



Analýza využití řas / sinic v akvakultuře ČR

září 2025

MBU



Dodavatel: Mikrobiologický ústav AV ČR, v. v. i., Třeboň

Autoři: Jiří Masojídek, Jiří Kopecký, Richard Lhotský, Jan Matějka, Jan Jareš

1	AKTUÁLNÍ SITUACE V PĚSTOVÁNÍ ŘAS / SINIC V EVROPĚ.....	3
1.1	CO JSOU ŘASY – ALGAKULTURA.....	3
1.2	KULTIVACE MIKROŘAS – ALGAKULTURA	5
1.3	ANALÝZA POUŽÍVANÝCH TECHNOLOGIÍ A METOD PĚSTOVÁNÍ.....	9
1.4	TECHNOLOGICKÉ POŽADAVKY A MOŽNÉ VYUŽITÍ ODPADNÍCH ZDROJŮ	14
2	AKTUÁLNÍ SITUACE V PĚSTOVÁNÍ A VYUŽITÍ ŘAS / SINIC V ČR A POROVNÁNÍ S JINÝMI ZEMĚMI EVROPY .	17
2.1	VYHODNOCENÍ HLAVNÍCH BARIÉR V ČR VE SROVNÁNÍ S EVROPSKÝMI STÁTY	19
3	ANALÝZA PLATNÉ LEGISLATIVY EU A ČR.....	21
3.1	UKOTVENÍ KULTIVACE MIKROŘAS V AKVAKULTUŘE	22
3.2	PRODUKCE MIKROŘAS.....	22
3.3	MIKROŘASY JAKO POTRAVINY	24
3.4	POUŽITÍ MIKROŘAS JAKO KRMNÝCH SUROVIN	27
3.5	KOSMETICKÉ VÝROBKY	28
3.6	HNOJIVA, BIOSTIMULANTY A BIOPESTICIDY	29
4	POSOUZENÍ PODMÍNEK PRODUKCE A VYUŽITÍ V ČR, VÝČTU VHODNÝCH MIKROŘAS / SINIC A PRODUKTŮ Z NICH.....	30
4.1	PŘEHLED DRUHŮ A KMENŮ PRO KULTIVACE, IDENTIFIKACE MOŽNOSTÍ PRO RŮZNÉ KULTIVAČNÍ SYSTÉMY, TECHNOLOGICKÉ POŽADAVKY, MOŽNÉ VYUŽITÍ ODPADNÍCH ZDROJŮ	30
4.2	PŘEHLED KULTIVAČNÍCH SYSTÉMŮ POUŽITELNÝCH PRO PRODUKCI MIKROŘAS V PODMÍNKÁCH ČR	34
4.3	IDENTIFIKACE OBLASTÍ POTENCIÁLNÍ APLIKACE V ČR.....	35
5	ANALÝZA VYUŽITELNOSTI V PRAXI V OBLASTI AKVAKULTURY.....	39
5.1	VÝZNAM MIKROŘAS A JEJICH SLOŽEK V AKVAKULTUŘE.....	39
5.2	LIMITACE A NEVÝHODY POUŽITÍ MIKROŘAS JAKO PŘÍDAVKU DO KRMIVA.....	41
5.3	PŘEHLED NĚKTERÝCH EVROPSKÝCH PODNIKŮ, KTERÉ SE AKTIVNĚ ZABÝVAJÍ PRODUKČÍ KRMIV A VYUŽITÍM MIKROŘAS V CHOVECH RYB, KORÝŠŮ A MĚKKÝŠŮ	42
5.4	POPIS VYBRANÝCH EU PROJEKTŮ ZABÝVAJÍCÍCH SE UPLATNĚNÍM MIKROŘAS V AKVAKULTUŘE	43
6	VYUŽITELNOST PĚSTOVÁNÍ ŘAS / SINIC PODNIKY AKVAKULTURY JAKO DIVERZIFIKACE ČINNOSTI	48
6.1	SOUČASNÝ STAV PRODUKCE RYB V ČESKÉ REPUBLICE	48
6.2	VYUŽITÍ MIKROŘAS V AKVAKULTUŘE, PRŮMYSLOVÉ PRODUKCI A DALŠÍCH OBORECH V EU	49
6.3	DOPORUČENÍ MOŽNOSTÍ PRO ZAVEDENÍ ALGAKULTURY V RYBOCHOVNÝCH ZAŘÍZENÍCH V ČR	50
6.4	MODEL PROPOJENÍ KULTUR MIKROŘAS A AKVAKULTURY PRO ČR	52
6.5	PŘÍLEŽITOSTI A BUDOUCÍ TRENDY	52
7	EKONOMICKÁ ANALÝZA PĚSTOVÁNÍ ŘAS / SINIC VE STŘEDNÍ EVROPĚ A VYUŽITELNOSTI ŘAS / SINIC VČETNĚ SPECIFIKACE POTENCIÁLNÍCH NEBO EXISTUJÍCÍCH BARIÉR VYUŽITELNOSTI	55
7.1	PŘEHLED INVESTIČNÍCH A PROVOZNÍCH NÁKLADŮ PRO PĚSTOVÁNÍ MIKROŘAS V EVROPĚ	55
7.2	MODELACE NÁKLADŮ PRO TŘI TYPY FOTOTROFNÍCH SYSTÉMŮ PĚSTOVÁNÍ MIKROŘAS VE SKLENÍKOVÝCH PODMÍNKÁCH STŘEDNÍ EVROPY.....	59
7.3	PŘÍPADOVÉ STUDIE	65
8	VÝSLEDKY DOTAZNÍKOVÉHO ŠETŘENÍ	67
8.1	VYHODNOCENÍ ŠETŘENÍ.....	67
9	ZÁVĚREČNÝ SOUHRN	73
10	POUŽITÁ LITERATURA	76
11	SEZNAM OBRÁZKŮ	80
12	SEZNAM TABULEK.....	80
13	SEZNAM PŘÍLOH.....	80

Manažerské shrnutí

Studie ukazuje, že mikrořasy představují pro Českou republiku významnou příležitost v rámci modré bioekonomiky a modré biotechnologie. Mikrořasy (včetně sinic) jsou primární producenti biomasy tvořící základ potravního řetězce a patří mezi první organismy, které začaly před více než dvěma miliardami let provádět oxygenní fotosyntézu – zásadní proces pro vznik a rozvoj současného života na Zemi. Díky rychlému růstu, vysoké efektivitě fotosyntézy a schopnosti akumulovat cenné látky (proteiny, lipidy, polysacharidy, karotenoidy, omega-3 mastné kyseliny, antioxidanty) představují mikrořasy alternativu k zemědělským plodinám. Biomasa nachází uplatnění v potravinářství, krmivářství, kosmetice, farmacii, bioenergetice i environmentálních službách, například při čištění odpadních vod nebo sekvestraci CO₂. Klíčovými výhodami jsou rychlý růst, nezávislost na zemědělské půdě, možnost využití odpadních zdrojů a přínos k cirkulární ekonomice.

V Evropské unii působí přes 400 producentů mikrořas, zejména ve Francii, Španělsku, Německu, Portugalsku a Itálii. Přibližně 71 % biomasy se produkuje v uzavřených fotobioreaktorech (FBR), 19 % v otevřených nádržích a 10 % ve fermentorech. Nejčastěji pěstované druhy jsou *Chlorella*, *Arthrospira*, *Haematococcus* a *Nannochloropsis*. Evropa se od 60. let podílí na technologickém vývoji, ale její podíl na globální produkci je stále pod 1 %.

V České republice má výzkum tradici od 50. let, ale komerční produkce zůstává marginální. Hlavní bariéry představují klimatické a geografické limity (krátká sezóna, nízká intenzita slunečního svitu, absence moře), vysoké investiční i provozní náklady (CAPEX a OPEX), energetická náročnost, nedostatek firemního know-how a složitý legislativní rámec EU (např. režim „novel food“). Pro venkovní kultivaci jsou vhodné robustní kmeny (*Chlorella*, *Scenedesmus*) od května do září, zatímco druhy citlivější na kontaminaci (např. *Haematococcus* pro astaxantin) vyžadují uzavřené FBR.

V akvakultuře mají mikrořasy zásadní význam: slouží jako krmivo pro larvy ryb, korýšů a měkkýšů, obohacují krmiva o karotenoidy, antioxidanty a imunostimulanty, zlepšují kvalitu vody v recirkulačních systémech (odstraňují N, P a CO₂, produkují kyslík) a podporují zdraví juvenilních stádií. Využívají se i v koncepci microalgae-assisted aquaculture, která propojuje recyklaci živin s produkcí biomasy pro krmiva. V EU bylo realizováno několik projektů (REALM, SABANA, INNOAQUA, BIORAS_SHRIMP), které tuto integraci rozvíjejí.

Ekonomická proveditelnost pěstování ve střední Evropě je obtížná. Modelové výpočty pro systémy o objemu 100 m³ ukazují prostou návratnost investic 9–11 let, při započtení ceny kapitálu 25–41 let. Energie tvoří až 60 % provozních nákladů a technologie téměř 90 % investičních. Ziskovost závisí na konečném využití biomasy – zatímco základní sušená biomasa se prodává za 10–15 €/kg, extrakty jako astaxantin nebo fykocyanin dosahují 200–1500 €/kg. Rentabilita je tedy možná pouze při zaměření na produkty s vysokou přidanou hodnotou, maximálním využitím odpadních zdrojů a čerpání dotačních programů (OP Rybářství, EIP-Agri, TA ČR, Horizon Europe).

Rozvoj mikrořasové biotechnologie v ČR je podmíněn systémovou podporou státu od výzkumu až po nejvyšší úroveň komercializace, propojením výzkumného a komerčního sektoru, osvětou mezi podnikateli a vytvářením vzorových úspěšných projektů. V současnosti totiž mezi potenciálními zájemci o podporu panuje **velmi nízká ochota zapojit se do řasových projektů**, které bez propojení celého odběratelsko-dodavatelského řetězce nefungují, pokud nebudou vytvořeny silné **ekonomické a legislativní stimuly**.

Klíčové je tak vytvoření investičních pobídek, rozvoj aplikovaného výzkumu zaměřeného na snižování energetické náročnosti a efektivnější sklizeň, zjednodušení legislativy a vzdělávání trhu či mezioborový networking a podpora vzorových projektů. Strategické směřování by mělo cílit na segmenty s vysokou přidanou hodnotou, jako jsou krmiva pro okrasné ryby, biostimulanty, pigmentové extrakty nebo vstupy pro farmaceutický průmysl. Bez aktivní podpory zůstane komerční produkce mikrořas v ČR okrajová, přestože má významný technologický, environmentální a dlouhodobě i makroekonomický potenciál.

English summary

The study shows that microalgae represent a significant opportunity for the Czech Republic within the blue bioeconomy and blue biotechnology. Microalgae (including cyanobacteria) are primary producers forming the basis of the food chain and were among the first organisms to perform oxygenic photosynthesis more than two billion years ago, a process essential for the evolution of life on Earth. With rapid growth, high photosynthetic efficiency, and the ability to accumulate valuable compounds (proteins, lipids, polysaccharides, carotenoids, omega-3 fatty acids, antioxidants), microalgae are an alternative to agricultural crops. Their biomass is used in food, feed, cosmetics, pharmaceuticals, bioenergy, and environmental services, such as wastewater treatment and CO₂ sequestration. Key advantages include fast growth, independence from agricultural land, the use of waste resources, and contributions to the circular economy.

Across the European Union, more than 400 microalgae producers operate, mainly in France, Spain, Germany, Portugal, and Italy. About 71% of production comes from closed photobioreactors, 19% from open ponds, and 10% from fermenters. The most cultivated strains are *Chlorella*, *Arthrospira*, *Haematococcus*, and *Nannochloropsis*. Europe has been engaged in research and technological development since the 1960s, yet its global share of production remains below 1%.

In the Czech Republic, microalgae research has a tradition dating back to the 1950s, but commercial production remains marginal. Major barriers include climatic and geographic limitations (short growing season, low solar radiation, no access to the sea), high investment and operational costs (CAPEX and OPEX), energy demands, lack of company know-how, and complex EU legislation (e.g. “novel food” regime). Outdoor cultivation is suitable for robust strains (*Chlorella*, *Scenedesmus*) from May to September, while contamination-sensitive species (e.g. *Haematococcus* for astaxanthin) require closed photobioreactors.

In aquaculture, microalgae are essential: they serve as feed for fish, crustacean, and mollusk larvae, enrich feeds with carotenoids, antioxidants, and immunostimulants, improve water quality in recirculating systems by removing N, P, and CO₂ while producing oxygen, and support the health of juvenile stages. This underpins the concept of microalgae-assisted aquaculture, linking nutrient recycling with biomass production for feed. Several EU projects (REALM, SABANA, INNOAQUA, BIORAS_SHRIMP) have focused on integrating algaculture with aquaculture.

