělké vrstvě živného roztoku, který je přiváděn do pěstební nádoby ke kořenům, které jsou zavlažovány, ale nejsou kompletně nasáklé. Horní část kořenů je vystavena vzduchu, díky kterému mají přístup ke kyslíku (Kozai, 2018). Důležitými parametry této metody jsou hodnoty elektrické vodivosti a pH, které by měly být v předepsaných hodnotách podle typu pěstovaných rostlin (Yolanda et al., 2016).

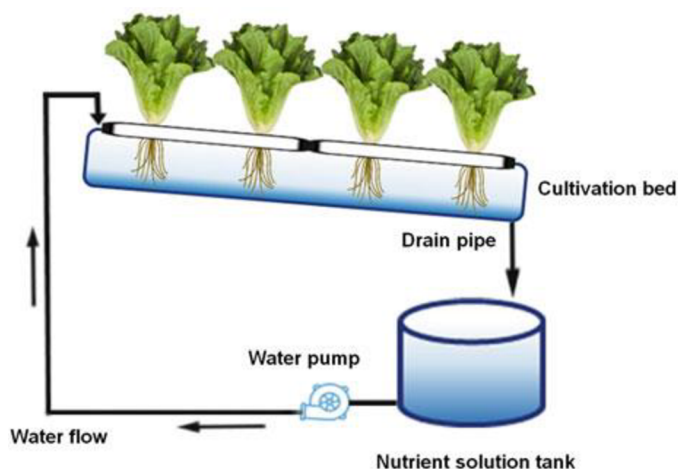
Sestavení není nijak náročné a patří mezi nejjednodušší pěstební metody. Je zapotřebí čerpadla k cirkulaci živného roztoku z vodní nádrže do pěstebních kanálků nebo nádob, filtr a potrubí. Aby mohl roztok správně proudit, je doporučený sklon pěstebních nádob zhruba o 1 cm na každých 70–100 cm vodorovné délky, ale tyto hodnoty je možné upravit podle pěstebních podmínek (Kozai, 2018). Pro pěstování bývají rostliny většinou umístěny ve pěstebním prostoru z obyčejných PVC trubek, jak lze vidět na obr. 2.1.

Výhody a nevýhody

Největší výhodou je dokonalé okysličení roztoku, protože k reakci s kyslíkem dochází na celé ploše pěstební nádoby. Roztok se tak rozteče v podobě tenké vrstvy o síle jen několika milimetrů. Podobně jako se samy přirozeně okysličují tekoucí řeky, tak se i kyslík ze vzduchu dostává do protékajícího roztoku. Velkou výhodou je i nízká pořizovací cena (Texier, 2021).

Nevýhodou systému je nedostatečná fyzická podpora pro rostliny, kdy je nutné rostliny s těžkými vrcholky a plody dodatečně podpírat. K tomu se využívají například horizontálně natažené sítě. Lepší stability je také dosaženo při pěstování v kostkách z kamenné vlny nebo děrovaných květináčích. Z tohoto vyplývajícího důsledku je dalším problémem působící tlak na kořenový bal, který působením gravitace při větších rozměrech rostliny může negativně působit na kořeny.

Velkým problémem je také výpadek elektrické energie, kdy při výpadku čerpadel přestane cirkulovat živný roztok a rostliny vydrží pouze pár hodin, než zahynou. Podle Texiera (2021) může být také nedostačující přísun živin pouze jedním otvorem na kraji kanálu, kdy živný roztok není stále homogenní, a na dně mohou vznikat úseky se stojatou – mrtvou vodou.



Obrázek 2.1: Schéma metody NFT (Kozai, 2018)

Hortiplan

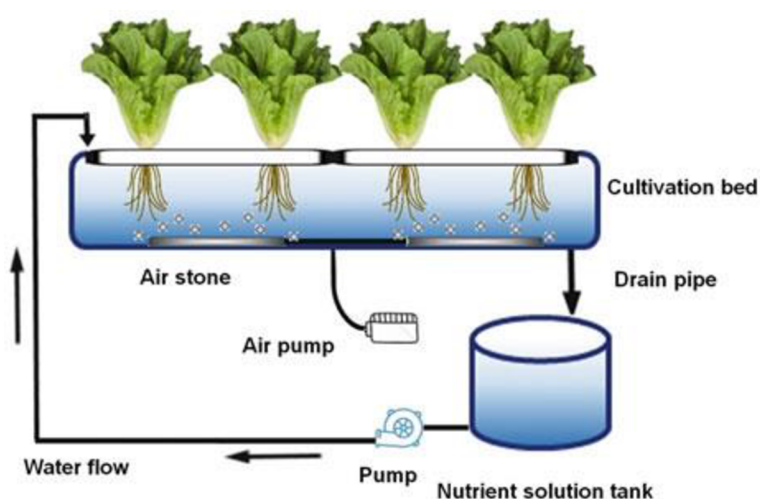
Belgická společnost Hortiplan se zabývá automatizací pěstebního procesu metodou živné vrstvy – NFT. Plně automatizovaně probíhá vše od přesouvání pěstebních kanálů, přesazování rostlin až po sklizeň. Společnost je známa svým mobilním žlabovým systémem (mobile gully system) - MGS NFT. Tyto systémy se používají v Austrálii, Belgii, Itálii, Nizozemsku, Lotyšsku, Spojených státech a Velké Británii (Resh, 2013).

2.2 DFT – Deep flow technique

Metoda tekoucího roztoku je další možností, která vychází ze systému NFT. Rostlinné kořeny jsou kompletně nasáklé v hlubokém proudu živného roztoku na rozdíl od tenkého filmu. Důležitá je neustálá recirkulace živného roztoku, aby byl kyslík přiváděn po celé délce pěstební nádoby, čímž se zajistí, že je obsah kyslíku v kořenové zóně nepřetržitě dostatečně vysoký pro růst kořenů. Některé systémy dokonce používají přídavné vzduchové čerpadlo k dodávce kyslíku (Kozai, 2018).

Hlavním rozdílem je pouze zvýšená hladina roztoku na 4-5 cm, čímž odpadá většina hlavních problémů metody NFT. Větší obsah roztoku umožňuje vyšší stabilitu a pufrací kapacitu ohledně pH, teploty a rozpuštěných iontů. K cirkulaci živného roztoku dochází stejným způsobem, ale pěstební nádoby jsou umístěny v rovině (obr. 2.2). Aby nedocházelo k usazování živin na dně nádoby, roztok je přiváděn vyvýšeným otvorem hadičkou na jedné straně a na druhé straně je odváděn další hadičkou na konci nádoby (Texier, 2021)

Další výhodou je, že živný roztok je pro rostliny k dispozici i v případě výpadku elektrického proudu a rostliny proto nezhynou tak rychle jako u metody NFT. Nevýhodou systému však je poměrně těžká pěstební nádoba. Na hladině obvykle plave panel pro podporu rostlin, který je většinou z pěnových materiálů. Ty však bývají náchylné na zaprášení a růst řas. Po pár cyklech také rychle klesá jejich odraz světelného záření, které je potřeba, aby nedocházelo ke znehodnocování živného roztoku (Kozai, 2018).



Obrázek 2.2: Schéma metody DFT (Kozai, 2018)

2.3 Modified hybrid system – NFT a DFT

Další možností je modifikovaný hybridní systém, který je kombinací metod NFT a DFT. Místem pro pěstování zde nejsou trubky jako u metody NFT, ale pěstební nádoby. Systém je navržen beze sklonu a je jednoduše stavitelný do více vrstev, aby se ušetřila plocha. Jednotlivá kultivační lůžka neboli pěstební nádoby jsou tedy umístěny nad sebou v připravené konstrukci (obr. 2.3). To urychluje jeho instalaci, která je tak snadnější a praktičtější. V pěstební nádobě je několik propustí a výškových panelů pro regulaci hladiny vody, které umožňují jednoduché přepínání mezi NFT a DFT. Pro jejich zakrytí je doporučeno použití panelů ze světle zbarvených materiálů, které mají vysoce odrážející a antikoroziční vlastnosti. Ty jsou pevnou součástí pěstební nádoby a neplavou na vodě (Kozai, 2018).



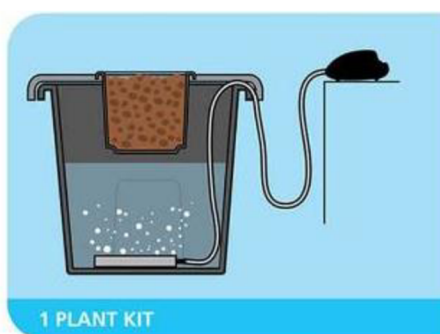
Obrázek 2.3: Modifikovaný hybridní systém (Kozai, 2018)

2.4 DWC – Deep water culture

Z anglického názvu vychází, že se jedná o princip pěstování rostlin v hluboké vodní kultuře. Označení může být známé také jako bubbler, které definuje jeho princip fungování. Metoda je velmi podobná nejstarším historickým hydroponickým systémům plovoucích vorů – raftových systémů (Texier, 2021).

Princip je podobný metodě DFT, ale rozdílem je tvorba vzduchových mikro bublin v živném roztoku. Ty se nacházejí v roztoku dlouhou dobu a zvyšují tak jeho okysličení. Oproti makro bublinám, které jednodušeji vznikají, rychleji stoupají k povrchu vody a tam praskají (Morgan, 2021).

System se hodně používá pro výzkumné účely v botanických laboratořích nebo pro menší pěstební prostory. Jedná se o pěstební nádobu jakéhokoliv tvaru a velikosti. Na dně je umístěn vzduchovací kámen, který se používá i v akváriích a je napojený na malé vzduchové čerpadlo (obr. 2.4). Nádoba je naplněna živným roztokem a na hladině je polystyrenová deska. V té je otvor, kde je umístěný květináč s rostlinou (Texier, 2021).



