

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA AGROBIOLOGIE, POTRAVINOVÝCH A PŘÍRODNÍCH ZDROJŮ

prof. Ing. Lukáš Kalous, Ph.D.; Ing. Tomáš Párys;
Ing. Veronika Tůmová & Ing. Miloslav Petrtýl, Ph.D.

2025

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA AGROBIOLOGIE, POTRAVINOVÝCH A PŘÍRODNÍCH ZDROJŮ

CERTIFIKOVANÁ METODIKA

**Rozhodovací proces pro hodnocení akvaponických projektů
z pohledu jejich udržitelnosti**

***Technologické, metodické, ekonomické a koncepční posuzování
akvaponických farem***

prof. Ing. Lukáš Kalous, Ph.D.; Ing. Tomáš Párys;
Ing. Veronika Tůmová & Ing. Miloslav Petrtýl, Ph.D.

ZPRACOVÁNÍ A VYDÁNÍ PUBLIKACE BYLO USKUTEČNĚNO ZA FINANČNÍ PODPORY
PROJEKTU: Diverzifikace a posílení konkurenceschopnosti akvakultury podporou
akvaponie jako inovativní zemědělské technologie produkce potravin
NAZV QK21010207 – 100 %

© 2025 prof. Ing. Lukáš Kalous, Ph.D. & Ing. Miloslav Petrtýl, Ph.D.

Oponenti: Ing. Radek Gebauer, Ph.D. & Ing. Antonín Vavrečka, Ph.D.

Toto dílo podléhá licenci Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)



ISBN 978-80-213-3521-9

Obsah

1.	Úvod.....	5
2.	Důvody pro sepsání metodiky.....	6
3.	Stručné představení technologie akvaponie a odkazy na relevantní literaturu	9
4.	Cíle a účel metodiky.....	20
5.	Pojmy, zkratky a hodnoty používané v akvaponii	21
6.	Popis metodiky.....	26
6.1	Přehled faktorů a vlivů vstupujících do rozhodovacího procesu	26
6.2	Struktura rozhodovacího procesu.....	28
6.3	Vylučující kritéria	29
6.4	Kontrolní kritéria.....	30
6.5	Expertní posudek.....	34
7.	Zdůvodnění metodiky	34
8.	Popis uplatnění Certifikované metodiky	35
9.	Ekonomické aspekty	35
10.	Seznam použité literatury.....	37
11.	Seznam publikací a výstupů, které předcházely metodice.....	39
12.	Poděkování	40

1. Úvod

Akvaponie je biotechnologický systém produkce biomasy, kombinující akvakulturu (chov vodních organismů) a hydroponii (pěstování rostlin bez půdy v živném roztoku). Akvaponii lze také definovat jako kombinovaný produkční systém chovu vodních živočichů a pěstování rostlin, ve kterém více než polovina živin (>50 %) potřebných pro optimální růst rostlin v hydroponii pochází z krmiva určeného pro vodní živočichy. V rámci těchto systémů jsou zbytky krmiva a odpadní látky produkované vodními živočichy odděleny od vody přes jemný mechanický filtr a zbývající část je následně rozložena průtokem přes biofiltr, což je zpravidla provzdušňovaná nádrž s nosným médiem osídleným mikroorganismy. V biofiltru mikroorganismy rozkládají organické sloučeniny a zpřístupňují živiny rostlinám. Hlavním procesem je přeměna amoniaku (NH_3) prostřednictvím nitrifikačních bakterií na dusičnany (NO_3), které jsou hlavním zdrojem dusíku pro rostliny.

V profesionálních akvaponických systémech je zpravidla hydroponická část oddělená a odpadní voda z akvakultury je pouze jednosměrně přepouštěná do hydroponické části k rostlinám (dvousmyčkový systém). V malých a hobby systémech jsou obě produkční části zpravidla propojené, a voda recirkuluje mezi akvakulturou a hydroponií (jednosmyčkový systém).

Akvaponie je v médiích, ale i v mnoha vědeckých časopisech prezentována jako k přírodě šetrná technologie, často s důrazem na úsporu vody, hnojiv či ošetřujících přípravků (pesticidů). Zdůrazňována je také její cirkularita a ekologičnost. Nicméně celý technologický produkční systém akvaponie je značně složitý, musí řešit jak problematiku akvakulturní, tak hydroponické části, a zároveň jejich vzájemné technologicko-biologické propojení. Tato komplexnost zvyšuje pravděpodobnost výskytu problémů ve srovnání s jednotlivými technologiemi provozovanými samostatně. Z toho důvodu vyžaduje akvaponie pečlivě vyladěné technologické postupy, založené na exaktně získaných datech.

Vodní živočichové v akvaponii jsou v současnosti zastoupeni především rybami. V dalším textu se proto budeme, s ohledem na přesnost některých tvrzení, nadále odkazovat pouze na ryby. Jsme si však vědomi, že mnohá z uvedených tvrzení platí rovněž pro koryše, měkkýše a další akvakulturní živočichy.

Akvaponie je stále novou technologií, která zatím nemá stabilní místo v zemědělsko-potravinářském komplexu. I přes nepochybný pokrok, existuje stále mnoho výzev, kterým akvaponie čelí. Kromě samotné technologie, je to především investiční náročnost, ceny vstupů do jejího provozu, ale i marketing produktů a jejich výsledná cena.

Předložená metodika se zabývá komplexním rámcem, který je třeba vzít v úvahu při hodnocení projektů akvaponické produkce z pohledu jejich proveditelnosti a udržitelnosti. Metodika navrhuje jednotlivé hodnocené oblasti a kritéria.

Metodika má za cíl napomoci v rozhodování při úvahách o budování či podpoře budování akvaponických systémů.

2. Důvody pro sepsání metodiky

Funkční a udržitelné akvaponické systémy vyžadují sofistikované řízení zahrnující orientaci například v oborech jako jsou hydrochemie, hydrologie, hydrobiologie, mikrobiologie, ekologie, fyziologie a výživa rostlin, ochrana rostlin, výživa a krmení, akvakultura, inženýrství, potravinářství, ekonomika a marketing (Greenfeld a kol. 2020, Goddek a kol. 2015, König a kol. 2018).

Je překvapivé, že přes zřejmou složitost a značnou neprobádanost mnoha aspektů fungování akvaponických systémů se v Česku v minulé dekádě objevily komerční akvaponické projekty, a dokonce produkční akvaponické provozy (Tůmová a kol. 2020). Tito akvaponičtí pionýři byli zřejmě motivováni primárně ideologicky a neuvědomili si, nebo ignorovali hloubku komplexnosti a komplikovanosti akvaponie. Mohli také uvěřit takzvaným akvaponickým mýtům, které se okolo této technologie vytvořily, jako je neomezená produkce, extrémní ziskovost nebo ekonomická nadřazenost nad konvenčním zemědělstvím, často živěným nekritickými informacemi z médií (Turnšek a kol. 2020, Gott a kol. 2019, Tůmová a kol. 2020)

V návaznosti na výše uvedené je vhodné zohlednit tzv. hype křivku zavádění nových technologií, což je teoretický model poprvé představený v roce 1995 konzultační společností Gartner (Linden & Fenn 2003). Teorie tvrdí, že nově vznikající technologie postupuje od nadšení „hype“ přes období rozčarování až po konečné pochopení významu a role technologie na trhu, kdy dochází k ustálení. Podrobně viz obrázek 1.

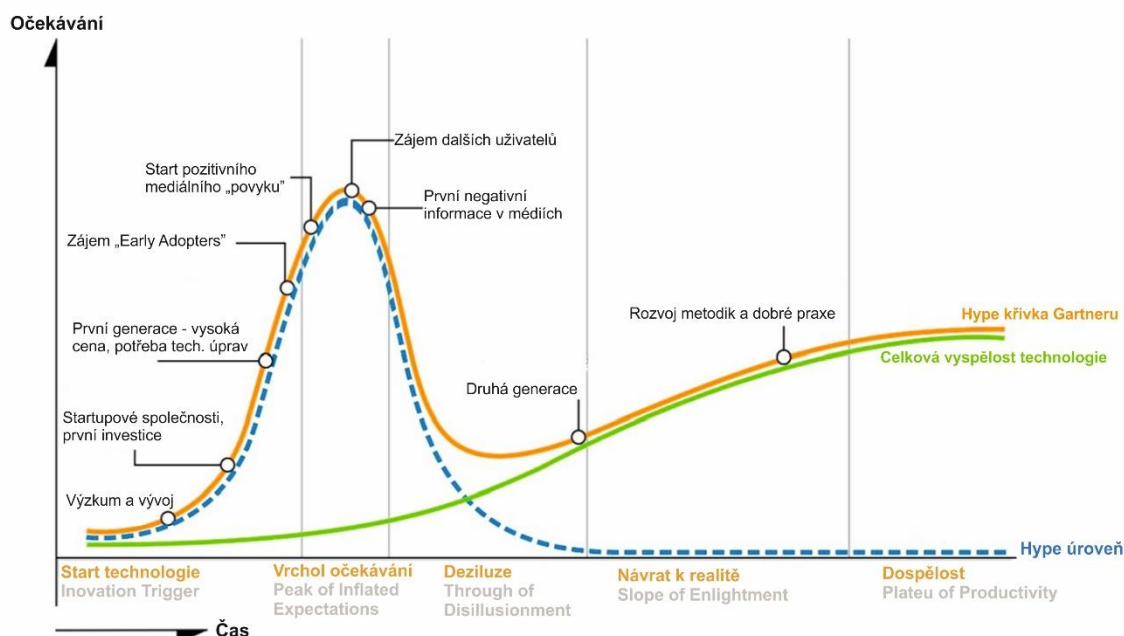
Jednou z možností, jak měřit „hype“ je porovnat obecnou popularitu tématu ve srovnání s vědeckým nebo vývojovým prostředím (Jun, 2012, Turnšek a kol. 2020). Lze například srovnat časové trendy ve vyhledávání určitého termínu na internetu s trendy publikování stejného tématu ve vědeckých časopisech. Srovnání pro akvaponii viz obrázek 2.

V českém mediálním prostředí se od roku 2009 začaly objevovat informace prezentující nerealistická očekávání, přesně ve shodě s popsanou „hype“ křivkou (Tůmová a kol. 2020). V té době bylo k dispozici ještě velmi málo vědeckých poznatků. Jejich strmý nárůst reprezentovaný počtem vědeckých článků a citací v odborných databázích v jednotlivých letech zřejmě kulminoval kolem roku 2023, viz obrázek 2.

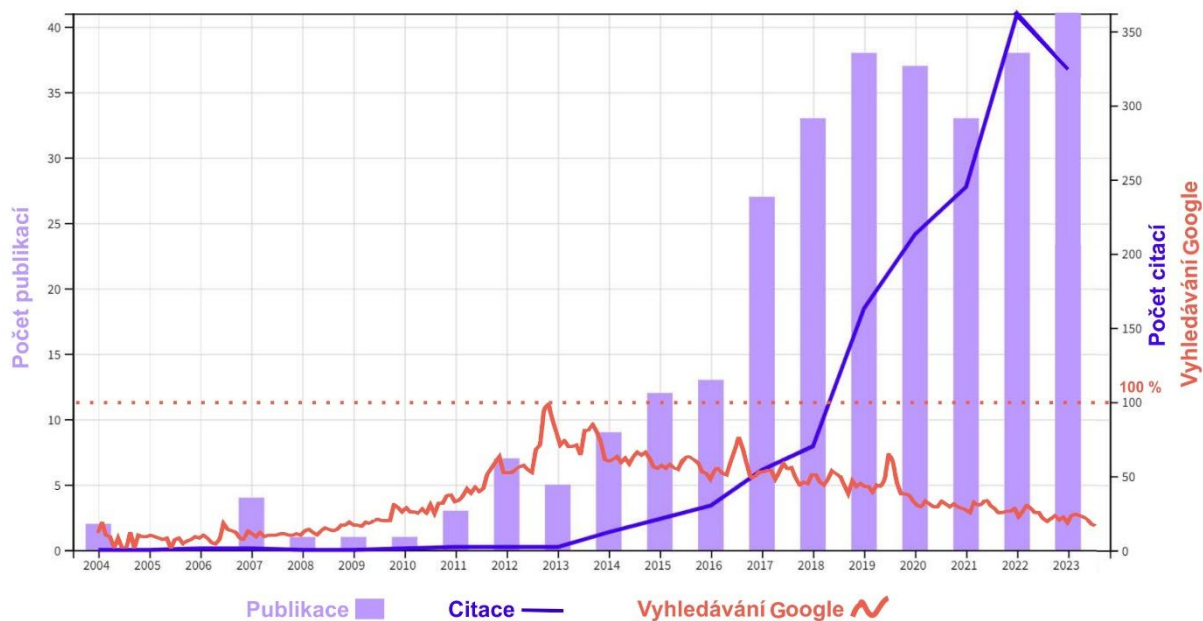
Pokud sledujeme „hype“ křivku na obrázku 1, zdá se, že vývoj akvaponických technologií směřuje k **deziluzi** někdy nazývané „koryto rozčarování“, ale díky naakumulovaným vědeckým informacím zřejmých na obrázku 2, lze očekávat v blízké budoucnosti fázi **návratu k realitě**, někdy označované jako „sklon osvícení“, která vede až k fázi **dospělosti**, kdy se technologie dále rozvíjí, je etablovaná na trhu a přináší užitek. Důležitým poznatkem z teorie „hype“ křivky je, že zájemci (podniky, investoři) by neměli investovat do technologií jen proto, že se právě objevily, ale také by neměli technologie ignorovat jen proto, že v současné době nesplňují počáteční, přehnaná očekávání (Linden & Fenn 2003).