Economic feasibility in Central European conditions is challenging. Model calculations for 100 m³ systems show a simple payback period of 9–11 years, extending to 25–41 years when accounting for the cost of capital. Energy accounts for up to 60% of operating costs, and technology nearly 90% of investment costs. Profitability depends heavily on the final application of biomass: while basic dried biomass sells for €10–15/kg, extracts such as astaxanthin or phycocyanin reach €200–1,500/kg. Viability is therefore limited to high-value products, maximum use of waste resources, and access to subsidies (Operational Programme Fisheries, EIP-Agri, TA CR, Horizon Europe).

The development of microalgae biotechnology in the Czech Republic is contingent upon systemic state support from research to the highest levels of commercialization, the interconnection of the research and commercial sectors, awareness-raising among entrepreneurs, and the creation of model successful projects. Currently, potential supporters are **very reluctant to get involved in algae projects**, which cannot function without the entire customer-supplier chain being connected, unless strong **economic and legislative incentives** are created.

It is therefore essential to create investment incentives, develop applied research focused on reducing energy intensity and more efficient harvesting, simplify legislation and market education, and promote interdisciplinary networking and support for model projects. The strategic direction should target high value-added segments such as feed for ornamental fish, biostimulants, pigment extracts, or inputs for the pharmaceutical industry. Without active support, commercial microalgae production in the Czech Republic will remain marginal, even though it has significant technological, environmental, and long-term macroeconomic potential.

1 Aktuální situace v pěstování řas / sinic v Evropě

1.1 Co jsou řasy – Algakultura

Obecný termín řasy zahrnuje prokaryotické a eukaryotické fotosyntetické organismy, které lze rozdělit na dvě skupiny podle velikosti. Eukaryotní makroskopické řasy – makrořasy nebo také chaluhy, které jsou převážně mořské, jejichž stélka dosahuje velikosti v řádu centimetrů nebo metrů. „Zahrnují zelené řasy (Chlorophyta, např. *Ulva*), ruduchy (Rhodophyta, např. *Porphyra*) a hnědé řasy (Phaeophyceae, např. *Laminaria*, *Fucus*). Jsou sbírány nebo pěstovány v pobřežních oblastech moří a oceánů Asie, Evropy i obou Amerik. Druhá skupina, mikroskopické řasy (mikrořasy) jsou fotosyntetické mikroorganismy, mořské i sladkovodní, které zahrnují prokaryontní cyanobakterie (sinice) i eukaryotní řasy. Ve srovnání s první skupinou jsou mikrořasy většinou jednobuněčné s buňkami o velikosti zhruba 1-50 μm , ale mohou tvořit i shluky nebo vlákna.

Předmětem této studie budou mikrořasy, vzhledem k tomu, že makrořasy se ve střední Evropě prakticky nepěstují. Mikrořasy, jmenovitě sinice, byly první organismy, které začaly provádět oxygenní fotosyntézu a růst fototrofně, tzn. vyrábět kyslík a jednoduché cukry jako produkty fotolýzy vody a fixace oxidu uhličitého, kdy zdrojem energie je světlo (*Obr. 1*). Tento proces je jedním z nejdůležitějších dějů na Zemi, protože díky němu vznikla a je podmíněna kyslíkatá atmosféra a produkce biomasy pro existenci života. Oxygenní fotosyntéza má dvě fáze – světelnou a temnotní. První fáze sestává ze zachycení energie slunečního záření a její konverze na energeticky bohatý adenosin trifosfát (ATP) a redukční látku nikotinamid adenin dinukleotid fosfát (NADPH). V této fázi dochází i k fotolýze vody, jejímž produktem je kyslík. V temnotní fázi fotosyntézy, nezávislé na světle, jsou syntetizovány jako primární produkty cukry a následně další organické sloučeniny za využití chemické energie ATP a NADPH a asimilace oxidu uhličitého. Celý tento proces probíhá ve fotosyntetických membránách, thylakoidech v buňce. Konečným produktem je rostlinná biomasa.

Termín mikrořasy představuje obecné označení pro velice širokou skupinu mikroorganismů, zahrnující prokaryontní i eukaryotní druhy. Jedním ze společných znaků je přítomnost chlorofylu jako hlavního světlosběrného pigmentu pohánějícího fotosyntézu a některých karotenoidů jako přídatných barviv (beta-karoten, lutein, violaxantin, astaxantin, aj.). Existují však i kmeny mikrořas, které jsou podobně jako bakterie, schopny růst heterotrofně bez světla, tj. za využití jednoduchých organických sloučenin (cukry, acetát) jako zdrojů energie a uhlíku.

Základní charakteristiky mikrořas

- **Růst:** Rostou především fototrofně, ale některé kmeny i mixotrofně a heterotrofně.
- **Struktura:** Buňky mikrořas mohou mít jednoduchou prokaryotní strukturu, až po složité eukaryotické buňky s pevnou buněčnou stěnou tvořenou celulózou. V některých případech mají i bičíky zajišťující jejich mobilitu. Mohou se vyskytovat jako jednotlivé buňky, ale také soubory buněk spojených do vláken či shluků.
- **Výskyt:** Mikrořasy se vyskytují v široké škále biotopů sladkovodních, brakických i mořských, ale také vlhkých terestriálních prostředích. Jsou známy i kmeny mikrořas, které dokáží vegetovat v extrémních podmínkách, jako jsou horké prameny či vulkanické, silně kyselé nebo alkalické prostředí.
- **Význam:** V globálním měřítku jsou mikrořasy nezastupitelné, protože produkují kyslík pro zemskou atmosféru a jsou primárními producenty biomasy. Tak tvoří základ potravních řetězců v ekosystémech, především v akvakulturách. V současnosti pak mají široké využití biomasy v různých oblastech biotechnologií.

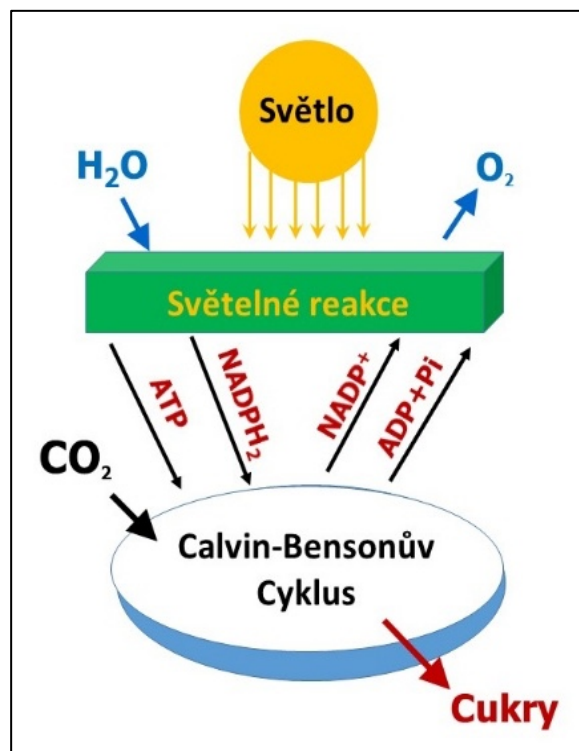
Proč využívat mikrořasy pro akvakultury?

Je důležité zdůraznit, že fytoplankton/mikrořasy jsou základem potravního řetězce v akvakulturách. Dají se snadno a rychle pěstovat, protože mají velmi krátký reprodukční cyklus, obvykle jeden den. Jsou to jednobuněčné mikroorganismy s vysokou účinností fotosyntézy díky minimu konkurenčních metabolických funkcí uvnitř buňky

Mikrořasy lze pěstovat v masové či velkoobjemové kultuře – algakultuře, kde je možné produkční proces řídit. Ve srovnání s plodinami nevyžadují mikrořasy úrodnou půdu a nezatěžují životní prostředí chemizací.

Klasifikace mikrořas

Mikrořasy se dělí podle různých kritérií, nejčastěji na základě pigmentace, buněčné struktury a biochemických vlastností. Historicky byla identifikace různých druhů mikrořas založena na jejich morfologii a růstu. V současnosti je přesnější klasifikace obvykle založená na biochemických vlastnostech, zejména charakterizaci genomu. Ve světových sbírkách mikrořas jsou desetitisíce kmenů, které byly většinou získány sběry v přírodě. Jen malý zlomek některých zástupců z několika skupin je používán ve velkoobjemových kultivacích k získání biomasy pro další využití (Tabulka 1).



Obr. 1: Schematické znázornění fotosyntézy řas.

Kyslík je generován jako produkt oxidace vody pomocí světelné energie a ve fotosyntetickém aparátu jsou produkovány ATP a NADPH. Fixace oxidu uhličitého a syntéza cukrů probíhá v temnotní fázi v multienzymovém Calvin-Bensonově cyklu, kdy hlavním enzymem je ribulózobisfosfát karboxyláza, tzv. RuBisCo (Masojídek a spol. 2014).

Nejvýznamnější skupiny mikrořas

Sinice (Cyanobacteria): Sinice jsou prokaryotické mikroorganismy obsahující chlorofyl *a*, fykobiliproteiny (fykoerytrin, PE, fykocyanin, PC a allofykocyanin, APC) a karotenoidy. Jako hlavní zásobní látku obvykle ukládají polysacharidy glykogen nebo cyanofycin. Sinice se vyskytují v širokém spektru biotopů, od mořských i sladkovodních až po suchozemské druhy. Dokážou se adaptovat i na velmi extrémní prostředí, jako jsou termální prameny, silně kyselé i zásadité vody. Velmi často žijí též v symbióze s jinými organismy, kdy pomáhají svému hostiteli fixovat dusík. Typické příklady sinic: *Arthrospira* (*Spirulina*), *Nostoc*, *Synechocystis*, *Prochlorococcus*, *Synechococcus*, *Anabaena*, *Microcystis*, aj.

Zelené mikrořasy (Chlorophyta): Obsahují chlorofyl *a*, chlorofyl *b* a karotenoidy (neoxantin, violaxantin, anteraxantin, lutein, zeaxantin, β -karoten a mnoho dalších). Hlavní zásobní látkou je škrob a buněčná stěna je tvořena celulózou. Buňky obsahují také mastné kyseliny, např. alfa-linolenovou, eikosapentaenovou, gama-linolenovou a linolovou. Kmeny těchto mikrořas se vyskytují ve sladkovodním a mořském prostředí, v menší míře i jako suchozemské druhy.

Žlutozelené mikrořasy (Eustigmatophyceae) jsou především mořské, ale některé kmeny i sladkovodní. Obsahují pouze chlorofyl *a*, charakteristická je přítomnost violaxantinu jako přídatného světlosběrného pigmentu. Významnou vlastností je produkce olejů, které obsahují polynenasycené mastné kyseliny, zejména eikosapentaenovou (EPA) a dokosahexaenovou (DHA).

Rozsivky (Bacillariophyta): Podobně jako hnědé mikrořasy obsahují chlorofyl *a*, chlorofyl *c* a fukoxantin. Rozsivky jsou jednobuněčné organismy a je pro ně typická křemičitá schránka. Vyskytují se nejčastěji v mořském prostředí. Obsahují polynenasycené mastné kyseliny, zejména eikosapentaenovou a dokosahexaenovou.

Červené mikrořasy (Rhodophyta): Pro zástupce červených řas (tzv. ruduch) je charakteristická přítomnost pouze chlorofylu *a*, fykobiliproteinů a karotenoidů, jako hlavní zásobní látku ukládají škrob. Buněčná stěna ruduch je tvořena slabou celulózovou stěnou obalenou extracelulárními polysacharidy. Vyskytují se převážně ve slaných mořských biotopech.

Existují i další skupiny mikrořas, které se v řasových biotechnologiích prakticky nevyužívají a do klasifikačního schématu přesně nezapadají. Zejména se jedná o zástupce rodu *Euglena*.

Související odkazy:

- Atlas sinic a řas ČR 1. a 2.¹
- Databáze AlgaeVision²
- Databáze Algaebase³

1.2 Kultivace mikrořas – Algakultura

Obecně lze konstatovat, že algakultury představují specifický obor akvakultur, který využívá schopnosti mikrořas rychle růst ve vodním prostředí a produkovat cenné látky. Masové či velkoobjemové kultury mikrořas – algakultura je cílené pěstování mikrořas v husté, dobře míchané homogenní suspenzi buněk s dostatkem živin provozované podle vypracovaných postupů za

¹ www.sinicearasy.cz

² algaevision.myspecies.info

³ www.algaebase.org

vhodných podmínek (světlo, teplota a živiny – kap. 1.4) v konstruovaných kultivačních systémech. Množství světla zachycené jednou buňkou závisí na několika faktorech, jakými jsou intenzita světla, hustota buněk (O. D.), tloušťka vrstvy řasové suspenze a intenzita míchání. Při pěstování hustých produkčních kultur mikrořas je další zásadní podmínkou také dodatečný přísun uhlíku, většinou CO₂, protože jeho přirozená koncentrace ve vzduchu (~0,04 %) je minimálně o řád nižší, než je potřeba pro intenzivní růst mikrořas. Všechny tyto faktory jsou zohledněny v konkrétních kultivačních systémech, kterých je celé spektrum (kap. 1.3). Algakultury nebo biomasa mikrořas (tabulka 1.2) jsou využívány pro různé účely – potravinářské, krmivářské, kosmetické, farmaceutické, průmyslové (biopaliva, polysacharidy, lipidy speciální chemikálie) nebo environmentální (čištění odpadních vod, sekvestrace CO₂). Velmi významné je využití mikrořas v akvakultuře ryb, měkkýšů a korýšů, především jako živá potrava pro larvální stadia a také jako součást krmení ve formě granulí. V následující tabulce (Tab. 1) jsou nejčastěji kladené otázky.

