

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra kvality a bezpečnosti potravin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Kvalita produktů z akvaponických systémů

Bakalářská práce

Petra Tichá

Kvalita potravin a zpracování zemědělských produktů

doc. Ing. Pavel Klouček, Ph.D.

© 2022 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci Kvalita produktů z akvaponických systémů jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 22.4.2022

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. Ing. Pavlu Kloučkovi, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce a poskytnutí zajímavých informací k tématu a přínosný rad. Dále bych ráda poděkovala Ing. Veronice Tůmové za poskytnutí mnoha podkladů pro zpracování práce.

Kvalita produktů z akvaponických systémů

Souhrn

Akvaponický systém je systém spojující hydroponickou a akvaponickou část. Jedná se tedy o spojení chovu ryb a pěstování rostlin. V současné době se tento způsob pěstování a chovu začíná více rozšiřovat. Je to především z důvodu potřeby menšího záboru půdy, nižší spotřeby vody či možnosti pěstovat ovoce a zeleninu v bezprostřední blízkosti nakupujících. Vzhledem ke svým menším nárokům na vodu se nad tímto způsobem pěstování uvažuje stále častěji v místech s nedostatkem vody a vysokými teplotami, kde je běžné konvenční pěstování náročnější. Výhodou tohoto způsobu pěstování je výstup rovnou dvou komodit – ryb a ovoce či zeleniny. Podle zatím dostupných dat se nejlépe daří pěstovat listovou zeleninu, která se svými výnosy pohybuje ve stejných či vyšších hodnotách než u konvenčního způsobu pěstování. Objevují se také rajčata či tykve vypěstované akvaponicky. Z ryb se jedná především o tilápii nilskou, sumečka afrického, kapra obecného či úhoře říčního.

I když předchůdce akvaponie známe již od Aztéků, moderní pojetí tohoto systému se objevuje až před 60 či 70 lety. Od té doby se systémy zdokonalují. Jak se o nich však v posledních letech začíná více mluvit, přichází s tím i otázka bezpečnosti, kvality či ekologického přístupu.

Cílem této práce bylo shromáždění dostupných informací o kvalitě jednotlivých produktů z hlediska výživových hodnot, bezpečnosti, sensorické kvality.

Akvaponické systémy mohou jistě pomoci při pěstování plodin a šetření vodou. Zároveň je to skvělý způsob pro snížení potřeby dovážení zeleniny či ovoce do velkých měst, kde je možnost tyto systémy postavit například na střechách průmyslových hal či v menším množství i na obytných domech. Stále se však jedná o nový způsob pěstování. Je tedy nutný další výzkum, co se týče zdravotní nezávadnosti vypěstovaných plodin, snížení počátečních nákladů a snížení spotřeby elektrické energie.

Klíčová slova: akvaponie, kvalita, bezpečnost, sensorika

Quality of products from aquaponic systems

Summary

Aquaponic method is a system combining hydroponic and aquaponic parts together. It is a synergy of fish farming and plant cultivation. This method of farming and cultivation is getting more in the mainstream. The main reasons are lower requirements of soil, lower water consumption and the possibility of producing fruits and vegetables in close proximity to consumers. Due to lower water requirements this method of cultivation is being considered in locations with insufficient amount of water as well as in locations with high temperatures, where classical methods of cultivation are more difficult. The main advantage of this method is the dual output of fish and vegetables or fruits. According to published data the best results have been achieved cultivating leafy vegetables, the yield has been recorded as same or higher than using conventional method of crop cultivation. Another crops successfully cultivated are for example tomatoes and gourds. There are many species of fish used, mainly Nile tilapia, African catfish, common carp or river eel.

Even though precursor of aquaponia was known to ancient Aztecs, modern understanding of this system has formulated 60 or 70 years ago. Since then the systems have been improving. With increased attention during last couple of years, the questions of safety, quality and ecological approach have been raised.

The aim of this thesis is to gather available information about quality of individual products in terms of nutritional values, safety and sensory analysis.

Aquaponic system can undoubtedly be beneficial to crop cultivation and water saving. It is also great way to reduce the need to import fruits and vegetables to the big cities where these systems can be installed on roofs of industrial objects or in lower quantity on roofs of residential buildings. We have to keep in mind aquaponics is still a new method of cultivating, therefore further research into health safety of produced crops, lowering initial costs and lowering usage of electrical energy is necessary.

Keywords: aquaponics, quality, safety, sensory

Obsah

1	Úvod	7
2	Cíl práce	8
3	Akvaponie	9
3.1	Výhody a nevýhody	9
3.2	Typy akvaponického systému	10
3.2.1	Media Filled Systems (Substrátový systém)	11
3.2.2	Nutrient Film Technique (NFT) Systém	13
3.2.3	Raftový systém	14
3.2.4	DAPS systém – oddělený systém	16
3.3	Historie	19
3.4	Kvalita akvaponického roztoku	20
3.4.1	pH	20
3.4.2	Vyvážení živin	21
3.4.3	Ochrana proti škůdcům a nemocem	22
3.4.4	Bakteriální patogeny	22
4	Produkce konkrétních druhů zeleniny	24
4.1	Salát hlávkový (<i>Lactuca sativa</i>)	24
4.1.1	Dusičnany	24
4.1.2	Fenolické sloučeniny	25
4.1.3	Zhodnocení	26
4.2	Rajče jedlé (<i>Solanum lycopersicum</i>)	28
5	Výhody a rizika	32
6	Ekologie	33
7	Další poznatky	37
7.1	Tykev (<i>Telfairia occidentalis</i>)	37
7.2	Máta peprná (<i>Mentha piperita</i>) a houbová bylinka (<i>Rungia Klossii</i>)	38
8	Závěr	40
9	Literatura	41
10	Seznam použitých zkratk a symbolů	45

1 Úvod

Potrava je něco, co potřebuje k životu každý člověk na planetě. Ať už se jedná o potravu rostlinného či živočišného původu. K oběma způsobům je důležitá půda, kde se pěstují konkrétní plodiny, které přímo konzumujeme nebo se používají k výrobě krmiva pro hospodářská zvířata. Se stále se zvyšujícím počtem lidí na planetě však začíná být problém s dostatkem plochy pro pěstování plodin či chov zvířat. Vždyť jen od roku 1950, kdy počet lidí na planetě byl kolem 2,5 miliard, se toto číslo do dnešních dní zvýšilo až na počet téměř 8 miliard (Worldometer, 2022)!

V posledních letech však stále rostoucí populace není jediný problém v oblasti potravinářství. Vlivem klimatické změny se mění klimatické podmínky na většině míst světa, a to může ztížit zaběhnuté způsoby pěstování. Se změnou klimatu souvisí i jiné rozložení srážek v průběhu roku a tím se objevují nové oblasti s nedostatkem srážek. A bez závlahy není možná dostatečná rostlinná produkce. Pokud je půda suchá, může být také náchylnější k různým druhům eroze. To také nepřispívá k vhodnému pěstování.

Všechny tyto překážky je potřeba řešit, aby byl zajištěn dostatek potravin pro celou lidskou populaci. Přichází se tedy s různými novými či vylepšenými způsoby pěstování plodin. Jedním z nich je i akvaponie. Předchůdce akvaponie pochází již z Aztécké říše. Moderní pojetí akvaponie se ovšem začalo objevovat až kolem 60. let 20. století. Jedná se o spojení hydroponické (pěstování plodin bez půdy) a akvaponické (nádrže s rybami) části v jeden celek, kde se využívá voda od ryb k závlaze pěstované plodiny.

Velkou výhodou tohoto systému je prostorová nenáročnost. Jedná se o variabilní systém, který lze postavit i do výšky a šetří tak místo. Další výhodou je i menší spotřeba vody. To může být využitelné především v místech s nízkou zásobou vody, jako je například Afrika. K výběru způsobu pěstování plodin pomocí akvaponie může přispět i fakt, že v rámci jednoho systému jsou výstupní surovinou rovnou 2 produkty – vypěstované ovoce či zelenina a ryby.

Stále se ovšem jedná o poměrně nový způsob pěstování. Kvůli tomu je tak jen omezené množství studií, které se zabývají tímto stylem produkce zeleniny a ovoce. To může vést k otázkám, zda se jedná vůbec o udržitelný způsob, jestli jsou produkty nutričně hodnotné či jestli nejsou zdravotně závadné? Další otázkou může být i otázka ekonomická. Vyplatí se akvaponické systémy stavět? Je ještě mnoho otázek, na které nejsou konkrétní odpovědi vzhledem k relativně novému způsobu pěstování, jakým akvaponie bezesporu je.

Akvaponie se ale dostává v posledních letech do popředí a jistě budou vznikat další a další studie zabývající se tímto systémem a zkoumající jeho vliv na nutriční hodnoty pěstované zeleniny a ovoce, ale i na stránku bezpečnosti. Vzhledem ke stále se narůstající populaci, bude potřeba se více zabývat alternativními způsoby pěstování plodin a tou akvaponie je.

2 Cíl práce

Akvaponie jako kombinace chovu ryb a pěstování rostlinných produktů je relativně nový, avšak rychle se rozvíjející disciplína. Tato práce má za cíl shromáždit dostupné údaje o kvalitě jednotlivých produktů z hlediska výživových hodnot, bezpečnosti, senzorické kvality a případných účincích na lidské zdraví. Výsledkem je shrnutí a vyhodnocení získaných informací k dané problematice.

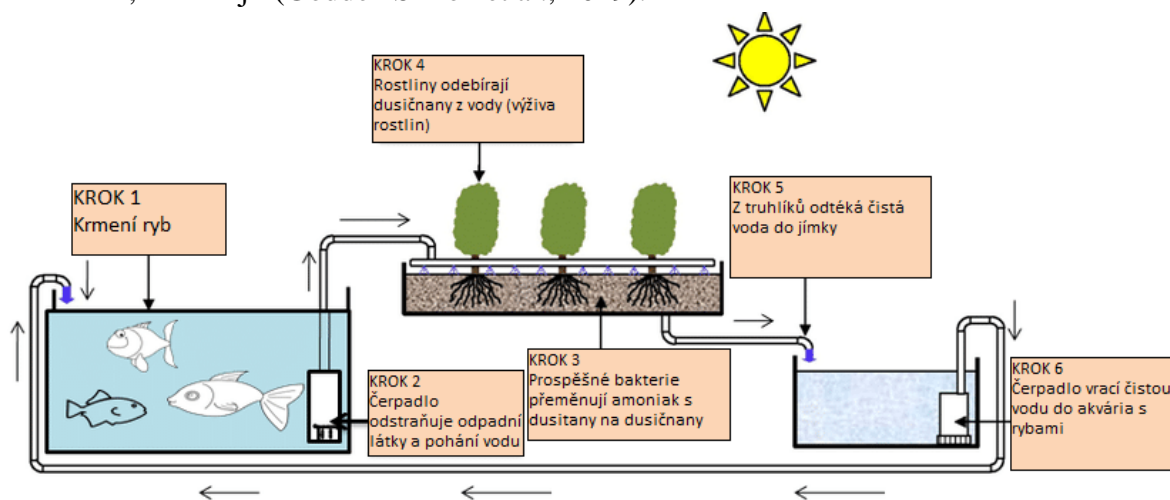
3 Akvaponie

Akvaponie zapadá do širší definice integrovaných zemědělsko – akvakulturních systémů. Mnohem těsněji je ovšem spojena s integrací chovu ryb na bázi nádrží s technologiemi vodní nebo hydroponické kultivace rostlin. Jednoduše se dá říci, že je to kombinace produkce ryb (akvakultura) a pěstování rostlin bez půdy (hydroponie) pod spojenou nebo oddělenou cirkulací vody (Goddek Simon et al., 2019). Rostliny potřebují pro svůj správný vývoj makroživiny (C, H, O, N, P, K, Ca, S a Mg) a mikroživiny (např. Fe, Cl, Mn, B, Cu, a Mo), které jsou nezbytné pro jejich růst (Goddek et al., 2015).

Důležitou součástí systému je výběr chovaných ryb. Ty po přijetí potravy vylučují exkrementy, které jsou výsledkem jejich metabolismu. Významnou zplodinou metabolismu je amoniak, který je žábrami vylučován jako produkt metabolismu bílkovin. Ten ve větších koncentracích je pro ryby toxický. Pokud se v chovu nahromadí a není možnost jeho odstranění, ryby uhynou (Goddek et al., 2015).

Pro jeho odstranění je využíváno nitrifikace. Je to proces, který probíhá za přístupu kyslíku a uskutečňuje se díky nitrifikačním bakteriím. Můžeme ho rozdělit do dvou fází: nitritace a nitratce. Amoniak je oxidován nejdříve na dusitany (NO_2^-), které jsou pro ryby stále toxické, a poté na dusičnany (NO_3^-). Dusičnanová forma je pro ryby nejméně toxická a tolerují jejich vyšší obsah ve vodě. Zároveň se jedná o hlavní zdroj dusíku pro růst rostlin v akvaponii (Goddek et al., 2015).

Ke kořenům se dostávají všechny formy dusíku, tedy i amoniak. Rostliny jsou v malé míře schopny využít i amoniak. Zde si systém vezme dusičnany, které dokáže přeměnit na biomasu díky fotosyntéze. Ve vodě zůstává stále mnoho živin, i těch organických, iontů, různých druhů bakterií a látek. I po odebrání živin kořenovým systémem ve vodě živiny, i ty dusíkaté, zůstávají. (Goddek Simon et al., 2019).



Obrázek 1 Schéma akvaponického systému, převzato z: (Alok Kumar Jena et al., 2017)

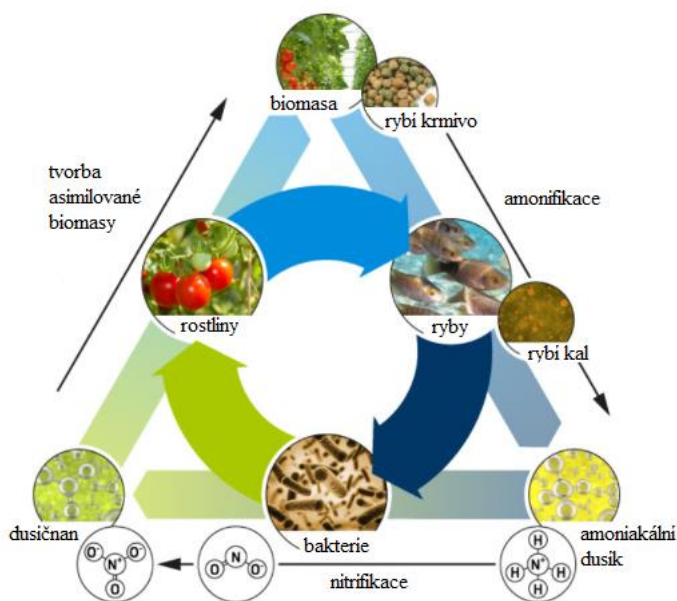
3.1 Výhody a nevýhody

U akvaponie se dá říci, že výhod je více než nevýhod. Jako jednu z hlavních výhod lze považovat úsporu vody vůči konvenčnímu zemědělství. Tato úspora může dosahovat až 90 % procent. Toto je také důvod, proč se pěstování v akvaponických systémech dostává v posledních letech do popředí. Dalším velice pozitivní věc je absence pesticidů a antibiotik či

absence škůdců vyskytujících se v půdním profilu. Při pěstování rostlin a chovu ryb v akvaponickém systému nejsme vázáni na počasí, tudíž může produkovat po celý rok. Vzhledem k tomu, že se systémy staví v různých specifikacích, často se využívá možnosti stavět do výšky. Tím se ušetří velké množství místa, ale naopak pak prudce stoupá spotřeba energie za LED osvětlení. Proto se mohou vyskytovat tyto farmy i ve městech. Pokud tomu tak je, produkce z těchto systémů je blíže konečnému spotřebiteli. Odpadá tak dovoz na velké vzdálenosti a tím se zmenšuje i uhlíková stopa. Pro svou malou náročnost na místo a absenci půdy se jedná o alternativu pro suché a pouštní oblasti. Velkým pozitivem je i vysoká výnosnost na jednotku plochu (Goddek et al., 2015).