Jednou z důležitých podmínek úspěšné implementace akvaponie bude využití dostupných vědeckých poznatků a úzké napojení praxe na relevantní výzkum a vývoj (Gott a kol. 2019, Greenfeld a kol. 2020).

Nezávislé a komplexní *ex ante* hodnocení akvaponického produkčního systému představuje nezbytný nástroj pro rozhodování o využití veřejných investic do akvaponie. Předložená metodika poslouží jako praktický podklad pro ověření udržitelnosti a efektivity navrhovaného řešení na úrovni současných znalostí.



Obrázek 1. Proces přijímání nových technologií na základě „hype“ křivky podle Gartneru (Zdroj: Turnšek a kol. 2020, upraveno v Kalous a kol. 2024)



Obrázek 2. Srovnání celosvětového podílu vyhledávání termínu „aquaponics“ na Google a počtu vědeckých publikací a citací nalezených v databázi Web of Science pod termínem „aquaponics“ za období od roku 2004 do roku 2023. Zatímco zájem o akvaponii (hype) vrcholil kolem roku 2013 (100 % v časovém srovnání), počet vědeckých článků teprve v roce 2013 začínal výrazně narůstat, stejně jako počet citací (Zdroj: Kalous a kol. 2024).

3. Stručné představení technologie akvaponie a odkazy na relevantní literaturu

Pro lepší a detailnější orientaci v akvaponické technologii shrnujeme doporučenou literaturu v tabulkách (tab. 1–8) s popisem obsahu jednotlivých literárních zdrojů. Tyto zdroje byly také podkladem pro níže uvedené texty této kapitoly. Zmíněná literatura by měla sloužit jako nepostradatelný podklad pro zamýšlený projekt akvaponického produkčního systému.

Akvaponie kombinuje akvakulturní systémy s hydroponickou produkcí. Existují různé typy akvaponie, v nichž může být akvakulturní část zastoupena odlišnými formami akvakulturní produkce (Palm a kol., 2018). Tato metodika je však v akvakulturní části výhradně zaměřena na recirkulační akvakulturní systém (RAS) s ohledem na předpokládanou dominanci v podmínkách České republiky a Evropy. **RAS** tvoří základ akvaponické soustavy a skládá se z chovných nádrží, mechanické filtrace, biologické filtrace a retenční nádrže. Pohyb vody mezi těmito částmi zajišťují aktivní prvky (čerpadla, vzduchování) a gravitace. **Chovné nádrže** pro ryby mohou být vyrobené z celé řady materiálů, mají různou velikost i tvar. Nejčastějšími materiály použitými na stavbu jsou plast, pogumovaná textilie či laminát nebo beton. Je vhodné, aby nádrže neměly žádná místa, ve kterých se mohou hromadit nezkonsumované zbytky krmiva a exkrementy ryb. Takovému požadavku vyhovují nejlépe nádrže s kruhovým či oválným půdorysem, kde lze vhodným nasměrováním přitékající vody docílit cirkulárního proudění, které napomáhá koncentraci usazenin uprostřed nádrže a tím i jejich snazšímu odvodu. Mezi nevýhody kruhových nádrží patří menší využití plochy pro odchov v porovnání s nádržemi čtvercovým či obdélníkovým tvarem. Zásadní je přívod a distribuce vzduchu nebo kyslíku ve vodním sloupci nádrže tak, aby nevznikaly zóny s nízkým obsahem rozpuštěného kyslíku. Kyslík musí být distribuován rovnoměrně v celém objemu nádrže. Další důležitou součástí RAS je individuální možnost regulace přítoku i odtoku vody do a z jednotlivých nádrží tak, aby bylo možné jejich snadné čištění a možná manipulace s rybami.

Mechanická filtrace může být zajištěna různými typy filtračních zařízení, která fungují na základě sedimentace, filtrace s použitím granulovaného média, filtrace pomocí mikrosítových filtrů (např. diskových nebo bubnových filtrů), vířivých proudů (vortexů), separátorů s radiálním prouděním, nebo filtrů plněných vícecestupňovým filtračním médiem.

Biologická filtrace zajišťuje převážně nitrifikaci, což je zásadní a klíčový proces přeměny amoniaku na dusitany, a následně na dusičnany nitrifikačními bakteriemi. Efektivita tohoto procesu vyžaduje stabilní prostředí v parametrech jako je teplota, pH, obsah kyslíku, ale i obsah živin ve vodě. Existují různé typy biofiltrů (ponořené, skrápěné, pohyblivé). Všechny mají své specifické vlastnosti a provozní nároky.

Retenční nádrž je v podstatě zásobník přefiltrované vody (po mechanické a biologické filtraci) sloužící k dočasnému uchování s možností dalších úprav chemických a

fyzikálních parametrů (pH, obsah kyslíku, teplota) a následného opětovného použití v systému.

Tabulka 1. Doporučená literatura pro konstrukci technologie RAS

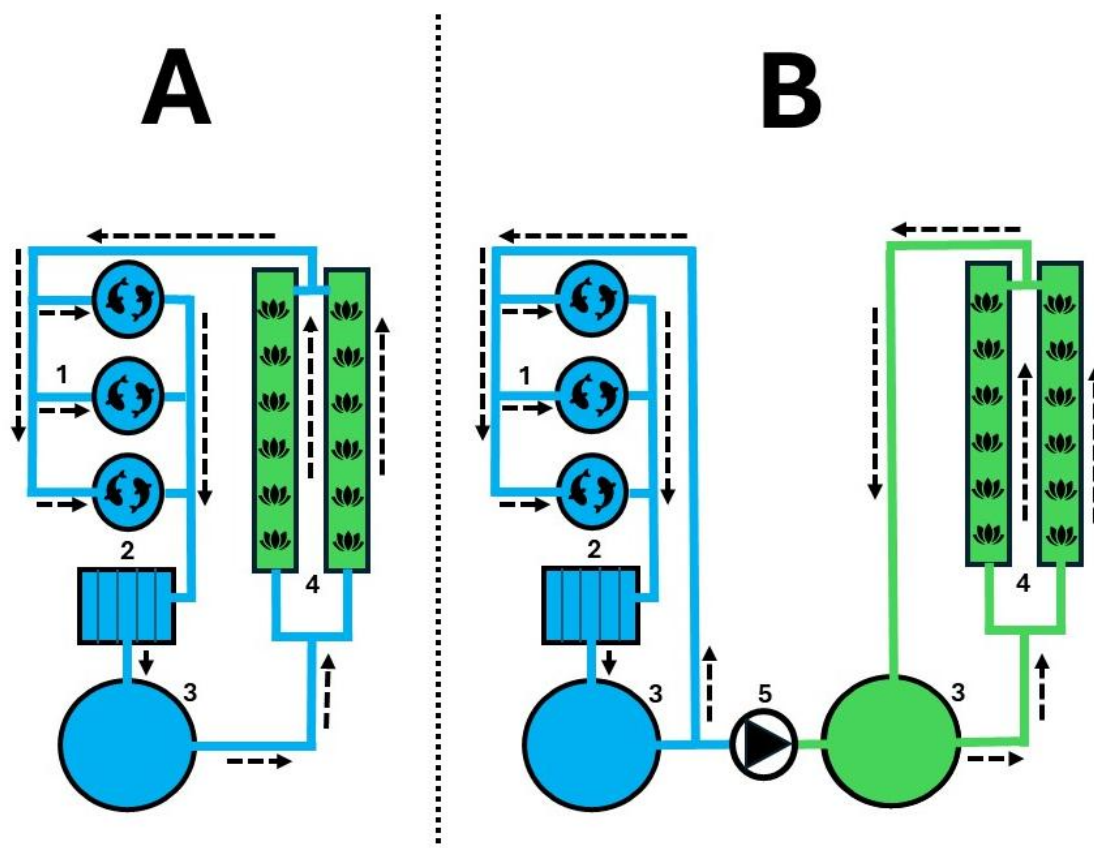
Citace	Popis
Stejskal a kol. (2022)	Metodika Technologie a technické prvky recirkulačních akvakulturních systémů pro chov ryb představuje podrobný přehled konstrukčních řešení a technologických komponent recirkulačních akvakulturních systémů (RAS) využívaných pro intenzivní chov ryb v kontrolovaných podmínkách. Publikace popisuje jednotlivé prvky těchto systémů, jako jsou odchovné nádrže různých tvarů a konstrukcí, mechanická a biologická filtrace, systémy pro úpravu vody, dopravu vody a měření jejích parametrů, stejně jako specifické technologie sloužící ke snižování produkce odpadních látek a optimalizaci provozu. Text se zabývá také ekonomickými aspekty provozu RAS, jejich energetickou efektivitou, možnostmi využití odpadního kalu a návrhy vhodných konfigurací nádrží pro různé druhy ryb. Důraz je kladen na provozní spolehlivost, nízkou spotřebu vody, účinnou filtraci a minimalizaci ekologických dopadů. Součástí metodiky jsou i detailní schémata, popisy čerpadel, filtrů, odpěňovačů a dalších komponent, které tvoří technické zázemí těchto uzavřených systémů.
Policar a kol. (2022)	Metodika Nové postupy a technologické komponenty a možnosti jejich využití v akvakultuře se zaměřuje na modernizaci recirkulačních akvakulturních systémů s cílem zvýšit jejich efektivitu a udržitelnost. Popisuje nové technologie jako je simultánní nitrifikace a denitrifikace, ultrafiltrace, flotace, pokročilé okysličování, automatická stabilizace pH a využití ionexů. Důraz je kladen na zlepšení kvality vody, energetickou úspornost a aplikaci v praxi i v oblastech s omezenými vodními zdroji.

Hydroponická část systému využívá vodu z akvakulturní části, případně upravenou fyzikálně-chemickými procesy, obvykle s doplněním konkrétních živin. Růst rostlin probíhá v různých typech pěstebních systémů. Mezi tyto systémy patří pěstební systém s médiiem, označovaný jako “Flood and Drain”, nebo “Ebb and Flow”, který využívá periodické zaplavování inertního pěstebního materiálu, například šterku nebo keramzitu živným roztokem. Dále jsou využívány plovoucí raftové systémy známé jako “Deep Water Culture (DWC)”, ve kterých jsou rostliny umístěny na plovoucích deskách a jejich kořeny jsou trvale ponořeny v živném roztoku, který tak musí být dostatečně okysličený. Další možností je “Nutrient Film Technique (NFT)” představující lehký potrubní systém s mírným sklonem, v němž nízká hladina živného roztoku neustále gravitačně protéká pod kořeny rostlin jejichž spodní část je ponořena. Rostliny tak mají částí kořenů přístup ke vzdušnému kyslíku. Mezi běžně využívané způsoby patří také kapkové systémy, ve kterých je živný roztok přiváděn individuálně přímo ke kořenům rostlin postupně ve formě jednotlivých drobných kapek. Dalším technologickým řešením je aeroponie, kde je živný roztok rozprašován na kořeny rostlin jako jemná mlhovina. Výhodou je stejně jako u NFT nízká hmotnost systému a přístup rostlin ke vzdušnému kyslíku, který je nezbytný ke zdravému vývoji kořenů a růstu rostlin.

Tabulka 2. Doporučená literatura pro konstrukci hydroponické technologie

Citace	Popis
Maucieri a kol. (2019)	Kapitola „<i>Aquaponics Food Production Systems</i>” [Hydroponické technologie] ve sborníku prací „<i>Aquaponics food production systems</i>” [Akvaponické produkční systémy]. Tato kapitola ze sborníku vědeckých prací se zabývá všemi typy hydroponických technologií. Do detailu se věnuje používaným různým typům substrátů a jejich vlastnostem. Popisuje hydroponickou výživu, jednotlivé živiny, jejich úlohu i antagonismy, zabývá kvalitou roztoku a jeho managementem, a také důležitou dezinfekcí roztoku, která je klíčová pro bezpečnou produkci potravin, a musí být integrovaná do sanitačního řádu. Práce je v anglickém jazyce.
Resh (2022)	Kniha „<i>Hydroponic Food Production</i>” [Hydroponická produkce potravin] obsahuje základní i pokročilé informace, a zabývá se profesionálními vertikálními systémy. Kniha popisuje automatické kontrolní systémy, zabývá se automatizací a použitím robotiky pro sklizeň, třídění a balení potravin. Věnuje se komerčním “large-scale” raft a NFT systémům. Kniha se detailně zabývá nastavením environmentálních podmínek ve skleníku (oxid uhličitý, osvětlení aj.) Práce je v anglickém jazyce.