Obrázek 2.4: DWC system – schéma (Growmarket, 2023a)

Jediný problém představuje výpadek čerpadla, kdy dojde k velmi rychlému vyčerpání kyslíku. Rostliny poté přežijí maximálně 30 hodin. System je lehce sestavitelný a efektivní i přesto, že okysličování roztoku vzduchovými bublinami není nejlepší způsob okysličení. Neustále přiváděný proud bublin pomocí vzduchového čerpadla je dostačující ke kvalitnímu růstu a provzdušnění. Velký objem živného roztoku také funguje jako tlumící prvek ke zpomalování změn teploty, EC, pH a obsahu jednotlivých prvků (Morgan, 2021).

V pěstitelských obchodech se prodává tato jednoduchá varianta i pro pěstování jedné samostatné rostliny (obr. 2.5). Rozdílem je celistvá nádoba, která obsahuje vrchní část z pevnějšího materiálu. V té je přímo umístěn květináč, takže neplave na hladině roztoku. E-shop Growmarket (2023a) uvádí tuto variantu pro domácí pěstování za cenu od 1 500 Kč.



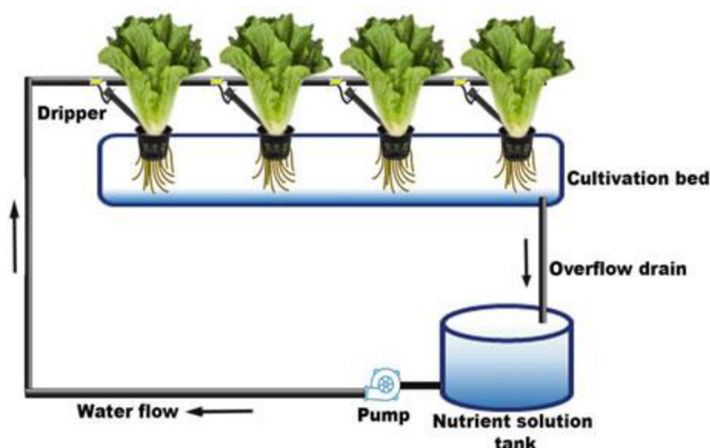
Obrázek 2.5: Nádoba na pěstování metodou DWC (Growmarket, 2023a)

2.5 Drip system

Dalším nejrozšířenějším systémem pro pěstování větších rostlin a pomaleji zrajících plodů je **system kapkové závlahy**. Je ideální pro rostliny v pěstebním médiu, které mohou být umístěné v květináči. To zabraňuje tomu, aby byly rostlinné kořeny neustále nasáklé ve vodě. Proto je tato metoda z hlediska hmotnosti mnohem lehčí než DFT a umožňuje jednodušší pohyb a manipulaci s rostlinami (Kozai, 2018).

K jeho rozšíření došlo především díky vzniku nového pěstebního substrátu z kamenné vlny. Ten je dnes ale hodně nahrazován biologicky rozložitelným substrátem z kokosových vláken. Díky tomu tak nedochází k zatěžování životního prostředí dalšími odpady. Tento systém je nejčastěji používán pro pěstování rajčat nebo jahod (Texier, 2021).

Principem kapkové závlahy je zavlažování každé rostliny samostatně (obr. 2.6). V systému jsou většinou ve velkých řadách vedle sebe umístěny rohože obsahující substrát, které jsou obaleny v plastových pytlích. Předem vypěstované sazeničky rostlin, které se předpěstovávají jiným způsobem v kostkách z kamenné vlny, jsou následně umístěny navrch těchto rohoží do přichystaných otvorů. Čerpadla pohání živný roztok pod nízkým tlakem do hlavní přívodní hadice nebo trubky. Odtud vedou malé boční hadičky ke každé jednotlivé rostlině. Roztok podle nastavení průběžně odkapává a zavlažuje kořenový systém rostlin (Morgan, 2021).



Obrázek 2.6: Drip system (Kozai, 2018)

Celé tyto rohože bývají umístěny na mírně nakloněných podložkách z pevného plastu, které zachytávají přebytečný roztok a vedou ho do sběrné nádrže. Přebytečného roztoku, který rostliny nevyužijí a protéká systémem navíc, může být až jedna třetina (Texier, 2021).

V ekologickém hospodářství je zásadou živný roztok zachytávat do retenčních nádrží a recyklovat ho pro další použití. Roztok je potřeba zbavit případných škodlivých patogenů a bakterií, které by mohly být hrozbou při opětovném použití již vzrostlých rostlin. Úprava roztoku probíhá mechanickými filtry, UV filtry, ionizátory a dalšími technologiemi. Poté je složení živného roztoku upraveno na potřebné hodnoty základních živin (Morgan, 2021).

2.6 Flood and Drain

Jedním z prvních systémů je metoda zaplavení a odvodnění, který je v dnešní době známý spíše jako ebb and flow – **přiliv a odliv**. Principem systému je zaplavování substrátu živným roztokem a jeho následné odvádění pryč (Texier, 2021). Při tomto protékání roztoku je zajišťováno jeho okysličování a zároveň jsou odváděny výměšky rostlin. Tento systém se velkokapacitní výrobě téměř nepoužívá, protože je nahrazen efektivnějšími systémy.

V odlehlých oblastech Kalifornie, kde není elektrická energie, byla místními obyvateli do praxe uvedena podobná verze tohoto systému. Pro pěstování je použit velký květináč jako pěstební nádoba naplněný inertním substrátem a nádoba s živným roztokem, které jsou vzájemně propojené hadicí. Květináč je umístěný ve vyšší poloze a nádoba s roztokem se přesouvá ze dvou poloh nahoru a dolů. V první fázi se nádoba naplní živným roztokem a umístí se do polohy nad květináč, aby pomocí gravitace zalila substrát s rostlinou. Když je nádoba s roztokem prázdná, umístí se do úrovně pod květináč a přebytečná voda postupně odtéká pomocí hadice zpět do nádoby. Tento postup je potřeba opakovat několikrát denně, což je časově náročné. Proto se tento systém moc nepoužívá a je výhodnější používat systémy s časovači a čerpadly (Texier, 2021).

Kozai (2018) ve své knize uvádí příklady pěstování rostlin touto metodou v květináčích se substrátem nebo kostkách z kamenné vlny za použití čerpadla a časovače. Základní složky systému tvoří kultivační lůžko se substrátem, nádrž na živný roztok, vodní čerpadlo, potrubí a časovač.

2.7 Aero-hydroponické systémy

Ve své knize Texier (2021) uvádí následující typ pěstebních systémů, a to aero-hydroponické. V nich je cirkulace živného roztoku zajištěna kontaktem se vzduchem, při kterém zároveň probíhá jeho dokonalé okysličení. K cirkulaci dochází pomocí vzduchových či vodních čerpadel nebo vodního víru – vortexu.

Výhody těchto systémů se projevují hlavně v horkém počasí. Spolehlivě fungují i při vyšších teplotách roztoku nad 30 °C, kdy je pěstební nádoba plná vlhkého vzduchu. Při zvyšující se teplotě odpařovaný roztok uvede do pohybu rozprašovač, díky čemu jsou kořeny schopny přežít nárůst teploty. Proto jejich obliba stále stoupá v oblastech teplého klimatu např. v Asii (Texier, 2021). Při tomto pěstování nevzniká skoro žádný odpad a květináče se substráty se dají používat stále dokola. Mezi jednotlivými fázemi pěstování není ani potřeba zvláštní čištění nebo dezinfekce. To představuje další výhody.

Zásadní nevýhodu představuje pořizovací i provozní cena. Pro provoz je zapotřebí silnějšího čerpadla a je tedy větší spotřeba elektřiny (Morgan, 2021). I menší pěstební systémy mají vyšší pořizovací cenu, protože výroba je technicky složitější. Dají se koupit od 2 300 Kč (Growmarket, 2023b). Při větších pěstebních plochách jsou však vyšší náklady odměněny extrémními výnosy

Vzduchová čerpadla

Systém vynalezl Lawrence Brooke a spočívá ve spojení dvou hadiček do tvaru Y. Jedna hadička přivádí vzduch na dno vodní nádrže a druhá žene pomocí bublin živný roztok nahoru. Zde je roztok další děrovanou hadičkou rozveden rovnoměrně po celé pěstební ploše a zavlažuje kořeny. Vzduchové čerpadlo neustále přivádí kyslík do nádrže, kde probíhá maximální okysličení vzduchovými bublinami (Texier, 2021).

K největšímu okysličení dochází působením gravitace při stékání roztoku zpět dolů do nádrže (Morgan, 2021). Vzniká tekutá vrstva, která vytvoří na inertní směsi kluzký povrch. Tím dochází k výbornému spojení roztoku se vzduchem, jako u žádné jiné metody.

Vodní čerpadla

Využívají se spíše pro větší pěstební systémy a cirkulaci roztoku zajišťuje vodní čerpadlo. Roztok je podobně jako u metody kapkové závlahy přiváděn hlavní trubkou, ze které mohou vycházet menší hadičky. Roztok zde ale neodkapává, naopak je rozprašován na kořeny rostlin. Tím dochází k ideálnímu okysličování roztoku a stejnoměrnému zavlažování. Roztok v podobě spreje je totiž cestou vzduchem dokonale okysličen. Rozdílné je také to, že každá rostlina nemusí mít svůj samostatný rozprašovač. Rostliny se nachází většinou v pěstební nádobě navrchu a rozprašovač může zavlažovat více rostlin (Texier, 2021).

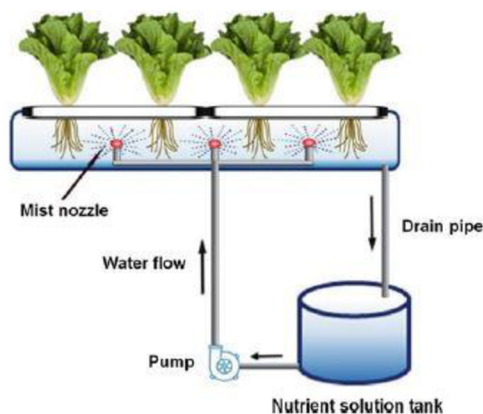
Nádoby opět bývají vybaveny odpadním kanálem, kterým odtéká přebytečný roztok zpět do nádrže. V nádrži je ponořené čerpadlo, které roztok zároveň filtruje.