Jak bylo zmíněno, všechny systémy mají i svá negativa. Akvaponie je poměrně složitější systém. S tím souvisí potřebná informovanost obsluhy. Je potřeba dostatečné informace jak o správném chovu ryb, tak i pěstování rostlin. Pokud by nastal nějaký problém a systém by nepracoval správně, mohou ryby uhynout a rostliny být napadeny patogeny. Do negativ můžeme zahrnout i větší spotřebu elektrické energie potřebnou pro fungování celého systému. Pokud bychom řešili zapojení systému v našich podmínkách je potřeba řešit i vytápění a umělé přisvěcování. Jako vždy je zde i otázka financí. Na počátku se může jednat o velmi vysoké investiční náklady, jelikož se jedná o high tech technologii. Záleží ovšem na složitosti systému či kvalitě jednotlivých komponentů (Adam Travis, 2018).

Na obrázku 2 je vyzobrazen symbiotický cyklus akvaponického systému.



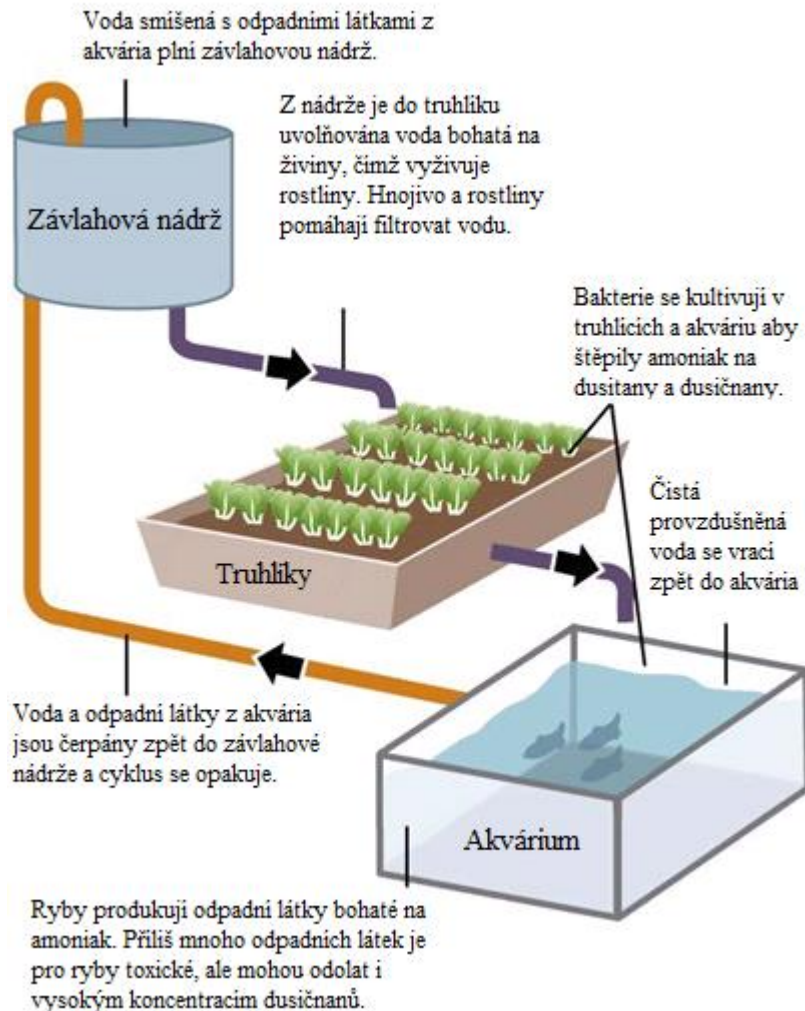
Obrázek 2 Symbiotický cyklus, převzato z: (Goddek et al., 2015)

3.2 Typy akvaponického systému

Existuje několik různých typů akvaponických systémů. Většina vychází z hydroponie. Rozdíl je však v tom, že v akvaponickém systému se voda vrací zpět do akvakultury. Jedná se tedy o uzavřený systém. Systémy rozdělujeme na jednosmyčkové (voda se vrací) a dvousmyčkové (voda se pouze přepouští a nevrací se). V praxi je nejvhodnější dvousmyčkové, jelikož se lépe kontroluje kvalita vody a obsah živin.

3.2.1 Media Filled Systems (Substrátový systém)

Jedná se o jednoduchý systém, používaný především v domácích podmínkách. Pro komerční využití není vhodný. Jeho schéma je popsáno na obrázku 3.



Obrázek 3 Schéma médiového systému, převzato z: ("Media-Based-Aquaponics-System |," n.d.)

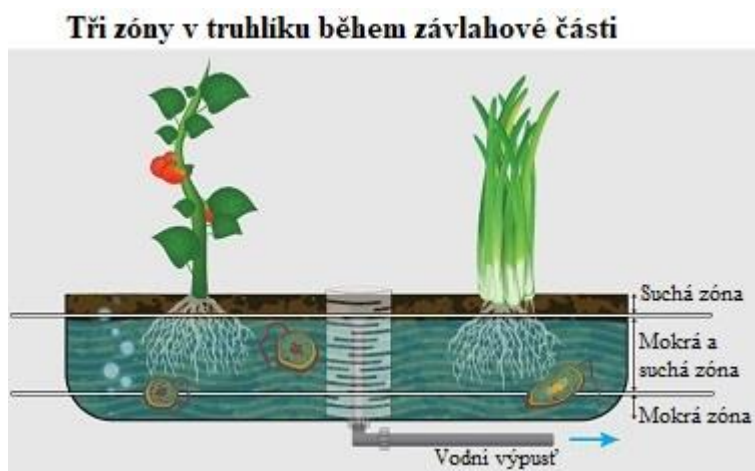
Některé substrátové systémy využívají k zaplavení a odvodnění pěstebních záhonů zvonové sifony. Když se voda dostane do určité úrovně na lůžku, sifon odtud vodu vypustí. Díky tomuto procesu se dostane kyslík dolů do pěstebního lůžka, což má pozitivní vliv na mikroby a rostliny ("What is a Media Based Aquaponics System? | Go Green Aquaponics," n.d.).

Další metody zavlažování využívají konstantního průtoku vody, kdy vystupuje z jedné nebo druhé strany lůžka nebo je distribuovaný přes kapkové závlahy.

Celé pěstební médium slouží jako účinný filtr, jak pro mechanickou, tak i biologickou filtraci. Pokud však médium obsahuje vysokou hustotu osázení, proces mechanické filtrace se může přerušit a riskuje se ucpání média ("What is a Media Based Aquaponics System? | Go Green Aquaponics," n.d.).

Pěstební záhon je rozdělen do 3 zón. Na obrázku 4 si lze prohlédnout průřez jednotlivými zónami.

- 1. zóna – povrch nebo suchá zóna. Nalezneme ji v prvních 5 cm pěstebního záhonu. Funguje především jako světelná bariéra, která zabraňuje přímému dopadu světla na vodu a tím tvorbě řas. Zároveň zabraňuje růstu plísní a jiných škodlivých bakterií na bázi stonku rostliny. Také minimalizuje odpařování vody ze záhonů.
- 2. zóna – kořenová zóna. Zde jsou kořeny rostlin, jejichž funkcí je zásobit rostliny živinami. Je kolem 10–15 cm. Jedná se o místo, které je pravidelně zaplavováno a odvodňováno. Při zaplavení se do místa dostává vlhkost i živiny. Při odtoku vody z oblasti se dostane vzduch bohatý na kyslík i ke kořenové soustavě. Pokud se nepoužívá technika zaplavení a vyplavení, je tato zóna místem průtoku vody.
- 3. zóna – zóna shromažďování a mineralizace pevných látek. Najdeme ji v posledních 5 cm pěstebního lůžka. Zůstává stále vlhká. Hromadí se zde drobné pevné odpady a organismy vhodné pro mineralizaci. Tyto organismy rozkládají odpad na menší části a rostliny je pak mohou absorbovat pomocí mineralizace (“What is a Media Based Aquaponics System? | Go Green Aquaponics,” n.d.).



Obrázek 4 Průřez jednotlivými zónami, převzato z: (“TECA,” 2020)

Výhody médiového systému

- Relativně levné a jednoduché
- Biofiltrace – médium slouží jako substrát pro nitrifikační bakterie
- Médium provádí filtraci, která zabraňuje návratu nečistot do nádrže
- Pro lepší rozklad rybího odpadu lze přidat červy
- Vzduch je přítomen mezi částicemi média – lepší dodání kyslíku ke kořenům
- Vhodné pro velké množství druhů rostlin
- Vhodné pro domácí využití

Nevýhody mediového systému

- Kvalitní médium může být relativně drahé
- Obtížná údržba a čištění
- Nižší výnosnost
- Média jsou těžká a je potřeba silná a pevná konstrukce
- Zanesení vedoucí k odvádění vody, neefektivní biofiltraci a neefektivnímu dodávání živin rostlinám (Goddek et al., 2015)

3.2.2 Nutrient Film Technique (NFT) Systém

Tato technika vychází ze systému pěstování pomocí hydroponie. Využívá horizontální potrubí s mělkými proudy vody, která je bohatá na živiny. Rostliny jsou zasazené do horní části potrubí, a tak jejich kořenový systém může využít vodu z potrubí a tím získat i potřebné živiny (obrázek 5). V produkční praxi se používá výhradně tento systém.

Voda využitá v tomto systému se přes samospád dostane přes mechanický filtr nebo biofiltr do jímky. Část této vody se dostane přímo do akvakultury a část je potrubím distribuována dále. Voda se tak dostane do pěstebních trubek ke rostlinám. Po protečení vody kořenovým systémem rostlin se vrací do jímky či biofiltru a dále do nádrže s rybami. Cyklus je dokončen při opětovném naplnění nádrže a přetečením vody do mechanického filtru.

Pěstební kanály obsahují na vrchní straně otvory, do kterých se rostliny zasadí a začnou vyvíjet svůj kořenový systém. Díky malé vrstvě vody na dně kanálu se také ke kořenům dostává velké množství kyslíku (Goddek Simon et al., 2019).

Velice důležitou součástí NFT systému je filtrace. Ať už se jedná o mechanickou či biologickou, jelikož v systému není dostatečně velká povrchová plocha pro bakterie. Mechanické filtry zachycují pevné odpady a biologické se využívají pro nitrifikaci. Jako biofiltr se využívá obvykle nádrž, která se vyplní porézním médiem, které je řádně provzdušněné, a to je umístěné za akvakulturou a pevným filtrem.

Platí zde pořadí: voda z akvakultury → pevný filtr → biofiltr → NFT kanály → Akvakultura.

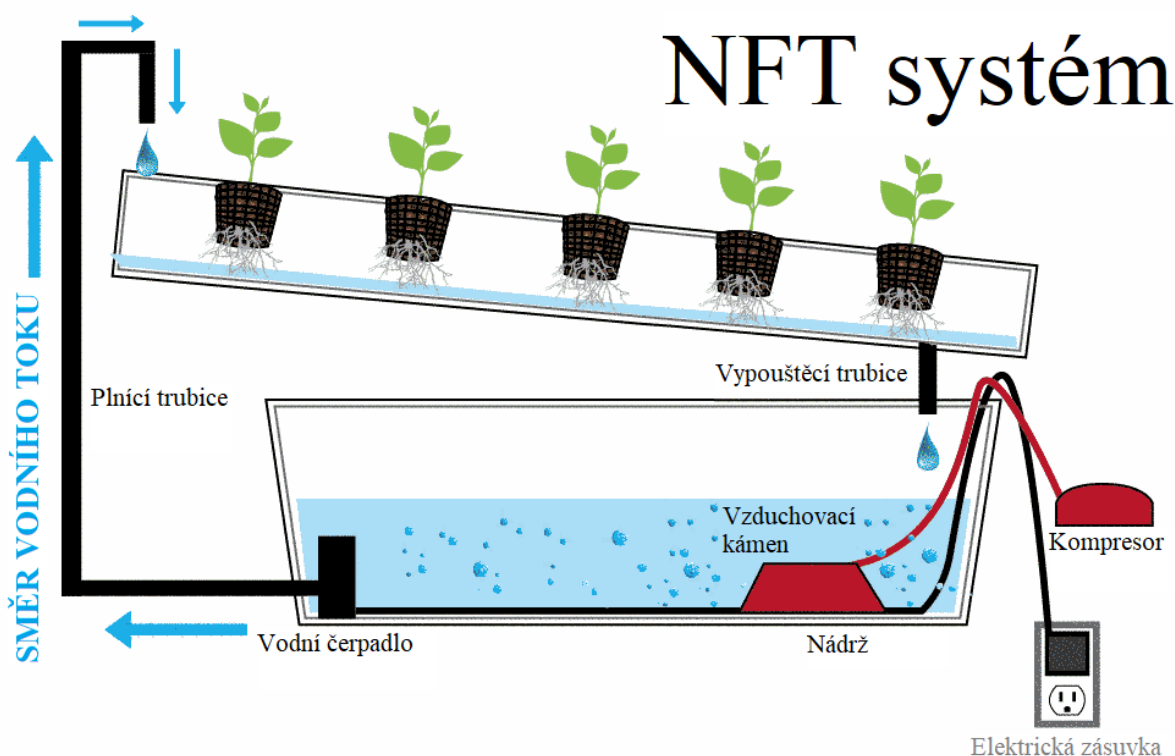
Při stavbě NFT systému se používají převážně plastové trubky (PVC trubky). Tyto trubky mohou být uspořádány do různých vzorů a využívat vertikální prostor jako jsou stěny či ploty. Důležité je při výběru trubek zvolit správný tvar a průměr. Nejlepší jsou čtvercové trubky, ale většinou se využívají klasické kulaté pro lepší dostupnost. Pokud se v NFT systému pěstují rostliny s větším kořenovým systémem, je vhodné zvolit trubku s průměrem 11 cm. Naopak pro listovou či jinou drobnou zeleninu stačí trubka s průměrem 7,5 cm (Goddek Simon et al., 2019)

Výhody NFT systému

- Kořeny mají dostatek vzduchu
- Stálý tok vody – pomáhá odvádět pevné látky a zajišťuje konstantní přísun živin pro rostliny a tím zvyšuje jejich růst, je potřeba malá jímka
- Neustálý pohyb vody pomáhá snižovat riziko růstu plísní
- Lehká hydroponická infrastruktura, vhodná pro pěstování na střeše

Nevýhody NFT systému

- Větší kořeny mohou ucpat kanály
- Kolísání vody – kolísání okolní teploty ovlivňuje teplotu vody protékající kanálky
- Při selhání čerpadla může být zničena celá úroda
- Omezený výběr pěstovaných plodin – nutnost výběru rostlin s malým kořenovým systémem
- Je potřeba samostatný biofiltr
- Nižší výnosy
- Drahý materiál (Goddek et al., 2015)



Obrázek 5 Schéma NFT systému, převzato z: ("Nutrient Film Technique (NFT)," 2022)

3.2.3 Raftový systém

Voda se v tomto systému pohybuje dlouhými kanály v hloubce přibližně 20 cm a rafty (používá se polystyren či pěnová deska) plavou na povrchu. Rostliny jsou uloženy na prknech, které jsou podepřeny síťovými květináči. Kořeny rostlin tak mohou viset dolů a využívat protékající vodu bohatou na kyslík a živiny. Tato voda proudí neustále z nádrže s rybami přes filtrační část, dále do raftové nádrže, kde jsou rostliny a poté zpět do akvakultury. Nádrž s rafty bývá oddělená od nádrže na ryby.