Tab. 1: Základní praktické informace a pokyny pro velkoobjemové kultivace mikrořas

Kolik CO ₂ se spotřebuje na 1 kg biomasy	Teoreticky je to zhruba 2 kg na 1 kg suché biomasy. Tento poměr vychází ze stechiometrické rovnice fotosyntézy. Prakticky lze kalkulovat asi 3-4 kg CO₂ na kg biomasy. Důvod – uhlík se ztrácí při dýchání, nikdy nedochází ke 100 % spotřebě, biomasa nemusí obsahovat přesně 50 % uhlíku, část CO₂ může odcházet nedokonalým rozpouštěním vzhledem k technologii dávkování. Vyšší, než teoretická spotřeba je důležitá při kalkulaci nákladů na CO₂, což při použití odpadního CO₂ částečně odpadá.
Jaká má být koncentrace CO ₂ v kultuře mikrořas?	Dávkování CO₂ se řídí většinou podle pH kultury, nastavuje se na 8-8,5, koncentrace CO₂ v médiu je 1-5 %, což představuje asi 10 až 50násobek ambientní koncentrace CO₂ (je 400 ppm = 0,04 %). Toto bylo empiricky ověřeno různými pracovišti.
Kolik procent CO ₂ se spotřebuje?	V uzavřených systémech s efektivním dávkováním CO₂ je procento využití CO₂ vysoké (40-60 %). V otevřených systémech (RWP) je nutno nastavit pH tak, aby dodávka CO₂ nebyla limitující pro fotosyntézu, nicméně využití CO₂ je výrazně nižší, 20-30 %. Většinou se dává pulzně čistý CO₂; pokud by byla kontinuální dodávka třeba 10 % CO₂, musíme mít na paměti, že může dojít k okyselení kultury a inhibici růstu. Pozn. Pokud používáme odpadní CO₂ ze spalínových plynů, pak nás ztráty tolik nelimitují.
Jaká je produktivita na jednotku plochy a objemu?	Při 4měsíční venkovní kultivaci mikrořasy <i>Chlorella</i> v Centru Algotech Třeboň při využití vysoce produktivních tenkovrstvých kaskád byla dosažena produktivita 14-18 g biomasy/m²/den, tzn. 2,3-3 g sušiny/litr/den. Šlo ovšem o kultivace v období červen–září. Typické produktivity mikrořas Plošná produktivita (g biomasy/m²·den) - Otevřené nádrže (RWP): 5–10 g/m²·den

	- Uzavřené systémy (FBR, kaskády): 10–20 g/m²·den - Modelové experimenty: až 25–30 g/m²·den Objemová produktivita (g biomasy/L·den) - Otevřené systémy: 0,3–0,8 g/L·den - Uzavřené FBR nebo tenkovrstvé systémy: 2–4 g/L·den - Výjimečně při optimálních podmínkách až 5 g/L·den
Jaká je optimální intenzita osvětlení pro kultivaci mikrořas?	Typické saturační osvětlení pro fotosyntézu je 200–400 μmol fotonů/m²/sec. Může se ovšem měnit podle technologických a ekologických požadavků řas. Důležité však je optimalizovat poměr mezi hustotou a tloušťkou vrstvy kultury, osvětlením a dostatečným mícháním, aby všechny buňky dostávaly podobnou průměrnou ozářenost. Čím tenčí vrstva, tím lepší míchání a tím kratší cyklus světlo/tma, který je důležitý pro obrat fotosyntetického aparátu.
Jaké živiny jsou potřeba a kolik asi stojí?	Složení biomasy mikrořas z hlediska makroprvků činí přibližně 50 % uhlíku, 8–9 % dusíku a 1–2 % fosforu. Kromě těchto prvků jsou nezbytné i zdroje hořčíku, vápníku, železa a stopových prvků (B, Cu, Mn, Co, Zn, Mo, V). Kultivační médium se proto připravuje z minerálních solí – nejčastěji močoviny nebo dusičnanů (dusík), KH₂PO₄ (fosfor), MgSO₄ (hořčík), CaCl₂ (vápník) a chelatů železa. Dusík a fosfor představují hlavní položky v nákladech, zatímco mikroprvky tvoří jen zanedbatelnou část. Při použití průmyslových chemikálií vychází náklady na živiny řádově v jednotkách korun na 1 kg vyprodukované sušiny.
Jak se sklízí a jaké technologie se používají – výhody/nevýhody	Sklizeň/zahuštění biomasy (oddělení buněk od živného média) je energeticky značně náročný proces, který vyžaduje jeden nebo více kroků oddělujících pevnou fázi od kapalné. Nízká hustota buněk (obvykle v rozmezí 0,5–1 g/L) a malá velikost některých mikrořas (v rozmezí 2–10 μm) způsobují značnou náročnost celého procesu. Zatím nejpoužívanější technikou sklizně kultur mikrořas je odstředění v průtokových centrifugách. Jejich nevýhodou je relativně vyšší energetická náročnost v porovnání s jinými způsoby. U řídkých kultur se předřazuje membránová filtrace, flokulace nebo flotace a pak centrifugace. Při dobré separaci (tzn. odvodnění) je možné dosáhnout 20–30% obsahu biomasy ve vodné suspenzi. Konvenční filtrace je vhodnou metodou jen pro relativně velké buňky nebo vlákna (~70 μm, např. <i>Arthrospira</i> nebo <i>Coelastrum</i>), které lze oddělit pomocí husté tkaniny na vibračních sítích. Rozbití (dezintegrace) buněk je důležitý krok před sušením, pokud mají mikrořasy (např. <i>Chlorella</i>, <i>Haematococcus</i>) pevnou celulózovou stěnu, kterou

	člověk není schopen strávit nebo pokud po sklizni následuje extrakce cenných látek.
Jaká je spotřeba vody při kultivaci?	Spotřeba vody závisí na systému kultivace. V otevřených systémech jsou vysoké ztráty odparem (až několik litrů na m ² a den) a častá nutnost výměny média, což vede k velmi vysoké spotřebě čerstvé (pitné) vody. V uzavřených systémech je možné vodu do značné míry recirkulovat a spotřeba je výrazně nižší. Na 1 kg sušiny biomasy je třeba zpracovat řádově 1000–2000 l kultivačního média.
Proč je důležité odplynění kyslíku při kultivaci?	Při intenzivní aktivitě fotosyntézy může koncentrace kyslíku v kultuře dosáhnout až 400 % nasycení, což je pro mikrořasy toxické. Proto musí všechny systémy obsahovat systém odkysličení (degassing) – v otevřených systémech se to děje přirozeným odvětráváním, v uzavřených FBR pomocí speciálních odplyňovacích zařízení. Z tohoto důvodu nelze hovořit o zcela uzavřených systémech.
Jaká je „optimální“ teplota při kultivaci?	Optimální teplota růstu většiny mikrořas se pohybuje mezi 20–30 °C. Při nižších teplotách dochází ke zpomalení metabolismu a růstu, zatímco vyšší teploty nad 35 °C mohou způsobit inhibici a poškození buněk. Teplota kultury je proto jedním z limitujících faktorů produktivity, zejména v otevřených venkovních systémech, kde se mikrořasy musí přizpůsobovat výkyvům počasí. V praxi se proto často využívá kombinace různých druhů mikrořas s odlišnými nároky na teplo v závislosti na ročním období a okolní teplotě – například teplomilné druhy v létě a odolnější, chladnomilné druhy v jarním a podzimním období. V uzavřených FBR lze teplotu regulovat, což zvyšuje stabilitu, ale také energetické náklady (chlazení v létě, ohřev v zimě).

1.3 Analýza používaných technologií a metod pěstování

Pro pěstování masových kultur mikrořas byly vyvinuty různé kultivační systémy a technologie. Výběr vhodného kultivačního systému a úprava kultivačního režimu musí být stanoveny pro každý jednotlivý kmen mikrořas a výrobní účel. Klíčovým problémem, který je třeba vyřešit při návrhu kultivační jednotky, je, jak maximálně využít světelný tok, tj. jak umožnit každé jednotlivé buňce přístup k optimálnímu množství světla.

Při kultivaci mikrořas se používají dva základní přístupy: ten jednodušší představuje kultivaci v otevřených nádržích s přímým kontaktem kultury mikrořas s okolním prostředím, zatímco druhý, technicky náročnější, je kultivace v uzavřených nebo polouzavřených nádobách – fotobioreaktorech. Nejdůležitější proměnnou pro fototrofní růst je dostupnost světla. Množství fotonové energie přijaté každou buňkou závisí na několika faktorech: intenzitě ozáření, hustotě buněk, délce optické dráhy (tloušťky kultivační vrstvy), rychlosti míchání a také na konstrukci kultivační jednotky. V praxi je nutné tyto faktory zohlednit při navrhování kultivačních systémů.

Otevřené kultivační systémy

Oběžné náhony (raceway ponds)

Otevřené, měkké oběžné náhony (hloubka 15-30 cm), jsou systémy, kde míchání zajišťuje koleso s lopatkami (paddlewheel). Mezi hlavní přednosti patří: nízké pořizovací náklady, levný provoz a snadná údržba, chlazení odparem vody zabraňuje výraznějšímu přehřátí, dobrý přestup plynů (odstranění kyslíku). Tyto systémy jsou vhodné pro velké plochy a pro citlivé kmeny (tenká buněčná stěna, vláknité nebo bičíkaté kmeny). Mezi hlavní negativa patří vyšší spotřeba vody, velmi omezená kontrola kultivačních podmínek, vysoké riziko kontaminace jinými kmeny mikrořas nebo mikroorganismy, nízká produktivita (10-25 g/m²/den v závislosti na hloubce kultury) daná nízkým poměrem ozáření plochy k celkovému objemu kultury a nízká provozní koncentrace biomasy pro sklizeň (max. 1 g/L).

V České republice je využití tohoto systému omezeno pouze na nejteplejší sezónu od jara do počátku podzimu, případně s vyhříváním nebo umístěním ve skleníku. Oběžný náhon představuje ideální kompromis mezi náklady a výkonem pro základní akvakulturu v ČR, zejména pro živé krmivo.

Vhodné druhy: zelené mikrořasy *Chlorella*, *Scenedesmus*, nebo mikrořasy rostoucí ve výjimečném prostředí vysokého pH nebo salinity (*Arthrospira*, *Dunaliella*, *Nannochloropsis*).

Obr. 2: Kultivační jednotka typu Oběžného náhonu (Berden-Zrimec, 2022)



Tenkovrstvá kaskáda (TLC)

Cirkulační systémy jsou takové, kde suspenze mikrořas stéká po nakloněné ploše v tenké vrstvě (1-4 cm) do retenční nádrže a odtud se čerpá zpět na začátek kaskády. Vzhledem k vysoké aktivitě fotosyntézy a rychlému růstu je nutná dodávka CO₂. Mezi hlavní výhody patří vysoká turbulence daná rychlým prouděním suspenze, intenzivní výměna plynů, samovolné chlazení odparem vody, vysoká účinnost využití světla, vysoká produktivita na plochu i objem, vysoká hustota kultury při sklizni, vysoký poměr ozářené plochy k celkovému objemu kultury. Mezi hlavní nevýhody patří vysoké investiční náklady, velká plocha nutná pro instalaci kultivačních jednotek, vysoký odpar vody, omezená kontrola kultivačních podmínek, možnost kontaminace, nutnost použití čerpadel pro cirkulaci suspenze omezuje výběr kmenů (vláknité nebo kmeny s fragilní buněčnou stěnou).

V České republice je využití tohoto systému podobné jako u oběžných náhonů, tj. od jara do podzimu. Vhodné druhy: pro robustní, rychle rostoucí kmeny jako např. *Chlorella* nebo *Scenedesmus*.

Obr. 3: Tenkovrstvé kaskády v MBÚ v Třeboni



Uzavřené kultivační systémy (fotobioreaktory, FBR)

Trubicové systémy (horizontální nebo vertikální)

Jsou jedním z nejpoužívanějších uzavřených systémů pro kultivaci mikrořas. Uzavřené trubicové smyčky s cirkulací suspenze umístěné horizontálně nebo vertikálně vyrobené ze skla nebo plastu, kde je nutná dodávka CO₂ na začátku systému, a naopak odvod kyslíku v odplyňovací nádrži (degasseru). Mezi hlavní výhody systému patří dobrá účinnost využití světla v závislosti na průměru trubice, nízké riziko kontaminace, kontrola kultivačních podmínek, dobrá turbulence kultury a vysoká produktivita na plochu i objem suspenze. Jako hlavní nevýhody se uvádí nutnost chlazení (výměník tepla), nutnost odplynění kyslíku (nebezpečí inhibice fotosyntézy) a náročné čištění a sanitace složitého trubicového systému.