Integrace RAS a hydroponie probíhá dvěma hlavními přístupy. Jedná se o jednosmyčkový systém (coupled), kde veškerá voda cirkuluje mezi oběma produkčními subsystémy (obr. 3A). Odpadní voda z RAS je přepouštěna do hydroponické části, odkud se po vyčerpání živin vrací zpět do oběhu akvakulturní části. Jednosmyčkový systém je jednodušší, ale nese riziko nerovnováhy mezi subsystémy (částmi). V tomto typu systému je voda kontinuálně recirkulována mezi nádržemi s rybami, filtry a hydroponickou částí. Propojený systém neumožňuje používání většiny léčiv a pesticidních přípravků. Také nezbytné přidávání hnojiv je s ohledem na kvalitu vody a chov ryb problematické a je možné pouze do určité míry. Druhým technologickým přístupem je dvojsmyčkový systém (decoupled), kde obě části fungují nezávisle (obr. 3B). Dvojsmyčkový systém odděluje oba subsystémy, čímž se zvyšuje flexibilita a variabilita v chovu ryb a v pěstování rostlin. Odpadní voda z RAS je přepouštěna do hydroponické jednotky, ale už se nevrací zpět do akvakulturní části. Obě smyčky recirkulace jsou tak nezávislé. V rámci obou sekcí je tedy možná odlišná úprava teploty a chemismu vody podle optima chovaných a pěstovaných druhů. Oddělení systémů umožňuje optimální a precizní režim hnojení v hydroponické části, ale také použití léčiv či vhodných pesticidů. Při kolapsu systémů je možné s úpravou managementu mít části v provozu také odděleně.



Obrázek 3. Jednosmyčkový (A) a dvousmyčkový (B) akvaponický systém. 1– chovné nádrže, 2 – mechanická a biologická filtrace, 3 – retenční nádrž, 4 – hydroponická pěstební plocha, 5 – přepouštěcí ventil

Pro dosažení funkční a vyvážené integrace recirkulačního akvakulturního systému (RAS) s hydroponickou částí je nezbytné provést výpočty celé řady technických a biologických parametrů. Mezi klíčové hodnoty, které musí být v návrhu systému zohledněny, patří zejména potřebné objemy chovných nádrží v RAS (v m^3), přičemž jejich velikost je úzce navázána na předpokládanou produkci biomasy ryb (tzn. celkové množství obsádky, druh a kategorie), režim krmení a fázi chovu. Dále je třeba stanovit hustotu obsádky (v počtu jedinců, respektive kg jejich biomasy na m^3 objemu vody) v různých fázích chovu, aby byl zajištěn optimální růst, zdraví a efektivní využití prostoru bez přetížení systému. Hydraulika systému musí být přesně dimenzována, což zahrnuje výpočet průtoku vody v RAS (v $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$) a z něj odvozený výkon čerpadel (ve wattech a v $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$) a průměrů propojovacího potrubí, tak aby bylo možné zajistit plynulé zásobování vodou mezi technologickými prvky systému. Nezbytnou součástí návrhu je efektivní uspořádání systému, které vylučuje vznik zpomalení nebo dokonce zastavení proudění vody v jakékoli části. Je nutné se vyvarovat například ostrých záhybů potrubí či nadbytečného vertikálního vedení, používaného například někdy pro překonání konstrukčních překážek. V tomto kontextu je důležité také správně navrhnout kapacitu mechanické a biologické filtrace (vyjádřenou např. v g dusíku odstraněného za hodinu), které slouží k separaci

pevných částic a přeměně toxického amoniaku na méně škodlivý dusičnan prostřednictvím nitrifikačních bakterií. Pro správné zajištění optimálních podmínek pro metabolismus ryb a účinnost mikrobiálních procesů musí být součástí návrhu výpočet a následně zajištění dostatečné kapacity aerace, vyjádřené jako množství rozpuštěného kyslíku dodaného do systému ($\text{v mg O}_2 \cdot \text{l} \cdot \text{s}^{-1}$). Do výpočtů je nutné započítat i potřebné množství mineralizačních jednotek, které umožňují zpětné využití pevných organických zbytků z RAS ve formě dostupných živin pro rostliny. Na straně hydroponické části je třeba stanovit potřebnou velikost pěstební plochy (v m^2), která musí být úměrná objemu přenesených živin a zamýšlenému typu a počtu rostlin. Souvisí s tím také hustota osazení rostlin ($\text{v počtu jedinců na m}^2$), kterou je třeba optimalizovat vzhledem k požadavkům na světlo, prostor a výživu. Nezbytnou součástí výpočtu je rovněž odhad celkové spotřeby vody (v m^3) a množství živin nezbytných pro správný růst rostlin ve fázi vegetativní i reprodukční. Specifickým indikátorem, který slouží k nastavení základního poměru mezi živočišnou a rostlinnou produkcí, je **poměr produkce ryb a rostlin**, známý jako **Feeding Rate Ratio (FRR)**. Tento poměr odráží vztah mezi množstvím krmiva aplikovaného v RAS a výživovou potřebou hydroponické části systému. Slouží jako orientační měřítko v rámci tvorby designu systému, a je výchozím krokem k dalším výpočtům.

Tabulka 3. Doporučená literatura pro Integraci RAS a hydroponie

Citace	Popis
Mráz a kol. (2022)	Metodika Konstrukce recirkulačních akvaponických systémů poskytuje komplexní přehled o návrhu, provozu a optimalizaci akvaponických systémů, které kombinují recirkulační chov ryb a hydroponické pěstování rostlin. Součástí metodiky je podrobný popis technických komponent (nádrže, filtrace, aerace, ohřev vody), návrh různých typů pěstebních systémů (např. Ebb and Flow, NFT, DWC, kapková závlaha), způsoby jejich zapojení i dimenzování. Metodika obsahuje i praktické návody pro výpočet krmných dávek, návrh biofiltrů, výběr komponent a sestavení jak hobby systémů, tak i komerčních akvaponických farem. Zaměřuje se také na mineralizaci kalů, ekonomické aspekty a možnosti provozu v různých klimatických podmínkách
Thorarinsdottir a kol. (2015)	Publikace „ <i>Aquaponics Guidelines</i> “ [Akvaponický manuál] slouží jako ucelený průvodce výstavbou a provozem akvaponických systémů v evropských podmínkách. Zabývá se technickým řešením různých typů hydroponických systémů, řízením kvality vody, výběrem vhodných druhů ryb a rostlin, prevencí chorob i hygienou provozu. Práce je v anglickém jazyce.
Mráz a kol. (2022)	Metodika Management akvaponických systémů poskytuje komplexní přehled o správě provozu akvaponických systémů, které propojují recirkulační akvakulturu a hydroponické pěstování rostlin. Zaměřuje se na výběr vhodných kombinací druhů ryb a rostlin, výpočet obsádek, řízení kvality vody, produkční parametry i krmné strategie. Dále se zabývá optimálním poměrem mezi rybí a rostlinnou složkou, mineralizací odpadních látek, specifiky rostlinné výživy, světelnými

	požadavky, ochranou proti škůdcům a chorobám a sklizní. V závěru se věnuje udržitelnosti systému, ekonomickým aspektům a možnostem praktického využití metodiky
Zappernick a kol. (2022)	Vědecký článek „ <i>Techno-economic analysis of a recirculating tilapia-lettuce aquaponics systém</i> “ [Technicko-ekonomická analýza recirkulačního akvaponického systému tilapie–hlávkový salát] Práce se zabývá hodnocením technické a ekonomické proveditelnosti akvaponických systémů, které kombinují chov ryb a pěstování zeleniny v uzavřeném recirkulačním cyklu. Ukazuje, jak lze propojit provozní data z pilotních jednotek s finanční analýzou a identifikovat klíčové faktory ovlivňující efektivitu a ziskovost. Studie může být inspirativní pro rozvoj městského zemědělství. Práce je v anglickém jazyce.
Keesman a kol. 2019	Kapitola “ <i>Aquaponics systems modelling</i> ” [Modelování akvaponických systémů] se zabývá využitím systémové teorie pro tvorbu a validaci matematických modelů akvaponických systémů. Ukazuje, jak lze modelovat jednotlivé podsystémy. Například rybí nádrže, anaerobní digesci a hydroponické skleníky a jak tyto části propojit do jednoho celku. Diskutuje, jakou úroveň složitosti modelu zvolit, aby odpovídala dostupným datům a zároveň umožnila praktické využití pro simulace, návrh experimentů, predikce i řízení akvaponických provozů. Kapitola tak poskytuje rámec, jak modely využít k efektivnějšímu managementu a kontrole akvaponických systémů. Práce je v anglickém jazyce.

Management chovu ryb záleží primárně na výběru druhu. Kritéria výběru zahrnují teplotní optimum a průběžnou dostupnost násady, což je důležité pro kontinuální produkci. Klíčovou roli hraje i odolnost druhu vůči výkyvům v parametrech kvality vody. Do produkce by se měly zvažovat pouze druhy u kterých existuje za dané prodejní ceny tržní poptávka a odbyt, což musí být podloženo marketingovou studií. Chov může být jednogenerační nebo vícegenerační. Jednogenerační chov umožňuje lepší kontrolu, ale vyžaduje více nádrží. Vícegenerační chov je méně náročný na prostor, ale může zvyšovat riziko kanibalismu a stresu u chovaných ryb. Krmení je jedním ze zásadních faktorů produkce. Složení krmiva (kvalita a obsah bílkovin, tuků, sacharidů atd.) musí odpovídat výživovým nárokům jednotlivých druhů a kategorie (věk). Je potřeba dodržovat frekvenci krmení podle teploty vody, obsahu kyslíku a dalších parametrů prostředí a chovaného druhu. Během chovu je třeba sledovat produkční parametry, které jsou zásadní pro řízení produkce. Mezi klíčové ukazatele patří přežití, specifická rychlost růstu (SGR), konverze krmiva (FCR) a efektivita využití krmiva (FCE).

Tabulka 4. Doporučená literatura pro Management chovu ryb

Citace	Popis
Mráz a kol. (2022)	Metodika Management akvaponických systémů poskytuje komplexní přehled o správě provozu akvaponických systémů, které propojují recirkulační akvakulturu a hydroponické pěstování rostlin. Zaměřuje se na výběr vhodných kombinací druhů ryb a rostlin, výpočet obsádek,

	řízení kvality vody, produkční parametry i krmné strategie. Dále se zabývá optimálním poměrem mezi rybí a rostlinnou složkou, mineralizací odpadních látek, specifiky rostlinné výživy, světelnými požadavky, ochranou proti škůdcům a chorobám a sklizni. V závěru se věnuje udržitelnosti systému, ekonomickým aspektům a možnostem praktického využití metodiky.
Kouřil a kol. (2013)	Metodika Recirkulační akvakulturní systémy pro chov ryb představuje ucelený návod pro návrh, provoz a optimalizaci recirkulačních akvakulturních systémů (RAS). Publikace podrobně popisuje principy fungování těchto systémů, jejich jednotlivé technologické komponenty (mechanická a biologická filtrace, aerace, oxygenace, denitrifikace, ohřev a chlazení vody, dezinfekce), a specifikuje požadavky na kvalitu vody, teplotní režim i obsah rozpuštěných plynů. Text se věnuje také odstraňování nerozpuštěných látek, transformaci amoniaku pomocí nitrifikace, snižování obsahu dusičnanů, použití měřicí a regulační techniky a možnostem využití alternativních zdrojů energie.
Polícar a kol. (2018)	Metodika Provozní manuál sloužící k efektivnímu provozu intenzivní akvakultury využívající RAS se věnuje efektivnímu řízení intenzivního chovu ryb v recirkulačních akvakulturních systémech se zaměřením na praktické aspekty provozního managementu zahrnující každodenní rutiny (kontroly funkčnosti technologií, sledování chování ryb, měření kvality vody a krmení), týdenní činnosti (kontrola růstu, třídění ryb, údržbu zařízení a kontrola záložních systémů) a dlouhodobý management (plánování dodávek kyslíku, obměnu vody a hygienické zabezpečení provozu).