Kanály. Pro správné a dlouhé využití by měly být kanály z pevného a inertního materiálu, který pojme velký objem vody. Mohou mít různé velikosti, ale doporučuje se, aby

odpovídala standartní velikosti polystyrenové desky. Hloubka se pak doporučuje 30 cm, aby byl dostatečný prostor pro kořeny rostlin.

Plovoucí rafty jsou základem této techniky. Bývají vyrobené z lehkého materiálu jako je polystyren. Rostliny jsou umístěny v otvorech, tudíž jejich kořeny mohou viset do vody. Pro lepší stabilitu se využívají ještě síťové květináče, které zabraňují propadu rostlin skrz díry.

Biofiltr je místo, kde se kolonizují bakterie. Zde tyto bakterie přeměňují rybí odpad na požitelné krmivo bohaté na živiny.

Filtry zachytávají pevný odpad od ryb či rostlinného materiálu. Jedná se o velice důležitou součást systému, aby se předešlo ucpání potrubí či trysek a tím se předešlo poškození systému a zničení úrody.

Vodní čerpadla se využívají pro čerpání vody z akvakultury přes filtry do záhonů. Jsou potřebná pro cirkulaci vody a jejímu celkovému udržení v pohybu (obrázek 6) (Vergeer Andrew, 2019).

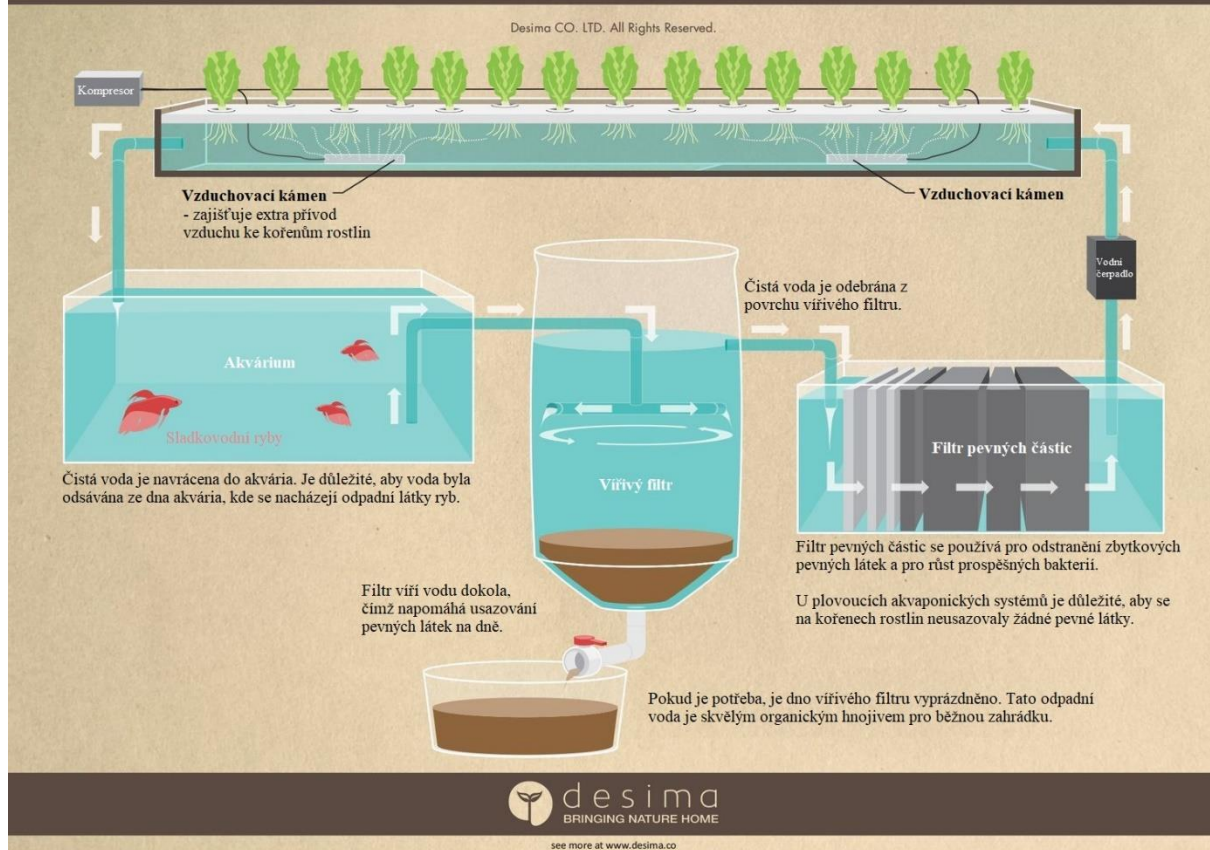
Výhody raftového systému

- Lepší dostupnost živin kořenům rostlin
- Vysoká produkce plodin s levnou pracovní silou
- Jednoduchá a levná na pořízení
- Snadnější sklizeň rostlin – kořeny jsou ponořeny pouze ve vodě, a ne v substrátu
- Objem vody zajišťuje stabilnější teplotu vody
- Snadná údržba
- Efektivní využití prostoru
- Vhodné pro domácnost i komerční využití
- Vyšší obsádka ryb díky nepřetržitému čištění

Nevýhody raftového systému

- Omezeno na pěstování menší listové zeleniny
- Nevhodné pro rostliny s velkým kořenovým systémem
- Odpařování vody v mezerách u nádrže a raftů
- Nutná filtrace
- Zvyšování nákladů kvůli filtraci a její pravidelné čištění
- Málo místa pro růst prospěšných bakterií
- Nutnost provzdušňování (Vergeer Andrew, 2019)

PLOVOUCÍ AKVAPONICKÉ SYSTÉMY



Obrázek 6 Schéma raftového systému, převzato z: (“DIFFERENT TYPES OF AQUAPONIC SYSTEMS – Desima,” 2016)

3.2.4 DAPS systém – oddělený systém

Akvaponie je stále poněkud novinka ve způsobu pěstování plodin. Základní princip spojení akvaponické a hydroponické části se v rámci několika pokusů projevil jako dostatečně neúčinný. Při rozšiřování na průmyslovou výrobu byl kladen důraz na zvýšení ekonomické životaschopnosti systému. To vedlo k úpravám systému a jeho zefektivnění (Goddek Simon et al., 2019).

DAPS (decoupled) systém spočívá ve 2 nebo více oddělených smyčkách. Smyčka vody a živin akvakulturní a hydroponické jednotky jsou zvlášť a může nad nimi být větší kontrola co se týče chemie vody (Goddek Simon et al., 2019).

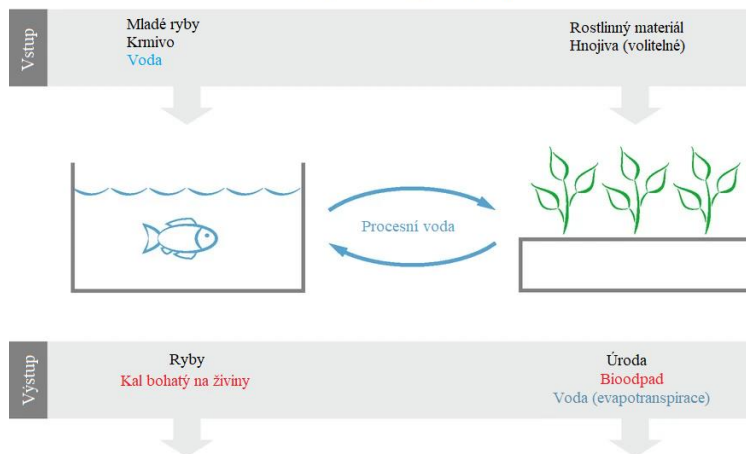
Na obrázku 7 je schéma jednotlivých možností. Možnost A je tradičně propojený systém. Možnost B je oddělený systém se dvěma smyčkami. Poslední možnost je oddělený systém s více smyčkami. Modrá barva zde znázorňuje vstupy vody a červená naopak odpadní produkty. Při pokusech bylo zjištěno, že systém pouze s jednou smyčkou je náchylný na evapotranspiraci a hromadění živin. Pro překonání těchto nevýhod byla potřeba implementace dalších smyček (Goddek Simon et al., 2019).

Výhodou více smyček jsou zajisté lepší a přirozenější podmínky pro rostliny i ryby, snížení vypouštění odpadu a zlepšení zásobování živinami. Podle práce Delaide et al. (2016),

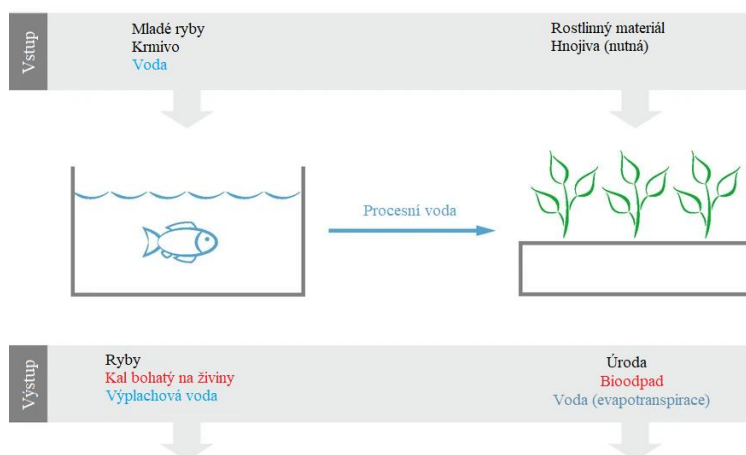
Goddek a Vermeulen (2018) a Woodcock (os. Comm.) oddělené systémy vykazují lepší růstové výsledky než jednosmyčková akvaponie (Goddek Simon et al., 2019).

Listová zelenina v oddělených prostředcích roste lépe než v hydroponických systémech. Hlávkový salát poté zaznamenal růst přibližně o 40 % větší než v nejmodernějších hydroponiích. I přes možné vyšší výnosy některých druhů zeleniny, jsou stále více smyčkové systémy složitější než hydroponické systémy a jejich počáteční investice je vyšší. Důležitou roli u nich hraje i špičková technologie skleníků – relativní vlhkost 80 %, stálé teploty kolem 20 °C. Pro získání energie na chlazení i vytápění lze využít obnovitelné zdroje, které jsou ovšem ziskové jen ve velkém (Goddek Simon et al., 2019).

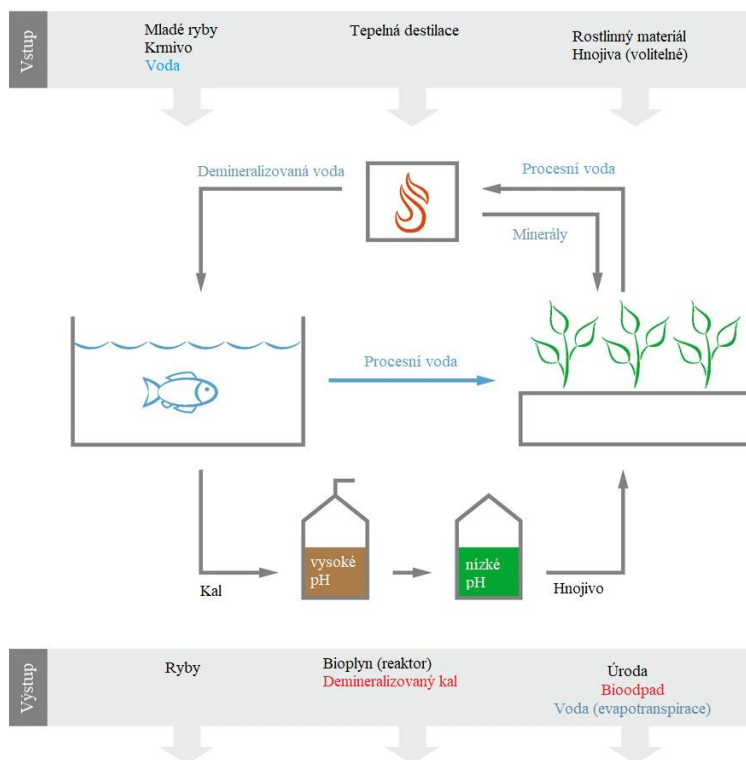
A. Párový (jednosmyčkový) systém



B. Nepárový (dvojsmyčkový) systém



C. Nepárový (vícesmyčkový) systém



Obrázek 7 Schéma systému s jednou a více smyčkami, převzato z: (Goddek Simon et al., 2019)

3.3 Historie

Historie akvaponie sahá až do dávné minulosti. Počátky jejího využití nacházíme již v Číně v 6. století a později i u Aztéků v Americe.

V Číně se vždy pěstovalo velké množství rýže. Farmáři tak po mnoho let experimentovali a hledali možnosti, jak pěstování vylepšit. V 6. století je napadlo využít kachny, ryby a rostliny k vytvoření předchůdce akvaponie. Princip byl vlastně velice jednoduchý. Pekingské kachny byly chované na rýžových polích. Tam jedly hmyz, škůdce a malé ryby. Kachní výkaly poté sežraly ryby. Většinou se jednalo o sekavce nebo úhoře bahenního. Následně byly rybí výkaly rozloženy nitrifikačními bakteriemi a rýže svým kořenovým systémem tento odpad vyčistila a díky tomu získala potřebné živiny. Pro farmáře to mělo několik pozitivních dopadů. Pro kachny měli zdarma krmení z hmyzu běžně se vyskytujícího na rýžových polích. Pro ryby naopak od kachen. Tento předchůdce akvaponie sice nebyl uzavřený systém, ale farmáři nad ním měli značnou kontrolu. Pomohli tomu i vytvářením stupňovitých teras, které pomáhaly udržovat mikroklima a řízení vypařování a proudění vody (Bononi Carla et Drew Joana, 2015).

Jako další průkopníky v oblasti předchůdců akvaponie můžeme zmínit Aztéky. Ti se před více než 600 lety usadili v oblasti jezera Texoco, kde bylo velké množství bažin. Toto nehostinné prostředí je přinutilo vymyslet jiný způsob pěstování rostlin. Tak vznikly Chinampa neboli plovoucí ostrovy (obrázek 8), které se využívaly k zemědělským účelům.



Obrázek 8 Chinampa v Aztécké říši (Jan, 2021)

Základem bylo zaražení kůlů do dna jezera a mezi ně se vpletly stébla, větve či pruty. Takto vznikl základ plovoucího ostrova. Na tento rám byla doplněna organická hmota a bahno ze dna jezera, které bylo velice úrodné. Na jezeře bylo těchto plovoucích ostrovů několik, většinou souběžně vedle sebe a mezi sebou měly kanál, kterým se k jednotlivým

ostrovům dostávali zemědělci. Celý ostrov nebyl příliš vysoký, maximálně 1 metr nad hladinou jezera. To znamenalo, že nebyla potřeba závlahy, jelikož rostliny mohly vodu čerpat přímo z jezera. Aby se předešlo erozi, na okrajích ostrovů se vysazovaly speciální rostliny, které tomu zabránily. Většinu se jednalo o tisovec Montezumův. Ten sloužil i jako zdroj stínu. Na ostrovech pěstovali nejvíce kukuřice, fazole či rajčata (“AQUAPONICS HISTORY AND BENEFITS,” n.d.).