System je možné použít i pro samostatné pěstování v květináčích. Jedno čerpadlo s nádrží tak může být napojeno na více květináčů. Časté je i používání k zakořeňování řízku rostlin, protože kořenům se v tomto prostředí nadmíru daří.

Spray system

Kozai (2018) uvádí jako příklad aero-hydroponického systému rozprašovací systém. Živný roztok se rozprašuje na kořeny, které jsou volně vystavené vzduchu. Aby se zabránilo poškození kořenů, je zapotřebí nepřetržitý postřik. Tato metoda umožňuje vysokou dýchací aktivitu kořenů, protože jsou kořeny stále vlhké a zároveň dobře provzdušněné. Zároveň je kultivační lůžko lehké, protože množství živného roztoku je mnohem menší (obr. 2.7).

Existuje však i několik rizik. Hlavní nevýhodou je zastavení čerpadla při poruše nebo výpadku elektřiny. Kořeny jsou tak za velmi krátkou dobu vysušeny. Dalším rizikem je ucpání rozprašovací trysky, ke kterému může dojít v důsledku rostlinných zbytků, odumřelých mikroorganismů nebo krystalizací hnojiv (Kozai, 2018). Z tohoto důvodu je nutné zavést systém čištění. Navíc je potřeba hlubší kultivační lůžko ve srovnání s jinými systémy. To je poměrně neefektivní z hlediska optimálního využití prostoru.



Obrázek 2.7: Spray system (Kozai, 2018)

Vortex

Tento typ systému vynalezl v druhé polovině 80. let izraelský Hillel Soffer. Byl vyvinut pro účely botanické laboratoře Kalifornské univerzity. Dodnes se používá v mnoha výzkumných centrech (Texier, 2021). Principem je rotující rozprašovač ve tvaru kuželu, který má speciální drážky. Otáčením se vytváří vodní vír – vortex a živný roztok sprejuje kořeny stejně jako u předchozí metody. Pohonem je malý

motorek, který zabezpečuje rotaci roztoku a vytváří vír. Z hlediska okysličení neexistuje v hydroponických systémech nic lepšího.

Omezením tohoto systému je jeho velikost, protože zvládne zavlažovat nádobu do maximální velikosti 75 cm. Proto se v něm opět pěstují obvykle řízky rostlin. Lze použít i pro celý pěstební cyklus, pouze je nutná zábrana pro kořeny rostlin, aby se nenamotávaly na rotující motorek.

2.8 Aeroponie

Podle Texiera (2021) je aeroponie na rozdíl od výše uvedených aero-hydroponických systémů zcela odlišná. Uvádí, že pravá aeroponie je systém, kdy je živný roztok pomocí ultrazvukové membrány o vysoké frekvenci přeměněn na mlhu. Jedná se o velmi vysokou frekvenci téměř 2 MHz. Při které je roztok přeměněn na mlhovinu obsahující kapičky o velikosti menší než 5 mikronů. Výhodu představuje nižší riziko tvorby plísní, protože na listech rostlin nezůstávají částice vody. Tato mlhovina bývá označována jako suchá mlha, protože lidské smysly ji nejsou schopny vnímat. Ve velkých sklenících je podobná technologie používána k regulování vlhkosti.

V aeroponii přijímají rostliny živiny i vodu ze vzduchu, což se jeví jako nejlepší možný způsob dodávání živin rostlinám. Tato skutečnost ovšem představuje hlavní nevýhodu systému. V tomto ideálním prostředí rostou kořeny rostlin velmi zběsile na úkor zbytku rostlin. Sklizeň rostlin s plody či květy je velmi nízká. Aeroponie je tedy ideální, pokud chceme pěstovat rostliny kvůli kořenům (Li et al., 2018). Problémem je také tvorba mlhoviny. S čistou vodou není problém, ale roztok s živinami ucpává ultrazvukovou membránu.

2.9 Vertikální systém

Cílem vertikálního systému je zefektivnit a zvýšit počet pěstovaných rostlin na daném prostoru. Zásadním vylepšením je využití celého pěstebního prostoru. Toho může být dosaženo různými konstrukcemi s využitím již uvedených pěstebních metod (Morgan, 2021). Konstrukce může být buď tvaru písmene A nebo obráceného tvaru písmene V. Po obou stranách konstrukce rostou nad sebou rostliny (obr. 2.8). Tento princip se nejčastěji používá pro pěstování metodou NFT. Rostliny jsou umístěné v trubkách jednotlivých řad a rostou nad sebou, místo na jedné ploše. Rostliny si tak vzájemně nestíní, protože řady s rostlinami jsou mezi sebou od shora posunuty (Texier, 2021). Může být také použita metoda rozprašování roztoku, kde jsou jednotlivé rozprašovače zabudovány uvnitř konstrukce.



Obrázek 2.8: Vertikální konstrukce tvaru A (Agropress, 2021)

Morgan (2021) uvádí, že se také mohou jednotlivé pěstební plochy skládat jako police na sebe od země až ke stropu. Jednotlivé vrstvy jsou mezi sebou propojeny trubkami nebo hadicemi s živným roztokem. Pokud je v pěstebním prostoru pouze horní osvětlení, ve spodní řadách dochází k jejich zastínění. Z tohoto důvodu bývá každá police samostatně osvětlena umělým osvětlením.

Další možností využití celého prostoru místnosti je horizontální válcová konstrukce. Uvnitř se nachází horizontálně umístěné osvětlení, kolem kterého se pomalu otáčí celý válec s rostlinami. Ty jsou umístěné v řadách v kostkách z kamenné vlny a pod válcem je nádoba s živným roztokem. Při každém jednom otočení válce se tak rostliny namáčí.

Podle Texiera (2021) mezi tyto nejpoužívanější systémy patří vertikálně postavené válce s vertikálním osvětlením. Příjem živin může být zajištěn různým způsobem, buďto aero-hydroponickým zavlažováním, nebo pomocí kapkové závlahy. Na obr. 2.9 lze vidět typický vertikální systém s aero-hydroponickým zavlažováním.



Obrázek 2.9: Příklad aero-hydroponického systému (Modern Farmer, 2018)

2.10 Aquaponie

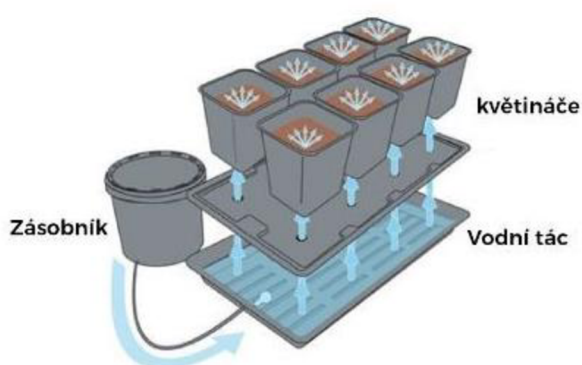
Dalším příkladem možností praktického využití hydroponických systémů je aquaponie. Té se dostává stále větší obliby a zabývá se jí čím dál více společností. Jedná se o metodu, která propojuje hydroponické pěstování rostlin a praktický chov ryb. Aquaponie je příkladem uzavřeného recirkulačního systému nazývaného integrované akvakulturní zemědělství (IAA) (FAO, 2018).

Tento systém je také nazývaný jako recirkulační akvakulturní systém (RAS), kdy se jedná o oboustranně prospěšný proces (Graber a Junge, 2009). Rostliny využívají odpadních látek ryb, pro které jsou již toxické, jako nenahraditelný zdroj živin a rybám se vrací přefiltrovaná voda zbavená pro ně toxických látek (FAO, 2022).

Rostliny z vody odebírají hlavně dusíkaté látky a další pro ně důležité množství živin. Tuto přeměnu umožňují speciální bakterie, které přeměňují procesem nitrifikace odpadní amoniak na dusitany a poté na dusičnany, které jsou již rostliny schopny využívat (Asociace aquaponických farem, 2022).

2.11 Wick system – pasivní systém

Texier (2021) uvádí, že existují i jednoduché typy pasivních systémů, ve kterých není použito žádné čerpadlo. **Knotové systémy** využívají k zavlažování systém knotů, který má jeden konec ponořený do živného roztoku a druhý do substrátu s kořeny. To je umožněno díky kapilárnímu efektu a roztok je samovolně nasáván ze zásobníku (obr. 2.10). Tento princip se využívá spíše u klasického půdního pěstování, protože u hydroponie nedosahuje kapilární efekt dostatečné vlhkosti inertního substrátu.



Obrázek 2.10: Schéma knotového systému (Growmarket, 2023c)

Nevýhodou je tedy nižší účinnost systému a nevhodnost pro náročnější rostliny s větší spotřebou vody. Podle Texiera (2021) dochází kvůli přidávání minerálních solí do živného roztoku k usazování zbytkových minerálů na knotech a jejich postupnému zablokování.

System je vhodný pro pěstování mladých rostlin a sazenic v květináčích. Základní koncept vyžaduje nádrž na roztok, substrát a knotové lano nebo netkanou textilní fólii na dně nádoby. Kozai (2018) ve své knize hodnotí hlavní výhodu tohoto systému, kterou je nezávislost na elektrické energii. Metoda je ekonomická a šetrná k životnímu prostředí, protože nedochází k plýtvání živného roztoku ani vodou. Kořeny absorbují vodu podle svých potřeb a je zajištěna vysoká okysličenost v kořenové zóně. Používá se při pěstování orchidejí a některých léčivých rostlin, které jsou citlivé na obsah vody.

Jednoduché typy tohoto systému i pro domácí pěstování nabízí na prodej společnost Growmarket (obr. 2.11). Ceny těchto systémů se pohybují řadově v hodnotě do několika tisíc korun. Nejjednodušší systém obsahuje 4 pěstební nádoby a zásobní nádrž na živný roztok v ceně necelých 2 000 Kč (Growmarket, 2023c).