Management pěstování rostlin musí vycházet z pečlivého výběru vhodných druhů a zejména odrůd, které jsou cíleně šlechtěny či doporučovány pro hydroponické systémy. Při jejich volbě hrají klíčovou roli vlastnosti, jako je odolnost, rychlost růstu, výnos a specifické nároky na prostředí. Tyto faktory určují nejen vhodnost daného druhu či odrůdy pro konkrétní podmínky, ale současně umožňují optimalizovat celkovou efektivitu produkce. V případě akvaponických systémů, které jsou nejčastěji provozovány ve sklenících nebo v uzavřených halách, je nezbytné zohlednit také možné výkyvy teploty a vlhkosti. Ty se mohou vyskytnout i přes využívání pokročilých technologií a klimatizačních systémů, a proto je volba odpovídajících druhů a odrůd zásadní. Samotné pěstování rostlin probíhá v několika technologických fázích, z nichž každá má specifické nároky na prostředí i na prováděné činnosti. Proces obvykle začíná výsevem semen, který vyžaduje vhodné výsadbové médium a optimální mikroklimatické podmínky podporující klíčivost. Následuje fáze klíčení a raného růstu, během níž rostlina čerpá zásobní látky ze semene a vytváří základní kořenový systém a pravé listy. V této fázi je klíčová stabilita vlhkosti a teploty, stejně jako dostatek světla. Jakmile sazenice dosáhnou požadovaného vývojového stádia (obvykle ve fázi prvních pravých listů), jsou přesazeny do hlavního hydroponického systému, kde pokračují ve fázi intenzivního růstu.

Klíčovým aspektem celého pěstebního procesu je správně nastavená výživa rostlin. Složení a koncentrace živného roztoku musí být precizně přizpůsobeny specifickým požadavkům jednotlivých druhů, neboť každá plodina vyžaduje individuální poměr a dostupnost jednotlivých živin. Esenciální makroprvky: dusík, fosfor, draslík, vápník, hořčík, síra a mikroprvky, jako jsou železo, mangan, zinek, měď, molybden a bor, jsou nezbytné pro zajištění základních metabolických pochodů, tvorbu biomasy a úspěšný přechod rostliny do fáze reprodukce. Některé prvky však mohou v nadměrných koncentracích působit fytotoxicky, a proto je nezbytné pravidelně analyzovat složení živného roztoku, zejména pokud je jeho zdrojem voda z akvakultury. Problematickým prvkem bývá zejména sodík, jehož koncentrace je v recirkulačních akvakulturních systémech (RAS) často nadlimitní pro rostliny. To může negativně ovlivňovat jejich růst a vývoj, především u druhů s nízkou tolerancí vůči sodíku, jako je například salát (*Lactuca sativa*). V těchto případech je vhodné do akvaponického systému zařadit odsolovací jednotky. Součástí nutričního managementu jsou rovněž kalkulace zaměřené na vstupy dalších aditiv, která se používají například pro úpravu pH vody nebo jako součást terapeutických zásahů v chovu ryb. Tyto látky, nejčastěji vápník a sodík, je třeba sledovat z hlediska jejich koncentrace v roztoku, a je-li to možné, nahradit je vhodnějšími alternativami, například s obsahem prospěšných prvků jako dusík nebo fosfor.

Metodiky výpočtu a přípravy živných roztoků jsou detailně popsány v odborných manuálech a vědecké literatuře. Tyto zdroje poskytují nejen návody pro přesné míchání roztoků, ale i pokyny k úpravě pH a elektrické vodivosti (EC) a doporučení pro dynamickou úpravu složení živného média během jednotlivých fází růstu rostliny, v závislosti na jejich aktuálních nutričních potřebách.

Tabulka 5. Doporučená literatura pro Management pěstování rostlin

Citace	Popis
Mráz a kol. (2022)	Metodika Management akvaponických systémů poskytuje komplexní přehled o správě provozu akvaponických systémů, které propojují recirkulační akvakulturu a hydroponické pěstování rostlin. Zaměřuje se na výběr vhodných kombinací druhů ryb a rostlin, výpočet obsádek, řízení kvality vody, produkční parametry i krmné strategie. Dále se zabývá optimálním poměrem mezi rybí a rostlinnou složkou, mineralizací odpadních látek, specifiky rostlinné výživy, světelnými požadavky, ochranou proti škůdcům a chorobám a sklizni. V závěru se věnuje udržitelnosti systému, ekonomickým aspektům a možnostem praktického využití metodiky
de Mello Prado, R., & de Mello Prado, R. (2021).	Publikace „ <i>Introduction to Plant Nutrition</i> “ [Úvod do výživy rostlin] se věnuje komplexnímu úvodu do problematiky výživy rostlin, přičemž zvláštní důraz klade na hydroponické pěstování. Autoři popisují principy a výhody tohoto bezsubstrátového systému, který umožňuje efektivní kontrolu příjmu živin, optimalizaci výnosů a produkci

	kvalitních plodin s menší spotřebou vody a pesticidů. Vysvětlují, jak správně připravit a vyvážit výživové roztoky, jaké prvky by měly obsahovat a jak jejich koncentrace ovlivňují růst a vývoj rostlin. Podrobně jsou popsány požadavky na pH, vodivost, teplotu a okysličení roztoků i specifika jednotlivých pěstebních systémů. Práce je v anglickém jazyce.
Langenfeld a kol. (2022)	Článek „<i>Principles of Nutrient and Water Management for Indoor Agriculture</i>“ [Zásady hospodaření s živinami a vodou pro pěstování v uzavřených prostorech] nabízí ucelený a prakticky orientovaný návod pro optimalizaci výživy rostlin v kontrolovaném prostředí bez negativního dopadu na životní prostředí a s možností dlouhodobého recirkulačního využívání živného roztoku. Zaměřuje na efektivní řízení výživy a vody v hydroponických systémech pomocí principu hmotnostní bilance. Tato metoda umožňuje přesné dávkování živin podle potřeby rostlin, založené na jejich složení a efektivitě využití vody, bez nutnosti výměny nebo vylévání roztoku. Práce je v anglickém jazyce.

Kvalita vody a její monitoring jsou základem pro řízení a udržitelnost akvaponického systému. Monitoring musí zahrnovat minimálně následující základní parametry: teplota, pH, obsahy látek: rozpuštěný kyslík, amoniak, dusitany a dusičnany. V rámci managementu výživy rostlin je samozřejmostí pravidelná, nebo průběžná kontrola obsahu živin v roztoku. Optimální hodnoty se mohou lišit u jednotlivých druhů ryb a rostlin, které se v systému produkují. Monitoring kvality vody je zpravidla zajištěn kombinací automatizovaných systémů s průběžným měřením a pravidelného ručního odběru vzorků s následným zpracováním vhodnými analytickými nástroji v laboratoři.

Tabulka 6. Doporučená literatura pro Kvalitu vody a její monitoring

Citace	Popis
Lennard a Goddek (2019)	Kapitola „<i>Aquaponics: The Basics</i>“ [Akvaponie: základy] ze sborníku prací „<i>Aquaponics food production systems</i>“ [<i>Akvaponické produkční systémy</i>]. V kapitole jsou mj. rozsáhle popsány základy zabývající se zdrojem vody pro akvaponické systémy, kvalitou vody a zdrojem živin pro akvaponické systémy. Práce je v anglickém jazyce.
Chandramenon a kol. (2024)	Vědecká publikace „<i>Smart approaches to Aquaponics 4.0 with focus on water quality– Comprehensive review</i>“ [Chytré přístupy k akvaponii 4.0 se zaměřením na kvalitu vody – shrnutí] se zabývá integrací chytrých “smart” technologií a automatizací za účelem monitoringu kvality vody. Práce je v anglickém jazyce.

Ochrana rostlin a prevence nemocí ryb je dalším zásadním pilířem pro udržitelnost a rentabilitu akvaponické produkce. Součástí návrhu akvaponického provozu musí být i provozní řád zahrnující plánovaná preventivní opatření proti škodlivým organismům. Mezi takové patří například bariéry na vstupech: přetlaková předsíň, dezinfekční rohože či filtrace ve vzduchotechnice. Pro zaměstnance musí být vyčleněna šatna, případně převlékací místnost, kde se zaměstnanci oblékají do ochranného obleku, návleků na obuv, rukavic. Součástí akvaponického projektu musí být sanitační řád, kde je mj., řádně popsáno nakládání s odpady, úklid, průběžná a speciální ochranná dezinfekce. Základním postupem v této oblasti je především prevence a průběžný monitoring pomocí různého typu pastí (lepové, feromonové, foto či video záznam), který umožňuje včasný záchyt škůdců či chorob. První kroky k řešení výskytu původců nemocí či škůdců musí být soustředěné na manipulaci s environmentálními faktory jako jsou: teplota, vlhkost, kvalita vody. Nezbytný je okamžitý léčebný a eradikační zásah vůči škodlivému organismu či patogenu. Z tohoto důvodu je nezbytné mít průběžně skladem, okamžitě k dispozici základní spektrum léčebných a ochranných prostředků. Vzhledem k tomu, že akvaponické systémy poskytují ideální podmínky pro rozvoj škůdců i patogenů, může opožděný zásah vést k jejich rychlému šíření, a jejich likvidace může být v důsledku velmi problematická, až nemožná. Uplatnění některých léčebných prostředků a syntetických pesticidů musí být kriticky zváženo. Použití běžných pesticidů (např. endosulfan, tebuconazol) je v akvaponii nevhodné.

Tabulka 7. Doporučená literatura pro Ochranu rostlin a prevenci nemocí ryb

Citace	Popis
Tůmová a kol. (2025)	Souhrnný článek Integrovaná ochrana rostlin v akvaponii , publikovaný v časopise Úroda popisuje komplexní preventivní opatření na ochranu rostlin proti škůdcům, možnosti dezinfekce roztoku a systému, a zabývá se také monitoringem škůdců. Článek uvádí příklady organismů využívaných k biologickému boji proti nejčastějším škůdcům v akvaponii a dále zmiňuje přírodní pesticidní látky, které lze v akvaponických systémech uplatnit, např. botanické pesticidy, základní látky či přírodní přípravky na ochranu rostlin.
Gebauer a kol. (2024)	Metodika Efektivita nanobublin ozonu proti padlí tykvovitých v akvaponických systémech představuje šetrnou a účinnou metodu ochrany rostlin v akvaponii. Využívá ozon vázaný na nanobubliny (O ₃ NB), který významně snižuje výskyt padlí okurek (<i>Podosphaera xanthii</i>), aniž by negativně ovlivnil růst rostlin, výnos nebo zdraví ryb. Technologie je vhodná jako alternativa k chemickým fungicidům, je bezpečná, nezanechává rezidua a podporuje udržitelnou ochranu rostlin ve skleníkových akvaponických systémech
Kazda a kol. (2010)	Publikace Encyklopedie ochrany rostlin představuje komplexní, prakticky orientovaný přehled problematiky ochrany rostlin s důrazem na rozsah, strukturu a grafické zpracování. Obsah knihy se věnuje biologii škodlivých organismů, zahrnující plevele, viry, bakterie, houby, hádátka, roztoče, hmyz a vybrané skupiny obratlovců. Jedinečnost publikace spočívá v rozsáhlém grafickém doprovodu, který zahrnuje originální fotografie, kresby a schémata, které zásadně rozšiřují a zpřehledňují tištěný text.
Kolářová a kol. (2019)	Publikace Řešení zdravotní problematiky v intenzivních chovech ryb využívajících RAS (recirkulační akvakulturní systém) se zabývá komplexní problematikou zdraví ryb v intenzivních chovech využívajících RAS. Metodika podrobně popisuje vyšetření zdravotního stavu ryb a nabízí přehled terapeutických možností včetně praktických doporučení. Dokument detailně charakterizuje fungování RAS, včetně principů biologické filtrace, regulace kvality vody a faktorů ovlivňujících úspěšný chov ryb. Zvláštní důraz je kladen na význam monitoringu parametrů prostředí a zdravotního stavu ryb, včetně systematické kontroly jak chovatelem, tak veterinárním lékařem. Popisovány jsou specifické chorobné stavy, a to jak neinfekční (např. vliv pH, teploty, dusitanů, kvality krmiva), tak infekčního původu (virové, bakteriální a parazitární onemocnění). Text přináší ucelený přehled diagnostických metod, včetně mikroskopických, hematologických, histologických, virologických, bakteriologických, parazitologických a toxikologických vyšetření. V části věnované léčbě je akcentována nutnost šetrného zacházení s biologickými filtry při aplikaci léčiv a pomocných látek.