3.4 Kvalita akvaponického roztoku

Pro správné fungování akvaponického systému je důležité sledování některých ukazatelů. Mezi ně patří například pH, které je potřeba vyvážit jak pro rostliny, tak pro ryby. Dále je důležitá kontrola hladiny fosforu, vyvážení příjmu ostatních živin či ochrana před nemocemi a škůdci.

3.4.1 pH

Rozhodujícím bodem v akvaponických systémech je stabilizace pH. Ta je zásadní pro organismy v rámci celého systému, jenž zahrnuje rostliny, ryby i bakterie. Pro každou z těchto částí je vhodné a optimální jiné pH. Rostliny potřebují pH mezi 6 – 6,5 pro zlepšení příjmu živin. Pro různé druhy ryb je vhodné jiné pH. Například pro tilapie je nejvhodnější pH mezi 7 – 9, ale jedná se o odolný druh, který vydrží kolísání pH i mezi 3,7 – 11. Zároveň je tento druh odolný vůči chorobám. Bakterie potřebují pro správný růst pH, které je nad 7. Konkrétní druhy bakterií, které se využívají v akvaponii a mají lehce různé optimální pH jsou následující: *Nitrobacter*: 7,5; *Nitrosomonas*: 7 – 7,5 a *Nitrospira*: 8 – 8,3. Podle těchto informací by měla hodnota pH být v souladu s prevencí amoniaku v systému. To znamená, že optimální hodnota pH v systému je mezi 6,8 – 7. I když kořeny při příjmu dusičnanů zvyšují pH, jelikož se výměnou uvolňují ionty hydrogenuhličitanu, proces nitrifikace toto lehké zvýšení pH ovšem dokáže opět snížit. Tento problém lze eliminovat několika způsoby (Goddek et al., 2015).

Nejpoužívanější metodou je doplnění výživy. Při přidání uhličitanu, hydrogenuhličitanu nebo hydroxidu lze dočasně upravit hodnotu pH. Také se zvyšuje parametr alkality, která zabraňuje velkým výkyvům pH. Přidávané pufrы by měly být založeny především na sloučeninách vápníku, draslíku a hořčíku, jelikož mohou dobře kompenzovat jejich nutriční nedostatek při výživě rostlin. Je tedy důležité hledat rovnováhu mezi těmito třemi prvky (Goddek et al., 2015).

Alternativou k prvně navrhované metodě může být implementace konceptu fluidního vápenatého reaktoru do oblasti akvaponie. Jde o řízené přidávání rozpuštěného vápence (CaCO_3) do kyselé vody, což vede k trvalému efektu zvyšování pH díky uvolňování hydroxidových aniontů (OH^-). Míra zvýšení závisí na nastavitelném průtoku. Tento koncept však vyžaduje předchozí empirická měření, aby bylo možné určit velikost vápenatého reaktoru (Goddek et al., 2015).

Při změně pH může nastat nerovnováha živin a rostlina bude vykazovat příznaky nedostatku nebo toxicity (Sharma et Singh, 2019).

Tabulka 1 Optimální pH a elektrická vodivost (EC), převzato z: (Sharma et Singh, 2019)

Druh plodiny	EC (dSm ⁻¹)	pH
Chřest	1.4 až 1.8	6.0 až 6.8
Africká fialka	1.2 až 1.5	6.0 až 7.0
Bazalka	1.0 až 1.6	5.5 až 6.0
Fazole	2.0 až 4.0	6.0
Banán	1.8 až 2.2	5.5 až 6.5
Brokolice	2.8 až 3.5	6.0 až 6.8
Zelí	2.5 až 3.0	6.5 až 7.0
Celer	1.8 až 2.4	6.5
Karafiát	2.0 až 3.5	6.0
Cuketa	1.8 až 2.4	6.0
Okurka	1.7 až 2.0	5.0 až 5.5
Lilek	2.5 až 3.5	6.0
Fikus	1.6 až 2.4	5.5 až 6.0
Pórek	1.4 až 1.8	6.5 až 7.0
Listový salát	1.2 až 1.8	6.0 až 7.0
Čínské zelí	1.5 až 2.0	7.0
Paprika	0.8 až 1.8	5.5 až 6.0
Petržel	1.8 až 2.2	6.0 až 6.5
Rebarbora	1.6 až 2.0	5.5 až 6.0
Růže	1.5 až 2.5	5.5 až 6.0
Špenát	1.8 až 2.3	6.0 až 7.0
Jahoda	1.8 až 2.2	6.0
Šalvěj	1.0 až 1.6	5.5 až 6.5
Rajče	2.0 až 4.0	6.0 až 6.5

V tabulce 1 jsou optimální hodnoty pH a EC, které se u různých plodin liší. Dodržení rozsahu elektrické vodivosti (EC) je důležité pro správnou absorpci živin. Jestliže se hodnota EC zvýší, zabrání vstřebávání živin kvůli osmotickému tlaku a nižší hladina ovlivní zdraví rostlin a výnos (Sharma et Singh, 2019).

3.4.2 Vyvážení živin

Pro správně vyrovnaný systém akvaponie je důležité správně dávkovat živiny, jak pro ryby, tak i pro rostliny. Cílem je maximalizovat jejich využití. Krmivo pro ryby, jakožto hlavní zdroj živin, lze rozdělit na asimilové krmivo, nespotřebované krmivo, rozpustné a rybí exkrementy. V nich se vyskytuje především amoniak, který se postupně přeměňuje na dusitany a dusičnany pomocí nitrifikačních bakterií. Dále se ve vodě vyskytují různé minerály, které mají různou rychlost solubilizace, což vede k nerovnoměrnému výskytu a ovlivňuje to jejich koncentraci ve vodě (Goddek et al., 2015).

Celkové složení krmiva ovlivňuje vylučování živin rybami. Je tedy velice důležité najít správné složení rybiho krmiva pro akvaponickou část, které je zároveň co nejbližší požadavkům části hydroponické. S tím souvisí vyhovující stanovení poměru makro- a mikro- živin, které budou ryby uvolňovat do systému. Tento ukazatel závisí na druhu ryb, hustotě, teplotě i typu rostlin. Díky těmto informacím se později snáze vyřeší doplnění minerálů pro optimální růst rostlin. Složení krmiva by tedy mělo být nastavené tak, aby se minimalizovala potřeba doplňování minerálů a zároveň se zajistily potřebné nutriční hodnoty pro výnosnost ryb a zabránilo se akumulaci fyto toxických prvků (např. Na) (Goddek et al., 2015).

3.4.3 Ochrana proti škůdcům a nemocem

V klasickém konvenčním zemědělství se mohou používat různé herbicidy či pesticidy. Použití těchto přípravků v akvaponii je ovšem problematické. Je třeba vybrat vhodné látky, které použijeme, jelikož klasické pesticidy mohou být toxické pro ryby. Problém je i u používání antibiotik či fungicidů, které odstraňují patogeny ryb ve vodním prostředí. Ty není možné pro aplikaci na rostliny používat vůbec (Goddek et al., 2015).

Možné škůdce rostlinné i rybí a patogeny lze rozdělit do několika skupin podle možností, jak se s nimi vypořádat.

1. Škůdci rostlin – většinou hmyz, který poškozuje listy a kořeny rostlin (mšice, svlušky)
2. Choroby rostlin – mikroorganismy (bakterie, houby, viry)
3. Rybí paraziti – žábrolísti, tasemnice
4. Onemocnění ryb způsobená viry a mikroorganismy

K prevenci proti těmto škůdcům a nemocem lze využít klasické chovatelské či plodinové postupy. To mohou být preventivní hygienická opatření, nízká hustota ryb či rostlin, kontrola podmínek prostředí, které snižují relativní vlhkost kolem rostlin (Goddek et al., 2015).

Zdravotní stav ryb může zhoršovat i zjevný stres. Ten vzniká především kvůli chovu v malých nádobách. Stres se projevuje zvýšenou rychlostí vynořování a lapání po dechu, třením proti stěně nádrže, poklesem růstu, zvýšením úmrtnosti či červenými tečkami nebo skvrnami kolem ploutví a očí (Estim et al., 2020).

3.4.4 Bakteriální patogeny

Vzhledem ke stále se zvyšující poptávce po produktech z akvaponických systémů, vyvstala otázka, zda produkce z tohoto systému nemůže být zdravotně závadná, kvůli opětovnému používání vody. Na tento problém se zaměřili ve výzkumu na univerzitě ve městě West Lafayette, ve státě Indiana ve Spojených státech amerických. Zde byly testovány tři plodiny: salát (*Lactuca sativa*), bazalka (*Ocimum basilicum*) a rajče (*Solanum lycopersicum*). Analyzovali stopy bakteriálních patogenů *Escherichia coli* (STEC), *Listeria monocytogenes* a *Salmonella* spp, produkující toxin Shiga (Y.-J. Wang et al., 2020).

Je dobře zdokumentováno, že faktory prostředí, jako je teplota, pH či dostupnost živin, ovlivňují bakteriální populace. Bakteriální patogeny přežily delší dobu (až 91 dní) při nízkých (4–8 °C) a mrazivých (-4 °C) teplotách než při vyšších (20–30 °C) teplotách (až 84 dní). Dostupnost živin (např. dusíku) a zdrojů energie je klíčovým faktorem ovlivňujícím přežití bakterií v prostředí. Bylo prokázáno, že životaschopnost *E. coli* se zvyšuje v půdách bohatých na živiny. Vzhledem k tomu, že vysoká hladina živin v hydroponickém roztoku je také ideální pro růst bakterií, jejich zavlažovací voda obsahující vysokou koncentraci živin představuje největší riziko kontaminace bezpůdního kultivačního systému. Ve skutečnosti bylo hlášeno, že zásobárny živin hydroponických systémů mohou být zdrojem kontaminace. Enterické patogeny jsou fakultativní anaerobní bakterie. Důsledkem těchto podmínek prostředí je, že patogenní bakterie mohou růst ve skleníkových akvaponických a hydroponických systémech, pokud jsou do nich zavlečeny jakýmkoliv způsobem (Y.-J. Wang et al., 2020).

Ve výzkumu se testovala přítomnost STEC ve výkalech ryb. STEC byly také detekovány na povrchu kořenů, ale nebylo zjištěno, že by se internalizovaly do kořenů nebo jedlých částí salátů, bazalky či rajčat. Výsledky tedy naznačují, že zavlečení kontaminovaných ryb může být zdrojem potravinových patogenů v akvaponii. Hlavním zdrojem kontaminace během produkce by bylo náhodné potřísnění vodou do jedlých částí rostliny během sklizně. Riziko kontaminace může zvýšit i lidská činnost. V této studii se počítá s možností zavlečení bakterií od návštěvníků skleníku, během krmení ryb, během odběru vzorků a nebo křížovou kontaminací z jiných lidských činností (Y.-J. Wang et al., 2020).

Ze studie vyplývá, že výskytu bakteriálních patogenů by šlo zabránit, pokud by byly celé systémy před každým použitím důkladně dezinfikovány a pro chov by se použily ryby bez patogenů. Jednou z hlavních cest patogenu do rostliny je přes místa biologického nebo fyzického poškození anebo přes přirozené otvory na povrchu rostliny, jako jsou průduchy, lenticely a místa laterálního vzházení kořenů. E coli může být také internalizována, pokud se během klíčení použije kontaminované semeno nebo voda. Co se týče výskytu *L. monocytogenes*, jejich přítomnost se nezjistila ve vodě ani rybích výkalech. Běžně může být zdroj této bakterie v půdě, což v akvaponickém systému není překážkou. Může se ovšem objevit v kontaminovaných semenech či následkem lidské činnosti. I přes optimální rozsah pH pro růst *Salmonella* spp. (6,5 – 7,5) a teplotní rozsah mezi 20 a 30 °C, se ve vzorcích odebraných z nádrže s rybami, živných nádrží, kultivačních jednotek, rybích výkalech, kořenech či jedlých částech rostlin neobjevily populace rodu *Salmonella* spp. (Y.-J. Wang et al., 2020).

4 Produkce konkrétních druhů zeleniny

V akvaponickém systému lze pěstovat mnoho druhů rostlin. Vzhledem k relativně novému způsobu této možnosti pěstování však ještě nemáme dostatek informací o konkrétních dopadech na jednotlivé odrůdy. Ve výzkumech po celém světě se nejčastěji setkáme s pěstováním salátu hlávkového (*Lactuca sativa*) nebo rajčete jedlého (*Solanum lycopersicum*). Tato práce se v dalších kapitolách zaměří konkrétněji na tyto dva druhy zeleniny.

4.1 Salát hlávkový (*Lactuca sativa*)

Hlávkový salát je známá listová zelenina patřící do čeledi hvězdnicovitých (*Asteraceae*). Jedná se o rostlinu bohatou na živiny, jako jsou minerály a organické látky. Obsahuje také vitamín C, betakaroten či vlákninu. Je součástí vyvážené stravy, především pro svůj nízký obsah kalorií a absenci cholesterolu. Salát sám o sobě patří mezi rostliny velmi bohaté na dusičnany (Kovácsné Madar et al., 2019).

Pěstování salátu v akvaponickém systému dává možnost produkce po celý rok, čímž může zajistit nabídku i v průběhu zimních měsíců. Výhodou je také zkrácení vegetačního období, které je zde 30 dní. Oproti tomu v konvenčním zemědělství je vegetační období téměř 60 dní. Využití pěstování formou akvaponických systémů je účinné především v místech s nedostatkem půdy k obdělávání či problémem s množstvím vody (Kovácsné Madar et al., 2019).

I přes poněkud nový způsob pěstování, kterým akvaponie je, existují studie, které se zaměřují přímo na pěstování salátu v těchto systémech (Goddek et Vermeulen, 2018; Jaeger et al., 2019; Kovácsné Madar et al., 2019; Monsees et al., 2019; Nozzi et al., 2018; Rouphael Youssef et al., 2009)

4.1.1 Dusičnany

Dusičnany patří do kontaminantů, které při vysoké spotřebě mohou mít škodlivý vliv. Proto je důležitá jejich kontrola v potravinách. Tím se zabývá například Evropský úřad pro bezpečnost potravin (EFSA). Limity pro jednotlivé dusičnany i dusitany určuje příslušná legislativa. Dle legislativy se čerstvý hlávkový salát ohledně obsahu dusičnanů dělí ještě na 2 podkategorie. V tabulce 2 je znázorněná hodnota pro jednotlivé sklizně. Jedná se o upravené hodnoty na základě Nařízení Komise 1258/2011/EU platné od 2.12.2011 (European Union, 2011). Dusičnany v zelenině se objevují běžně. Jsou však potraviny, které jich obsahují méně a některé více. Velice záleží na použití dusíkatých hnojiv nebo světla při růstu rostlin, které se na jaře a v létě liší. (Matallana González et al., 2010). Z toho důvodu jsou na základě Nařízení Komise rozděleny hodnoty na 2 časová období.