Uzavřené vertikální nebo šikmé válcové FBR

Jsou (nejčastěji z průhledného plastu nebo skla) s cirkulací suspenze nejčastěji pomocí vzduchového míchání (air lift) nebo pomocí mechanického čerpadla. Mezi hlavní výhody systému patří efektivní využití prostoru, vysoký poměr povrchu k objemu, dobrá kontrola kultivačních podmínek (teplota, pH, CO₂, světlo, živiny), možnost modulárního sestavení. Mezi hlavní nevýhody patří nutnost odvádění kyslíku vzniklého při fotosyntéze a nutnost dodávat CO₂, nutnost chlazení, problémy s výměnou plynů a náchylnost k tvorbě biofilmu na stěnách.

V České republice je využití trubicových a kolonových systémů vhodné především v oblasti biotechnologií (produkce pigmentů, antioxidantů, mastných kyselin, doplňků stravy ...), zemědělství (hnojiva, půdní biofertilizér) a akvakultur (krmiva pro larvy ryb, krevet, mušlí...). Obecně jsou tyto systémy vhodné pro produkci biomasy s obsahem vysoce hodnotných metabolitů.

Vhodné druhy: téměř všechny kmeny mikrořas např. *Chlorella*, *Nannochloropsis*, *Arthrospira*, *Isochrysis*, *Dunaliella*, *Haematococcus*.

Obr. 4: Trubicový kultivační systém (Schott)



Panelové FBR (flat panel)

Uzavřené tenké průhledné panely (1–20 cm) míchané aerací. Mezi hlavní výhody systému patří efektivní využití prostoru, vysoká účinnost, dobrá kontrola kultivačních podmínek (teplota, pH, CO₂, světlo, živiny), možnost modulárního sestavení. Mezi hlavní nevýhody patří technologická náročnost, nutnost odvádění kyslíku vzniklého při fotosyntéze a nutnost dodávání CO₂, nutnost chlazení, problémy s výměnou plynů a náchylnost k tvorbě biofilmu na stěnách.

V České republice je využití panelových systémů vzhledem k jejich vysoké pořizovací ceně vhodné především pro oblasti farmacie, kosmetiky a potravních doplňků (nutraceutika).

Vhodné druhy: vhodné pro téměř všechny kmeny mikrořas např. *Chlorella*, *Nannochloropsis*, *Haematococcus*.

Obr. 5: Panelový kultivační systém (Zanella, 2019, Research Gate)



Heterotrofní fermentory

Pro pěstování mikrořas bez přístupu světla a procesu fotosyntézy na organickém zdroji uhlíku (nejčastěji glukóza nebo acetát) se využívají uzavřené nerezové nádoby (fermentory) míchané různými typy míchadel. Základním předpokladem je sterilita fermentoru i kultivačního média. Mezi hlavní výhody systému patří vysoká účinnost fermentace a velmi vysoká dosažitelnost biomasy (>100 g/L), přesná kontrola kultivačních podmínek (teplota, pH, živiny), modularita, možnost práce v kontinuálním režimu, jednoduchá rozšiřitelnost (scale-up), nezávislost na světle umožňuje kultivaci po celý rok, efektivní využití zastavěné plochy. Mezi hlavní nevýhody patří vysoké investiční náklady, drahé médium, riziko kontaminace rychle rostoucími bakteriemi, složitější sycení kultury kyslíkem a odvod vznikajícího CO₂.

V České republice je využití heterotrofní produkce mikrořas vzhledem k jejich vysoké pořizovací ceně vhodné především pro oblasti farmacie (výroba enzymů, léčiv, specifických biomolekul), kosmetiky a potravních doplňků (nutraceutika). Obecně se heterotrofní fermentory vyplatí v případě stabilních, průmyslových biotechnologických produktů.

Vhodné druhy: kmeny mikrořas, které jsou schopny růstu na organickém substrátu bez nutnosti fotosyntézy, např. *Chlorella*, *Synechocystis*, *Cryptocodinium*, *Haematococcus*. Tato oblast řasové biotechnologie má ohromný potenciál v souvislosti s rozvojem GMO, záleží však na legislativě.

Obr. 6: Heterotrofní kultivační systém (MBÚ)



1.4 Technologické požadavky a možné využití odpadních zdrojů

Technologické požadavky na kultivaci řas

Ve srovnání s vyššími rostlinami mají mikrořasy několik předností: (a) rychlý a kontrolovatelný růst. (doba zdvojení řasové kultury může být u nejrychleji rostoucích kmenů v laboratorních podmínkách pouze 2 hodiny a při velkoplošných kultivacích je životní cyklus obvykle jeden den), (b) možnost kultivace v mořské nebo brakické vodě, která je nepoužitelná pro normální zemědělství, a (c) kontinuální produkci s možností sklizně a zpracování v pravidelných intervalech. Pro produkční kultivace je možné využít i některé komunální a průmyslové plynné nebo kapalně odpady, které mohou být zdrojem oxidu uhličitého, dusíku, fosforu nebo tepla. Takto napěstovaná biomasa není pochopitelně určena ke konzumaci, ale je možné ji využít průmyslově (např. při produkci biopaliv). Mikrořasy poskytují také možnost kultivace na zemědělsky nevyužitelných územích nebo v průmyslových a městských areálech, kde nebudou konkurovat potravním plodinám.

Základní proměnné při kultivaci mikrořas

Světlo. Pro fototrofní kultivaci mikrořas je možné využít přirozené (sluneční) nebo umělé světlo (např. LED s vhodným spektrem). Množství fotonů zachycené jednou buňkou je kombinací několika faktorů: intenzity světla, hustoty buněk, tloušťky vrstvy kultury a intenzity míchání. Z hlediska snížení nákladů je výhodné pro kultivace mikrořas ve FBR na umělých zdrojích světla využívat fotovoltaické panely.

Teplota. Pro většinu biotechnologicky významných kmenů mikrořas se optimální kultivační teplota pohybuje mezi 20 a 30 °C v závislosti na použitém kmenu. Velmi vhodné je propojení kultivace mikrořas s bioplynovými stanicemi, které mohou sloužit jako zdroj odpadního tepla.

Oxid uhličitý, CO₂. Při pěstování hustých produkčních kultur je klíčovou podmínkou dodatečný přísun CO₂, protože jeho přirozená koncentrace ve vzduchu (<0,04 %) je o řád nižší, než je potřeba pro intenzivní růst. Přídavek CO₂ se zároveň využívá pro snížení pH kultury. I v případě levného zdroje CO₂ je vhodné navázání kultivace mikrořas na bioplynové stanice nebo spalovny komunálních odpadů.

Míchání. Obecně jsou všechny systémy používané pro kultivaci mikrořas založeny na dostatečné cirkulaci (míchání) kultur, aby nedocházelo k jejich usazování. Intenzivním mícháním je zajištěn také dostatečný přísun živin (především dusíku a fosforu, stejně jako dalších prvků), regulace teploty a výměna plynů (dodávka CO₂ jako zdroje uhlíku a odvětrání O₂ vzniklého fotosyntézou).

Živiny. Produkční kultury mají obvykle hustotu buněk o několik řádů vyšší, než mají populace fytoplanktonu v přírodních podmínkách, proto je intenzivní míchání důležité také pro dostatečný přívod živin především dusíku (např. dusičnany, močovina), fosforu ve formě fosforečnanů a mikroprvků (Fe, Mg, Zn, Mn, Cu, Mo, atd.). Spojení kultivace mikrořas s čištěním odpadních vod je velmi vhodný způsob, jak snížit ekonomickou náročnost celého kultivačního procesu.

Sterilita (zejména v uzavřených systémech). Výskyt bakteriálních i jiných kontaminací může znamenat, že kultura není zdravá, a představuje jedno z hlavních omezení pro velkoobjemové produkční kultivace mikrořas.

Sklizení a zpracování

Technologické požadavky na zpracování biomasy, tj. separaci, dezintegraci, sušení, popřípadě extrakci se liší podle použitého kmene mikrořasy a produkčního cíle (např. potravinářství, farmacie vs. zemědělství nebo biopaliva).

Separace biomasy: Pro oddělení buněk řas od kultivačního média se používá centrifugace, filtrace nebo flokulace. Jednotlivé separační technologie se významně liší v investičních i provozních nákladech, a proto vhodná volba závisí na konečném účelu použití řasové biomasy.

Sušení: Finální zpracování řasové biomasy většinou představuje sušení pomocí sprejové nebo bubnové sušárny. Pro využití biomasy v oblasti farmacie nebo kosmetiky se používá mrazové sušení (lyofilizace).

Extrakce účinných látek: Pro extrakci bioaktivních látek se nejčastěji používá extrakce rozpouštědly o různé polaritě v závislosti na chemické povaze extrahovaných látek. V případě získávání některých látek využitelných v potravinářství (např. astaxantin nebo neutrální lipidy) se často používá extrakce oxidem uhličitým v superkritickém stavu (SCE).

Tab. 2: Srovnání metod velkoplošné kultivace mikrořas

Kritické faktory	Otevřená nádrž (Raceway)	Uzavřený fotobioreaktor (Closed PBR)	Tenkovrstvá kaskáda	Heterotrofní fermentor
Potřebná plocha	Vysoká	Střední	Střední	Nízká
Vyloučení predátorů/částic	Ne	Ano	Ne	Ano
Regulace teploty	Ne	Střední	Ne	Vysoká
Efektivita vstřikování CO ₂	Nízká	Vysoká	Nízká	CO ₂ není potřeba
Výpar	Vysoký	Nízký	Střední	Nízký
Energetická náročnost míchání	Střední	Vysoká	Střední	Vysoká
Dodatečný zdroj světla	Žádný	Ano	Žádný	Není potřeba
Objemový průtok	Vysoký	Střední	Nízký	Nerelevantní
Hustota buněk (ke sklizni)	Nízká	Střední	Vysoká	Vysoká
Riziko kontaminace	Vysoké	Nízké	Vysoké	Nízké
Kapitálové náklady	Nízké	Vysoké	Nízké	Vysoké

Zdroj: Araújo (2021) a vlastní zjištění

2 Aktuální situace v pěstování a využití řas / sinic v ČR a porovnání s jinými zeměmi Evropy

Produkce mikrořas je v rámci Evropské unie stále se rozvíjejícím odvětvím modré bioekonomiky, které nabízí velký potenciál při využití biomasy pro potravinářství, krmiva, biotechnologie, kosmetiku, biopaliva i ekologické služby. Mikrořasy jsou v EU primárně kultivovány v pozemních systémech, přičemž FBR dominují s podílem přibližně 71 %, následují otevřené nádrže s 19 % a fermentory s 10 % z celkové výroby. Tento rozdíl reflektuje technologickou náročnost mezi ekonomicky efektivními systémy jako raceway nádrže a kontrolovanými, ale kapitálově nákladnějšími FBR.

Evropa se od šedesátých let významně podílela na výzkumu uplatnění mikrořas. Tento bohatý vědecký základ přispívá k technickým pokrokům, zejména v oblasti optimalizace světelných podmínek a efektivnějšího řízení růstu mikrořas. Moderní FBR (např. trubicové nebo deskové) umožňují produkci biomasy vysoké kvality (např. *Chlorella*, *Haematococcus*), byť s vyššími provozními nároky na energii a kapitál.

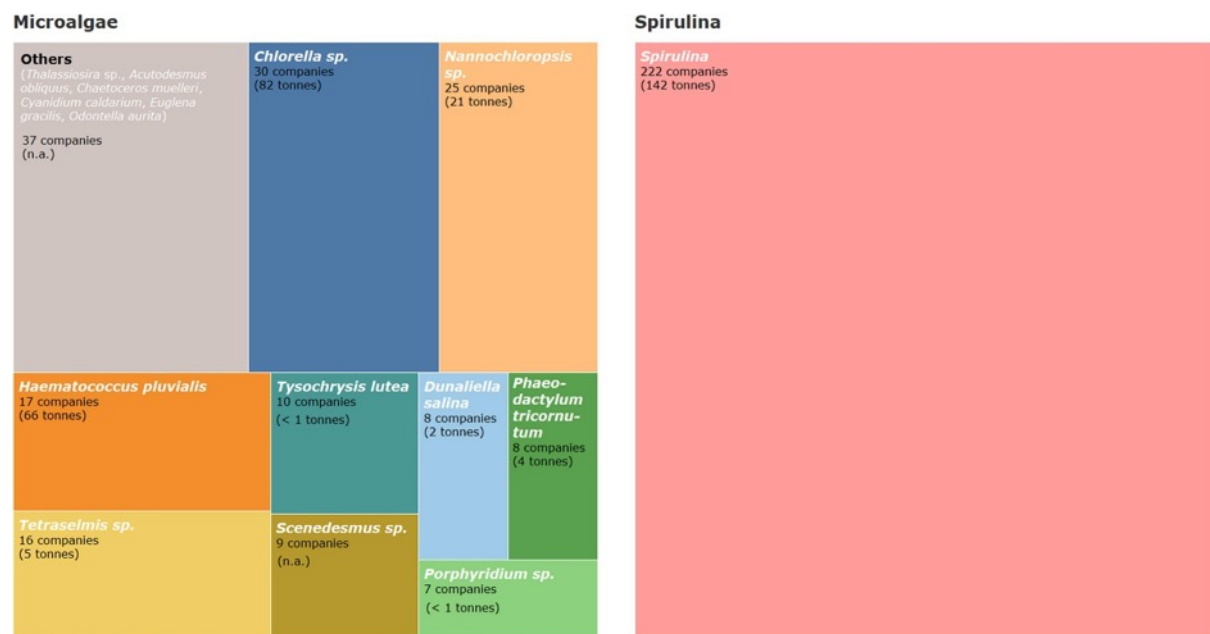
V otevřených systémech, jako jsou raceway ponds či vysoce výkonné HRAPs (High-Rate Algal Ponds), se produkce pohybuje mezi 78 a 132 t/ha/rok. Porovnání systémů uvádí tabulka 2 v oddíle 1.4 – Srovnání metod velkoplošné kultivace mikrořas.