Folorunso a kol. (2021)	Článek <i>“Integrated pest and disease management in aquaponics: A metadata-based review”</i> [Integrovaná ochrana proti škůdcům a chorobám v akvaponii: přehled založený na metadatech] se zaměřuje na hlavní problémy spojené s ochranou proti škůdcům a chorobám v akvaponii. Identifikuje významné riziko houbových a bakteriálních chorob rostlin, přítomnost běžných škůdců hydroponických plodin i možnost výskytu patogenů ryb. Hlavním omezením je nemožnost využívat běžné chemické přípravky, které mohou poškodit ryby, prospěšné mikroorganismy a destabilizovat celý systém. Autoři proto zdůrazňují potřebu integrovaného managementu založeného na prevenci, biologické kontrole, fyzikálních bariérách a pečlivém monitoringu. Zároveň upozorňují na nedostatek výzkumu týkajícího se přenosu patogenů mezi rybami a rostlinami a na chybějící komplexní strategie ochrany specifické pro akvaponii. Práce je v anglickém jazyce.
-------------------------	---

4. Cíle a účel metodiky

Cílem metodiky je poskytnout přehledný návod, jak postupovat při hodnocení návrhů akvaponických systémů resp. jejich připravených projektů. Metodika si klade za cíl představit klíčové faktory pro rozhodovací proces a stanovit kritéria pro rozhodnutí o případném podpoření či nepodpoření projektu. Metodika je podkladem pro hodnocení dlouhodobých profesionálních a udržitelných provozů, jejichž cílem je ziskové nebo vyrovnané hospodaření. Metodika není určena pro experimentální, výzkumné a ukázkové akvaponické systémy

5. Pojmy, zkratky a hodnoty používané v akvaponii

Tabulka 8

Zkratka	Název	Vysvětlení	Obvyklé hodnoty
AL	<i>Ad libitum</i> Bez omezení	Termín označující způsob krmení, kdy mají ryby neomezený přístup ke krmivu po celý den, nebo jsou krmeny až do nasycení.	
B	Bór	Mikroprvek důležitý pro růst kořenů, tvorbu buněčných stěn, kvetení a plodnost rostlin. Esenciální, ale ve vyšších dávkách toxický pro rostliny i ryby.	0,2–0,6 mg/l
Ca	Vápník	Makroprvek nezbytný pro stavbu buněčných stěn, růst kořenů a transport živin u rostlin. Pomáhá stabilizovat pH a snižovat toxicitu amoniaku. Důležitý i pro nitrifikační bakterie a kvalitu vody pro ryby.	40–185 mg/l
CFU	<i>Colony Forming Unit</i> Kolonie tvořící jednotky	Je mikrobiologická veličina, která se používá pro odhad počtu životaschopných (tedy rozmnožování schopných) mikroorganismů v daném vzorku: typicky bakterií, kvasinek nebo plísní.	Ve vodě 10 ³ –10 ⁵ CFU/ml Pro zeleninu ≤10 ⁵ CFU/g (ACC – aerobic colony count) podle ICMSF (International Commission on Microbiological Specification for Foods)
CO ₂	Oxid uhličitý	Plyn, který je pro rostliny živinou, zdrojem uhlíku, pro fotosyntézu. Vyšší koncentrace podporuje rychlejší růst. Ve vodě rozpuštěný CO ₂ ovlivňuje pH (více CO ₂ = nižší pH). Důležitá je rovnováha mezi O ₂ a CO ₂ , aby vysoká koncentrace CO ₂ neohrozila chované ryby.	ve vzduchu ~1830 mg/m ³ při 25 °C, do 5mg/l ve vodě
Cu	Měď	Mikroprvek pro rostliny, důležitý pro fotosyntézu a enzymy. Vyšší obsah mědi představuje riziko pro ryby a bakterie.	0,01–0,2 mg/l
DO	<i>Dissolved oxygen</i> Rozpuštěný kyslík	Veličina udávající koncentraci kyslíku rozpuštěného ve vodě. Množství rozpuštěného kyslíku je klíčové pro zdraví ryb a mikroorganismů.	>5 mg/l – ideální pro většinu druhů ryb ≥6 mg/l pro rostliny, s optimem 8-9 mg/l DO

DWC	<i>Deep Water Culture</i> Kultura hluboké vody	Hydroponický pěstební systém, kdy jsou rostliny pěstovány na plovoucích platformách přímo na povrchu vody obohacené o živiny.	
EBB	<i>Ebb and Flow system/ Flood and Drain</i> Záplavový a odtokový systém	Hydroponický pěstební systém, který využívá periodického zaplavení pěstebních nádob a následného odtoku vody, což umožňuje přístup k živinám i kyslíku.	
EC	<i>Electric conductivity</i> Elektrická vodivost	Veličina, která vyjadřuje schopnost látky vést elektrický proud. V kontextu vody a živných roztoků se jedná o měření množství iontů, které umožňují přenos elektrického náboje. Čím více iontu Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- atd.), tím vyšší elektrická vodivost.	0,5–2,0 mS/cm Optimum pro rostliny: 1,25 mS/cm
FCR	<i>Feed conversion ratio</i> Krmný koeficient	Ukazatel, který vyjadřuje poměr mezi množstvím podaného krmiva a přírůstkem hmotnosti ryby. Ukazuje, jak efektivně ryba využívá krmivo k růstu. $\text{FCR} = \text{přijaté krmivo} / \text{přírůstek}$. Výsledek se obvykle udává v množství potravy v kg potřebné k produkci 1 kg hmotnosti ryby.	0,9–1,5 (granulované krmivo)
FCE	<i>Food conversion efficiency</i> Účinnost přeměny krmiva	Ukazatel, který vyjadřuje, jak efektivně ryba přeměňuje přijaté krmivo na tělesnou hmotu, zpravidla na svaly nebo užitkový produkt. $\text{FCE} = \text{přírůstek} / \text{přijaté krmivo}$. Výsledek se obvykle udává v přírůstku v kg zajištěným krmivem o hmotnosti 1 kg.	0,66–1,0 (granulované krmivo)
Fe	Železo	Mikroprvek pro rostliny, který je nezbytný pro tvorbu chlorofylu, dýchání rostlin a pro enzymatické procesy v rostlině.	1–3 mg/l ≤ 5 mg/l Výjimečně více
FRR	<i>Feed Rate Ratio</i> Poměr krmné dávky	Ukazatel, který vyjadřuje množství krmiva podaného rybám za den v poměru k jejich celkové hmotnosti. Udává se v procentech hmotnosti rybí populace za den.	1–5 % v závislosti na vývojovém stádiu (stáří) ryb.
FTE	<i>Field Transfer Efficiency</i> Skutečná účinnost přenosu	Ukazatel, který udává, jak efektivně se různé prvky (N, P, K, O) přenášejí do vody v reálných provozních podmínkách. Vyjadřuje se v procentech (%): kolik z přidaného prvku se reálně rozpustí ve vodě.	U kyslíku min. 30–40 %
GH	<i>General Hardness</i> Celková tvrdost	Ukazatel, který vyjadřuje koncentraci rozpuštěných iontů vápníku (Ca^{2+}) a hořčíku (Mg^{2+}) ve vodě. Tyto dva kationty tvoří hlavní složky celkové tvrdosti.	60–150 mg/l 3–8 °dGH
H ₂ O	Voda	Médium, které propojuje celý systém slouží k přenosu a distribuci živin, kyslíku i tepla.	
HS	Hydroponické systémy	V akvaponii se využívají stejné typy hydroponických systémů jako v klasické hydroponii. Část živin pochází z akvakulturní produkce.	

IBC	<i>Intermediate Bulk Container</i> Mezinárodní přepravní kontejner středního objemu	Nádrž pro přepravu a skladování kapalin.	Obvyklý objem 1000 l
K	Draslík	Makroprvek pro rostliny, podporuje tvorbu plodů, odolnost vůči chorobám, a regulaci vody v rostlinách. V akvaponii často chybí, protože ryby a krmivo ho dodávají jen málo. Příjem draslíku zhoršuje vysoký obsah sodíku v roztoku.	40–100 mg/l 100–300 mg/l pro hydroponicky pěstované rostliny
KH	<i>Carbonate hardness</i> Uhličitanová tvrdost	Ukazatel, který vyjadřuje množství uhličitánů a hydrogenuhličitánů ve vodě.	50–100 mg/l 3–6 °dKH
MBBR	<i>Moving Bed Bio-reactor</i> Biofiltr s pohyblivým médiem	Biologicky aktivní zařízení tvořené nádrží s volně se pohybujícími plastovými nosiči se strukturovaným povrchem, na kterém se vytváří biofilm nitrifikačních bakterií. Pohyb nosičů je zajišťován prouděním vody, často podpořeným provzdušňováním. Díky vysoké specifické ploše jsou nosiče ideální pro efektivní růst a kolonizaci mikroorganismy.	
Mg	Hořčík	Makroprvek zásadní pro tvorbu chlorofylu a metabolismu enzymů.	20–70 mg/l
Mn	Mangan	Mikroprvek pro rostliny, který se podílí na fotosyntéze, metabolismu dusíku a tvorbě enzymů.	0,05–2 mg/l
Mo	Molybden	Mikroprvek pro rostliny, který se podílí na mnoha metabolických procesech.	0,01–0,2 mg/l
NFT	<i>Nutrient Film Technique</i> Technika tenkého filmu živného roztoku	Hydroponický pěstební systém, ve kterém tenká vrstva živného roztoku nepřetržitě protéká kolem kořenů rostlin umístěných ve žlábech nebo trubkách. Tento způsob pěstování zajišťuje stálý přísun vody, živin a zároveň dostatečný přístup kyslíku ke kořenům.	
N-NH ₃	Amoniak	Chemická sloučenina, odpadní produkt z metabolismu ryb a rozkladu nezkonsumovaného krmiva. V systému se přeměňuje pomocí nitrifikačních bakterií nejprve na dusitany (NO ₂ ⁻) a poté na dusičnany (NO ₃ ⁻). Vyšší výskyt toxické formy amoniaku (NH ₃) nastává při vyšším pH.	do 1,0 mg/l
N-NH ₄ ⁺	Amonný ion	Chemická sloučenina, sekundární odpadní produkt metabolismu ryb a rozkladu nezkonsumovaného krmiva. V systému se přeměňuje pomocí nitrifikačních bakterií na dusitany a dusičnany. Vyšší výskyt amonného iontu je při nižším pH.	< 0,02 mg/l

N-NO ₂ ⁻	Dusitany	Chemická sloučenina, která vzniká jako mezistupeň při přeměně amoniaku na dusičnany během nitrifikace. Dusitany jsou toxické pro ryby.	< 0,5 mg/l
N-NO ₃ ⁻	Dusičnany	Chemická sloučenina, konečný produkt nitrifikace amoniaku na dusičnany. Jsou hlavní makroživinou dusíku pro rostliny. Dusičnany nejsou toxické pro ryby ve srovnání s amoniakem nebo dusitany, ale příliš vysoké hladiny mohou u nich vyvolat dlouhodobý stres.	do 100 mg/l 100–250 mg/l pro hydroponicky pěstované rostliny, velmi závisí na pěstovaném druhu rostlin
O ₂	Kyslík	Plyn nezbytný pro dýchání ryb, nitrifikačních bakterií a kořenů rostlin.	6–8 mg/l
ORP	Oxidačně-redoxní potenciál	Veličina udávající schopnosti prostředí oxidovat nebo redukovat jiné látky. Udává se v milivoltech (mV) a značí tendenci prostředí přijímat nebo odevzdávat elektrony.	300–400 mV
PAR	<i>Photosynthetically Active Radiation</i> Fotosynteticky aktivní záření	Je rozmezí označující část světelného spektra, kterou rostliny využívají pro fotosyntézu.	vlnové délky mezi 400–700 nm,
P-PO ₄ ³⁻	Fosforečnany	Chemická sloučenina, hlavní makroživina fosforu nezbytného pro růst kořenů, vývoj květů a plodů a přenos energie v rostlině (ATP).	5–20 mg/l
pH	Vodíkový potenciál	Veličina, která vyjadřuje kyselost nebo zásaditost vody. pH ovlivňuje dostupnost živin, zdraví ryb i aktivitu nitrifikačních bakterií. Má zásadní vliv na příjem živin rostlinami: jejich dostupnost se mění v závislosti na hodnotě pH. Některé mikroprvky (např. Fe, Mn, Co, Zn, B) jsou lépe dostupné při nižším pH, zatímco makroprvky (např. N, P, K, Mg, S, Ca) jsou nejlépe dostupné při neutrálním až mírně zásaditém pH.	6,8–7,2 5,5–6 pro hydroponicky pěstované rostliny
PPFD	<i>Photosynthetic Photon Flux Density</i> Hustota toku fotosynteticky aktivních fotonů	Veličina udávající množství fotonů, které dopadají na plochu rostliny za sekundu. Udává se mol/m ² /s.	100–1000 μmol/m ² /s v závislosti na druhu rostliny
PPM	<i>Parts per million</i> Částice na milion	Jednotka používaná k měření koncentrace různých solí, živin nebo nečistot ve vodě.	
S	Síra	Makroprvek nezbytný pro průběh proteosyntézy a je nedílnou součástí sirných aminokyselin či některých vitamínů a hormonů.	30–120 mg/l Výjimečně více