Tabulka 2 Hodnoty limitů obsahu dusitanů v listové zelenině dle Nařízení Komise, převzato z: (European Union, 2011)

Sklizeň od 1. října do 31. března	
-salát pěstovaný pod ochranným krytem	5000 mg NO ₃ /kg
-salát pěstovaný na otevřených plochách	4000 mg NO ₃ /kg
Sklizeň od 1. dubna do 30. září	
-salát pěstovaný pod ochranným krytem	4000 mg NO ₃ /kg
-salát pěstovaný na otevřených plochách	3000 mg NO ₃ /kg

Co se týče obsahu dusičnanů v zelenině, lze tyto hodnoty zjišťovat jak z listů rostliny, tak přímo z plodu. Pro analýzu byl použit práškový list salátu smíchaného s destilovanou vodou. Reakcí vzniklo červeno-fialové azobarvivo. Množství tohoto barviva se poté měřilo refraktometrem (Monsees et al., 2019).

V několika různých výzkumech bylo potvrzeno, že obsah dusičnanů v zelenině pěstované v akvapponických systémech je srovnatelný s komerčním způsobem pěstování. V obou způsobech dosahují hodnoty ještě menších limitů, než je maximální hodnota určená Evropskou komisí (Pérez-Urrestarazu et al., 2019).

4.1.2 Fenolické sloučeniny

Fenolové sloučeniny rostlinného původu a jejich antioxidační aktivita mají příznivé zdravotní účinky na člověka. Mohou zlepšit přežití buněk či bránit růstu nádorů. Jejich obsah je tak běžně zkoumaný jako kvantitativní parametr pro hodnocení. Příjem ovoce a zeleniny je důležitý zdroj polyfenolů v lidské stravě. Celkově jsou polyfenoly nejvíce zastoupenými antioxidanty ve stravě. Jejich denní příjem může být až 1 g/den. Tato hodnota je mnohem vyšší než u ostatních tříd fotochemikálií. Jedná se tedy například o příjem až 10 x větší, než je příjem vitamínu C nebo 100 x než vitamínu E a karotenoidů (Scalbert et al., 2005).

Salát samotný vykazuje velké množství antioxidačních látek, jedná se tedy o dobrý zdroj fenolických sloučenin. Vždy však záleží i na způsobu pěstování dané rostliny. Faktory mohou být světlo, teplota, hospodaření s vodou, koncentrace oxidu uhličitého či hnojení. Při pěstování v akvapponickém či hydroponickém systému mohou nastávat rozdíly. Například při rostoucím obsahu dusíku v půdě se mohou snižovat obsahy fenolických kyselin a flavonoidů. Naopak zvyšující se obsah draslíku má za následek nárůst fenolických sloučenin (Monsees et al., 2019).

4.1.3 Zhodnocení

Tabulka 3 Shrnutí studií zabývajících se pěstováním salátu v akvaponii

druh plodiny	dusičnany mg/kg	dusitany mg/kg	chlorofyl mg/kg	zdroj
salát	5 896.3 ± 453.7			(Monsees et al., 2019)
salát dubáček (jaro)	1 698		558.9	(Rouphael Youssef et al., 2009)
salát dubáček (léto)	2 015		679.3	
salát Edina	170 ± 48.08	1.39 ± 0.04		(Kovácsné Madar et al., 2019)
salát Lollo Rossa	23.25 ± 4.31	0.53 ± 0.02		
salát Lollo Bionda	73.40 ± 5.52	0.81 ± 0.01		
salát Május királyá	53.55 ± 0.49	0.68 ± 0.03		
římský salát	613.3			(Pérez-Urrestarazu et al., 2019)
salát	2 000 - 3 000			(Nozzi et al., 2018)

V tabulce 3 jsou shrnuté studie zabývající se pěstováním salátu v různých druzích akvaponie. Jak je zřejmé z tabulky, každá studie se soustředila na zjišťování trochu jiných informací. Hodnoty, které se objevily v každé z těchto studií, byl obsah dusičnanů v salátu. Jak již bylo zmíněno, pro obsah těchto látek jsou nastavené maximální přípustné limity na území Evropské unie. Ty se pohybují v rozmezí od 3000 do 5000 mg/kg v závislosti na ročním období. Toto rozdělení bylo zmíněno jen ve studii Rouphael Youssef et al., (2009), kde obě naměřené hodnoty byly výrazně menší, než je spodní hranice limitů. Ve stejné studii byl také zmíněn chlorofyl. Ten byl o více než 100 mg/kg vyšší v letním sběru. Ve všech studiích zmíněných v tabulce 3 jsou hodnoty u dusičnanů v rámci přípustných limitů. Jediná studie Monsees et al., (2019) naměřila hodnoty vyšší.

Naopak hodnoty z pokusu Kovácsné Madar et al., (2019) jsou o mnoho nižší než u ostatních. To může souviset s obsahem dusičnanů ve vodě. Dále v této kapitole je porovnání v rámci jednoho pokusu hodnot z akvaponie a hydroponie, kde jsou vidět výrazné rozdíly v obsahu dusičnanů a dusitanů.

Z tabulky je dále patrné, že je nedostatek studií zabývajících se obsahem dusičnanů, dusitanů a chlorofylu v salátu pěstovaném akvaponicky a následné srovnání s hydroponií či pěstování s použitím půdy.

Při porovnání konvenčního zemědělství a využití akvaponie či hydroponie dosahovaly výnosy podobných hodnot. Dosahovaly také podobných počtů listů, listové plochy i obsahu sušiny u všech hlávek salátu. Mezi hydroponií a akvaponií není rozdíl co se týče nutričních hodnot, u akvaponie však můžeme využívat až o 63 % méně minerálních hnojiv a až o 100 % méně čerstvé vody.

Vlivy vegetačního období a složení živného roztoku na makroživinové složení listu salátu, vycházející ze studie Roupael Youssef et al., (2009), lze vyčíst v tabulce 4. Je zde patrné, že koncentrace N, K a Mg byly silně ovlivněny vegetačním obdobím, zatímco koncentrace Ca byla ovlivněna pouze složením roztoku. Nebyl pozorován žádný významný rozdíl mezi ošetřeními pro koncentraci P. Bez ohledu na složení živného roztoku byly koncentrace N, K, a Mg v listovém salátu zaznamenané v letní sezóně vyšší o 4 %, 21 % a 15 % (Roupael Youssef et al., 2009).

Tabulka 4 Hlavní vlivy vegetačního období a složení živného roztoku na makroživinové složení listů salátu, převzato z: (Roupael Youssef et al., 2009)

Způsob pěstování	Makronutrienty (g kg ⁻¹ DW)				
	N	P	K	Ca	Mg
Roční období					
Jaro	46.2 b	5.5	58.6 b	8.9	4.8 b
Léto	48.0 a	5.9	71.1 a	9.4	5.5 a
Složení živného roztoku					
T _N	48.0 a	5.7	69.7 ab	9.0 b	4.7 b
T _P	46.7 b	6.1	65.1 abc	8.9 b	4.8 b
T _S	45.8 b	5.7	66.9 abc	9.2 b	4.5 b
T _K	47.3 ab	6.0	74.7 a	8.4 b	4.5 b
T _{Ca}	47.6 ab	5.4	53.7 c	11.3 a	5.3 b
T _{Mg}	47.3 ab	5.4	59.0 bc	8.0 b	7.0 a
Význam					
Roční období (S)	*	NS	**	NS	*
Živinné složení (N)	*	NS	*	*	**
S x N	NS	NS	NS	NS	NS

T_N, T_P, T_S, T_K, T_{Ca}, T_{Mg} jsou živinné kumulace se zvýšeným obsahem NO₃, H₂PO₄, SO₄²⁻, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, respektive NS, * a ** neprůkazný či průkazný na P≤0,05; respektive 0,01. Jako způsob oddělení byl použit Duncanův test s P=0,05.

Ve stejné studii se zabývali i celkovým chlorofylem, karotenoidy, koncentrací dusičnanů a barevnými parametry. Pouze celkový chlorofyl a koncentrace dusičnanů zde byly ovlivněny iontovými poměry v živném roztoku. Ostatní parametry byly silně ovlivněny vegetačním obdobím. Bez ohledu na složení živného roztoku byl obsah celkového chlorofylu, celkových karotenoidů a dusičnanů významně vyšší v letní sezóně až o 22 %, 60 % a 19 % v porovnání s jarní sezónou. Navíc nejvyšší koncentrace celkového chlorofylu a dusičnanů byly zaznamenané u rostlin pěstovaných v živném roztoku s vysokým podílem Ca a N, zatímco nejnižší hodnoty byly pozorovány u P a Mg pro celkový chlorofyl a Ca pro koncentraci dusičnanů (Roupael Youssef et al., 2009). Z nutričního hlediska má vysoký podíl vápníku v živném roztoku také vliv na koncentraci vápníku, glukózy a fruktózy. Vápník samotný hraje důležitou roli ve vývoji rostlin i celkovém zdraví rostlin, jelikož je strukturální složkou buněčné stěny a je nezbytný pro růst a dělení buněk. Přímou v hlávkovém salátu může zvýšení vápníku v pletivech listů zvýšit fotosyntetickou kapacitu a také syntézu chlorofylu. To může vést ke zvýšení primárního produktu fotosyntézy, jako je glukóza a fruktóza. V listové zelenině mají tyto rozpustné cukry vliv na chuť (Roupael Youssef et al., 2009).

Jak již bylo zmíněno výše, v Evropské unii platí limity pro maximální obsah dusičnanů v zelenině. Co se týče konkrétně listové zeleniny, jako hlavní faktory se uvádí přísun dusičnanů formou hnojení a intenzitu světla. Vysoký podíl N v živném roztoku způsobil lineární nárůst obsahu dusičnanů, ale hodnoty v pletivech listů nebyly nikdy tak vysoké jako limitní hodnota 4500 mg/kg čerstvé hmotnosti, jak udává Evropská komise ve svém nařízení (Roupael Youssef et al., 2009).

Tabulka 5 Obsah dusičnanů, dusitanů (mg/kg) a obsah sušiny (%), převzato z: (Kovácsné Madar et al., 2019)

Metoda pěstování	Odrůda	Obsah suché složky v %	Dusičnany mg.kg ⁻¹	Dusitany mg.kg ⁻¹
Akvaponický systém	‘Edina’	5.76 ± 0.74	170 ± 48.08	1.39 ± 0.04
	‘Lollo Rossa’	7.48 ± 0.08	23.25 ± 4.31	0.53 ± 0.02
	‘Lollo Bionda’	6.52 ± 0.06	73.40 ± 5.52	0.81 ± 0.01
	‘Május királya’	6.99 ± 1.49	53.55 ± 0.49	0.68 ± 0.03
Hydroponický systém	‘Edina’	5.62 ± 0.11	406.50 ± 4.95	4.91 ± 0.11
	‘Lollo Rossa’	8.51 ± 0.36	325.50 ± 16.26	2.95 ± 0.28
	‘Lollo Bionda’	6.55 ± 0.66	299.00 ± 16.97	3.10 ± 0.08
	‘Május királya’	5.42 ± 0.39	269.50 ± 28.99	2.43 ± 0.03

V tabulce 5 jsou zaznamenány hodnoty dusičnanů, dusitanů a obsahu sušiny v jednotlivých typech systému a rozdělené na konkrétní druhy salátů.

Z tabulky lze vyčíst že, obsah dusičnanů byl celkově mnohem nižší u salátu pěstovaném v akvaponii. Tam se hodnoty pohybovaly od 23 mg/kg po 73 mg/kg, což je daleko méně, než jsou vůbec povolené maximální hodnoty od Evropské komise (Kovácsné Madar et al., 2019). Naopak v hydroponickém systému jsou hodnoty až v řádech několika stovek mg/kg. Stále se však jedná o hodnoty nižší, než je povolený limit.

Při porovnávání obsahu sušiny salátů z akvaponie a hydroponie takové velké rozdíly patrné nejsou. Z tohoto výzkumu tedy vyplývá, že výnosnost v obou systémech je podobná a nemůžeme jasně říci, že by akvaponický systém byl výhodnější než hydroponický,

4.2 Rajče jedlé (*Solanum lycopersicum*)

Rajče jedlé je jednoletá bylina, která může dosahovat až 200 cm. Zralé plody se využívají ve studené i teplé kuchyni. Jsou bohaté na beta-karoten, vitamín C. Obsahuje i vitamín B, lykopeny, chrom i draslík. Významný je i vysoký podíl vlákniny (“*Solanum lycopersicum* - Monaco Nature Encyclopedia,” n.d.).

Rostlin, které lze pěstovat v akvaponickém systému je mnoho. Z rostlinných druhů zeleniny a bylin to může být pažitka, bazalka, salát či špenát. Dále lze pěstovat rajče, papriku, okurku či tykev. Tyto rostliny mají obecně vyšší nároky na výživu a je potřeba většího doplňování živin v systému. Pro pěstování rajčat se nejčastěji používají odrůdy skleníkové,

kteře se lépe přizpůsobují podmínkám nízkého osvětlení a vysoké vlhkosti (Schmautz et al., 2016).

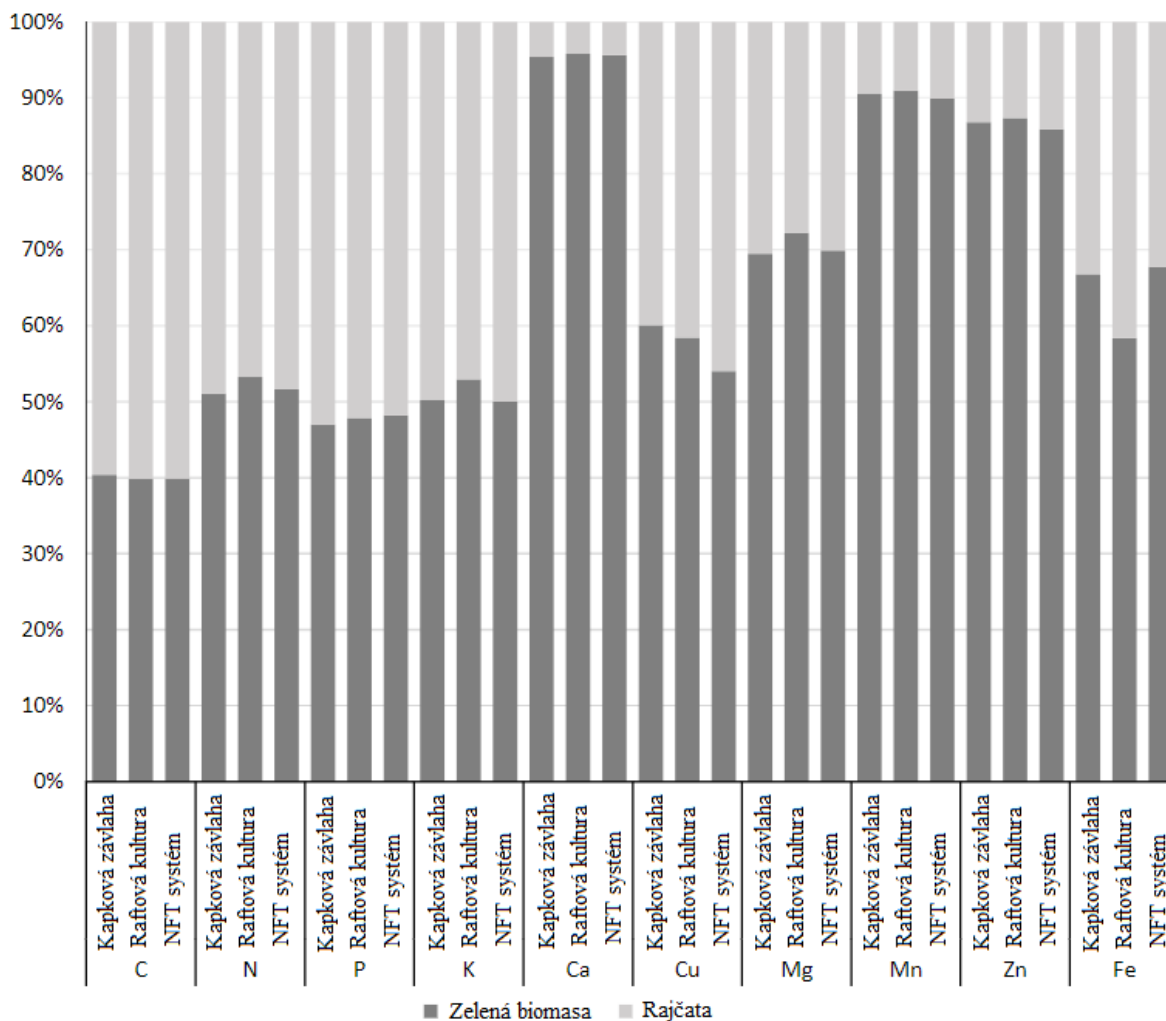
Sledování obsahu živin v listech je využíváno pro zjišťování nutričního stavu rostlin. To je důležité pro zhodnocení správného pěstebního postupu a výběr vhodného systému. Naopak koncentrace látek v plodu je důležitá pro nutriční hodnoty (Schmautz et al., 2016).