Obrázek 2.11: Pěstební set s knotovým systémem (Growmarket, 2023c)

Další možností pasivního systému je pěstování v klasických květináčích s inertním substrátem, které budou dobře odvádět přebytečnou vodu. Květináč s rostlinou se vždy zalije živným roztokem a nechá se proschnout, aby byl substrát schopen přijímat kyslík. Před dalším zalitím je ale potřeba květináč propláchnout dvojnásobným množstvím vody svého objemu (Texier, 2021). To je potřeba z důvodu odplavení usazených zbytků minerálních solí. Tato metoda tedy spotřebovává velké množství vody i živin a dochází při ní k jejich velkému plýtvání. Dají se ale vypěstovat bohatě vzrostlé rostliny.

3 Cíle práce a hypotézy

- Hlavním cílem této práce je vysvětlit pojem hydroponického pěstování, jeho základní principy a podmínky.
- Dále uvést jednotlivé možnosti a způsoby praktického pěstování rostlin.
- Posoudit výhody a nevýhody jednotlivých metod hydroponického pěstování včetně ekonomických parametrů.
- Stanovit, zda se hydroponické pěstování vyplatí i přes vysoké počáteční investice a vyšší provozní náklady.
- V poslední části provést vyhodnocení nejpoužívanějších metod a jejich možnosti vylepšení pro využití v budoucnosti.

4 Hydroponické pěstování v praxi

V praktické části je provedeno porovnání poznatků z teoretické části s prohlídkami hydroponické farmy v Kožichovicích a aquaponické farmy Kaly.

4.1 Návštěva hydroponické farmy

Farma Kožichovice se nachází na okraji okresního města Třebíč v průmyslové zóně Kožichovice. Informace o praktickém chodu a způsobu pěstování na této farmě poskytl hlavní agronom Ing. Tomáš Klíma.

Hydroponická farma byla postavena na klíč společností NWT Agro. Projekt zahrnoval celou dokumentační přípravu, výstavbu na klíč, nizozemskou technologii, dodávku mechanizace pro pěstování (včetně rostlin, osiv, hnojiv a substrátu), také komplexní školicí program pro vedoucí pracovníky a záruční i pozáruční servis. Celková částka počáteční investice se pohybovala okolo 160 mil. Kč. Tato společnost postavila celkem více než 8 skleníků pro své zákazníky o celkové výměře 35 ha skleníkové plochy. Také si postavila vlastní farmu Bezdínek, která produkuje rajčata na ploše přesahující 11 ha skleníkové plochy. Následně svůj podíl farmy Bezdínek prodala zlínské společnosti SPUR (Ekolist, 2021).

Projekt nejmodernějšího hi-tech produkčního skleníku na plodovou zeleninu byl dokončen v roce 2019. Výstavba a dodávka technologií byla podpořena programem rozvoje venkova. Dále byla farma podpořena projektem modernizace zemědělského podniku Farma Kožichovice s.r.o. Byly podpořeny investice do technologií skleníku na sklizení plodů, pěstebních světel i zastínění skleníku. Zdrojem elektřiny a tepla je kogenerační zdroj, který se nachází asi 1 km od skleníku v průmyslové zóně Kožichovice (Farma Kožichovice, 2020).

Výstavba hydroponických skleníků je dotována Ministerstvem zemědělství. I přesto, že je zastavěna zemědělská půda skleníky, které samotnou půdu pro růst nevyužívají. Zemědělská půda čelí stále většímu úbytku. Dochází k jejímu zastavování z důvodu výstavby stále více pozemních komunikací, průmyslových skladů a rozrůstajících se obcí a měst. Podle Ministerstva zemědělství je půda pod novým průmyslovým skladem definitivně ztracena, proto musí být vyjmuta ze zemědělského půdního fondu. Zatímco u skleníku to tak být nemusí. Podle zákona č. 334/1992 Sb. jsou skleníky řazeny do výjimky manipulačních ploch a nemusí tak být vyjmuty. V některých případech projektů však pozemky vyjmuty byly. Především z důvodu pěstování v organických substrátech, nikoli v půdě (Ekolist, 2021).

Hlavní výhodou moderních skleníků je téměř celoroční produkce. Z důvodu vytápění a umělého osvětlení není totiž ovlivněna ročním obdobím. U rostlin jako jsou rajčata je využito pěstování rostlin do výšky. Tím se několikanásobně zvýší výtěžnost na pěstovanou plochu. Zralé plody rajčat se průběžně sklízí celý rok za 2,5-3 měsíce po vysazení. Ty jsou pak dodávány čerstvé přímo do obchodů (Ekolist, 2021).

Jak již bylo zmíněno výše, kompletní pěstební technologie pochází z Nizozemska. Zde jim také pomáhá nizozemská společnost Nova Crop Control s analýzou a složením živného roztoku. Základní minerální živiny pro živný roztok dodává světový výrobce průmyslových hnojiv společnost YARA International, která sídlí v Norsku. Jednotlivé hodnoty roztoku jako například pH a EC jsou důkladně monitorovány elektronickým systémem. Celá technologie je online a v případě jakýchkoliv problémů dostane zaměstnanec upozornění o stávající situaci. „Srdcem“ této moderní technologie je počítač pro řízení klimatu ve skleníku. Ten dodala nizozemská společnost Hoogendoorn (NWT a.s., 2019).

Z Nizozemska se dováží i již vzrostlé předpěstované malé sazeničky rajčat. Ty mají trochu jiné požadavky pro počáteční růst. V České republice se předpěstováním sazenic nezabývá žádná společnost. Do této farmy také pravidelně dojíždí nizozemský odborník, který sdílí své zkušenosti a odborné rady. Tyto návštěvy jsou velmi přínosné, protože lze vidět patřičné věci z jiného úhlu pohledu než při každodenním pozorování. Rady byly také velmi cenné při prvotním zprovoznění systému.

Kožichovický skleník dosahuje pěstební plochy 2,53 ha. Pro pěstování je použit hydroponický systém kapkové závlahy (obr. 4.1). Hlavní pěstovanou plodinou jsou zde rajčata, doplňkově se pěstují i okurky. Již ke stávajícímu skleníku na rajčata byl na začátku roku 2022 přistaven další vytápěný skleník pro pěstování jahod. Na rozloze 0,3 ha je pěstováno téměř 30 000 sazenic jahod (Agris, 2022).

Jedná se o uzavřený recirkulační systém. Zdrojem vody je z 99 % dešťová voda. Ta je shromažďována ze střechy pěstebních skleníků i haly se zázemím v zachytné nádrži. Rostliny jsou pěstovány v organickém substrátu z kokosových rohoží. Ten je dovážen v hotových pytlích. Do těchto rohoží se umístí předpěstované sazenice v jiném substrátu většinou z kamenné vlny (obr. 4.1). Kožichovická farma používá výrobce Grodan. Po ukončení pěstební sezóny je použitý organický kokosový substrát spolu s rostlinami kompostován.



Obrázek 4.1: Systém kapkové závlahy v substrátu z kamenné vlny (vlastní foto)

Jednotlivé rostliny jsou uchyceny v podpůrných systémech a mohou dosahovat celkové délky i přes 10 metrů (obr. 4.2). Rostliny se vytahují do výšky a pracovníci je musí omotávat na systém uchycení. Když se na rajčatech začínají vytvářet svazky s plody, jsou rostliny postupně stahovány dolů. Ve spodním patře jsou svazky rajčat jednodušeji dostupné ke sběru. Zároveň zde i lépe dozrávají díky zabudovanému vytápění v podobě rozvedených trubek s teplou vodou.

Jak již bylo uvedeno v kapitole kapkové závlahy, ke každé rostlině je zavedeno samostatné kapkové zavlažování. Živný roztok je přiváděn systémem potrubí ze zásobních tanků. Z tohoto potrubí vede ke každé rostlině hadička, odkud roztok odkapává do substrátu a vyživuje rostlinu. Přebytečný roztok je zachytáván do nakloněného odtokového kanálu pod substrátovou rohoží. Následně je shromážděn v zachytné nádrži a je recyklován. Při recyklaci je prvním krokem filtr pevných částic, který zachytí případné kořenové zbytky. Poté následuje ionizátor a UV filtr, které roztok zbaví nežádoucích mikroorganismů a případných patogenů. Přefiltrovaný roztok je znovu použit pro další výživu rostlin.

Živný roztok je míchán automatickým procesem, který je řízen počítačem. Zaměstnanci zajišťují obsluhu a sledují, zda jsou jednotlivé nádrže dostatečně plné. Celý proces je velmi složitý a obsahuje spoustu jednotlivých částí. Ty zahrnují spoustu čerpadel, potrubí, nádrží, míchací jednotku, řídicí jednotku a další vybavení. Díky této chytré technologii se zaměstnanci starají pouze o obsluhu a pravidelnou údržbu.



Obrázek 4.2: Pěstování rajčat na farmě Kožichovice (vlastní foto)

Při pěstování nejsou zásadně používány žádné pesticidy. Pro ochranu rostlin je používána jediné biologická ochrana. Proti škůdcům se například používá vhodný hmyz, který je jim přirozeným predátorem. Farma Kožichovice je tak držitelem certifikace Bez pesticidu. Toto udržitelné pěstování chce farma zachovat i do budoucna.

Chytrý počítačový systém tedy uvnitř pěstebních prostor hlídá především teplotu a vlhkost. Na základě těchto zjištěných hodnot jsou automaticky otevírána okna. Postupem času do skleníku byly nainstalovány i elektronické rolety. Ty slouží hlavně v létě, aby zabránily přímým slunečním paprskům. Při překročení vysokých teplot nad 35 °C rostlinám začínají odumírat kořeny.