SGR	<i>Somatic Growth Rate</i> Specifická rychlost růstu	Ukazatel, který vyjadřuje procentuální přírůstek hmotnosti za den a umožňuje srovnání růstové výkonnosti různých jedinců nebo skupin bez ohledu na jejich počáteční velikost. $SGR = (\ln(W_k) - \ln(W_p)) / t \times 100$	0,5-4,5 % . d ⁻¹ záleží na druhu, vývojovém stádiu a dalších podmínkách
SOTE	<i>Standard Oxygen Transfer Efficiency</i> Standardní účinnost přenosu kyslíku	Ukazatel udávající, kolik % kyslíku se přenesze ze vzduchu do vody za standardních podmínek (tj. 100 % nasycení, 20 °C, 1 atm). Používá se hlavně pro porovnání provzdušňovacích zařízení.	Více než 5 %
SD	<i>Stocking Density</i> Hustota rybí obsádky	Ukazatel, který vyjadřuje množství biomasy ryb v kilogramech na jednotku objemu vody v chovné nádrži (kg/m ³). Hustota obsádky (SD – Stocking Density) se může vyjadřovat také v počtu kusů na m ³ . Mezi velikostí ryb (kusovou hmotností) a celkovou biomasou existuje nelineární vztah: vyšší počet menších jedinců vyžaduje zpravidla nižší hustotu obsádky než menší počet ryb při stejné celkové biomase, kvůli rozdílným nárokům na prostor, kyslík a metabolickou zátěž systému	do 40–120 kg/m ³
TDS	<i>Total Dissolved Solids</i> Celkové množství rozpuštěných látek	Ukazatel shrnující všechny pevné látky ve vodě, zahrnuje minerály, soli, živiny, kovy a další ionty. Měří se v jednotkách mg/l nebo ppm	300–1200 mg/l
Zn	Zinek	Mikroprvek důležitý pro výživu rostlin. Podílí se na tvorbě enzymů, syntéze auxinů (růstových hormonů) a regulaci metabolických procesů. Má významnou roli v ochraně rostlin před abiotickým stresem a zvyšuje jejich odolnost vůči některým chorobám.	0,05–0,6 mg/l

6. Popis metodiky

6.1 Přehled faktorů a vlivů vstupujících do rozhodovacího procesu

Lokalita hraje klíčovou roli v technické, ekonomické a environmentální udržitelnosti akvaponického systému. Volba místa ovlivňuje infrastrukturní náklady, provozní efektivitu, logistiku a dostupnost trhů. Zásadním ekonomickým faktorem může být například možnost využití odpadního tepla. Městské lokality nabízejí výhody, jako jsou blízkost trhů a lepší dostupnost kvalifikované pracovní síly, avšak za cenu vyšších nákladů na pozemky. Naopak venkovské oblasti poskytují levnější pozemky a větší flexibilitu pro rozšiřování systému, ale mohou přinášet vyšší logistické náklady a omezenou dostupnost kvalifikované pracovní síly. V městském prostředí lze efektivněji využít odpadní teplo z průmyslových objektů pro vytápění systému, zatímco venkovská lokalita umožňuje integraci s tradičním zemědělstvím, například využitím organického odpadu pro výrobu bioplynu a následné přeměny na elektrickou či tepelnou energii.

Klima na lokalitě přímo zasahuje do konstrukce systému a jeho energetických nároků. Sezónní a denní teplotní výkyvy určují potřebu izolace a regulace teploty. Teplotní rozsahy během roku a délka vegetační sezóny mají zásadní vliv na stabilitu provozu. V chladnějších oblastech je nutné vytápění, zatímco vyšší oblačnost zvyšuje nároky na umělé osvětlení. Vysoká vlhkost vzduchu může podporovat růst plísní a chorob rostlin, zatímco suché klima zvyšuje potřebu častějšího doplňování vody.

Dostupnost infrastruktury na lokalitě má přímý dopad na provozní náklady a efektivitu produkce. Stabilní připojení k elektrické síti je nezbytné, přičemž obnovitelné zdroje energie, jako jsou například solární a větrné systémy, mohou pomoci snížit provozní náklady a zvýšit efektivitu. Kvalita a dostupnost vody jsou zásadní, přičemž vícezdrojové zásobování přispívá k dlouhodobé stabilitě produkce. Dopravní dostupnost, zejména blízkost hlavních silnic, ovlivňuje rychlost distribuce produktů. Výhodou je lokalita v blízkosti univerzit, která usnadňuje přístup ke spolupráci s akademickou obcí. To zahrnuje využití výzkumných kapacit, možnosti grantové podpory a usnadňuje získání kvalifikované pracovní síly.

Volba druhů ryb a rostlin hraje zásadní roli v ekonomické udržitelnosti systému. Nejvhodnější jsou druhy ryb s odbytem na místním trhu, vysokou tržní hodnotou a efektivním využitím krmiva, což pomáhá minimalizovat provozní náklady. Z rostlin má nejlepší ekonomický potenciál rychle rostoucí listová zelenina a bylinky. V některých případech může být perspektivní i produkce plodové zeleniny, především pokud nese přidanou hodnotu ve formě mimo sezónní produkce, konkurenceschopných až vynikajících sensorických vlastností, případně pokud je zajištěn odbyt na prémiovém trhu. Ve většině případů je pro odběratele zásadním faktorem prodejní cena, a to jak pro velkoobchod (obchodní řetězec), tak i maloobchod a přímého odběratele.

(konzumenta). Ekonomičnost produkovaných druhů je tak výsledkem více proměnných.

Technologie a automatizace výrazně přispívají ke snížení potřeby lidské práce a optimalizaci provozu. Pokročilé senzory pro monitorování pH, teploty a koncentrace živin umožňují ve spolupráci s aktivními prvky na úpravu měřených parametrů (faktory) přesnější řízení systému a minimalizaci manuálních zásahů, čímž se zvyšuje efektivita práce a tím i produkce. Automatizace a pokročilé technologie však navyšují vstupní investiční náklady a následně i provozní náklady (údržba, servis, amortizace). Při hodnocení akvaponických technologií lze rozlišit tři úrovně automatizace. **Nízká úroveň automatizace**, charakterizovaná převážně manuálním řízením s podporou pouze základních technologií, je považována za neefektivní a v praxi se obvykle neuplatňuje. **Střední úroveň automatizace** znamená, že systém dokáže vykonávat část úkolů samostatně, nicméně člověk musí stále aktivně dohlížet na provoz a zasahovat do klíčových rozhodnutí. **Vysoká úroveň automatizace** umožňuje systému provádět téměř všechny činnosti nezávisle, včetně rozhodování založeného na datech, přičemž role člověka se omezuje převážně na dohled a zásahy pouze v mimořádných situacích.

V oblasti ekonomiky a marketingu je důležité připravit realistickou strategii, která zohledňuje aktuální tržní podmínky, cílovou skupinu zákazníků a dostupné zdroje. Taková strategie by měla být flexibilní a zároveň postavená na reálných datech, analýzách a dosažitelných cílech. Strategie by neměla být založená na novosti akvaponie a “wow efektu” pro zákazníka. Výzkumy ukazují, že tato informace má spíše opačný efekt a u zákazníka může vzbuzovat spíše obavy z nového a neznámého. Větší míra pozornosti musí být věnována cenotvorbě, jelikož se v mnoha výzkumech prokázalo, že cena je hlavním, nebo jedním z hlavních rozhodujících faktorů. Jako součást projektového plánu je především vhodný průzkum směrem k odběratelům produkce, zaměřený na výkupní ceny. V případě přímého prodeje v místě produkce (prodeje ze dvora) cílený průzkum místního trhu zaměřený na konkurenci a na konzumenty. Klíčovým prvkem úspěchu je také **diverzifikace distribučních kanálů**, která snižuje závislost na jednom typu prodeje a umožňuje oslovit širší spektrum zákazníků. Kombinací přímého prodeje, online kanálů, spolupráce s obchodními partnery nebo využitím místních trhů lze zajistit větší stabilitu a odolnost vůči výkyvům v poptávce.

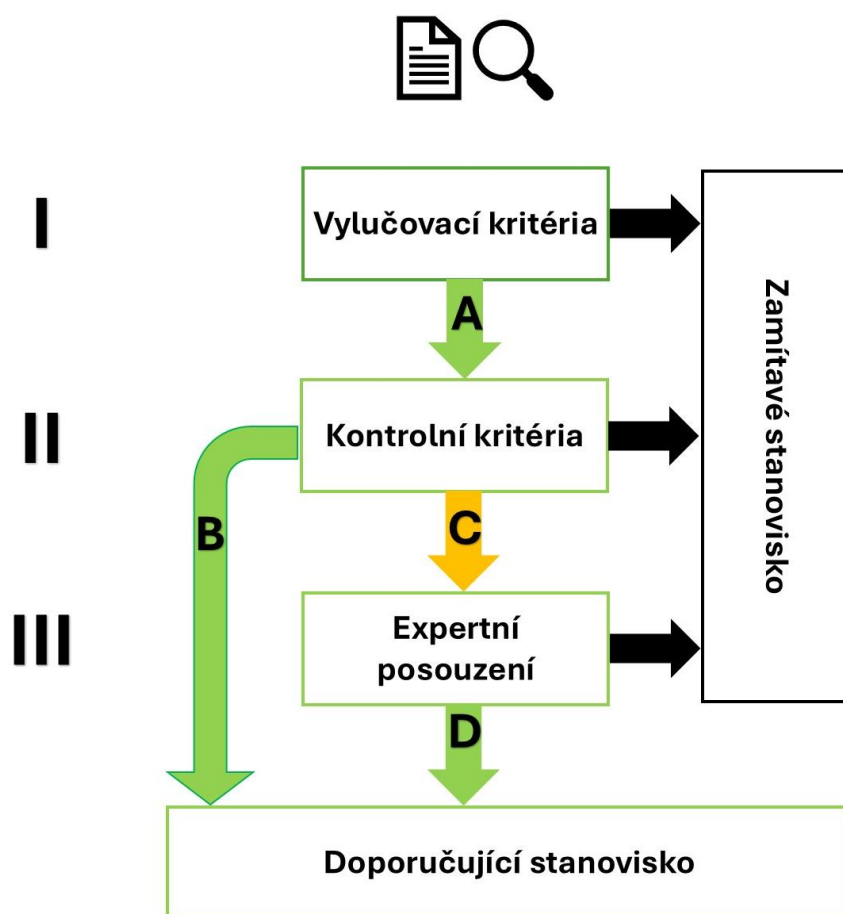
Z pohledu investic je nutné počítat s vysokými počátečními náklady na konstrukci RAS systémů a hydroponických modulů.

Efektivní infrastruktura a strategicky zvolená lokalita mohou významně snížit provozní náklady, avšak legislativní omezení související s územním plánováním a nakládáním s vodou mohou ovlivnit dostupnost financování. Zamýšlený akvaponický projekt by měl zahrnovat analýzu rizik, včetně legislativních změn, tržní nestability a technologických faktorů.

6.2 Struktura rozhodovacího procesu

Rozhodovací proces je strukturován do tří úrovní (viz obrázek 4). První úroveň zahrnuje vylučující kritéria, která umožňují již na samém počátku zamítnout záměr akvaponického projektu, a to bez nutnosti podrobnějšího hodnocení. Tato kritéria mají v rozhodovacím procesu nejvyšší prioritu a vedou buď k vyloučení projektu z pohledu dlouhodobé udržitelnosti nebo k jeho postoupení do druhé úrovně, tedy ke splnění kontrolních kritérií.

Druhá úroveň představuje hodnocení podle kontrolních kritérií. Ta slouží k důkladnějšímu posouzení navrhovaného akvaponického systému a jsou vyhodnocována pomocí bodové škály. Hodnocením na základě kontrolních kritérií lze dospět ke třem možným závěrům: (1) zamítnutí, (2) doporučení nebo (3) potřeba přezkoumání formou expertního posouzení. Třetí úroveň je tak založena na expertním posouzení v případě, že na základě kontrolních kritérií nebyl záměr ani zamítnut, ani doporučen. Expertní posouzení je časově náročnější, přináší s sebou i dodatečné náklady. Expertní posouzení je zaměřeno na příslušný projektový záměr a jeho výstupem je strukturovaný expertní posudek. Cílem posouzení je především ekonomická a technologická udržitelnost navrhovaného akvaponického projektu, ale hodnotí i proveditelnost a metodičnost produkce včetně produkčních kapacit. Expertní posudek se kromě celkového zhodnocení soustředí na argumentaci nesplněných kritérií.



Obrázek 4 – Grafické znázornění rozhodovacího procesu. Jednotlivá písmena A, B, C a D reprezentují pozitivní úrovnový proces hodnocení.

6.3 Vylučující kritéria

Následující kritéria byla stanovena jako vylučující a jsou uvedena ve formě tvrzení. Pokud je tvrzení v souladu s návrhem akvaponického projektu, znamená to vyloučení takového záměru a není nutné pokračovat v dalším hodnocení.

Mohou nastat situace, kdy se určité vylučovací kritérium neuplatní z oprávněných důvodů. V takovém případě je nutné toto neuplatnění vymezit již před stanovením hodnotících kritérií a řádně je odůvodnit. Příkladem může být situace, kdy se mezi vylučovací kritéria nezařadí požadavek na budování akvaponického systému na orné půdě.