Mapování evropského sektoru zjistilo přes 400 výrobců v EU/EHP – převážně MSP – přičemž nejaktivnějšími zeměmi jsou Francie, Španělsko, Německo a Portugalsko. Významným impulsem jsou evropské iniciativy, EU4Algae, financování z programů Horizon 2020/Europe, Circular Bio-based Europe JU či Blue Invest, které podporují technologický rozvoj, tržní zázemí i diverzifikaci využití mikrořas v souladu se Zelenou dohodou pro Evropu a cíli udržitelného rozvoje, zejména v oblastech bioekonomiky, energetiky a potravinářství.

Z analýzy údajů STECF (Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries of the European Commission) vyplývá, že Španělsko (16), Německo (14), Francie (10) a Portugalsko (9) a v menším počtu v Itálii a Holandsku mají nejvíce podniků zabývajících se algakultúrou, z nichž 87 % tvoří mikropodniky s méně než pěti zaměstnanci (Vazquez Calderon a Sanchez Lopez 2022). Nejvíce podniků produkuje druhy *Chlorella* sp. (27 podniků, 31 %), následované *Nannochloropsis* sp. (24 podniků, 28 %). Nicméně hlavním pěstovaným kmenem co do objemu je *Arthrospira* (dříve *Spirulina*) pěstovaná v 15 evropských zemích, kde existuje 213 podniků produkujících tuto sinici, které sídlí většinou ve Francii a pak také v Itálii a Španělsku. Produkce mikrořas probíhá většinou ve FBR (trubicové, panelové nebo válcové) nebo otevřených systémech (oběhové náhony)

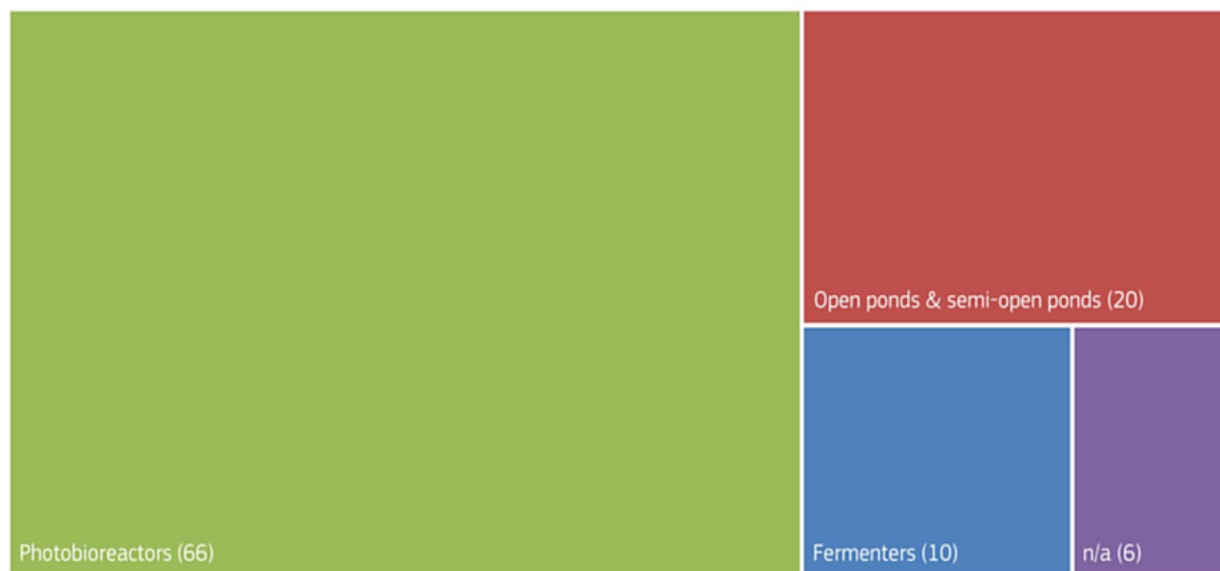
Přehled konkrétních firem v klimatickém prostoru Evropy a jejich stručný popis je v Příloze 1.

Obr. 7: Počet evropských producentů mikrořas a jejich produkce do roku 2021



Zdroj: Araújo (2021)

Obr. 8: Přehled základních typů FBR pro produkci mikrořas (mimo Arthrospiru) a rozšířenost jejich využití různými producenty v Evropě



Zdroj: Caldez a Lopez (2022)

2.1 Vyhodnocení hlavních bariér v ČR ve srovnání s evropskými státy

(Posouzení podmínek produkce mikrořas a jejich a využití v ČR, výčtu vhodných druhů a produktů je podrobně pojednáno v kap. 4.)

Pěstování mikrořas v České republice má dlouhou historii sahající až do 50. let minulého století, ale především má značný potenciál do budoucna. Naráží však na několik zásadních bariér, které omezují rozvoj řasové biotechnologie ve větším měřítku. Zde jsou hlavní překážky rozdělené do základních pěti oblastí:

1. Klimatické a geografické faktory

Nestabilní počasí. Venkovní kultivace je komplikovaná kvůli teplotním výkyvům a omezenému slunečnímu svitu v zimě. Kultivační sezóna je omezena maximálně na 6 měsíců v roce.

Česká republika nemá přístup k moři. Venkovní kultivace je omezena pouze na sladkovodní druhy řas. Produkce biomasy z mořských druhů mikrořas je možná pouze ve fotobioreaktorech s umělým osvětlením, což klade vysoké nároky na vlastní zařízení (nerez, sklo) a spotřebu elektrické energie.

2. Investiční a technologické bariéry

Vysoké vstupní náklady. FRB, laboratorní vybavení a kontrolované prostředí jsou nákladné na pořízení i provoz.

Nedostatek znalostí (know-how). Chybí lokální odborníci s praxí v navrhování technologií kultivačních systémů, především mimo akademickou sféru.

Energetická náročnost. Umělé osvětlení, klimatizace a čerpání vody (kultivačního média) v uzavřených FRB zvyšují provozní náklady.

2. Výzkumné a aplikační limity

Nedostatek aplikovaného výzkumu. Většina projektů je ve fázi výzkumu (např. MBÚ, BÚ, VŠCHT, MENDELU), komercializace pokulhává.

Nízké propojení s praxí. Mezi výzkumníky a podnikatelským sektorem často chybí fungující propojení (technologičtí skauti, transfer know-how).

3. Legislativa a normy

Nejasné legislativní zařazení. Mikrořasy se v ČR obtížně klasifikují – zda jako potravina, potravní doplněk, krmivo nebo bioprodukt.

Nutnost registrace jako "nové potraviny". EU směrnice vyžadují schvalování mikrořas jako "nových potravin", což je nákladné a časově náročné.

4. Tržní a spotřebitelské bariéry

Nízké povědomí spotřebitelů. Mikrořasy nejsou v ČR běžnou součástí stravy (výjimkou je *Arthrospira* a *Chlorella* v tabletách). Z tohoto vyplývá nízká poptávka po mikrořasách.

Konkurenční importy. Dovoz levné biomasy *Spiruliny* nebo *Chlorelly* z Číny a Indie ztěžují prosazení domácí produkce.

Nedostatek průmyslových odběratelů. Například kosmetika, krmiva nebo biohnojiva nejsou dostatečně propojena s produkty z mikrořas.

Doporučení pro zlepšení situace

- **Propojení s výzkumem:** zapojení firem do projektů s Akademickými pracovišti (MBÚ, BÚ) a Universitami (VŠCHT, MENDELU, ČZU).
- **Vytvoření specializovaných center (hubů)** pro urychlení inovací v oblasti řasových biotechnologií.
- **Vzdělávání trhu** o výhodách řasových produktů (např. *Arthrospira* nebo *Chlorella* v potravinách, kosmetice, krmivech).
- **Zaměření producentů na specializované produkty s vysokou přidanou hodnotou:** např. barviva (astaxantin, fukoxantin, β -karoten, fykocyanin, myxoxantofyl, lutein...), polynenasycené mastné kyseliny (DHA, EPA, ARA, γ -linolenová ...), vybrané lipidy (glykolipidy, sulfolipidy, ...), vybrané esenciální aminokyseliny, bioaktivní sekundární metabolity využitelné ve farmacii a medicíně (lineární a cyklické nízkomolekulární peptidy, ...), bioaktivní extrakty z mikrořas (CGF, lipopeptidy, ...).

3 Analýza platné legislativy EU a ČR

Následující kapitola poskytuje rámcový přehled legislativních podmínek pro pěstování, zpracování a využití mikrořas v EU a ČR. Cílem byl kladný výčet předpisů a zároveň přehledné shrnutí požadavků, které se mohou týkat zájemců o vstup do oboru.

Pro kultivaci mikrořas je klíčové si uvědomit, na kterou oblast se produkce zaměří. Řada zákonů se týká pěstování mikrořas, důležitá je především regulace pěstování nepůvodních druhů. V oblasti potravin a krmiv je klíčové, že nové druhy mikrořas spadají do schvalovacích mechanismů pro nové potraviny nebo registraci krmiv. Komplikovaná je situace u biostimulantů, a především u biocidních látek z mikrořas. Tato kapitola se rovněž věnuje legislativnímu rámci v kosmetice a využívání mikrořas.

Obr. 9: Synergie algakultury s ostatními evropskými politikami a iniciativami



Zdroj: https://aquaculture.ec.europa.eu/system/files/2024-06/Algae_infographic.pdf

3.1 Ukotvení kultivace mikrořas v akvakultuře

Produkce a využití mikrořas v rámci Evropské unie je regulováno řadou legislativních předpisů napříč několika politikami EU. Potenciální producenti mikrořas by měli již od počátku zvážit, na jaký tržní segment svou produkci cílí, neboť legislativní požadavky se výrazně liší. Biomasa mikrořas může být využita především:

- v potravinářství (potraviny, doplňky stravy, suroviny, potravinářské přísady),
- v krmivech pro ryby, hospodářská zvířata a domácí mazlíčky,
- jako hnojiva, biostimulanty nebo biopesticidy v zemědělství,
- v kosmetice.

Ve všech případech vystupují producenti jako zemědělstí podnikatelé nebo akvakulturní subjekty, a tedy jsou povinni dodržovat evropskou i českou legislativu pro prvovýrobu, hygienu, evidenci a bezpečnost. Pokud zároveň chtějí produkovanou biomasu využívat pro výrobu produktů v příslušném tržním segmentu, musejí se řídit další legislativou platnou pro dané odvětví.

Pro pěstitele mikrořas je velmi podstatné, že spadají pod definici akvakultury. Produkce řas se v rámci EU považuje za akvakulturu dle nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1380/2013 o společné rybářské politice. Z definice akvakultury zde vyplývá, že vodní organismy, které se pěstují podle technologických postupů, spadají do akvakultury, a to bez ohledu na to, zda jde o řasy mikro – nebo makroskopické, mořské nebo sladkovodní. Řasy však nejsou explicitně uvedeny.

Nařízení (EU) 2018/848 o ekologické produkci zmiňuje řasy v článku 15 jako produkt akvakultury. Strategické dokumenty jako Zelená dohoda pro Evropu, strategie Od zemědělce ke spotřebiteli, či Sdělení o modré ekonomice výslovně podporují produkci řas jako alternativního zdroje bílkovin nebo inovativní potraviny.

Sdělení komise o novém přístupu pro udržitelnou modrou ekonomiku v EU zahrnuje pod modrou ekonomiku i „*pozemní akvakulturu a produkce řas*“.

3.2 Produkce mikrořas

Produkce mikrořas spadá do oblasti akvakultury a v rámci legislativy EU a ČR se na ni vztahují právní předpisy týkající se provozu kulturačních zařízení, zacházení s vodou, používání druhů (zejména nepůvodních), a environmentálních a hygienických požadavků. Současně je nutné rozlišovat mezi legislativou upravující vlastní produkci biomasy (pěstování) a tou, která se vztahuje na další využití vypěstované biomasy – podle jejího uplatnění (např. v potravinách, krmivech, kosmetice atd.).

Za klíčové v oblasti pěstování mikrořas považujeme především legislativu týkající se nepůvodních druhů a bioprodukci.