Díky umělému osvětlení a vytápění v zimním období probíhá na této farmě celoroční sklizeň. Při klasickém provozu je farmu nutné vytápět s příchodem podzimních měsíců až do jara. Jak již bylo řečeno, zdroj elektřiny a tepla je zajištěn z místní kogenerační jednotky. Farma disponuje také solárními panely, ty jsou umístěny na okolních prostorech a hale se zázemím. Jejich produkce elektřiny je však zanedbatelná. Nabízelo by se využít plochu střechy skleníků, to však není možné z důvodu nutnosti propustnosti světla.

V roce 2022 s příchodem energetické krize mají ceny energií velký vliv na zajištění potřebných podmínek pro pěstování. To představuje obrovský problém. Náklady

na vytápění se několikanásobně zvýšily, proto nebyl skleník vytápěn jako dříve. V posledních měsících loňské sezóny nebylo téměř použito ani umělé osvětlení, kvůli zdražování elektrické energie. To mělo za následek výrazně menší sklizeň i kvalitu sklizených plodů. Svazky zralých plodů byly mnohem menší a rajčata nebyla tolik sladká jako běžně.

Rostliny byly pravidelně sklizeny a obvykle na konci léta po jednoletém ročním cyklu obměněny za nové sazenice. Z důvodu energetické krize a nárustu cen v loňském roce nebyly rostliny v létě vyměněny a byly ponechány dožít až do konce provozu s nástupem zimy. Přes zimu tak byla pěstební sezóna zcela ukončena a byla zahájena až na jaře roku 2023, kdy byly vysazeny nové sazenice.

4.2 Návštěva aquaponické farmy

Aquaponická farma Kaly se nachází u jihomoravského města Tišnov poblíž města Brno. Farma vznikla jako brownfield, tedy ze zaniklého objektu. Ten byl přestavěn na vertikální farmu. Majitelem je společnost Future Farming, kterou založil Michal Fojtík v roce 2018. Tato společnost vlastní několik aquaponických farem a zabývá se i osvětou aquaponie ve společnosti (Future Farming, 2023a).

Tato farma je z hlavní části produkční, ale také obsahuje vědecko-výzkumnou část. Nacházejí se zde vysokoškolská pracoviště, kde ve spolupráci jednotlivých univerzit probíhá výzkum nových technologií pro pěstování rostlin a chovu ryb. Farma Kaly také provozuje vzdělávací program pro veřejnost, kdy je možné farmu navštívit s komentovanými prohlídkami. Odtud pochází informace uvedené v této části práce.

Jak již bylo zmíněno, aquaponie kombinuje pěstování rostlin s chovem ryb. Tyto dvě činnosti se vzájemně doplňují. Pěstební plocha pro rostliny dosahuje 800 m² stejně jako prostor pro chování ryb. Farma ročně vyprodukuje téměř 45 tun zeleniny a 50 tun ryb (Future Farming, 2023b).

Hlavní pěstební plodinou je rychle rostoucí zelenina, jako jsou listové saláty, různé druhy bylinek a mikrozelenina. Čerstvé a malé výhonky mikrozeleniny se označují pojmem microgreens. Sklízí se a konzumují ve fázi prvních lístků, jsou podobné klíčkům, ale sklízí se bez kořenů a rostou o několik dní déle (Turner et al., 2020). Také se zde pěstují sazenice rostlin pro ostatní farmy společnosti. Mezi chované druhy ryb patří pstruh duhový (*Oncorhynchus mykiss*), nebo sumeček africký (*Ameiurus nebulosus*). Zde je chovaný pstruh duhový, který je méně náročný na teplotu vody. Vyhovuje mu teplota v rozmezí 16-18 °C.

V přízemních prostorech je vybudované zázemí pro chov ryb a v horním patře se nachází pěstební prostory pro rostliny. Celkový recirkulační systém je propojený s pěstebními prostory. Z kádí pro chov ryb je odváděna voda obsahující jejich odpadní produkty, které představují hnojivo pro rostliny. Ty jsou speciálními bakteriemi upraveny, kdy dochází k přeměně amoniaku na dusitany a dusičnany. Živný roztok tak obsahuje základní živiny a může být následně upraven. Takto upravený roztok je čerpán do pěstebních prostorů. Rostliny mají zajištěnou výživu pro svůj růst a následně rybám filtrují vodu od jejich odpadních produktů. Ta je před opětovným použitím v chovu ryb finálně vyčištěna několikastupňovou filtrací.

Pro pěstování rostlin je zde používána metoda hluboké vodní kultury. Jak je vidět na obr. 4.3, vertikální systém obsahuje pěstební nádoby umístěné v několika patrech nad sebou. Přivedený roztok protéká systémem gravitační silou od shora dolů. Rostliny se nachází v otvorech na vrchu nádoby. Jsou umístěny ve speciálních děrovaných „květináčích“. Tyto květináče si firma nechala patentovat, protože je v České republice zatím nikdo jiný nevyráběl. Pro podporu kořenového systému jsou rostliny umístěny v květináčích již od sazeničky v pěstebním substrátu z kamenné vlny. Jelikož se jedná o vnitřní pěstování, je zde zajištěno plně umělé osvětlení. Podle probíhající fáze růstu rostlin je upraveno potřebné barevné spektrum. Rostliny jsou osvětlovány 18 hodin a po dobu 6 h mají odpočinek.



Obrázek 4.3: Vertikální systém DWC – farma Kaly (vlastní foto)

Aquaponické pěstování je oproti hydroponii komplikovanější v chovu ryb, protože ty jsou velmi citlivé na jakýkoliv vstup případných patogenů do systému. Z tohoto jsou zde vyšší nároky na použitý zdroj vody. Ten zajišťuje ověřený vrt kvalitní podzemní vody. Pro chod celého systému je zapotřebí velké množství elektrické energie. Z tohoto důvodu je farma vybavena záložním zdrojem elektrické energie, protože její výpadek by představoval velký problém pro rostliny i ryby. V budoucnu společnost plánuje vybavit i prostory střechy solárními panely.

Farma Brno – Heršpice

Další farmou této společnosti je doposud největší aquaponická farma v České republice v brněnské městské části Heršpice. Jedná se o čistě produkční farmu, která také vznikla jako brownfield. Ve vybudovaných celoročně vytápěných sklenících dosahuje pěstební plocha pro rostliny 9 000 m². Skleníky jsou pokryty moderní krytinou s vysokou izolační schopností, takže umožňují celoroční produkci s příznivými náklady na energie. Ekologické vytápění také zajišťuje sluneční energie.

Vnitřní izolovaná část o rozloze 1 500 m² umožňuje chov teplomilných ryb (obr. 4.4). Farma ročně vyprodukuje téměř 770 tun zeleniny a 320 tun ryb (Future Farming, 2023c). Produkce ryb je zaměřena na chov sumečka afrického. Ten je cenně především pro svou chuť, šňavnatost, vysoký obsah bílkovin a malý počet kostí.

Pro produkci rychle rostoucí zeleniny je využita metoda živné vrstvy – NFT. Ve sklenících jsou používány vertikální pěstební hydroponické systémy s konstrukcí tvaru písmene A. Pro dosažení maximální produkce je používáno umělého osvětlení, které je potřeba především v zimních měsících.



Obrázek 4.4: Chov ryb na aquaponické farmě Heršpice (Future Farming, 2023c)

5 Výsledky a diskuse

Shrnutí nejpoužívanějších hydroponických systémů

Jednotlivé druhy uvedených hydroponických pěstebních systémů v kapitole 2.1 mají své výhody a nevýhody. Podle konkrétního typu pěstované plodiny a možností prostředí musí být vybrán vhodný druh pěstební metody před samotnou realizací projektu. Kozai (2018), Morgan (2021), Resh (2013) a Texier (2021) se shodují na nejrozšířenějším a nejpoužívanějším typu hydroponických systémů. Tím je jednoznačně označována metoda živné vrstvy – NFT. Vyniká dobrým okysličením živného roztoku, jednoduchostí při instalaci systému a jeho nízkou pořizovací cenou. Z těchto důvodů je metoda NFT nejčastěji používána pro pěstování menších a rychle rostoucích rostlin, které nejsou moc vysoké a těžké před sklizní (Texier, 2021). Používá se především pro pěstování salátů, mikrozeleniny, bylinek, nebo koření. Pro produkci listového salátu (*Lactuca sativa*) je tato metoda nejrozšířenější v Anglii a Austrálii. Ciriello (2023) uvádí nejpoužívanější druh hydroponicky pěstovaných bylinek bazalku pravou (*Ocimum basilicum*). Rychlý růst salátů a díky tomu jejich častá sklizeň má pozitivní ekonomický vliv pro producenty.

Resh (2013) ve své knize doporučuje i systém DFT – metodu tekoucího roztoku. Podle Texiera (2021) tato metoda není ale tolik úspěšná, jak se předpokládá. Uvádí, že i přes různé úpravy a experimenty, se mu při pěstování touto metodou nikdy nepodařilo dosáhnout rovnoměrného růstu u všech pěstovaných rostlin. To označuje základním předpokladem úspěšného pěstování. Z důvodu větší hloubky živného roztoku, který přitéká jedním místem nádoby, totiž nejsou všechny vzdálenější rostliny dostatečně okysličený jako u metody NFT. Tento problém lze odstranit přidáním vzduchovými čerpadly uvnitř systému (Kozai, 2018).

Al-Tawaha et al. (2018) se ve své studii zabývají otázkou ideálního průtoku živného roztoku, který umožní rostlinám absorbovat co největší množství živin během zavlažování. Při jejich provedeném výzkumu byl za stejných pěstebních podmínek pěstován listový salát metodou NFT. Jediné, co se měnilo bylo množství průtoku živného roztoku v litrech za hodinu. Nejnižší průtok roztoku byl $10 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$, střední $20 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$ a nejvyšší $30 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$. Po čtyřiceti dnech pěstování byly změřeny hodnoty výšky listového salátu a hmotnosti hlávky salátu (tabulka 5.1). Obecně lze říci, že po překročení určitého množství roztoku, se růst výrazně snižoval s jeho zvyšujícím se množstvím. Z výzkumu je patrné, že při pěstování listového salátu metodou NFT je

ideální střední průtok živného roztoku (tzn. 20 l.h⁻¹). Při vyšším či nižším průtoku jsou naměřené hodnoty výrazně horší. Proto by při pěstování metodou živné vrstvy mělo být zvoleno ideální množství protékajícího živného roztoku.