- Součástí záměru není **průzkum potenciální konkurence ani analýza cen** obdobných produktů na trhu, a není posouzeno, zda jsou produkty z akvaponické systému konkurenceschopné na cílovém trhu.

- *Akvaponický systém je budován na **orné půdě**.*
- *Integrace akvakulturní a hydroponické části je řešena **přímým propojením** (jednosmyčkový akvaponický systém).*
- *Akvakulturní část se na objemu roztoku pro rostliny v hydroponické části podílí **méně než z 50 %**.*
- *V technologii **není počítáno s doplňováním hnojiv** do hydroponické části systému, které nejsou rostlinám přístupné v odpovídajícím množství: rostliny budou živeny pouze vodou z akvakultury.*
- *Technologie **neobsahuje mechanickou filtraci**.*
- *Technologie **neobsahuje biologickou filtraci**.*
- *Subjekt **nemá vypracovaný HACCP** zahrnující plán běžné a speciální ochranné dezinfekce.*
- *Subjekt **nemá zpracovanou studii proveditelnosti**, která by zahrnovala také marketingovou část.*
- *V projektu **není zapojen žádný relevantní aplikační garant** (výzkumný nebo vědecký subjekt s minimálně desetiletou historií), který by mohl garantovat udržitelnost technologie. Vybraný garant by měl působit výzkumně v oblasti akvakultury, hydroponie nebo akvaponie, přičemž **garance musí být písemně sjednána minimálně na dobu 3 let**.*
- *Subjekt, který projekt podává (nebo zasmělný partner), **nemá prokazatelnou alespoň tříletou zkušenost s chovem ryb ani s pěstováním rostlin v hydroponii** doloženou dodávkami vlastní produkce na trh.*

6.4 Kontrolní kritéria

Kontrolní kritéria jsou sepsána ve formě otázek, na které hodnotitel odpovídá **ANO** nebo **NE**. Každá pozitivní odpověď „ano“ vyžaduje, krátké zdůvodnění, které je možné ověřit. Za každou kladnou odpověď je v této úrovni hodnocení přiřazen jeden bod. Negativní odpověď je bez bodového ohodnocení a také vyžaduje zdůvodnění.

Celkem obsahují kontrolní kritéria 50 otázek. V případě zisku plného počtu bodů, lze projekt považovat za udržitelný, tj. lze projektový záměr doporučit. V případě zisku 40 a více bodů, což představuje minimálně 80 %, lze postoupit projekt k expertnímu hodnocení. V případě zisku 39 a méně bodů, nelze projektový záměr doporučit a výsledkem je zamítavé stanovisko

Lokalita

- *Je vzdálenost od města s alespoň 40 tis. obyvateli ≤ 80 km?*
- *Je lokalita přímo napojená na celoročně udržovanou silnici se zpevněným povrchem?*

Infrastruktura

- *Je budova, ve které probíhá produkce, odpovídajícím způsobem zajištěna proti výkyvům teplot mimo teplotní optima pro produkci, a to ve všech částech akvaponického systému?*
- *Je zajištěné stabilní a odpovídající připojení k elektrické síti?*
- *Je do technologického řešení integrován vlastní zdroj obnovitelné energie?*
- *Je v projektu počítáno s využitím odpadního tepla nebo se zapojením kotle na biomasu, či využití kogeneračního zdroje?*
- *Je do technologie zakomponovaný náhradní zdroj elektrické energie (generátor, baterie)?*
- *Je zajištěný stabilní a kvalitní zdroj vody?*
- *Je technologie vybavena záložním zásobováním vodou odpovídající kvality?*
- *Je v projektu zahrnutý sběr a využití dešťové vody?*

Technologie

- *Je v projektu navrhovaná míra automatizace akvaponického systému na úrovni střední až vysoká?*
(Střední úroveň automatizace znamená, že systém dokáže vykonávat část úkolů samostatně, nicméně člověk musí stále aktivně dohlížet na provoz a zasahovat do klíčových rozhodnutí. Vysoká úroveň automatizace umožňuje systému provádět téměř všechny činnosti nezávisle, včetně rozhodování založeného na datech, přičemž role člověka se omezuje převážně na dohled a zásahy pouze v mimořádných situacích.)
- *Probíhá cirkulace vody v akvaponickém systému horizontálně, nikoliv vertikálně?*
- *Je zajištěná dostatečná kapacita sběrné jímky na odpadní vodu včetně technologie přečištění či napojení na infrastrukturu odpadní vody?*
(Kapacita jímky je navržena podle maximálního přítoku odpadní a proplachové vody, s dostatečnou rezervou pro zajištění provozní stability systému a manipulaci s kalem.)
- *Obsahuje projekt také návrh zpracovny a balicí linky na produkty splňující související legislativu?*

Akvakulturní část:

- *Technologie RAS je založená na standardních parametrech podle jedné z certifikovaných metodik?*
- *Je zajištěný doložitelný zdroj násady?*
- *Je vypracovaný krmný plán, kontrola welfare ryb a sanitační řád?*

- *Je zajištěné průběžné monitorování kvality vody, konkrétně následujících parametrů: teplota, DO, pH, amoniak, dusitany v pravidelných intervalech několikrát denně?*
- *Respektuje návrh technologie chovu ryb jednotlivé věkové a hmotnostní skupiny?*
- *Je zatížení systému živinami z krmiva (přísun N do biofiltru) kontinuální?*
- *Je možné jednotlivé nádrže ze systému odpojit?*
- *Jsou v dostatečném rozsahu definována preventivní opatření proti výskytu chorob ryb?*
- *Je odpadní kal dále mineralizován a využit v systému, nebo recyklován jiným způsobem (např. kompostování, vermikompostování)?*

Hydroponická část:

- *Je technologie hydroponické části založená na standardních parametrech podle publikovaných metodik?*
- *Jsou vybrané technologie (především typ systému a výběr spektra osvětlení) v souladu s uvažovanými rostlinnými druhy?*
- *Je sadba plánovaná v rámci uzavřeného výrobního cyklu přímo v rámci akvaponického systému, nebo od externího dodavatele z EU?*
- *Je k dispozici metodika výživy rostlin (případně uvedena její plánovaná automatizace)?*
- *Je sklizeň produkce akvaponického systému pravidelná?*
- *Jsou implementována a přijata preventivní opatření proti výskytu škůdců a chorob rostlin?*
- *Je vypracovaný sanitační řád pro hydroponický systém, živný roztok (recyklace, desinfekce, likvidace) a denní údržbu pracovních prostor?*

Akvaponické propojení:

- *Umožňuje návrh systému nastavení a řízení mikroklimatu a sanitace prostor odděleně pro RAS a hydroponii?*
- *Lze snižovat nebo zvyšovat počet zapojených produkčních jednotek v obou částech bez náročnějších požadavků na přestavbu systému?*
- *Je poměr RAS a hydroponické části rámcově adekvátní z pohledu obsahu živin a objemů filtrů, jak popisují autoři Mráz a kol (2018) v kapitole “Výpočty dimenzí jednotlivých částí” v rámci metodiky Konstrukce recirkulačních akvaponických systémů, nebo autoři Keesman a kol. (2019) v kapitole “Modelování akvaponických systémů” (“Aquaponics system modelling”)?*
- *Jsou teplotní nároky plánovaných druhů rostlin ve shodě s teplotními nároky plánovaných druhů ryb?*

Produkty

- *Je plánován celoroční provoz s produkcí (s výjimkou sanitárních přestávek)?*
- *Jsou v projektovém záměru stanoveny podmínky dodržování hygienických standardů a norem pro chov ryb a produkci potravin, včetně vypracovaného systému HACCP (analýza rizik a stanovení kritických kontrolních bodů), který je ošetřen příslušnou legislativou?*
- *Jsou v rámci projektu řešeny certifikáty kvality např. GLOBAL GAP, nebo české značky kvality potravin, např. Regionální potravina, Klasa apod.?*

Ekonomika a Marketing

- *Je součástí záměru provedená analýza cen obdobných produktů na trhu? (např. cena produktů byla stanovena na základě marketingového průzkum, pokud byl doložen)*
- *Je cena produktů z akvaponického systému konkurenceschopná na cílovém trhu?*
- *Doložil žadatel zájem o odběr produkce ryb a rostlin?*
- *Je jasně stanovený plán odbytu, cílové trhy a prodejní místa?*
- *Jsou součástí marketingu akvaponického producenta a jeho výrobků komunikovány zdravotní, environmentální nebo etické výhody produkce v akvaponickém systému?*
- *Jsou v projektu kalkulovány a uvedeny investiční a provozní náklady na m² pěstební plochy případně na m³ u RAS?*
- *Jsou v projektu kalkulovány a uvedeny výnosy, se započtením ztrát u ryb a rostlin?*
- *Uvádí projekt odpovídající FTE (full-time equivalent) ca 1–1,85 úvazku/1000 m² dle míry automatizace?*
- *Plánuje projekt využití dotačních titulů (PRV, OP-TAK aj.)?*
- *Je produkční plocha akvaponického systému větší než 500 m²?*
- *Modeloval žadatel škálování akvaponického systému (ekonomickou optimalizační úlohu), a prezentuje nejoptimálnější hospodářský výsledek?*
- *Jsou v projektu započteny všechny následující náklady na provoz akvaponického systému: splátky úvěrů, odpisy majetku, energie, voda, amortizace zařízení, likvidace odpadu, rybí násada, sazenice rostlin, krmivo pro ryby, hnojivo pro rostliny?*
- *Plánuje žadatel pořádání událostí pro veřejnost (prohlídky, workshopy), nebo prezentuje sociální koncept a přesah akvaponie?*

6.5 Expertní posudek

Expertní posudek je zaměřený na konkrétní návrh akvaponického projektu. Objektem posouzení je technologická, biologická i ekonomická udržitelnost projektu. Návrh akvaponického projektu je posuzován jako celek. Kromě celkového posouzení musí být individuálně posouzena poskytnutá vysvětlení u jednotlivých kontrolních kritérií, která byla zodpovězena negativně. Návrh formy expertního posudku je součástí metodiky.

Zpracovatelé expertního posudku musí být minimálně dva, a to s odlišným profesním zázemím a zkušeností (biologie/technologie/ekonomika). Zhotovitelé expertního posudku musí splňovat odbornou kvalifikaci, minimální dosažené vysokoškolské vzdělání a disponovat alespoň tříletou praxí v daném oboru. Také musí splňovat nezávislost, bez prokazatelných vazeb na zadavatele projektu. Expertní posudek je vypracovaný v rámci stanoveného času, je finančně odměněn a slouží jako podklad pro doporučující nebo zamítavé stanovisko.

7. Zdůvodnění metodiky

Je publikováno velmi málo odborné literatury, která se zabývá komplexním hodnocením biologické, technologické a ekonomické udržitelnosti akvaponických systémů. Většina dostupných odborných textů o akvaponii se soustředí především na technologický popis systému, na propojení akvaponie s myšlenkou cirkularity nebo na sociokulturní aspekty vztahu člověka a přírody v kontextu produkce zdravých potravin. Bez reálných provozních údajů však bývají prognózy a výhledy mnohdy až příliš optimistické, neboť jim chybí detailní informace o skutečných podmínkách provozu akvaponických systémů. Vědecká literatura se navíc často zaměřuje na dílčí problémové okruhy a přirozeně opomíjí rizika vyplývající z propojení dvou odlišných produkčních jednotek v rámci velkoprodukčních komerčních systémů.

Navrhovaná metodika slouží jako vodítko pro posouzení záměru akvaponického systému. Mnoho stávajících akvaponických podniků neprosperuje či v dlouhodobém horizontu ukončí činnost. K jejich krachu často přispívají počáteční přehnaná očekávání, nedostatečné znalosti a chybné posouzení výchozích předpokladů. S krachy větších podniků provozujících akvaponické systémy jsme se setkali i v průběhu práce na tomto dokumentu.

Aby bylo možné získat co nejúplnější obraz pro posouzení udržitelnosti akvaponického systému, důrazně doporučujeme podrobné prostudování aktuální odborné a vědecké literatury, což může pomoci vyplnit obvyklé mezery v poznání a odstranit nejčastější chyby.

I přes značný pokrok v rozšíření znalostní báze o akvaponii, zůstává mnoho nezodpovězených otázek. Například ohledně vzájemného působení jednotlivých součástí systému, od hustoty obsádky a režimu krmení až po dostupnost živin ve vztahu k potřebnému výnosu. Mnoho aspektů by bylo žádoucí rozpracovat detailněji, avšak s

ohledem na současný stav poznání, individuální specifika a dynamický vývoj je vhodné ponechat dostatečný prostor pro expertní posudek. Metodika si neklade za cíl obsáhnout veškeré kauzální vztahy; to je úkolem odborného posouzení, které může na základě aktuálních poznatků a konkrétních parametrů rozhodnout o potenciální biologické, technologické a ekonomické udržitelnosti projektu.