Používání nepůvodních druhů

Nařízení Rady (ES) č. 708/2007 o používání nepůvodních a místně nepřítomných druhů v akvakultuře se může týkat i pěstování mikrořas v České republice, a to především v případech, kdy producent zamýšlí kultivovat mikrořasy, které nejsou přirozeně rozšířené v daném povodí nebo geografické oblasti. Ačkoliv je nařízení primárně zaměřeno na vyšší vodní organismy (ryby, měkkýše, korýši), vztahuje se obecně na „vodní organismy“, což podle definice v článku 3 zahrnuje všechny volně žijící nebo chované organismy v akvakultuře, včetně mikroorganismů. Prakticky to znamená, že pokud by producent chtěl do provozu v ČR zavést například tropický kmen sladkovodní mikrořasy z jiného kontinentu nebo biogeografické oblasti, mohlo by být jeho použití posuzováno z hlediska rizika šíření

do volné přírody, invazního potenciálu nebo vlivu na ekosystémy. V takovém případě by bylo třeba podat žádost o povolení dle postupů stanovených v tomto nařízení a souvisejících českých předpisech. Pro běžné kmeny mikrořas, které jsou již v ČR rozšířené nebo pěstované ve zcela uzavřených systémech (např. FBR), se nařízení obvykle neuplatňuje, nicméně v případě využívání otevřených systémů, venkovních rybníků, nebo vypouštění odpadních vod obsahujících nepůvodní mikrořasy je třeba posoudit environmentální rizika a dodržet oznamovací nebo schvalovací procesy. Nařízení tak přináší důležitý rámec pro předběžnou opatrnost, zejména u inovativních produkčních záměrů, které pracují s cizími nebo geneticky odlišnými kmeny mikrořas.

V minulosti někteří producenti prováděli aktivní screening kmenů vhodných ke kultivaci v zahraničí, kmeny volně dováželi a pěstovali. Dovoz mikrořas ze zahraničí a jejich následné využití v České republice a Evropské unii může podléhat povinnostem vyplývajícím z Nagojského protokolu o přístupu ke genetickým zdrojům a spravedlivém a rovnocenném rozdělování přínosů, který je doplňkem Úmluvy o biologické rozmanitosti. Tento protokol stanovuje, že genetické zdroje, například kmeny mikrořas pocházející z jiné země, mohou být využívány pouze tehdy, pokud byl přístup k nim legálně povolen (tzv. Prior Informed Consent – PIC) a byly sjednány podmínky spravedlivého sdílení přínosů (tzv. Mutually Agreed Terms – MAT). Na úrovni EU je Nagojský protokol prováděn prostřednictvím nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 511/2014 o opatřeních pro dodržování pravidel, která vyplývají z Nagojského protokolu, které ukládá všem uživatelům genetických zdrojů povinnost tzv. náležité péče (due diligence). Každý subjekt, který hodlá genetický zdroj využít (např. pro kultivaci, výzkum, výrobu doplňků stravy či kosmetiky), musí doložit, že byl získán legálně a za podmínek státu původu. Uživatel musí uchovávat veškerou dokumentaci (kopie PIC, MAT, záznamy o původu, účelu a využití) nejméně po dobu 20 let a ve stanovených případech (např. při podání projektu do programu Horizont nebo uvádění produktu na trh) odevzdat tzv. Declaration of Due Diligence. Nedodržení těchto povinností může mít vážné důsledky – včetně zákazu použití genetického materiálu, odejmutí dotace nebo udělení pokuty ze strany kontrolního orgánu, kterým je v České republice Ministerstvo životního prostředí. Povinnosti se týkají všech genetických zdrojů získaných po 12. říjnu 2014 ze zemí, které jsou stranami Nagojského protokolu a upravují přístup ke své biologické rozmanitosti. Uživatelé mikrořas tak musí při dovozu kmenů ze zahraničních sbírek, lokalit nebo partnerství vždy prověřit právní režim dané země a včas zajistit potřebné dokumenty. V opačném případě může být využití těchto organismů – zejména komerční – v rozporu s evropským právem a vylučovat je například i z možnosti financování nebo registrace produktu.

Pokud je kmen získán z oficiální sbírky mikrořas, bývá Nagojský protokol již ošetřen příslušnou sbírkou.

Ekologická/biologická produkce biomasy mikrořas

Producenti mikrořas, kteří chtějí svou produkci certifikovat jako ekologickou (bio), se musí řídit pravidly ekologické produkce stanovenými evropskou legislativou. Ta vychází z nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/848 o ekologické produkci v platném znění. Nové nařízení zavedlo komplexnější požadavky na ekologickou produkci všech druhů mikrořas a upravuje celý řetězec produkce: od získávání vstupů a pěstování biomasy, přes její sklizeň, zpracování, balení, skladování, až po označování a uvádění na trh. Pro mikrořasy pocházející z akvakultury platí pravidla uvedená v čl. 15.

Nařízení stanoví mimo jiné požadavky na výběr lokality pro pěstování (např. s ohledem na kvalitu vody), kontrolu původu vstupů, zajištění udržitelného sběru v případě využívání volně rostoucích mikrořas, vedení záznamů, podmínky pro ekologické zpracování a přísné oddělení ekologické produkce od konvenční.

Pro producenty mikrořas to znamená poměrně přísné a komplexní požadavky, ale zároveň možnost uplatnit se na specializovaných trzích s vysokou přidanou hodnotou – včetně potravin, doplňků stravy nebo krmiv.

3.3 Mikrořasy jako potraviny

Novel Food – Nové potraviny

Většina druhů mikrořas se z pohledu evropského práva považuje za nové potraviny (novel foods), protože nebyly ve významné míře konzumovány v EU před rokem 1997. To znamená, že před jejich uvedením na trh musí výrobce projít schvalovacím procesem podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2015/2283 o nových potravinách. Proces začíná podáním žádosti k Evropskému úřadu pro bezpečnost potravin (EFSA), který hodnotí bezpečnost daného druhu nebo složky. Pokud je výsledek kladný, je nová potravina zapsána do tzv. unijního seznamu schválených nových potravin, který je stanoven prováděcím nařízením Komise (EU) 2017/2470 kterým se zřizuje unijní seznam pro nové potraviny.

U nejběžnějších druhů mikrořas byla potvrzena jejich konzumace před rokem 1997 a nevztahuje se na ně schvalovací proces.

Orientační přehled druhů a případně kmenů, které jsou schválené pro použití v potravinářství (stav ke konci roku 2024). Pro detaily pro použití, případné exkluzivity spojené s konkrétním druhem je nutné nalézt detaily v Union list of Novel Food⁴.

- *Aphanizomenon flos-aquae* – není nová potravina
- *Arthrospira platensis* [= *Oscillatoria platensis*, *Arthrospira platensis*] – není nová potravina
- *Auxenochlorella protothecoides* – není nová potravina
- *Dunaliella salina* – je nová potravina
- *Euglena gracilis* – je nová potravina
- beta-glucan z *Euglena gracilis*
- *Haematococcus lacustris* – není nová potravina jako biomasa v doplňcích
- *Haematococcus pluvialis*, oleoresin rich in astaxanthin
- *Chlorella sorokiniana* – není nová potravina
- *Chlorella vulgaris* – není nová potravina
- *Chlorella pyrenoidosa* – není nová potravina
- *Jaagichlorella luteoviridis* [*Chlorella luteoviridis*] – není nová potravina
- *Limnospira fusiformis* – není nová potravina
- *Limnospira indica* – není nová potravina
- *Limnospira maxima* – není nová potravina
- *Odontella aurita* – je nová potravina
- *Parachlorella kessleri* – není nová potravina
- *Scenedesmus vacuolatus* – není nová potravina
- *Arthrospira major* – je nová potravina
- *Tetraselmis chuii* – je nová potravina
- *Auxenochlorella pyrenoidosa* [= *Chlorella pyrenoidosa*] – není nová potravina
- *Ulkenia* sp. – je nová potravina
- *Schizochytrium* sp. (WZU477) – je nová potravina

⁴ https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2017/2470/oj nebo Novel Food Catalogue <https://ec.europa.eu/food/food-feed-portal/screen/novel-food-catalogue/search>

- *Schizochytrium* sp. (FCC-3204) – je nová potravina
- *Schizochytrium* sp. – je nová potravina
- *Schizochytrium limacinum* (TKD-1) – je nová potravina
- *Schizochytrium* sp. oil rich in DHA and EPA – je nová potravina
- *Schizochytrium* sp. (CABIO-A-2) – je nová potravina

Obě databáze obsahují nejen názvy druhů a kmenů mikrořas, které jsou v EU povolené, ale i informace o schválené formě (např. sušená biomasa, oleoresin), použití, množstevních limitech a případných podmínkách uvádění na trh. Patří sem např. *Chlorella vulgaris*, *Arthrospira (Limnospira)*, *Haematococcus lacustris*, *Euglena gracilis*, *Schizochytrium* sp., *Tetraselmis chuii* a další. V některých případech se schválení vztahuje pouze na konkrétní firmu (tzv. exkluzivita), v jiných na jakéhokoli výrobce za dodržení podmínek. Vzhledem k tomu, že se seznam povolených druhů průběžně aktualizuje, doporučuje se sledovat obě unijní databáze.

Nařízení 2015/2283 se nevztahuje na mikrořasy, pokud jsou používány jako potravinářské přídatné látky, enzymy, aroma nebo pokud byly zpracovány extrakčními rozpouštědly. Na druhou stranu se vztahují na použití biomasy jako suroviny pro další zpracování, například těstoviny s obsahem mikrořas, kde tyto musejí být schválené jako novel food nebo registrované jako not novel food. Stejně platí o doplňcích potravin.

V České republice se potraviny z mikrořas řídí nejen evropským právem, ale i národními předpisy, které upravují jejich uvádění na trh, označování, bezpečnost a kontrolu. Základním předpisem je zákon č. 110/1997 Sb., o potravinách a tabákových výrobcích, který stanoví povinnosti provozovatelů potravinářských podniků, včetně požadavků na hygienu, sledovatelnost, zdravotní nezávadnost a zákaz klamavého označování. Všechny produkty z mikrořas uváděné na český trh musí být v souladu s požadavky nařízení (ES) č. 853/2004 o hygieně potravin, ale také s českými normami, kontrolními postupy a systémem dohledu, který vykonává především Státní zemědělská a potravinářská inspekce (SZPI).

Označování

Vedle samotného schválení dané látky je třeba dbát i na správné označování a marketing, zejména pokud výrobce plánuje uvádět výživová nebo zdravotní tvrzení – např. že mikrořasy „posilují imunitu“ nebo „přispívají k detoxikaci“. Taková tvrzení podléhají pravidlům Nařízení č. 1924/2006 o výživových a zdravotních tvrzeních při označování potravin, které definuje, jaká tvrzení jsou povolená, a vyžaduje jejich vědecké doložení a schválení na úrovni EU.

Označování potravin v České republice se primárně řídí přímo použitelným nařízením Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1169/2011 o poskytování informací o potravinách spotřebitelům, které stanovuje povinné údaje jako název potraviny, seznam složek a alergenů, množství složek, výživové údaje, trvanlivost, identifikace výrobce a původ. Česká právní úprava toto nařízení doplňuje a zpřesňuje prostřednictvím zákona č. 110/1997 Sb., o potravinách a tabákových výrobcích, a příslušných vyhlášek, které určují například minimální velikost písma na obalech, způsob označování nebalených potravin, specifická pravidla pro označení vody, masa, medu, mléka, nebo podmínky pro použití výrazu „česká potravina“. Česká úprava dále vymezuje pojem klamavé označování a stanovuje sankce za jeho použití. Na rozdíl od obecného evropského rámce tedy české právo více reguluje praktické provedení označení na obalu i v místě prodeje, včetně požadavků na čitelnost, uspořádání údajů a formu uvedení u pultového a tržního prodeje. Kontrolu dodržování označování v ČR vykonává především Státní zemědělská a potravinářská inspekce (SZPI), která má pravomoc odebírat vzorky, zakazovat uvádění na trh a ukládat pokuty. České právo tak představuje praktickou národní aplikaci evropského rámce, která reflektuje místní obchodní prostředí a potřebu přehledného a srozumitelného označování pro spotřebitele.

Z hlediska trhu může být pro producenty výhodné také košer či halal certifikace, především u produktů jako je řasový olej bohatý na omega-3 mastné kyseliny (např. z druhů *Schizochytrium* nebo *Ulkenia*). Tyto certifikace nejsou vyžadovány právem, ale mohou být klíčové pro přístup na specifické trhy a pro určité skupiny spotřebitelů.

Označování potravin jako „vhodné pro vegany“ nebo „vhodné pro vegetariány“ je v současnosti v Evropské unii dobrovolné a chybí k němu jednotná, právně závazná definice. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1169/2011 o poskytování informací o potravinách spotřebitelům ukládá Evropské komisi povinnost taková pravidla připravit, ale dosud nebyla přijata. V praxi se proto výrobci i spotřebitelé často spoléhají na dobrovolné certifikační systémy, z nichž nejrozšířenějším je tzv. V-label – evropské logo pro veganské a vegetariánské produkty, které vzniklo pod záštitou Evropské vegetariánské unie (EVU). Tento systém umožňuje snadno identifikovat potraviny, které splňují podmínky pro tyto skupiny spotřebitelů, i když právně závazný rámec chybí. Platí přitom, že všechny potraviny označené jako „vhodné pro vegany“ jsou automaticky vhodné i pro vegetariány.