Tabulka 5.1: Vliv průtoku živného roztoku na výšku rostlin a hmotnost hlávky salátu v systému NFT (Al-Tawaha et al., 2018)

Průtok (l.h ⁻¹)	Výška rostliny (cm)	Hmotnost hlávky (g)
10	25	153
20	28	237
30	22	135

Maucieri et al. (2018) při přezkoumání desítek publikovaných studií došli k výsledku, že samotná metoda NFT při aquaponickém pěstování nemusí být vždy tolik účinná, jako u jiných systému s pěstebním médiem nebo při metodě DWC. Metoda hluboké vodní kultury – DWC je využívána na aquaponické farmě Kaly. Tento raftový systém umožňuje pěstování v několika na sobě do patra naskládaných nádobách. U metody NFT bylo zaznamenáno až o 20 % méně účinného odstraňování dusičnanů z živného roztoku. Celkové výsledky udávají, že systém může být méně účinný pro odstraňování živin z roztoku pro chov ryb i při produkci rostlinné biomasy (Lennard a Leonard, 2006).

Zásadním omezením systému NFT je nedostatečná fyzická podpora pro rostliny, kdy se rostliny s těžkými vrcholky a plody musí dodatečně podpírat. Pro podporu se využívají různé systémy uchycení, například horizontálně natažené sítě nebo lana. Dalším omezením může být kořenový bal samotný, který při hustším objemu může zpomalit nebo i přímo zastavit živný roztok (Texier, 2021).

Pro pěstování větších rostlin a pomaleji zrajících plodů se nejvíce používá metoda kapkové závlahy – Drip system (Kozai, 2018, Morgan, 2021 a Texier, 2021). V hydroponickém pěstebním skleníku farmy Kožichovice jsou tak pěstována koktejlová rajčata (*Solanum lycopersicum*), konkrétně dvě hlavní odrůdy Brioso a Pom Sweet Candy, i jahody (*Fragaria*) odrůdy Aurora Karmina. Pro dozrání svých plodů potřebuje plodová zelenina opylení. To na této farmě u rajčat i jahod pěstovaných uvnitř skleníku zajišťují nasazení čmeláci.

Nejnovější hydroponické systémy fungují na základě aero-hydroponie. Z hlediska okysličení roztoku je zde dosaženo maximálního efektu. Cirkulace živného roztoku je zajištěna kontaktem roztoku se vzduchem, díky čemuž probíhá jeho

dokonalé okysličení. Systémy tak produkují vysoké výnosy. Hlavní nevýhodu představuje vysoká pořizovací i provozní cena. Systém je o něco technologicky složitější a vyžaduje pravidelnou údržbu. Například jednotlivé trysky, které zajišťují výživu kořenů rostlin, se často zanáší minerálními živinami v roztoku. Pro provoz je zapotřebí silnějšího čerpadla, proto je i větší spotřeba elektrické energie. Z těchto důvodů nejsou tyto systémy zatím příliš rozšířeny v komerčním využití (Morgan, 2021).

Provozní náklady a závislost na elektrické energii

Hlavním problémem hydroponického pěstování jsou provozní náklady ve srovnání s konvenčními pěstebními systémy v půdě. Také celková částka pořizovacích nákladů pěstebních prostorů je poměrně vysoká s návratností několika let. Zároveň jsou zvýšené požadavky na schopnosti pěstitelů a na použité sledovací technologie pro provoz pěstebních prostorů (Morgan, 2021).

Souvisejícím problémem je neustálá potřeba elektrické energie, která je nutná pro chod vodních i vzduchových čerpadel, osvětlení, klimatizace a dalších systémů. Všechny hydroponické aktivní systémy (NFT, DFT, DWC, Drip system, Flood and Drain a aero-hydroponické systémy) jsou závislé především na čerpadlech, která potřebují neustálý zdroj elektrické energie. Proto Kozai (2018) doporučuje wick system – metodu knotové závlahy. U tohoto pasivního systému vyzdvihuje jako hlavní výhodu nezávislost na elektrické energii oproti ostatním aktivním systémům. Částečným řešením energetické závislosti je v současné době použití solárních panelů s akumulátory (Wedashwara et al., 2021).

Za pozornost stojí možnosti udržitelného energetického systému na ostrově Island. Ten je díky svému geografickému umístění geologicky i vulkanicky aktivní. Většina elektrické energie pochází z vodních elektráren, nebo z elektráren využívajících geotermální činnost (Spittler et al., 2020). Proto je také na Islandu pokročilá technologie hydroponického pěstování, kde je využíváno výhod této lokality i pro vytápění rozlehlých skleníků. Pěstování rajčat v hydroponických sklenících se tak na tomto místě stalo další turistickou zajímavostí.

Znečišťování životního prostředí

Dalším problémem je znečišťování životního prostředí, ke kterému dochází v důsledku vypouštění odpadních živných roztoků. U provozovatelů hydroponických systémů, kteří cílí na co nejnižší cenu produkce zeleniny, bývá často problém s likvidací nevyužitého živného roztoku (Morgan, 2021). V tom bývá již většina minerálních živin vyčerpaná, ale stále obsahuje určité množství některých prvků živin,

proto představuje riziko pro životní prostředí. Nevyužité odpadní živiny vypuštěné do životního prostředí mohou mít negativní vliv na okolní ekosystémy a potencionálně také mohou kontaminovat spodní vody využívané lidmi jako zdroj pitné vody (Kumar a Cho, 2014). Tento problém bývá častý u otevřených systémů hydroponického pěstování.

Podle Texiera (2021) se v posledních letech objevují nová legislativní nařízení, dle kterých je nutné odpadní živný roztok ekologicky likvidovat, než se vypustí do kanalizační sítě. Tím začínají být otevřené systémy prodražovány a dochází k jejich omezování a ústupu. Kumar a Cho (2014) a Morgan (2021) uvádí, že možným řešením tohoto problému je opětovné použití a recyklace odpadního živného roztoku, který ještě obsahuje určité množství využitelných živin pro další pěstování. Proto v dnešních moderních uzavřených systémech probíhá následná recyklace použitého roztoku. Zbylý roztok je nejprve upraven mechanickými filtry, následně UV filtry, ionizátory a dalšími technologiemi. Poté se v roztoku znovu doplní potřebné hodnoty živin pro opětovné využití při pěstování dalších rostlin.

Spotřeba vody

I když to není na první pohled patrné, hydroponické pěstování je z hlediska celkové spotřeby vody mnohem úspornější než klasické pěstování rostlin v půdě. Kozai (2018), Morgan (2021), Resh (2013), Texier (2021) a Zimmermann a Fisher (2020) se shodují, že je hydroponie velmi úsporná z hlediska spotřeby vody. Při hospodaření s roztokem nedochází totiž k žádným ztrátám při zalévání, kdy přebytečná voda často protéká do půdy i s drahými hnojivými. U aquaponického systému se jedná o úsporu vody až z 90 %, kdy je dodáváno pouze 10 % čerstvé vody (Zemědělský svaz České republiky, 2022). Podle studie (Zimmermann a Fisher, 2020) uzavřená hydroponická produkce rostlin šetří spotřebu vody a snižuje negativní dopady na životní prostředí. Lze ji provozovat ekonomicky výhodně, produkty mají vysokou úroveň kvality a ekologické dopady hydroponie na životní prostředí jsou pozitivní.

Trendy v hydroponii

Brentlinger (2007) se ve své studii zabývá změnami hydroponické produkce ve Spojených státech. Spotřebitelé velmi pozitivně přijali hydroponicky pěstovaná rajčata. Hlavním pozitivem hodnotí chuť čerstvých rajčat od lokálních pěstitelů oproti dováženým rajčatům, která jsou z důvodu přepravy a sklizně často bez chuti. Podle Reshe (2013) byla v letech 2003–2013 v hydroponické produkci velmi populární především rajčata. V celkové produkci tvořily 65-70 % čerstvé zeleniny. Také hydroponické

saláty a bylinky se stále častěji objevují ve velkoobchodech. Pro malé pěstitele je však výhodnější prodej na místních trzích. Své produkty nabízí místním obchodům, restauracím nebo na farmářských trzích. Velkoobchody požadují po těchto producentech tak nízké výkupní ceny, že se jejich produkce téměř nevyplatí.

Hydroponicky se pěstují i zcela nové plodiny, jako jsou čím dál více moderní microgreens. Jedná se o mladou, čerstvou zeleninu nebo bylinky, které poskytují atraktivní barvu, chuť i živiny (Tan et al., 2020). Microgreens je zdravá plodina obsahující spoustu vitamínů, minerálů a antioxidantů. V porovnání se zeleninou se vyznačují intenzivní chutí, mají vysokou nutriční hodnotu a různorodé sensorické vlastnosti (Turner et al., 2020). Tuto drahou plodinu v současné době najdeme v nejkvalitnějších restauracích a stále častěji se objevují i v obchodech.

S rostoucí poptávkou spotřebitelů po zdravějších a bezpečnějších potravinách a zároveň s neustálým vývojem pěstitelských technologií bude metoda hydroponie nadále růst, aby byla tato poptávka uspokojena. Tyto trendy v hydroponické produkci i nadále pokračují a dokazují, že se toto odvětví stále vyvíjí.

Závěr

V této práci byly posouzeny hlavní výhody a nevýhody hydroponického pěstování. Největším přínosem hydroponie je pěstování rostlin bez nutnosti použití půdy. Díky tomu mohou být rostliny pěstovány i v jinak nepříznivém prostředí, mnohdy až s extrémními podmínkami. Z hlediska obrovské úspory plochy tak může být hydroponie použita i v městských částech při vertikálním pěstování. To je velmi důležité z důvodu zhoršování kvality půdy, hlavně však kvůli úbytku zemědělské půdy. K úbytku dochází z důvodu výstavby stále více pozemních komunikací, průmyslových skladů, těžbě surovin a rozrůstajících se obcí a měst.