8. Popis uplatnění Certifikované metodiky

Aplikaci této metodiky lze provádět na základě předložených informací a s využitím běžně dostupného kancelářského softwaru, jako je například MS Excel. Metodika slouží primárně jako vodítko pro posouzení udržitelnosti akvaponického systému a je navržena tak, aby byla jednoduchá na použití, ale zároveň dostatečně robustní pro široké spektrum uživatelů. Díky své univerzálnosti ji mohou využít nejen státní úředníci, ale i odborníci z praxe a potenciální investoři při analýze ekonomické, technologické a biologické stránky akvaponického systému a jeho plánovaného provozu.

Metodika poskytuje systematický přístup k hodnocení klíčových aspektů akvaponických systémů, a umožňuje jejich efektivní plánování, provozní optimalizaci a zhodnocení dlouhodobé udržitelnosti. Jejím cílem je usnadnit rozhodovací proces a minimalizovat rizika spojená s implementací a provozem těchto systémů.

Udržitelnost akvaponického odvětví závisí nejen na aplikaci metodiky, ale především na hlubším pochopení a osvojení biologických, technologických a ekonomických principů, na nichž fungování akvaponických systémů spočívá. Pouze pokud budou tyto znalosti systematicky rozvíjeny a aplikovány v praxi, může odvětví akvaponie dlouhodobě růst a prokázat svou očekávanou udržitelnost a přínos.

9. Ekonomické aspekty

Ekonomické dopady uplatnění metodiky spočívají především v optimalizaci rozhodovacího procesu při posuzování realizovatelnosti a udržitelnosti akvaponických projektů. Metodika umožňuje robustní analýzu biologické, technologické a ekonomické udržitelnosti a pomáhá předcházet alokaci finančních prostředků do nerealistických nebo neefektivních projektů.

Pro **státní správu a poskytovatele dotací** metodika představuje klíčový nástroj pro objektivní hodnocení žádostí o financování akvaponických produkčních systémů. Díky strukturovanému posuzování provozních nákladů, investičních požadavků a očekávaných výnosů napomáhá k efektivnějšímu rozdělování veřejných zdrojů a zajišťuje, že podpořené projekty mají reálnou šanci na dlouhodobou ekonomickou udržitelnost. Minimalizuje tak riziko neúčelně vynaložených dotací a podporuje rozvoj ekonomicky životaschopných akvaponických systémů.

Pro **odborníky z praxe** metodika slouží jako nástroj pro detailní analýzy klíčových parametrů, jako jsou provozní náklady, výše investic, návratnost kapitálu a tržní

konkurenceschopnost. Tím podporuje efektivní plánování a strategické řízení podniků, čímž snižuje riziko finanční nestability a neúspěchu.

Pro **investory** metodika poskytuje strukturovaný rámec pro hodnocení investičních záměrů a usnadňuje identifikaci klíčových rizik. Pomáhá posoudit výnosnost investice a vyhodnotit ekonomický dopad různých provozních scénářů. Díky tomu mohou investoři činit kvalifikovanější rozhodnutí a zvyšuje se pravděpodobnost návratnosti investovaného kapitálu.

Celkově metodika přispívá ke snížení finanční nejistoty spojené s akvaponickými projekty, minimalizaci rizik spojených s neefektivním vynakládáním zdrojů a podpoře ekonomicky udržitelných řešení.

10. Seznam použité literatury

- Asao, T. (Ed.). (2012). Hydroponics: A standard methodology for plant biological researches. BoD–books on demand.
- Colt, J., Tetreault, J., & Fogle, R. L. (2024). Development and Standardization of Physical, Operational, and Performance Metrics for Aquaponics. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 32(4), 562-578.
- Chandramenon, P., Aggoun, A., & Tchienbou-Magaia, F. (2024). Smart approaches to Aquaponics 4.0 with focus on water quality– Comprehensive review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 225, 109256.
- Folorunso, E. A., Roy, K., Gebauer, R., Bohatá, A., & Mraz, J. (2021). Integrated pest and disease management in aquaponics: A metadata-based review. *Reviews in Aquaculture*, 13(2), 971-995
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K. V., Jijakli, H., & Thorarinsdottir, R. (2015). Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustainability*, 7(4), 4199-4224.
- Gott, J., Morgenstern, R., & Turnšek, M. (2019). Aquaponics for the anthropocene: Towards a ‘sustainability first’ agenda. In *Aquaponics food production systems: combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future* (pp. 393-432). Cham: Springer International Publishing.
- Greenfeld, A., Becker, N., Bornman, J. F., & Angel, D. L. (2020). Identifying knowledge levels of aquaponics adopters. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(4), 4536-4540
- Jun, S. P. (2012). An empirical study of users’ hype cycle based on search traffic: the case study on hybrid cars. *Scientometrics*, 91(1), 81-99.
- Kalous, L., Párys, T., & Petrtýl, M. (2024). Je akvaponie technologií budoucnosti? *Krmivářství*, 5, 40–42.
- Kazda, J., Mikulka, J., & Prokinová, E. (2010). *Encyklopedie ochrany rostlin: polní plodiny*. Profi Press.
- Keesman, K. J., Körner, O., Wagner, K., Urban, J., Karimanzira, D., Rauschenbach, T., & Goddek, S. (2019). Aquaponics systems modelling. *Aquaponics Food Production Systems*. Springer, 267-299.
- Kouřil, J., Hamáčková, J., Stejskal, V., 2008. Recirkulační akvakulturní systémy pro chov ryb. *Edice Metodik, VÚRH JU, Vodňany*, 36 s.
- Kolářová, J., Nepejchalová, L., Polícar, T., 2019. Řešení zdravotní problematiky v intenzivních chovech ryb využívajících RAS (recirkulační akvakulturní systém). *Edice Metodik, FROV JU, Vodňany*, č. 180, 58 s.
- König, B., Janker, J., Reinhardt, T., Villarroel, M., & Junge, R. (2018). Analysis of aquaponics as an emerging technological innovation system. *Journal of cleaner production*, 180, 232-243.
- Langenfeld, N. J., Pinto, D. F., Faust, J. E., Heins, R., & Bugbee, B. (2022). Principles of nutrient and water management for indoor agriculture. *Sustainability*, 14(16), 10204.
- Lennard, W., & Goddek, S. (2019). Aquaponics: the basics. *Aquaponics food production systems*, 113.
- Linden, A., & Fenn, J. (2003). Understanding Gartner’s hype cycles. *Strategic Analysis Report N° R-20-1971*. Gartner, Inc, 88, 1423.

- Maucieri, C., Nicoletto, C., Van Os, E., Anseeuw, D., Van Havermaet, R., & Junge, R. (2019). Hydroponic technologies. *Aquaponics food production systems*, 10, 978-3.
- Mráz, J., Lunda, R., Stejskal, V., 2018. Konstrukce recirkulačních akvaponických systémů. Edice metodik, VÚRH JU Vodňany, č. 171. 78 s.
- Mráz, J., Tůmová, V., Gebauer, R., Kalous, L., 2018. Management akvaponických systémů. Edice metodik, VÚRH JU Vodňany, č. 172
- Palm, H. W., Knaus, U., Appelbaum, S., Goddek, S., Strauch, S. M., Vermeulen, T., ... & Kotzen, B. (2018). Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature. *Aquaculture international*, 26, 813-842.
- Palm, H. W., Knaus, U., Appelbaum, S., Strauch, S. M., & Kotzen, B. (2019). Coupled aquaponics systems.
- Polícar, T., Fuka, T., Blecha, T., 2018b. Nové postupy a technologické komponenty a možnosti jejich využití v akvakultuře. Edice Metodik, FROV JU, Vodňany, č. 170, 56 s.
- Polícar, T., Kříšťan, J., Hampl, J., Blecha, M., Kolářová, J., 2018a. Provozní manuál sloužící k efektivnímu provozu intenzivní akvakultury využívající RAS. Edice Metodik, FROV JU, Vodňany, č. 169, 54 s.
- Resh, H. M. (2022). *Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower*. CRC Press.
- Stejskal, V., Gebauer, R., Matoušek, J., Šebesta, R., Prokešová, M., Mráz, J., Kouřil, J., 2020. Technologie a technické prvky recirkulačních akvakulturních systémů pro chov ryb. Edice Metodik, FROV JU, Vodňany, č. 174, 106 s.
- Thorarinsdóttir, R. I., Kledal, P. R., Skar, S. L. G., Sustaeta, F., Ragnarsdóttir, K. V., Mankasingh, U., ... & Shultz, C. (2015). *Aquaponics guidelines*.
- Turnšek, M., Joly, A., Thorarinsdóttir, R., & Junge, R. (2020). Challenges of commercial aquaponics in Europe: beyond the hype. *Water*, 12(1), 306.
- Tůmová, V., Procházka, K., Petrtyl, M., Pavela, R. Integrovaná ochrana rostlin v akvaponii. *Časopis Úroda*. 2/2025.
- Zappernick, N., Nedunuri, K. V., Islam, K. R., Khanal, S., Worley, T., Laki, S. L., & Shah, A. (2022). Techno-economic analysis of a recirculating tilapia-lettuce aquaponics system. *Journal of Cleaner Production*, 365, 132753.

11. Seznam publikací a výstupů, které předcházely metodice

- Tůmová, V., Klímová, A., & Kalous, L. (2020). Status quo of commercial aquaponics in Czechia: A misleading public image? *Aquaculture Reports*, 18, 100508.
- Kalous, L., Párys, T., & Petrtyl, M. (2024). Je akvaponie technologií budoucnosti? *Krmivářství*, 5, 40–42.
- Tůmová, V., Procházka, K., Petrtyl, M., Pavela, R. (2025). Integrovaná ochrana rostlin v akvaponii. *Zahradnictví*, 2, 43-45
- Tůmová, V., Petrtyl, M., Klouček, P. (2024). Výživa a kvalita rostlin z akvaponických systémů, *Náš chov*, 11/2024, 68-70
- Bureš, D., Petrtyl, M., Tůmová, V., Kotrbatý, M., Verma, C.H., Klouček, P. (2025). Využití silic pro zvýšení trvanlivosti masa sumečka afrického (*Clarias gariepinus*), *Maso*, 2, 55-60.
- Tůmová, V., Benmansour, I., Langhansová, L., Petrtyl, M., Bureš, D., Petrová, Š., Haisel, D., Tejnecký, V., Pěchoučková, E., Laloučková, K. and Malíková, L. (2025). The impact of two aquaponic management strategies (unfertilized and fertilized aquaponics) on the quality and growth of green butterhead lettuce (*Lactuca sativa*, var. Salanova Aquino, Rijk Zwaan). *Journal of Cleaner Production*, 521, 46202.
- Hřebečková, T., Košnář, Z., Hleibieh, M., Petrtyl, M. and Hanč, A. (2025). Effect of vermicomposting of aquaculture fish sludge with lettuce residue and wastepaper on potentially toxic elements and persistent organic pollutants. *Environmental Pollution*, 127048.
- Hanč, A., Míchal, P., Směs pro založení vermikompostu na bázi akvakulturního kalu a vermikompost tuto směs obsahující, Užitečný vzor č. CZ 38148,

12. Poděkování

Autoři děkují oponentům za jejich věcné připomínky a podněty, které přispěly ke zlepšení a zpřesnění výsledné metodiky. Dále děkují spolupracujícím subjektům z komerční sféry za součinnost a poskytnuté podklady, jež pomohly identifikovat klíčové problémy řešené v rámci metodiky. Tato práce byla realizována s finanční podporou Národní agentury pro zemědělský výzkum, bez níž by uvedené výsledky nevznikly.

Odborný externí oponent

Ing. Radek Gebauer, Ph.D.

Oponent pracovníka příslušného odborného orgánu státní správy

Ing. Antonín Vavrečka, Ph.D.

Adresa autorského kolektivu

prof. Ing. Lukáš Kalous, Ph.D. – podíl na výsledku 70 %

Ing. Veronika Tůmová – podíl na výsledku 10 %

Ing. Tomáš Párys – podíl na výsledku 5 %

Ing. Miloslav Petrtýl, Ph.D. – podíl na výsledku 15 %

Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Kamýcká 129, 165 00 Praha – Suchbát, www.af.czu.cz

Název: Rozhodovací proces pro hodnocení akvaponických projektů z pohledu jejich udržitelnosti
Podnázev: Technologické, metodické, ekonomické a koncepční posuzování akvaponických farem
Autoři: prof. Ing. Lukáš Kalous, Ph.D.; Ing. Tomáš Párys; Ing. Veronika Tůmová,
Ing. Miloslav Petrtýl, Ph.D.
Vydavatel: Česká zemědělská univerzita v Praze
Adresa vydavatele: Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, Praha –Suchbát, 165 00
Pořadí vydání: 1.
Rok vydání: 2025
ISBN 978-80-213-3521-9
Vydala Česká zemědělská univerzita ve svém nakladatelství