Celý potravinářský řetězec podléhá přísným hygienickým a bezpečnostním pravidlům. Výrobci mikrořas, kteří chtějí jejich produkty uvést na trh jako potraviny nebo doplňky stravy, musí kromě výše uvedeného dodržovat i obecná pravidla pro hygienu potravin, limity kontaminantů, mikrobiologická kritéria nebo pravidla pro materiály přicházející do styku s potravinami.

Přídavné látky

Mikrořasy nejsou jen zdrojem bílkovin, ale i přírodních látek, které nacházejí široké uplatnění jako přísady do potravin – například jako přírodní barviva, antioxidanty nebo nositelé chuti a barvy. Znáмым příkladem je betakaroten získávaný z mikrořasy *Dunaliella salina*, který se v potravinářství používá jako barvivo s označením E160a(ii). Je běžně povolený v EU jako potravinářská přídavná látka podle nařízení (ES) č. 1333/2008 o potravinářských přídavných látkách, a využívá se třeba v nápojích, margarínech nebo doplňcích stravy.

Stále větší pozornost přitahuje i fykocyanin, přírodní modrý pigment získávaný ze spiruliny. Ten sice funguje jako výrazné modré barvivo, ale v EU zatím není oficiálně schválen jako potravinářské aditivum – nemá tedy svůj E-kód. Používat ho lze pouze jako složku schváleného extraktu z mikrořasy *Arthrospira*, který je uveden v unijním seznamu nových potravin. V praxi to znamená, že může být součástí potravin, které splňují podmínky povoleného použití (například jako součást limonád, polev, zmrzlin), ale nesmí být zatím použit samostatně jako barvivo v aditivním smyslu.

Každý, kdo chce látky z mikrořas používat jako složky nebo přídavné látky, se musí řídit příslušnými pravidly, která upravují aditiva, schvalovací postupy a aroma. Vždy je třeba prověřit, zda je daná látka povolena, za jakých podmínek a v jakých potravinách ji lze použít. V případě přírodního původu lze navíc doložit vhodnost použitím normy ISO/TS 19657:2017, která definuje kritéria pro „přírodní složky potravin“. Legislativa je v této oblasti přísná, ale zároveň umožňuje postupné zařazování nových přírodních složek na trh – pokud je prokázána jejich bezpečnost a funkce.

Závěrem lze říct, že potravinářské využití mikrořas v EU je možné a právně ukotvené, avšak podléhá relativně složitému schvalovacímu procesu a řadě doplňkových požadavků. Tento rámec má za cíl chránit spotřebitele a zároveň umožnit inovacím bezpečný vstup na evropský trh.

Využití mikrořas jako potravin nebo doplňků stravy je velmi rozšířené především u neznámějších druhů jako *Chlorella* nebo *Arthrospira*, ale s ohledem na přísné podmínky to rovněž znamená vyšší náklady v řádech vyšších jednotek €/kg sušené biomasy ve výrobních nákladech. Využití odpadních zdrojů je ve většině případů nemožné.

3.4 Použití mikrořas jako krmných surovin

Mikrořasy představují perspektivní a rychle se rozvíjející složku v oblasti výživy zvířat. Díky vysokému obsahu bílkovin, esenciálních mastných kyselin, pigmentů, antioxidantů a dalších bioaktivních látek se jejich využití v krmivech nabízí jako nutričně hodnotná alternativa k tradičním surovinám. V posledních letech se mikrořasy uplatňují nejen v krmivech pro ryby v samotných akvakulturách a pro hospodářská zvířata, ale také ve výživě domácích mazlíčků. S rostoucím zájmem o udržitelné a inovativní přístupy k živočišné výrobě se očekává, že podíl mikrořas v krmivech dále poroste. Nespornou výhodou je, že pro použití mikrořas v krmivech není nutné využívat jen schválené druhy, jako je tomu u „Nových potravin“. Použití nicméně není bez legislativního rámce.

Aby bylo možné mikrořasy nebo produkty z nich využít v krmivech, je třeba dodržet řadu právních požadavků. Základní rámec stanovuje nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 178/2002 v platném znění, kterým se stanoví obecné zásady a požadavky potravinového práva, zřizuje Evropský úřad pro bezpečnost potravin a stanoví postupy v záležitostech bezpečnosti potravin. Ačkoliv se často zmiňuje v souvislosti s potravinami pro lidi, vztahuje se rovněž na krmiva – stanovuje totiž základní povinnosti a zásady bezpečnosti, sledovatelnosti, odpovědnosti a krizového řízení napříč celým potravinovým i krmivovým řetězcem. Každé krmivo uvedené na trh v EU musí být bezpečné, nesmí ohrožovat zdraví lidí ani zvířat a jeho původ musí být dohledatelný.

Konkrétní pravidla pro uvádění krmiv na trh stanovuje nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 767/2009 v platném znění, které mimo jiné rozlišuje mezi krmnými surovinami a doplňkové látky (krmná aditiva). Toto rozlišení je zásadní i pro využití mikrořas.

Krmné suroviny slouží primárně jako nutriční složka (např. zdroj bílkovin či mastných kyselin). Pokud mikrořasa plní tuto roli, může být uvedena na trh jako krmná surovina za předpokladu, že je uvedena ve Společném katalogu krmných surovin EU, který je upraven nařízením Komise (EU) č. 68/2013. Mikrořasy jsou zařazeny v části C – Seznam krmných surovin, oddíl 7 – Ostatní rostliny, mikrořasy, houby a výrobky z nich získané. Používání katalogu je sice dobrovolné, ale v praxi slouží jako oficiálně uznávaný referenční rámec a pomáhá při označování a kontrole krmných produktů.

Pokud producent nebo výrobce uvede na trh novou krmnou surovinu, která není uvedena v katalogu, je povinen tuto surovinu registrovat v Registru krmných surovin.⁵ Registr je spravován evropským krmivářským průmyslem a slouží k zajištění transparentnosti a jednotného postupu. Povinnost registrace se vztahuje např. na nové druhy mikrořas, extrakty nebo jinak technologicky upravené produkty, které nejsou v katalogu výslovně uvedeny. Výrobce je tedy povinen nejprve ověřit, zda je daná surovina v katalogu uvedena. Pokud není, bez registrace ji nelze legálně uvádět na trh.

Krmné aditivum je podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1831/2003 definováno jako látka, mikroorganismus nebo přípravek, který není krmnou surovinou a je záměrně přidáván do krmiva za účelem plnění specifické funkce – například technologické, senzorké, výživové nebo zdravotní. Typickými příklady v případě mikrořas jsou přírodní barviva (např. astaxantin), antioxidanty, látky podporující trávení, posilující imunitní funkce nebo ovlivňující kvalitu produktů (barva masa, vajec apod.).

Pokud tedy mikrořasa nebo látka z ní plní jiný účel než jen výživu, je nutné, aby byla schválena Evropským úřadem pro bezpečnost potravin (EFSA). Hodnocení se zaměřuje na bezpečnost pro cílová

⁵ www.feedmaterialsregister.eu

zvířata, spotřebitele, pracovníky, životní prostředí a na účinnost deklarované funkce. Na základě stanoviska EFSA rozhoduje Evropská komise o schválení aditiva. Schválená aditiva jsou následně zařazena do oficiálního Registru krmných aditiv EU.⁶

Použití krmiv a jejich uvádění na trh se v České republice řídí rovněž národní legislativou, zejména zákonem č. 91/1996 Sb., o krmivech, ve znění pozdějších předpisů. Výkon státní správy a dozoru v této oblasti zajišťuje **Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ)**, který poskytuje základní informace a odkazy na evropské předpisy na svém webu.⁷

3.5 Kosmetické výrobky

Mikrořasy se díky biologické rozmanitosti a obsahu cenných látek stávají stále důležitějšími surovinami pro výrobu kosmetiky a produktů osobní péče. Obsahují antioxidanty, pigmenty, exopolysacharidy, vitamíny, esenciální mastné kyseliny a další bioaktivní látky, které mají prokazatelné účinky na pokožku – od hydratace a anti-aging efektů až po ochranu proti UV záření. Kromě toho některé látky vykazují protizánětlivé, fotoprotektivní či hojivé účinky, a jsou proto využívány v přípravcích pro citlivou nebo poškozenou pokožku.

Mezi nejčastěji používané mikrořasy v kosmetice patří *Chlorella vulgaris*, *Haematococcus pluvialis*, *Dunaliella salina*, *Scenedesmus* spp., *Tetraselmis* spp., ale také *Arthrospira* nebo některé druhy cyanobakterií (např. *Anabaena*, *Scytonema*) produkující MAAs (mycosporine-like amino acids) či fykobiliproteiny (např. fykocyanin). Tyto látky se využívají například v opalovacích přípravcích jako přírodní UV-filtry, v anti-aging kosmetice nebo jako barviva v dekorativní kosmetice.

Kosmetické produkty spadají pod přísnou legislativu EU, zejména Nařízení (ES) č. 1223/2009 o kosmetických přípravcích, které stanovuje podmínky bezpečnosti, složení, označování a sledovatelnosti všech kosmetických výrobků uváděných na trh v EU.

Zakazuje látky uvedené v příloze II. a omezuje látky uvedené v příloze III. Látky jako astaxantin, MAAs nebo fykocyanin nejsou zakázané, ale musí být bezpečné a správně deklarované.

Složky kosmetiky musí být označeny v souladu se seznamem INCI (International Nomenclature of Cosmetic Ingredients), přičemž mikrořasy a jejich extrakty jsou uváděny například jako *Chlorella vulgaris* extract nebo *Arthrospira platensis* powder.

Informace o legálním použití látek v kosmetice jsou k dispozici v databázi CosIng.⁸

Při použití mikrořas v kosmetice je dále nutné dbát na:

- dodržení nařízení REACH – včetně extraktů a čistých substancí z mikrořas,
- označování podle CLP – Nařízení (ES) č. 1272/2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí,
- pokud je výrobek biocidního charakteru (např. antibakteriální kosmetika), platí také Nařízení (EU) č. 528/2012 o biocidních přípravcích.

⁶ <https://ec.europa.eu/food/food-feed-portal/screen/feed-additives/search>

⁷ <https://ukzuz.gov.cz/public/portal/ukzuz/krmiva>

⁸ <https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/cosing/index.cfm>

V České republice platí evropské předpisy bez nutnosti jejich implementace do národní legislativy. Kontrolu kosmetických výrobků zajišťuje Státní zdravotní ústav (SZÚ) a Státní ústav pro kontrolu léčiv (SÚKL).

3.6 Hnojiva, biostimulanty a biopesticidy

Mikrořasy nejsou jen slibnou složkou potravin nebo krmiv, ale čím dál častěji se využívají také v zemědělství – jako přírodní hnojiva, biostimulanty nebo látky pro ochranu rostlin. Jejich biomasa obsahuje celou řadu pro rostliny cenných látek – dusík, fosfor, draslík, stopové prvky, aminokyseliny, polysacharidy a další bioaktivní molekuly. Některé druhy mikrořas (např. *Scenedesmus*, *Chlorella*, *Anabaena*, *Nostoc*) jsou navíc schopné produkovat sloučeniny s antimikrobiálním, fungicidním nebo růstově inhibičním účinkem, což z nich činí kandidáty pro tzv. biopesticidy. Výzkum ukazuje například silné účinky některých sinicových metabolitů proti houbovým patogenům jako *Botrytis cinerea* či *Fusarium oxysporum*. Využití těchto látek je však legislativně omezené – zejména kvůli výslovnému vyloučení sinic v některých předpisech EU.

Základním právním předpisem EU pro tuto oblast je Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/1009, kterým se stanoví pravidla pro uvádění hnojivých produktů EU na trh. Toto nařízení umožňuje výrobcům uvádět na trh tzv. harmonizované produkty s označením CE, a to, pokud splní požadavky na vstupní materiály (CMC – Component Material Categories) a funkční skupiny (PFC – Product Function Categories).

Mikrořasy lze využít jako surovinu pro výrobu hnojiv v několika kategoriích CMC, zejména:

- CMC 1 – extrakty nebo čisté látky z mikrořas (včetně sinic), pokud jsou definované jako chemická látka registrovaná podle nařízení REACH.
- CMC 2 – pro biomasy a extrakty z mikrořas zpracované šetrnými metodami (mechanické, vodní, tepelné, CO₂). Výslovně jsou zde ale vyloučeny sinice (cyanobakterie).
- CMC 3 a 5 – kompost a digestát, do něhož byly mikrořasy přidány během fermentace.

Z mikrořas se nejčastěji používají druhy jako *Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus sp.* a *Arthrospira platensis*. Ty jsou dostupné na trhu jako sušená biomasa, extrakty, nebo fermentační zbytky s přímým hnojivým či biostimulačním účinkem.