Velkou výhodou je také úspora spotřeby vody převážně v recirkulačních systémech. Od otevřených systémů se naštěstí již i z legislativních důvodů upouští a těchto systémů ubývá. U otevřených systémů je totiž velkým rizikem znečišťování životního prostředí, ke kterému dochází v důsledku vypouštění odpadních živných roztoků. Může docházet ke kontaminaci spodních vod, která může být zdrojem pitné vody.

Existují ale i jednoznačné limitující nevýhody. Největším problémem jsou provozní náklady. S příchodem energetické krize v roce 2022 se ukazuje, že je cena energií nejvíce limitujícím faktorem. Většina hydroponických systémů pro svůj chod potřebuje neustálý příjem elektrické energie. Proto jsou provozní náklady aktivních systémů poměrně vysoké. Elektrická energie je zapotřebí pro chod čerpadel, filtrů, osvětlení, čidel a automatizovaných systémů. Z hlediska vyšších počátečních investic pro vybudování konkrétního hydroponického pěstebního systému musí případný investor dopředu počítat i s velkou prvotní investicí. U velkokapacitních pěstíren se jedná o dlouhou dobu návratnosti investice a je nutné s ní počítat.

Díky umělému osvětlení rostliny dosahují mnohem větších zisků. U osvětlení je zásadní použití stínidla z odrazového materiálu, díky kterému je osvětlení efektivnější. Technologie umělého osvětlení se v posledních letech vyvíjí obrovským tempem.

Důležitým faktorem pro pěstování je stálá teplota prostředí. Drobné výkyvy nepředstavují velký problém. Po překročení hranice 35 °C rostlinám začínají odumírat kořeny. Tento problém je častý v letním období a v tropických oblastech. Pro ochlazení je tedy nutné počítat s ventilací a klimatizací, které mají další spotřebu elektrické energie. Další problém spojený s teplotou nastává při celoročním pěstování

v zimních obdobích například v mírném pásu České republiky. V zimním období je zapotřebí mít zajištěné vytápění pro celoroční sklizeň.

Ceny energií mají velký vliv na zajištění potřebných podmínek pro pěstování. Podle hlavního agronoma farmy Kožichovice se jedná o obrovský problém. Pro zajištění celoroční sklizně při klasickém provozu se farma běžně vytápí s příchodem podzimních měsíců až do jara. V loňské pěstební sezóně, kdy se náklady na vytápění několikanásobně zvýšily, nebyl jejich skleník vůbec vytápěn. Přes zimu tak byla pěstební sezóna zcela ukončena až do příchodu jara. Obvykle na konci léta byly sazenice rajčat obměňovány po jednoletém ročním cyklu za nové. Z výše uvedených důvodů byly v loňské sezóně rajčata ponechána až do konce provozu s nástupem zimy. Kvůli zdražování elektrické energie v posledních měsících sezóny nebylo ani téměř používáno umělé osvětlení pro rostliny.

Od počátku energetické krize nastává pro mnohé podnikatele kvůli zvýšeným nákladům velmi náročná a mnohdy existenčně téměř likvidační situace. Lze doufat v lepší budoucí stav energetické situace a další vývoj úspornějších technologií.

Tato práce by mohla být přínosná pro všechny, kteří se chtějí seznámit s principem hydroponického pěstování. Jsou zde shrnuty nejpoužívanější hydroponické metody a v závěru práce jsou uvedeny příklady praktického pěstování ve velkých produkčních sklenících.

Seznam použité literatury

Agris, (2022). *Farma Kožichovice přidala ke skleníkům s rajčaty fóliovník na pěstování jahod* [online]. [cit. 2023-02-18]. Dostupné z:

<http://www.agris.cz/clanek/217991>

Agropress, (2021). *V Letonicích vznikne další aquaponická farma na zeleninu a chov ryb* [online]. [cit. 2023-03-12]. Dostupné z: <https://www.agropress.cz/v-letonicich-vznikne-dalsi-aquaponicka-farma-na-zeleninu-a-chov-ryb/>

Al-Tawaha, A. R., Al-Karaki, G., Al-Tawaha, A. R., Sirajuddin, S. N., Makhadmeh, I., Wahab, Youssef, R. A., Al Sultan, W., P. E. M., Massadeh, A. (2018). Effect of water flow rate on quantity and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in nutrient film technique (NFT) under hydroponics conditions. *Bulg. J. Agric. Sci*, 24(5), 793-800.

Asociace aquaponických farem, (2022). *NITRIFIKACE A DENITRIFIKACE V AQUAPONICKÉM SYSTÉMU* [online]. [cit. 2022-11-30]. Dostupné z:

<https://www.aaqp.eu/cs/nitrifikace-a-denitrifikace-v-aquaponickem-systemu/a-483/>

Brentlinger, D.J. (2007). NEW TRENDS IN HYDROPONIC CROP PRODUCTION IN THE U.S. *Acta Horticulturae*. (742), 31-33. ISSN 0567-7572. Dostupné z: [doi:10.17660/ActaHortic.2007.742.3](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.742.3)

Bugter, M. H. J. M. a Reichwein, A. M. A. (2007). PH STABILITY OF FE-CHELATES IN SOILLESS CULTURE. *Acta Horticulturae*. (742), 61-66. ISSN 0567-7572. Dostupné z: [doi:10.17660/ActaHortic.2007.742.8](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.742.8)

Ciriello, M., Cirillo, V., Formisano, L., El-nakhel, C., Pannico, A., De Pascale, S., Roupheal Y. (2023). Productive, Morpho-Physiological, and Postharvest Performance of Six Basil Types Grown in a Floating Raft System: A Comparative Study. *Plants*. 12(3). ISSN 2223-7747. Dostupné z: [doi:10.3390/plants12030486](https://doi.org/10.3390/plants12030486)

Ekolist, (2021). *Skleníky na rajčata jako veřejný zájem* [online]. [cit. 2023-02-18].

Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/skleniky-na-rajcata-jako-verejny-zajem>

FAO, (2018). *Every drop counts* [online]. [cit. 2022-11-01]. Dostupné z: <https://www.fao.org/fao-stories/article/en/c/1111580/>

FAO, (2022). *Home Gardens/Vertical Farming, Hydroponics and Aquaponics* [online]. [cit. 2022-10-22]. Dostupné z: <https://www.fao.org/land-water/overview/covid19/homegardens/en/>

Farma Kožichovice, (2020). *O nás* [online]. [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: <https://www.farma-kozichovice.cz/o-nas>

Future Farming, (2023a). *Kdo jsme* [online]. [cit. 2023-03-04]. Dostupné z: <https://www.futurefarming.cz/kdo-jsme/>

Future Farming, (2023b). *Aquaponická farma Kaly* [online]. [cit. 2023-03-04]. Dostupné z: <https://www.futurefarming.cz/farmy/aquaponicka-farma-kaly/>

Future Farming, (2023c). *Aquaponická farma Brno-Heršpice* [online]. [cit. 2023-03-04]. Dostupné z: <https://www.futurefarming.cz/farmy/aquaponicka-farma-brno-herspice/>

Graber, A. a Junge, R. (2009). Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination*. 246(1-3), 147-156. ISSN 00119164. Dostupné z: doi:10.1016/j.desal.2008.03.048

Growmarket, (2023a). *PLANT!T Aeros 1, hydroponický systém* [online]. [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: <https://www.growmarket.cz/p/plant-t-aeros-1-hydroponicky-system>

Growmarket, (2023b). *Platinum Aero Top 40 - 40x40x31 cm, aeroponický systém pro 5 rostlin* [online]. [cit. 2023-02-11]. Dostupné z: <https://www.growmarket.cz/p/platinum-aero-top-40-40x40x31-cm-aeroponicky-system-pro-5-rostlin#>

Growmarket, (2023c). *Nutriculture Quadgrow, knotový hydroponický systém pro 4 bylinky* [online]. [cit. 2023-02-11]. Dostupné z: <https://www.growmarket.cz/p/nutriculture-quadgrow-knotovy-hydroponicky-system-pro-4-bylinky>

Ho, L.C. a Adams, P. (1995). NUTRIENT UPTAKE AND DISTRIBUTION IN RELATION TO CROP QUALITY. *Acta Horticulturae*. (396), 33-44. ISSN 0567-7572. Dostupné z: doi:10.17660/ActaHortic.1995.396.3

Hosseinzadeh, S., Verheust, Y., Bonarrigo, G. A., Van Hulle, S. (2017). Closed hydroponic systems: operational parameters, root exudates occurrence and related water treatment: operational parameters, root exudates occurrence and related water treatment. *REVIEWS IN ENVIRONMENTAL SCIENCE AND BIO-TECHNOLOGY*, 16(1), 59-79. ISSN 1569-1705. Dostupné z: doi:10.1007/s11157-016-9418-6

Jordan, R. A., Ribeiro, E. F., Oliveira, F. C., Geisenhoff, L. O., Martins, E. A. S. (2018). Yield of lettuce grown in hydroponic and aquaponic systems using different substrates. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 22(8), 525-529. ISSN 1807-1929. Dostupné z: doi:10.1590/1807-1929/agriambi.v22n8p525-529

Kim, S., (2014). Osmotic pressure-driven backwash in a pilot-scale reverse osmosis plant. *Desalination and Water Treatment*. 52(4-6), 580-588. ISSN 1944-3994. Dostupné z: doi:10.1080/19443994.2013.826771

Kowalczyk, W., Dysko, J., Kaniszewski, S. (2008). Effect of nutrient solution pH regulated with hydrochloric acid on the concentration of Cl⁻ ions in the root zone on soilless culture of tomato. *Journal of Elementology*, 13(2).