V rámci experimentu na univerzitě v Curychu ve Švýcarsku byly vysázeny 4 druhy rajčat a v akvaponické části tilápie nilská (*Oreochromis niloticus*). V průběhu experimentu byly použity ochrany prospěšnými organismy (*Encarsia formosa*, *Ichneumon*s, *Phytoseiulus persimilis*). Tato ochrana byla prováděna v závislosti na potřebách. Během celého experimentu probíhala kontrola hniloby listů i kořenů. Od poloviny růstu rostlin kořenová soustava ucpávala kanály a nedovolovala správné proudění vody, tudíž bylo potřeba pravidelného zastřihávání (Schmautz et al., 2016).

Tabulka 6 Obsah látek v plodu rajčete a jeho listech, převzato z: (Schmautz et al., 2016)

Minerální látky	Analýza listů		Analýza ovoce		
	1. sklizeň	2. sklizeň	1. sklizeň	2. sklizeň	3. sklizeň
C (mg·g ⁻¹)	325.0	359.0	403.6	393.2	391.7
N (mg·g ⁻¹)	40.0	40.0	19.8	14.3	18.8
P (mg·g ⁻¹)	2.0	5.0	1.6	4.6	6.3
K (mg·g ⁻¹)	24.0	58.0	12.9	38.1	47.2
S (mg·g ⁻¹)	8.0	25.0	0.5	1.2	1.7
Mg (mg·g ⁻¹)	2.0	4.0	0.4	1.1	1.2
Fe (μg·g ⁻¹)	36.0	175.0	20.7	40.4	60.4
Ca (mg·g ⁻¹)	14.0	41.0	0.3	0.8	1.4
Cu (mg·g ⁻¹)	2.0	8.0	2.0	4.4	13.2
Mn (μg·g ⁻¹)	336.0	1564.0	9.0	39.1	35.5
Zn (μg·g ⁻¹)	7.0	58.0	5.7	16.4	22.4

V tabulce 6 jsou vypsány koncentrace jednotlivých minerálů v listech a plodech v produkci rajčat. Nejvyšší koncentrace v plodech má uhlík, poté draslík a železo. Naopak nejméně zastoupen je zde hořčík a vápník. Co se týče listů, nejvíce bylo naměřeno manganu a uhlíku (Schmautz et al., 2016). Jedná se o hodnoty podobné jako se vyskytují u rajčat obecně. To naznačuje, že rajčata z experimentu mají očekávaný obsah minerálních látek jako rajčata tržní (Schmautz et al., 2016).



Obrázek 9 Distribuce celkové absorpce živin v rostlině, převzato z: (Schmautz et al., 2016)

Na obrázku 11 je znázorněna distribuce konkrétních látek v zelené biomase rostliny a plodů rajčete. Je patrné, že mezi jednotlivými způsoby pěstování (kapkové zavlažování, raftová kultura a NFT systém) nejsou výrazné rozdíly. Největší rozdíl byl pozorován u železa, kde kapkové zavlažování a NFT systém měly podobné hodnoty, ale u raftové kultury byl větší obsah železa v rajčeti. Co se týče konkrétních prvků, v zelené biomase se nejvíce vyskytuje vápník, mangan a zinek. Vyšší hodnoty v biomase byly ještě naměřeny u manganu, zinku a hořčíku. U ostatních prvků byl poměr mezi obsahem v zelené biomase a obsahem v rajčeti vyrovnaný (Schmautz et al., 2016).

Pěstování rajčat v akvaponii v porovnání s hydroponií se věnovala i studie Suhl et al., (2016). V té zjistili, že sušina rajčat pěstovaných v akvaponii (5,12 %) je výrazně nižší než z hydroponie (5,37 %). Nicméně obě hodnoty jsou v rozmezí pro obsah sušiny uvedené pro rajčata, která činí 5,09 – 9,49 % (Frusciante et al., 2007). Zjišťoval se i obsah karotenoidů – lykopenu a β -karotenu. Ty se řadí mezi antioxidanty, tedy jsou prospěšné pro lidské zdraví. Bylo zjištěno, že obsah lykopenu se v rajčatech zvyšuje se zvyšujícím se přísunem P nebo S. Pro spotřebitele je důležitá i chuť plodu. Ta souvisí i s obsahem refraktometrické sušiny a poměru cukr-kyselina. Nebylo zde přímo prokázáno, ale je možné, že ovocná chuť rajčat vypěstovaných v hydroponii se pozitivně lišily od rajčat dozrávajících v akvaponii. Aby

ovoce produkované v akvaponii bylo konkurence schopné, je důležitá jeho chuť. Jak bylo zmíněno v tomto výzkumu, je důležité provedení dalších senzorických analýz a experimentů (Suhl et al., 2016). Celý experiment byl projektován v DRAPS (double recirculating aquaponics systém), systému se dvěma nezávislými cykly. Výsledky ukázaly, že se jedná vhodný typ systému, který dokázal zlepšit efektivitu využití hnojiva o 23,6 % a na 1 m³ čerstvé vody bylo vyprodukováno 46,1 kg rajčat a 1,5 kg tilápie nilské. Vyplývá z toho možnost snížení provozních nákladů rostlinné výroby a odlehčení životnímu prostředí (Suhl et al., 2016).

5 Výhody a rizika

Při pěstování plodin v akvaponických systémech lze narazit na možná rizika či výhody. Mezi výhody se řadí například zkrácení vegetační doby. Jak bylo zmíněno výše, u salátu lze tuto dobu zkrátit až na polovinu, tedy z 60 dní na 30. To může pomoci zajistit dostatečnou zásobou po celý rok. To je však výhoda spíše ekonomická. Důležitější pohled na možná rizika a výhody je z nutričního hlediska.

Jeden ze sledovaných parametrů je obsah minerálních látek. Ten závisí na obsahu těchto látek v půdě či vodě. Důležitá je i doba hnojení, zda se jedná o hnojení na začátku či konci vegetačního období. Zkoumají se především látky jako jsou P, K, S, Ca, Fe, Cu a Zn. Kvůli bezpečnosti a možné toxicitě se dále zkoumají hodnoty látek Hg, Cd, Cr a Ni (Affum et al., 2020).

Dalším možným rizikem může být koncentrace dusičnanů. Ta se sleduje ve všech druzích zeleniny. Je vydáno i nařízení Evropské komise o maximálním povoleném obsahu dusičnanů v prodávané zelenině. Je však možné ovlivnit například množstvím světelného záření. Dusičnany mohou mít vliv i na výnosnost. Při pokusu (Alcarraz et al., 2018) bylo zjištěno, že salát z akvaponie měl vyšší výnosnost a zároveň nižší koncentraci dusičnanů. To však může souviset i s vhodnou volbou druhu ryb do akvaponické části a teplotou vody v této části či množstvím dusičnanů na začátku pěstování (Alcarraz et al., 2018). Ovšem není pravidlem, že při použití více dusíkatých hnojiv, bude zajištěn vyšší výnos. Naopak se může stát, že se více dusičnanů bude kumulovat přímo v rostlině (Z. Wang et Li, 2007).

Při pěstování zeleniny se zkoumají i polyfenoly a chlorofyl. Polyfenolické látky jsou důležitými antioxidanty pro lidské tělo. A navíc spolu s chlorofylem poskytuje informace zdravotním stavu konkrétní rostliny (Scalbert et al., 2005). Co se týče chlorofylu, výzkum (Saha et al., 2016) neukázal výrazné rozdíly v obsahu mezi rostlinami pěstovanými v akvaponickém a hydroponickém systému. Bez dostatečného množství různých výsledků nelze s jistotou říci, že by akvaponický systém nemohl produkovat rostliny s větším či menším množstvím chlorofylu.

Velkým rizikem v rámci pěstování zeleniny v akvaponickém systému lze označit i problém mikrobiologický. Vzhledem k malému počtu dostupných výzkumů, nelze říct, zda akvaponickou zeleninu ve větší míře nemohou postihovat mikrobiologické problémy. Jednalo by se například o *Escherichiae coli* (STEC), *Listeria monocytogenes* a *Salmonella spp*, produkující Shiga toxin (Y.-J. Wang et al., 2020).

V neposlední řadě je důležité myslet i na zákazníky, kteří by měli nebo už mají zájem, o produkty z akvaponických systémů. Pokud nebudou odběratelé vypěstovaných plodin, nemá systém příliš velkou budoucnost. Jelikož zákazník nakupuje všemi smysly, je zapotřebí, aby výsledné produkty dobře vypadaly a zároveň i dobře chutnaly a voněly. V roce 2009 proběhl jeden výzkum na pěstování rajčat, lilku a okurek v akvaponickém a hydroponickém systému. Po sklizni byla provedena sensorická analýza, která přinesla následující výsledky: 15 % lidí preferovalo chuť rajčat vypěstovaných v akvaponii, 21 % v hydroponii, 47 % pěstovaných v půdě a 17 % nedokázalo rozeznat žádné rozdíly (Graber et Junge, 2009). Pro sensorické hodnocení produktů z akvaponie je však velice málo podkladů a nelze tedy jednoznačně říci, zda by se mohlo jednat o sensoricky lepší produkty než z konvenčního či jiného způsobu pěstování.

6 Ekologie

Rostliny pěstované v akvaponických či hydroponických systémech jsou udržovány pomocí minima chemických či antibiotických přísad. Proto jsou plodiny standardně zdravé a mnohými považované za ekologicky pěstované, ačkoliv jsou bez půdy a na většině místech nemohou být certifikovány jako ekologické. Snížení spotřeby vody a využívání půdy dělá z akvaponie životaschopné řešení produkce potravin jak pro suchá prostředí, tak pro rozvojové ekonomiky, stejně jako pro rostoucí městskou populaci. Komerční akvaponie je stále se rozvíjející odvětví v raných vývojových fázích. Podle některých studií z let 2011 či 2015 byla akvaponie považována za okrajově ziskovou. Nerentabilní s čistými ztrátami na rybách, ale čistými zisky na zelenině nebo potenciálním ziskem, ale vysokou citlivostí na tržní ceny produktů (Greenfeld et al., 123AD).

Pro analýzu nákladů a přínosů je třeba definovat sociální a enviromentální přínosy systému. Enviromentální přínosy je obtížné posoudit, protože systémy se liší výkonem a strukturou, včetně technické variability a rozdílů vyplývajících z klimatických zón a krajiny. Akvaponie je prospěšná v suchých oblastech, protože voda je recyklována a vyžaduje minimální doplňování. V městech, ať už v mírných nebo suchých oblastech, může akvaponie významně přispět k vodní a energetické účinnosti a snížení zplodin vyprodukovaných při dovozu potravin spotřebitelům. Pro spolehlivé posouzení dopadu každého systému na životní prostředí by bylo vyžadováno posouzení konkrétního případu, ale v současnosti chybí dostatečné znalosti, které by poskytly základ pro analýzu nákladů a přínosů. Cenným přístupem k řešení problémů je posouzení dopadu životního cyklu na životní prostředí (Greenfeld et al., 123AD).

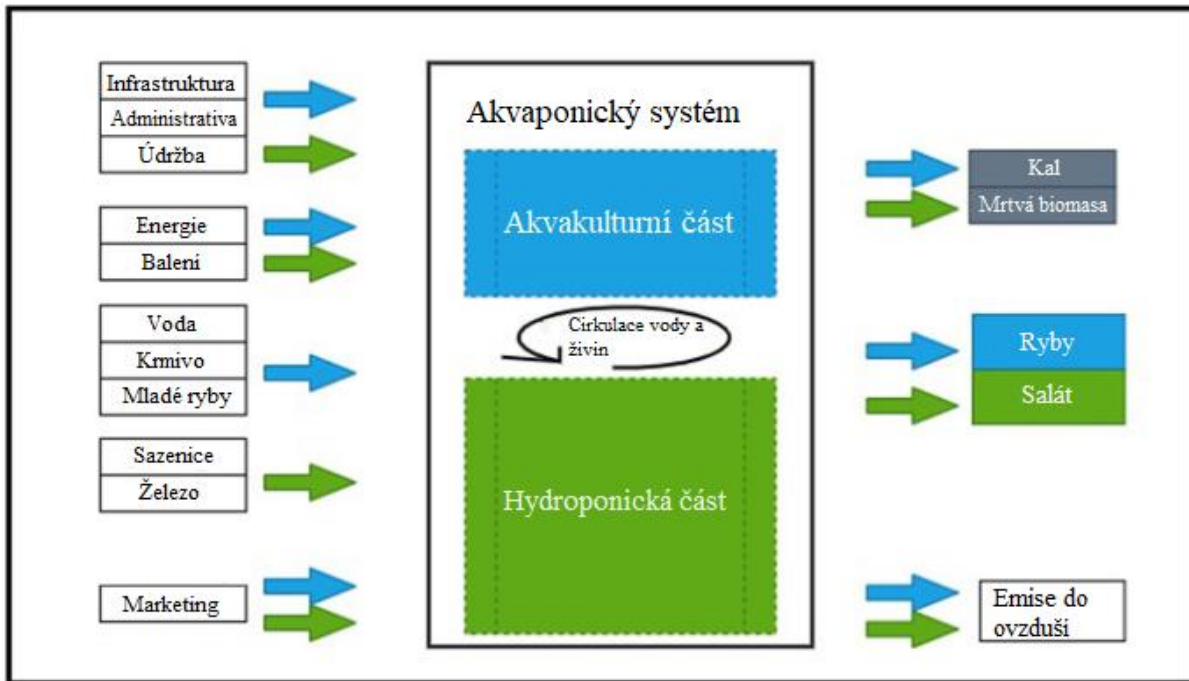
Dopad na životní prostředí se obvykle uvádí pomocí kategorií dopadů, které agregují několik výsledků sdílejících vliv na životní prostředí, například globální oteplování v důsledku emisí několika druhů skleníkových plynů, acidifikace oxidy dusíku a síry a eutrofizace, která zahrnuje různé formy dusíku a fosforu obohacující vodní systémy (Greenfeld et al., 123AD).

Existuje překvapivě malý počet studií zaměřených na vliv akvaponie na životní prostředí. Zjistily, že je obtížné je porovnávat, jelikož každý systém je jinak velký a má jiný rozsah (Greenfeld et al., 123AD).

Srovnání hodnocení dopadu na životní prostředí byla provedena v devíti studiích následujícími způsoby:

1. Porovnání ryb a rostlin pěstovaných v akvaponii s odděleným pěstováním rostlin a ryb. Ve srovnání s konvenčním zemědělstvím bylo zjištěno, že akvaponie spotřebuje méně vody a půdy, ale může spotřebovat více energie.
2. Porovnávání pouze rostlin pěstovaných v akvaponii se stejnými rostlinami v hydroponii nebo pouze ryb pěstovaných v akvaponii se stejnými rybami v systémech akvakultury. Ve srovnání s hydroponickým zemědělstvím bylo zjištěno, že akvaponie má menší dopad, pokud jde o změnu klimatu, acidifikaci, eutrofizaci, zábor půdy a kumulativní poptávku po energii, ale bylo použito více přírodních zdrojů pro výrobu rybího krmiva. Ve srovnání s konvenčními RAS byla akvaponie identifikována jako lepší pro životní prostředí z hlediska využití energie a potenciálu eutrofizace, využívání vody a půdy (Greenfeld et al., 123AD).

Studie dopadu na životní prostředí porovnávající výkonnost různých akvaponických systémů označily výhody plovoucích raftových systémů oproti akvaponii založené na médiích a uvedly enviromentální přínosy větších akvaponických systémů.



Obrázek 10 Obecný plán akvaponického systému s jeho hranicemi a různými vstupy, převzato z: (Greenfeld et al., 123AD)

Obrázek 12 popisuje všechny vstupy a výstupy se kterými se počítalo při výzkumech. Je z něho patrné, které vstupy jdou do hydroponické a které do akvaponické části systému. Infrastruktura a krmivo pro ryby byly většinou studií označeny za hlavní vstupy do systémů, které přispívají k jejich dopadu na životní prostředí. V chladných klimatech, kde se spotřebovává energie na vytápění systémů, jako je například severní Evropa, středo západ Spojených států či Kanada, byla energie dalším dominantním přispěvatelem k dopadu na životní prostředí. Průměrné dopady produkce akvaponického salátu na životní prostředí byly menší než dopady uváděné pro hydroponii a dopady chovu tilapie nilské byly menší než tilapie pěstované v akvakultuře (Greenfeld et al., 123AD).

Téměř třetina studií o dopadu akvaponie na životní prostředí byla zveřejněna v první polovině roku 2021. To by mohlo naznačovat rostoucí pozornost, která je tomuto tématu věnována. Pro efektivní komunikaci budoucích studií byla navržena následující pravidla:

1. Volba systému – větší a nejlépe komerčně provozované systémy poskytnou nejvhodnější informace, jakmile budou dostupnější. Kde by to bylo možné, posouzení produkce stejných nebo podobných druhů rostlin nebo ryb by sloužilo jako měřítko pro srovnávání systémů.
2. Metodologie – rozhodující je jasná definice hranic a produkčních jednotek, zvolená pro řešení dvojí produkce ryb a rostlin. Volba pevného množství produktu (např. 1 kg hlávkového salátu, 1 tuna ryb) jako funkční jednotky umožní srovnání napříč studiemi a alternativními výrobními systémy. Vzhledem k tomu, že externí srovnatelnost studií bude vždy komplikovaná kvůli jedinečnosti systému a složitosti alokace produktů, je

nejlepší zahrnout do studie interní srovnání akvaponie s alternativními výrobními systémy.

3. Prezentování výsledků – výsledky musí být prezentovány s různými enviromentálními kategoriemi nebo alespoň poskytnuty jako doplňkový materiál. Kromě průběžných výsledků mohou konečné výstupy podporovat komunikaci výsledků studie mimo komunitu výzkumu životního prostředí. Využití ekonomických hodnot pro dopad na životní prostředí, umožní využití výsledků ve vrcholné politice (Greenfeld et al., 123AD).

Již v roce 2016 se objevila studie Forchino a spol., která zkoumala enviromentální dopady dvou alternativních akvaponických procesů, konkrétně systémů RAFT a MFBS (Media Filled beds systems). Jejich pokusná farma produkovala pstruha duhového a salát. Celková roční produkce byla přibližně 4,6 tun salátu a 0,4 tun ryb (Forchino et al., 2017). Práce ukazuje, že existují 3 hlavní kritické procesy: systém, elektřina a vstup krmiva. Zjištění naznačuje, že MFBS má větší dopad ve srovnání s RAFT, hlavně proto, že k udržení rostlin se používá větší množství inertního materiálu. Množství inertní látky požadované v MFBS nelze podstatně snížit, aniž by byla ohrožena stabilita rostliny. Na druhou stranu RAFT potřebuje méně inertních materiálů a konstrukce jako plovoucí jednotky. Pokud jsou dobře zachovány, mají životnost několik let. Výsledky také ukázaly, že systém RAFT by měl být preferován pro salátovou kulturu, zatímco těžší zelenina (např. rajčata nebo lilek) by měla být pěstována v MFBS. Snížení spotřeby energie představuje jednu z hlavních výzev pro akvaponii. Kromě toho, že spotřeba elektřiny významně přispívá k dopadu na životní prostředí, znamená pro zemědělce také vysoké náklady. Z tohoto pohledu by využití obnovitelné energie mohlo představovat životaschopné řešení. Optimalizace spotřeby energie je navíc klíčovým faktorem nejen u RAFT, kde čerpadla pracují nepřetržitě, ale také u MFBS. Složitějším problémem ovšem zůstávají vstupy krmiva (Forchino et al., 2017).

Výhodu akvaponického systému však stále zůstává především šetření vody. Výpočet ve zmiňované práci ukázal, že celkové množství vody potřebné k výrobě 1 kg hlávkového salátu je přibližně 0,02 m³ pro RAFT a 0,01 m³ pro MFBS. Tyto hodnoty jsou nižší ve srovnání s hodnotami vypočtenými v jiných studiích na listové zelenině pěstované na poli. Uváděla se spotřeba vody asi 0,024 m³ vody na výrobu 130 g čerstvého řezaného salátu, což je asi desetkrát více než ta, která se uváděla ve výpočtu pro akvaponii. Co se dále týče vody, je možné, že bude méně závislá na klimatickém systému daného regionu než polní kultura. Tato důležitá vlastnost by mohla učinit akvaponii skutečně vhodnou pro oblasti vyznačující se vysokými teplotami a nízkou dostupností vody (Forchino et al., 2017).

Co se týče ryb, byly považovány v této studii jen za vedlejší produkt. I když druh ryby velice ovlivňuje potřebu krmiva. Přísun živin tedy striktně závisí jak na druhu ryby, tak na typu krmiva. „Kritická plodina“ je pojem, který udává maximální osázení akvakultury, která je podporována systémem a nemá žádné negativní dopady na život a růst ryb. Aby systém správně fungoval i v blízkosti tohoto bodu, je potřeba výběr nejvhodnějšího druhu ryby. I když je pstruh duhový běžně používán v akvaponii, je vhodné zvážit použití méně ekofyziologicky náročných druhů ryb, jako

je tilapie nilská, kapr obecný nebo sumec africký. Výběr ryb však ovlivňují dva hlavní faktory: poptávka na trhu a geografická lokalizace systému (Forchino et al., 2017).

Jak již bylo zmíněno výše, důležitou součástí akvaponie je vytápění skleníků, ve kterých jsou systémy postaveny. To se stává náročnější v severní Evropě a Americe. Naopak na jihu Evropy je vyšší spotřeba vody. Například u rajčat vyrobených v Německu má vytápění spotřebu až osmkrát větší, než je tomu ve Španělsku. V důsledku toho mají Španělsko a Itálie nižší spotřebu energie produktu, a to i přes nižší výnosy, ale vyšší spotřebu vody na produkt o 70–90 %. Co se tedy týče produkce skleníkových plynů, lze v severní Evropě identifikovat vyšší spotřeby energie na vytápění a doplňkové osvětlení. Z pokusu probíhajícího v Německu, kdy se zkoumala rajčata a salát, které šlo zakoupit v běžném Berlínském supermarketu a pocházela buď z Německa, Španělska, Itálie či Nizozemí a pocházely z komerčního zemědělství, vyšlo najevo, že nejlepší je systém DAPS (decoupled multi – loop aquaponics systems). Jeho velikou výhodou je recyklace živin a tomu lze částečně přičíst snížení dopadu na životní prostředí. Z hlediska dopadu na životní prostředí je tedy nejlepší metodou lokální produkce skleníkové zeleniny s DAPS, nejlépe v kombinaci s využitím odpadního tepla. Tato studie se zabývala především možností využití akvaponických či hydroponických systémů přímo na střeších domů v městské zástavbě. Umístění DAPS do místního městského kontextu pomocí střechy stávající průmyslové budovy snižuje dopady na životní prostředí jako je snížení dopravy, opětovného využití plochy a kombinované možnosti využití odpadního tepla. V této studii bylo aktivní opětovné využití odpadního tepla nejúčinnější metodou snižování dopadů na životní prostředí (Körner et al., 2021).

Je tedy akvaponie dobrá pro životní prostředí? Zdá se, že současná literatura naznačuje kladnou odpověď. Jak přínosné je to ve srovnání s alternativními způsoby hospodaření? Na tuto otázku je těžké odpovědět, jelikož je specifická pro jednotlivé případy. Budoucí studie na základě výše zmíněných návrhů poskytnou jasnější kvantitativní hodnocení enviromentálních přínosů konkrétních akvaponických systémů. Taková hodnocení mohou být snáze sdělena politikům a umožnit tak analýzu nákladů a přínosů akvaponie (Greenfeld et al., 123AD).

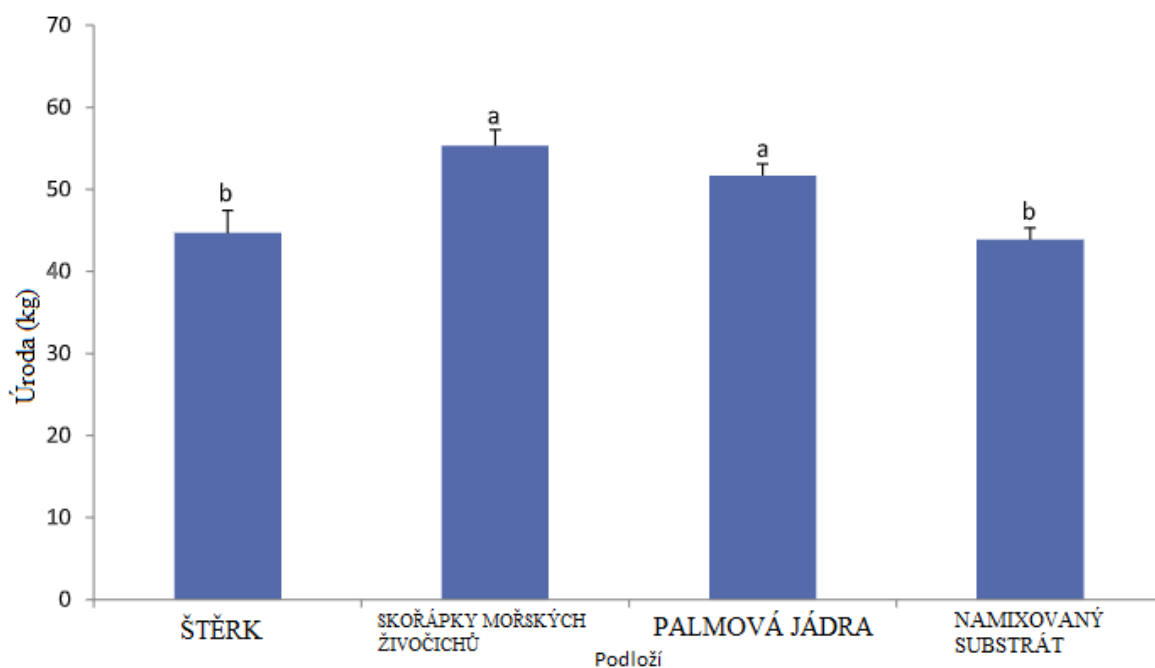
7 Další poznatky

Vzhledem k malému počtu studií zabývajících se jen akvaponií, lze najít velice úzce zaměřené studie. Ať už se jedná o konkrétní zemi či zkoumanou a pěstovanou plodinu. Jednou z takových studií je i studie prováděná v Africe, konkrétně v Nigérii, kde se zabývaly pěstováním tykve.

7.1 Tykev (*Telfairia occidentalis*)

Jedná se o tropickou popínavou rostlinu, známou především ze západní Afriky. Pěstuje se pro svá jedlá semena a listy. Řadí se do čeledi tykvovitých. V Africe se využívá do polévek, ale dostala se i do bylinných léků. Obsahuje vysoké množství antioxidantů. Samotné plody rostliny jsou nepoživatelné, semena ovšem obsahují přibližně 57 % tuků a 27 % hrubých bílkovin. Toto semeno tedy lze považovat za olejnaté (Oladimeji et al., 2020).

Při pokusu v Nigérii byla použita tykev a do nádrží byl vysazen sumeček africký (*Clarias gariepinus*). Pro výběr správného rostlinného systému bylo důležité dodržet 3 parametry. Poptávka trhu, místo pro pěstování ryb a zeleniny a soulad mezi přísunem živin a požadavky (Oladimeji et al., 2020).



Obrázek 11 Výnos dýně v různých substrátech akvaponického systému, převzato z: (Oladimeji et al., 2020)

Na obrázku 13 jsou zaznamenány výnosy dýně v různých substrátech. Nejlepších hodnot dosahovaly dýně na lůžku ze skořápek mořských živočichů a ze skořápek palmových jader. Oba typy substrátu byly pro pokus získány z mlýnského průmyslu či skládky rybiho odpadu. Výsledky ukázaly, že jsou nejen vhodné na pěstování dýní, ale zároveň pomáhají zužitkovat odpad z jiných odvětví. To by mohlo být kladně vnímáno při aplikování tohoto způsobu pěstování rostlin v méně rozvinutých částech světa (Oladimeji et al., 2020).

7.2 Máta peprná (*Mentha piperita*) a houbová bylinka (*Rungia Klossii*)

Dalším zajímavým výběrem plodin se zabývali e studii (Nozzi et al., 2018), kde zkoumali vlivy 3 různých režimů živin v akvaponii na produktivitu a kvalitu plodin a poté je porovnávali s pěstováním v konvenčních hydroponických systémech. Také byla snaha zjistit, zda podání velkého množství živin maximalizuje produkci pro různé druhy rostlin. Za rybu do akvaponie byla zvolena tilapie nilská. V pokusu byly použity 3 různé způsoby hnojení, kdy v každém systému byl použit jeden. Jednalo se o 3 různé akvaponické systémy a jeden hydroponický. Do každého systému byly přidávány různé živiny (Nozzi et al., 2018).

V nehnojeném systému A rostly rostliny nejméně, naopak kořenová biomasa byla nejvyšší, což dokládá, že se rostliny snažily absorbovat co nejvíce živin. Pomalý růst spolu se silným vývojem kořenů mohl být způsoben nízkou koncentrací P v systému. Fosfor v tomto systému byl získán výhradně ze zbytků rybího krmiva a výkalů, které byly neustále odstraňovány jednotkou na odstraňování pevných látek. Hodnoty P v tomto systému byly až desetkrát nižší než v systémech, do kterých se týdně přidávalo asi 35 mg P (Nozzi et al., 2018).