Kozai, T. (2018). *Smart Plant Factory: The Next Generation Indoor Vertical Farms*. 1. vydání. Springer, Singapore. ISBN 978-981-13-1064-5.

Kumar, R. R. a Cho, J. Y. (2014). Reuse of hydroponic waste solution. *Environmental Science and Pollution Research*. 21(16), 9569-9577. ISSN 0944-1344. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-014-3024-3

Kutschera, U. a Niklas, K. J. (2018). Julius Sachs (1868): The father of plant physiology. *American Journal of Botany*. 105(4), 656-666. ISSN 00029122. Dostupné z: doi:10.1002/ajb2.1078

Lennard, W. A. a Leonard, B. V. (2006). A Comparison of Three Different Hydroponic Sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic Test System. *Aquaculture International*. 14(6), 539-550. ISSN 0967-6120. Dostupné z: doi:10.1007/s10499-006-9053-2

Li, Q., Li, X., Tang, B., Gu, M. (2018). Growth responses and root characteristics of lettuce grown in aeroponics, hydroponics, and substrate culture. *Horticulturae*, 4(4). ISSN 2311-7524. Dostupné z: doi:10.3390/horticulturae4040035

Maucieri, C., Nicoletto, C., Junge, R., Schmutz, Z., Sambo, P., Borin, M. (2018). Hydroponic systems and water management in aquaponics: A review. *Italian Journal of Agronomy*, 11. ISSN 2039-6805. Dostupné z: doi:10.4081/ija.2017.1012

MSU, (2014). *Green light: Is it important for plant growth?* [online]. [cit. 2023-02-14]. Dostupné z: https://www.canr.msu.edu/news/green_light_is_it_important_for_plant_growth

Modern Farmer, (2018). *How Does Aeroponics Work?* [online]. [cit. 2023-03-11]. Dostupné z: <https://modernfarmer.com/2018/07/how-does-aeroponics-work/>

Morgan, L. (2021). *Hydroponics and Protected Cultivation: A Practical Guide*. 1. vydání. CABI, Wallingford. ISBN 978-1-78924-483-0.

Nemera, D. B., Bar-Tal, A., Levy, G. J., Tarchitzky, J., Rog, I., Klein, T., Cohen, S. (2021). Mitigating negative effects of long-term treated wastewater irrigation: Leaf gas exchange and water use efficiency response of avocado trees (*Persea americana* Mill.). *Agricultural Water Management*. 256. ISSN 03783774. Dostupné z: doi:10.1016/j.agwat.2021.107126

NWT a.s., (2019). *Výstavba na klíč* [online]. [cit. 2023-02-15]. Dostupné z: <https://agro.nwt.cz/vystavba-na-klic/>

Passioura, J. B. (2010). Scaling up: the essence of effective agricultural research. *Functional Plant Biology*. 37(7). ISSN 1445-4408. Dostupné z: doi:10.1071/FP10106

Peuchpanngarm, Ch., Sritiworawong P., Samerjai W., Sunetnanta T. (2016). DIY sensor-based automatic control mobile application for hydroponics. *2016 Fifth ICT International Student Project Conference (ICT-ISPC)*. IEEE, 2016, 57-60. ISBN 978-1-5090-1125-4. Dostupné z: doi:10.1109/ICT-ISPC.2016.7519235

Resh, H. M. (2013). *Hydroponic Food Production*. 7. vydání. CRC Press, Boca Raton. ISBN 978-1-4398-7869-9.

Saraswathi, D., Manibharathy, P., Gokulnath, R., Sureshkumar, E., Karthikeyan, K. (2018). Automation of Hydroponics Green House Farming using IOT. *2018 IEEE International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCA)*. IEEE, 2018, 1-4. ISBN 978-1-5386-4866-7. Dostupné z: doi:10.1109/ICSCAN.2018.8541251

Spittler, N., Davidsdottir, B., Shafiei, E., Leaver, J., Asgeirsson, E. I., Stefansson, H. (2020). The role of geothermal resources in sustainable power system planning in Iceland. *Renewable Energy*. 153, 1081-1090. ISSN 09601481. Dostupné z: doi:10.1016/j.renene.2020.02.046

Stutte, G. W. (2006). Process and Product: Recirculating Hydroponics and Bioactive Compounds in a Controlled Environment. *HortScience*. 41(3), 526-530. ISSN 0018-5345. Dostupné z: doi:10.21273/HORTSCI.41.3.526

Sulzberger, R. (2007). *Kompost, půda, hnojení: zdravá zahradní půda, výživa rostlin, hnojení*. Rebo, Čestlice. ISBN 978-80-7234-654-7.

Tan, L., Nuffer, H., Feng, J., Kwan, S. H., Chen, H., Tong, X., Kong, L. (2020). Antioxidant properties and sensory evaluation of microgreens from commercial and local farms. *Food Science and Human Wellness*, 9(1), 45-51. ISSN 22134530. Dostupné z: doi:10.1016/j.fshw.2019.12.002

Texier, W. (2021). *Hydroponie pro každého*. 3. vydání. Mama Publishing, Paříž. ISBN 978-2-84594-161-8.

Turner, E. R., Luo, Y., Buchanan, R. L. (2020). Microgreen nutrition, food safety, and shelf life: A review. *Journal of Food Science*. 85(4), 870-882. ISSN 0022-1147. Dostupné z: doi:10.1111/1750-3841.15049

Vaněk, V., Balík, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P. (2016). *Výživa a hnojení polních plodin*. Profi Press, Praha. ISBN 978-808-6726-793.

Wedashwara, W., Jatmika, A. H., Zubaidi, A., Arimbawa, I. W. A. (2021). Smart solar powered hydroponics system using internet of things and fuzzy association rule mining. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 712(1). ISSN 1755-1307. Dostupné z: doi:10.1088/1755-1315/712/1/012007

Yolanda, D., Hindersah, H., Hadiatna, F., Triawan, M. A. (2016). Implementation of Real-Time Fuzzy logic control for NFT-based hydroponic system on Internet of Things environment. *2016 6th International Conference on System Engineering and Technology (ICSET)*. IEEE, 2016, 153-159. ISBN 978-1-5090-5089-5. Dostupné z: doi:10.1109/ICSEngT.2016.7849641

Zemědělský svaz České republiky, (2022). *Ryba, která chutná* [online]. [cit. 2022-11-17]. Dostupné z: <https://www.zscr.cz/clanek/ryba-ktera-chutna-7204>

Zhang, G., Shen, S., Takagaki, M., Kozai, T., Yamori, W. (2015). Supplemental Upward Lighting from Underneath to Obtain Higher Marketable Lettuce (*Lactuca sativa*) Leaf Fresh Weight by Retarding Senescence of Outer Leaves. *Frontiers in Plant Science*. 6. ISSN 1664-462X. Dostupné z: doi:10.3389/fpls.2015.01110

Zimmermann, M. a Fischer M. (2020). Impact assessment of water and nutrient reuse in hydroponic systems using Bayesian Belief Networks. *Journal of Water Reuse and Desalination*. 10(4), 431-442. ISSN 2220-1319. Dostupné z: doi:10.2166/wrd.2020.026

Seznam obrázků

Obrázek 1.1: Barevné spektrum využívané při fotosyntéze (MSU, 2014)	22
Obrázek 2.1: Schéma metody NFT (Kozai, 2018).....	24
Obrázek 2.2: Schéma metody DFT (Kozai, 2018).....	25
Obrázek 2.3: Modifikovaný hybridní systém (Kozai, 2018)	26
Obrázek 2.4: DWC system – schéma (Growmarket, 2023a).....	27
Obrázek 2.5: Nádoba na pěstování metodou DWC (Growmarket, 2023a).....	27
Obrázek 2.6: Drip system (Kozai, 2018)	28
Obrázek 2.7: Spray system (Kozai, 2018)	31
Obrázek 2.8: Vertikální konstrukce tvaru A (Agropress, 2021)	33
Obrázek 2.9: Příklad aero-hydroponického systému (Modern Farmer, 2018)	33
Obrázek 2.10: Schéma knotového systému (Growmarket, 2023c).....	34
Obrázek 2.11: Pěstební set s knotovým systémem (Growmarket, 2023c).....	35
Obrázek 4.1: Systém kapkové závlahy v substrátu z kamenné vlny (vlastní foto)....	39
Obrázek 4.2: Pěstování rajčat na farmě Kožichovice (vlastní foto).....	40
Obrázek 4.3: Vertikální systém DWC – farma Kaly (vlastní foto).....	42
Obrázek 4.4: Chov ryb na aquaponické farmě Heršpice (Future Farming, 2023c) ...	43

Seznam tabulek

Tabulka 1.1: Účinky základních živin v rostlinách (Sulzberger, 2007).....	19
Tabulka 1.2: Příznaky nedostatku a přehnojení živných prvků (Sulzberger, 2007)..	19
Tabulka 5.1: Vliv průtoku živného roztoku na výšku rostlin a hmotnost hlávky salátu v systému NFT (Al-Tawaha et al., 2018).....	45

Seznam použitých zkratk

- DFT Metoda tekoucího roztoku (Deep Flow Technique)
- DWC Hluboká vodní kultura (Deep Water Culture)
- HPS Vysokotlaké sodíkové výbojky (High-pressure sodium lamp)
- IAA Integrované akvakulturní zemědělství (Integrated Aquaculture Agriculture)
- IoT Internet věcí (Internet of Things)
- LED Světlo emitující dioda (Light Emitting Diode)
- MGS Systém mobilních žlabů (Mobile Gully System)
- MH Metalhalogenidové výbojky (Metal-halide lamp)
- NASA Národní úřad pro letectví a vesmír (National Aeronautics and Space Administration)
- NFT Metoda živné vrstvy (Nutrient Film Technique)
- PAR Fotosynteticky aktivní záření (Photosynthetic Active Radiation)
- PVC Polyvinylchlorid
- RAS Recirkulační akvakulturní systém
- TUF Tufové příkopy (Tuff trench)
-