Obsah dusičnanů, který je velice sledovaný v zelenině a podléhá maximálním limitům dle Nařízení, se hodnotí především v listové zelenině. Pro mátu peprnou a houbovou bylinku nejsou tedy stanoveny žádné limity. Výsledky výzkumu naznačují, že houbová bylinka má zásadně odlišné požadavky na živiny než máta. Při pohledu na polyfenoly bylo zjištěno, že nedostatek Fe může být stresorem a tím zvýšit syntézu polyfenolů v rostlinách. Máta pěstovaná v systému A tak vykazovala významný nárůst polyfenolů ve srovnání s ostatními systémy. Zdálo se také, že máta je citlivější na omezení některých mikroživin než na jejich celkový nedostatek. Naopak po přidání mikroživin do pěstování houbové bylinky a máty se produktivita snížila (Nozzi et al., 2018).

Tabulka 7 Hodnoty pěstované máty peprné a houbové bylinky, převzato z: (Nozzi et al., 2018), A – běžný akvaponický systém, B – akvaponický systém doplněný o živiny, C- akvaponický systém doplněný o živiny a dusík, D – běžný hydroponický systém

Parametry produkce	<i>Mentha piperita</i>				<i>Rungia klossii</i>			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Celkový počet rostlin	72	72	72	72	72	72	72	72
Počet neprodejných rostlin	6	/	/	/	/	/	/	/
Počet sklizených rostlin	66	72	72	72	72	72	72	72
Biomasy celkem (čerstvé) kg	7.7	11.6	10.5	9.9	1.31	1.25	0.76	0.98
Nadzemní část rostlin (čerstvé) kg	5.7	9.5	9.0	8.7	0.67	0.66	0.43	0.53
Kořeny (čerstvé) kg	2.0	2.1	1.6	1.2	0.64	0.58	0.33	0.44
Průměrná váha nadzemní části rostlin g	78.7	132.4	124.3	120.3	9.32	9.20	5.97	7.39
Produkce nadzemní části rostlin kg m ⁻²	3.07	4.77	4.48	4.33	0.34	0.33	0.21	0.27
Relativní produkce %	59	100	94	91	100	100	64	79

Z tabulky 7 lze vyčíst parametry produkce máty peprné a houbové bylinky v různých typech systémů. Systém A byl běžný akvaponický systém bez doplňků do vody, do systému B byly doplňovány živiny, systém C byly doplňovány živiny a dusík a systém D byl hydroponický. Při porovnání například celkové sklizené čerstvé biomasy u máty, jsou viditelné rozdíly. Nejmenší hodnoty vykazoval systém A, kde ovšem bylo o 6 rostlin méně. Nejvyšší hodnoty tak připadají systému B a C. Stejně tomu tak je i při porovnání nadzemních částí rostlin.

Naopak u houbové bylinky byly podobné hodnoty naměřené u systému A a B (Nozzi et al., 2018).

8 Závěr

Akvaponie představuje alternativu k hydroponickým systémům či konvenčnímu zemědělství. Jejich perspektiva je především v nižší spotřebě vody, menších nárocích na místo a možnost výstavby téměř kdekoli. Ať už se jedná o školní pozemek, průmyslovou budovu či střechu panelového domu.

I přes široké možnosti systému, se tímto tématem zabýval jen menší počet studií. Nejčastěji se zaměřovaly na pěstování různých druhů salátů v kombinaci s tilápií nilskou, jenž se jevila jako velice vhodný druh ryby. Při porovnávání s dalšími alternativními způsoby pěstování, byly výsledné nutriční hodnoty podobné. Ať už se to týkalo výnosů či obsahu živin. Další výzkumy se zabývaly pěstováním rajčat a chovem kaprů. Za zmínku stojí i práce o pěstování tykve, máty peprné a houbové bylinky. Jedná se o samostatné studie, které by si jistě zasloužily další pozornosti.

Pro malý počet výzkumů nelze jednoznačně říci, že produkty z akvaponických systémů jsou kvalitnější a hodnotnější než za pomoci jiných způsobů pěstování či naopak. Pro jasné informace je zapotřebí mnohonásobně více studií a výzkumů, které budou pracovat i s různými okolními vlivy. Lze však říci, že kvalitu produktů z akvaponických systémů ovlivňuje mnoho faktorů, se kterými je třeba počítat. Z dostupných studií je patrné, že vyvážené krmení ryb a doplňování mikroživin do vody značně ovlivňuje výslednou produkci. Jak její kvalitu, tak i kvantitu.

Aby ovoce a zelenina z akvaponie našla své uplatnění i u spotřebitelů, je zapotřebí její konkurenceschopnost. Důležitý je vzhled, vůně i chuť. Pro správné porovnání jednotlivých produktů ovšem existuje jen velice málo studií, které by se tím zabývaly. Je proto potřeba se do budoucna ve vědeckých pracích zaměřit i na senzorickou analýzu produktů.

Akvaponie a její využití pro pěstování ovoce a zeleniny má nepochybně obrovský potenciál. Pro vhodné zhodnocení její zdravotní nezávadnosti a nutričních kvalit je ale důležité se tímto tématem začít více zabývat na vědecké úrovni. V budoucnu by akvaponie mohla pomoci i s problémem nedostatku potravin v chudých částech světa.

9 Literatura

- Aquaponics history and benefits. (n.d.). Retrieved from www.acquacolturaitalia.com
- Diferent types of aquaponics systems – Desima. 2016. Retrieved March 4, 2022, from <https://desima.co/blog/different-types-of-aquaponic-systems/>
- Nutrient Film Technique (NFT). 2022. Retrieved March 4, 2022, from <http://hydroponicsfarm.weebly.com/nutrient-film-technique-nft.html>
- Solanum lycopersicum - Monaco Nature Encyclopedia. (n.d.). Retrieved March 24, 2022, from <https://www.monaconatureencyclopedia.com/solanum-lycopersicum/?lang=en>
- TECA. 2020. Retrieved March 4, 2022, from <https://www.fao.org/teca/es/technologies/8395>
- What is a Media Based Aquaponics System? | Go Green Aquaponics. (n.d.). Retrieved February 23, 2022, from <https://gogreenaquaponics.com/blogs/news/aquaponics-systems-what-is-a-media-based-aquaponics-system>
- Adam Travis 2018. Aquaponics description, advantages and disadvantages - Farming Method. . Retrieved February 14, 2022, from <https://farmingmethod.com/aquaponics-description-advantages-disadvantages/>
- Affum, A. O., Osae, S. D., Kwaansa-Ansah, E. E., Miyittah, M. K. 2020. Quality assessment and potential health risk of heavy metals in leafy and non-leafy vegetables irrigated with groundwater and municipal-waste-dominated stream in the Western Region, Ghana. *Heliyon*. 6 (12). doi: 10.1016/J.HELIYON.2020.E05829.
- Alcarraz, E., Flores, M., Tapia, M. L., Bustamante, A., Wacyk, J., Escalona, V. 2018. Quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in aquaponic and hydroponic systems. *Acta Horticulturae*. 1194 . 31–38. doi: 10.17660/ACTAHORTIC.2018.1194.6.
- Alok Kumar Jena, Pradyut Biswas, Himadri Saha 2017. Flow diagrammatic representation of Aquaponics system In *Aquaponics... | Download Scientific Diagram*. . Retrieved March 4, 2022, from https://www.researchgate.net/figure/Flow-diagrammatic-representation-of-Aquaponics-system-In-Aquaponics-system-Fig4_fig1_316191741
- Bononi Carla, Drew Joana 2015. History of Aquaponics – the life aquaponic. . Retrieved February 20, 2022, from <https://thelifeaquaponic.wordpress.com/2015/07/10/history-of-aquaponics/>

- Estim, A., Raehanah, S., Shaleh, M., Shapawi, R., Saufie, S., Mustafa, S. 2020. Maximizing Efficiency and Sustainability of Aquatic Food Production from Aquaponics Systems-A Critical Review of Challenges and Solution Options. *Aquaculture Studies*. 20 (1). 65–72. doi: 10.4194/2618-6381-v20_1_08.
- European Union 2011. II Nelegislativní akty MEZINÁRODNÍ DOHODY. Official Journal. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=OJ%3AL%3A2011%3A320%3ATOC>
- Forchino, A. A., Lourguioui, H., Brigolin, D., Pastres, R. 2017. Aquaponics and sustainability: The comparison of two different aquaponic techniques using the Life Cycle Assessment (LCA). *Aquacultural Engineering*. 77. 80–88. doi: 10.1016/j.aquaeng.2017.03.002.
- Frusciante, L., Carli, P., Ercolano, M. R., Pernice, R., di Matteo, A., Fogliano, V., Pellegrini, N. 2007. Antioxidant nutritional quality of tomato. *Molecular Nutrition and Food Research*. 51 (5). 609–617. doi: 10.1002/MNFR.200600158.
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K. V., Jijakli, H., Thorarinsdottir, R. 2015. Challenges of Sustainable and Commercial Aquaponics. 7. 4199–4224. doi: 10.3390/su7044199.
- Goddek, S., Vermeulen, T. 2018. Comparison of *Lactuca sativa* growth performance in conventional and RAS-based hydroponic systems. doi: 10.1007/s10499-018-0293-8.
- Goddek Simon, Joyce Alyssa, Wuertz Sven, Körner Oliver, Bläser Ingo, Reuter Michael, Keesman Karel 2019. *Aquaponics Food Production Systems*. Springer Nature Switzerland AG. ISBN: 978-3-030-15942-9.
- Graber, A., Junge, R. 2009. Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *DES*. 246. 147–156. doi: 10.1016/j.desal.2008.03.048.
- Greenfeld, A., Becker, N., Bornman, J. F., Spatari, S., Dror, ·, Angel, L., Angel, D. L. 123AD. Is aquaponics good for the environment?-evaluation of environmental impact through life cycle assessment studies on aquaponics systems. *Aquaculture International*. doi: 10.1007/s10499-021-00800-8.
- Jaeger, C., Foucard, P., Tocqueville, A., Nahon, S., Aubin, J. 2019. Mass balanced based LCA of a common carp-lettuce aquaponics system. *Aquacultural Engineering*. 84. 29–41. doi: 10.1016/J.AQUAENG.2018.11.003.
- Jan 2021. Chinampa, aneb Jak se rodily začátky aquaponie? - Aquaponická farma. . Retrieved March 4, 2022, from <https://www.cityaquaponie.cz/chinampa-aneb-jak-se-rodily-zacatky-aquaponie/>

- Körner, O., Bisbis, M. B., Baganz, G. F. M., Baganz, D., Staaks, G. B. O., Monsees, H., Goddek, S., Keesman, K. J. 2021. Environmental impact assessment of local decoupled multi-loop aquaponics in an urban context. *Journal of Cleaner Production*. 313. 127735. doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2021.127735.
- Kovácsné Madar, Á., Rubóczki, T., Takácsné Hájos, M. 2019. Lettuce production in aquaponic and hydroponic systems. *Acta Universitatis Sapientiae, Agriculture and Environment*. 11 (1). 51–59. doi: 10.2478/AUSAE-2019-0005.
- Matallana González, M. C., Martínez-Tomé, M. J., Torija Isasa, M. E. 2010. Food Additives and Contaminants: Part B Nitrate and nitrite content in organically cultivated vegetables. . doi: 10.1080/19440040903586299.
- Monsees, H. I., Suhl, J., Paul, M., Kloas, W., Dannehl, D., Würtz, S. 2019. Lettuce (*Lactuca sativa*, variety Salanova) production in decoupled aquaponic systems: Same yield and similar quality as in conventional hydroponic systems but drastically reduced greenhouse gas emissions by saving inorganic fertilizer.. doi: 10.1371/journal.pone.0218368.
- Nozzi, V., Graber, A., Schmutz, Z., Mathis, A., Junge, R. 2018. Nutrient Management in Aquaponics: Comparison of Three Approaches for Cultivating Lettuce, Mint and Mushroom Herb. doi: 10.3390/agronomy8030027.
- Oladimeji, A. S., Olufeagba, S. O., Ayuba, V. O., Sololmon, S. G., Okomoda, V. T. 2020. Effects of different growth media on water quality and plant yield in a catfish-pumpkin aquaponics system. *Journal of King Saud University - Science*. 32 (1). 60–66. doi: 10.1016/J.JKSUS.2018.02.001.
- Pérez-Urrestarazu, L., Lobillo-Eguíba, J., Fernández-Cañero, R., Fernández-Cabanás, V. M. 2019. Food safety concerns in urban aquaponic production: Nitrate contents in leafy vegetables. doi: 10.1016/j.ufug.2019.126431.
- Rouphael Youssef, Cardarelli Mariateresa, Rea Elvira 2009. (PDF) Yield and quality of leafy lettuce in response to nutrient solution composition and growing season. Retrieved March 30, 2022, from https://www.researchgate.net/publication/270565860_Yield_and_quality_of_leafy_lettuce_in_response_to_nutrient_solution_composition_and_growing_season
- Saha, S., Monroe, A., Day, M. R. 2016. Growth, yield, plant quality and nutrition of basil (*Ocimum basilicum* L.) under soilless agricultural systems. *Annals of Agricultural Sciences*. 61 (2). 181–186. doi: 10.1016/J.AOAS.2016.10.001.
- Scalbert, A., Johnson, I. T., Saltmarsh, M. 2005. Polyphenols: antioxidants and beyond 1-3. Retrieved from <https://academic.oup.com/ajcn/article/81/1/215S/4607494>

- Schmautz, Z., Loeu, F., Liebisch, F., Graber, A., Mathis, A., Bulc, T. G., Junge, R. 2016. Tomato Productivity and Quality in Aquaponics: Comparison of Three Hydroponic Methods. doi: 10.3390/w8110533.
- Sharma, N., Singh, N. 2019. Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview Protected cultivation View project Seabuckthorn in trans-Himalayan Ladakh View project. doi: 10.5958/2455-7145.2018.00056.5.
- Suhl, J., Dannehl, D., Kloas, W., Baganz, D., Jobs, S., Scheibe, G., Schmidt, U. 2016. Advanced aquaponics: Evaluation of intensive tomato production in aquaponics vs. conventional hydroponics. *Agricultural Water Management*. 178. 335–344. doi: 10.1016/j.agwat.2016.10.013.
- Vergeer Andrew 2019. What is a Raft System of Aquaponics? Retrieved from <https://gogreenaquaponics.com/blogs/news/what-is-a-raft-based-aquaponics-system>
- Wang, Y.-J., Deering, A. J., Kim, H.-J. 2020. The Occurrence of Shiga Toxin-Producing *E. coli* in Aquaponic and Hydroponic Systems. MDPI. doi: 10.3390/horticulturae6010001.
- Wang, Z., Li, S. 2007. Fertilization on Plant Growth and Nitrate Accumulation in Vegetables. *Journal of Plant Nutrition*. 27 (3). 539–556. doi: 10.1081/PLN-120028877.
- Worldometer 2022. Worldometer - Světová statistika v reálném čase. Retrieved April 16, 2022, from <https://www.worldometers.info/cz/>

10 Seznam použitých zkratek a symbolů

C - uhlík
H - vodík
O - kyslík
N - dusík
P - fosfor
K - draslík
Ca - vápník
S - síra
Mg - hořčík
Fe - železo
Cl - chlór
Mn - mangan
B - bór
Cu - měď
Mo - molybden
NO₂⁻ - dusitany
NO₃⁻ - dusičnany
OH⁻ - hydroxid
CaCO₃ - uhličitan vápenatý
EC - elektrická vodivost
STEC - Escherichie coli
DAPS - decoupled aquaponics systems (dvousmyčkový systém)
EFSA - Evropský úřad pro bezpečnost potravin
EU - Evropská komise