Biostimulanty na bázi mikrořas mohou zvyšovat odolnost rostlin vůči stresu (sucho, slanost), podporovat růst kořenů nebo zlepšovat příjem živin. Nařízení 2019/1009 definuje v příloze I biostimulant jako „produkt stimulující výživu rostlin nezávisle na svém obsahu živin“. Příklady bioaktivních složek zahrnují polysacharidy, fykobiliny, aminokyseliny nebo antioxidanty. Současně však platí, že sinice nelze podle aktuálních pravidel zařadit jako povolený vstupní materiál do CMC 2, což omezuje jejich přímé využití. Existuje ale výjimka, pokud je z biomasy sinic izolována konkrétní chemicky definovaná účinná látka, která je samostatně registrována v systému REACH, může být zařazena do CMC 1. Tímto způsobem lze využít bioaktivní látky ze sinic, přestože samotná sinicová biomasa jako celek vyloučena je.

V České republice se biostimulanty registrují dle zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech. Pokud nejde o hnojivý produkt EU dle nařízení (EU) 2019/1009, musí být přípravek registrován u ÚKZÚZ. Biostimulanty lze zařadit jako pomocné půdní látky (účinek na půdu) nebo jako pomocné rostlinné přípravky (účinek na růst rostlin). ÚKZÚZ zveřejňuje seznam registrovaných přípravků ve veřejně přístupné databázi. V posledních letech je zaznamenán rostoucí zájem o biostimulanty z mikrořas (např. *Chlorella*, *Arthrospira*, *Ascophyllum*), ale neexistuje jednotný postup pro jejich hodnocení, což může komplikovat registraci inovativních produktů.

Pokud jsou mikrořasy pěstovány s využitím odpadních vod nebo jiných druhotných surovin (např. CO₂ z průmyslu), je třeba posoudit, zda biomasa nepodléhá statusu odpadu. To upravuje Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES o odpadech, kde je klíčovým pojmem tzv. „konec odpadu“ („end-of-waste“) – biomasa z mikrořas může být znovu využita jen tehdy, pokud splní stanovená kritéria čistoty, bezpečnosti a účelovosti.

Zcela specifickou oblastí je využití mikrořas jako biopesticidů, tedy přípravků na ochranu rostlin proti chorobám, škůdcům nebo plevelům. Tyto látky podléhají schvalování podle Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1107/2009 o uvádění přípravků na ochranu rostlin na trh.

Zatím bylo v EU schváleno jen velmi omezené množství účinných látek na bázi mikrořas – a výlučně pocházejí z mořských makrořas. Mikrořasy a sinice s antibakteriálním nebo fungicidním účinkem zatím běžně registrovány nejsou. Přitom výzkum prokazuje vysokou účinnost sinicových metabolitů jako přírodních pesticidních látek – například aminokyselinových derivátů, fenolických sloučenin nebo inhibitorů růstu patogenů.

V Česku se přípravky na ochranu rostlin řídí zákonem č. 326/2004 Sb., o rostlinolékařské péči. O registraci rozhoduje ÚKZÚZ. Proces schvalování je podobný jako u chemických pesticidů a vyžaduje toxikologické, reziduální a ekologické hodnocení. Zvláštní pozornost se věnuje případným rizikům pro necílové organismy a životní prostředí.

4 Posouzení podmínek produkce a využití v ČR, výčtu vhodných mikrořas / sinic a produktů z nich.

Pro kultivaci v podmínkách ČR je nezbytné vzít v úvahu jak klimatické podmínky, tak technické a ekonomické možnosti pro pěstování a uplatnění určitého kmene mikrořasy. Jsou vhodné jednak robustní kmeny zelených mikrořas (*Chlorella*, *Scenedesmus*), které rostou rychle v našich klimatických podmínkách a nehrozí kontaminace jinými kmeny mikrořas.

Dají se pěstovat v otevřených kultivačních systémech, ale pouze v teplém období (květen–září). Lze využít i kultivace ve sklenících, které mohou prodloužit sezónu o dva až tři měsíce. Další možností je pěstování v uzavřených systémech, fotobioreaktorech (FBR), které dovolují přesnější kontrolu kultivačních podmínek, případně i dodatečné umělé osvětlení. Pomalu rostoucí a citlivé kmeny musí být kultivovány pouze ve FBR, aby byla udržena monokultura a bylo zajištěno dodržení pěstebních podmínek.

4.1 Přehled druhů a kmenů pro kultivace, identifikace možností pro různé kultivační systémy, technologické požadavky, možné využití odpadních zdrojů

Přehled vhodných druhů a kmenů mikrořas pro kultivace

Současný cíl řasové biotechnologie je vytipovat vhodné kmeny se zajímavým chemickým složením biomasy, kterou lze dále následně využít k mnohým účelům, např. jako biopaliva, nutriční a výživové doplňky nebo přísady do léčiv a kosmetiky. Zásadním požadavkem v této oblasti je snižování nákladů na produkci. V ČR se zájem soustřeďuje především na níže uvedené mezofilní kmeny, ovšem výzkum probíhá i v oblasti využití polárních kmenů v méně příznivých klimatických obdobích, proto se výčet nedá považovat za uzavřený (viz také Tab 3.).

Chlorella spp., jednobuněčná zelená mikrořasa (Chlorophyta) obsahující fotosyntetické pigmenty: chlorofyl (a, b), z karotenoidů jsou významné beta-karoten a lutein, dále pak kyselina askorbová či tokoferol. Vedle toho obsahuje i řadu dalších fyziologicky účinných látek. Enzymaticky vyrobený bílkovinný hydrolyzát se vyznačuje protinádorovým, hepatoprotektivním, antioxidačním, antibakteriálním a imunostimulačním efektem. Přečištěné peptidy získané ze zbytku po extrakci mohou přispívat k ochraně před důsledky oxidačního stresu (arterioskleróza, srdeční choroby, rakovina). Je popsán i účinek nestravitelné frakce na snížení cholesterolu. Biomasa *Chlorelly* se dále používá pro výrobu doplňků stravy, biopaliv a kosmetiky.

Haematococcus pluvialis, jednobuněčná zelená mikrořasa (Chlorophyta). Produkuje karotenoid astaxantin (antioxidant, jehož účinnost závisí na míře esterifikace mastných kyselin). Astaxantin je syntetizován při stresových podmínkách (v množství až 3 % v sušině) a chrání mikrořasu před poškozením intenzivním světlem a je velmi účinným antioxidantem a barvivem.

Scenedesmus je jednobuněčná zelená mikrořasa (Chlorophyta). Využití nachází například v remediačních procesech při čištění odpadních vod při produkci biopaliv jako je vodík, bionafta nebo bioetanol a v neposlední řadě slouží jako modelový organismus pro studium fotosyntézy.

Phaeodactylum tricornutum, rozsivka (Bacillariophyceae). Využívá se především pro produkci eikosapentaenové kyseliny (EPA) a v bioinženýrství.

Synechococcus patří mezi sinice (Cyanobacteria). Významná je produkce ve vodě rozpustného karotenoidu myxoxantofylu a glykolipidů.

Porphyridium je jednobuněčná červená mikrořasa (Rhodophyta). Důležitou složkou je červené barvivo fykoerytrin, který příznivě působí na imunitní systém a jako antioxidant. Kromě toho je to barvivo hojně využívané v potravinářství, farmacii i kosmetice. Dále obsahuje nenasycené mastné kyseliny jako palmitová, arachidonová (ARA), eikosapentaenová (EPA) a alfa-linolenová, které mohou snižovat riziko arteriosklerózy, srdečních chorob, degenerativních nervových chorob (roztroušená skleróza). Dále byly zjištěny i sulfatované polysacharidy, které vykazují účinek proti virům herpes.

Tetraselmis je jednobuněčná bičíkatá zelená mikrořasa (Chlorophyta). Využívá se v akvakultuře a pro produkci lipidů.

Tab. 3: Nejčastěji pěstované rody mikrořas v různých velkoobjemových kultivačních systémech

Mikrořasa	Využití	Podmínky kultivace	Nejčastěji používané systémy	Hlavní lokality pro pěstování
<i>Arthrospira</i> (dříve <i>Spirulina</i>) (Cyanophyta)	Lidská výživa, krmivo pro zvířata, kosmetika	Alkalické, 30-38 °C, pH 9-10	Přírodní alkalická jezera, oběžné náhony, míchané nádrže, (trubicové FBR	Středomořské státy, Indie, Čína, USA, Izrael, Myanmar, Thajsko, Afrika
<i>Chlorella</i>, <i>Scenedesmus</i> (Chlorophyta)	Lidská výživa, krmivo pro zvířata, kosmetika	Sladkovodní – fototrofní, mixotrofní i heterotrofní režim 25-30 °C, pH 7-8	Oběžné náhony, tenkovrstvé systémy, panelové a trubicové FBR, fermentory	Středomořské státy, Čína, Japonsko, Taiwan, Německo, Španělsko
<i>Dunaliella</i> (Chlorophyta)	Lidská výživa, krmivo pro zvířata, kosmetika	Hypersalinní nádrže (22-35 %) 30-40 °C, pH ~9	Mělké nemíchané nádrže, oběžné náhony	Austrálie, Izrael, USA, Čína, Španělsko, Portugalsko, Indie
<i>Haematococcus</i> (Chlorophyta)	Lidská výživa, krmivo pro zvířata, kosmetika	Sladkovodní – fototrofní, mixotrofní i heterotrofní režim 20-25 °C, pH 8	Panelové a trubicové FBR, dvojstupňový systém	Austrálie, Izrael, USA, Čína, Španělsko, Portugalsko, USA, Švédsko, Česká r.
<i>Nannochloropsis</i> (Eustigmatophyta)	Lidská výživa, krmivo pro zvířata, kosmetika, akvakultury, biopaliva?	Mořské 15-30 °C	Oběžné náhony, míchané PE vaky, trubicové FBR	Portugalsko, Izrael, Španělsko, Austrálie, Čína, Havaj, Itálie
<i>Phaeodactylum</i> (Bacillariophyceae)	Lidská výživa, akvakultury, biopaliva?	Mořské 18-22 °C, pH 8	Panelové a trubicové FBR, oběžné náhony	Portugalsko, Izrael, Španělsko, Čína
<i>Porphyridium</i> (Rhodophyta)	Lidská výživa, krmivo pro zvířata, kosmetika	Mořské 25-35 °C, pH 7.5	Oběžné náhony, míchané PE vaky, panelové a trubicové FBR	Izrael, France, Německo, Itálie, USA
<i>Skeletoma</i>, <i>Navicula</i>, <i>Thalassiosira</i>, <i>Chaetoceros</i> (Bacillariophyceae); <i>Isochrysis</i>, <i>Pavlova</i> (Prymnesiophyceae); <i>Tetraselmis</i> (Prasinophyceae)	Akvakultury, lidská výživa	Mořské 18-22 °C, pH 8	Oběžné náhony, míchané PE vaky, panelové a trubicové FBR	Různé země v menším měřítku

Hlavní technologické překážky

Mikrořasy jsou velmi perspektivními organismy díky svým unikátním vlastnostem: (1) mají vysoký podíl oleje a zbytek po extrakci obsahuje hlavně proteiny a uhlovodíky vhodné jako krmivo pro zvířata; (2) mají vysokou produktivitu; (3) vyžadují méně plochy ve srovnání se suchozemskými rostlinami; (4) je možné je pěstovat ve slaných vodách; a (5) nesoupeří se zemědělskými plodinami o půdu. I přes tyto velmi pozitivní vlastnosti stále existují některé překážky, které brání širšímu rozvoji řasové biotechnologie v průmyslovém měřítku. Následně je uveden výčet nejdůležitějších překážek:

Dodávka živin (nutrientů)

Růst mikrořas vyžaduje tři základní živiny: uhlík, dusík a fosfor. Pro správný růst jsou rovněž nutné stopová množství dalších prvků, jako jsou: vápník, křemík, železo, mangan, měď, zinek, draslík, síra a kobalt. Pěstování mikrořas v průmyslovém měřítku vyžaduje velká množství těchto prvků a mikroprvků. Tyto látky je nutné dodávat v podobě nákladných hnojiv v případě, že nejsou k dispozici žádné odpadní zdroje živin. Na základě současných znalostí je nepravděpodobné, aby velkoobjemové kultivace mikrořas pro jejich aplikace v zemědělství (biohnojiva, akvakultury) nebo energetice (biopaliva) byla ekonomicky výhodná s pozitivním energetickým výnosem bez užití odpadní vody jako zdroje nutrientů. Spojení kultivace mikrořas v průmyslovém měřítku s čištěním odpadních vod je jediný způsob, jak snížit ekonomickou náročnost a produkovat cenově dostupnou řasovou biomasu pro výše uvedené použití.

Přestup plynů

Správný přestup plynů je zásadní pro intenzivní růst mikrořas. Znamená to nejen dodávat dostatečné množství uhlíku (biomasa mikrořas je přibližně z poloviny tvořena uhlíkem) ve formě CO_2 , ale i odstraňovat fotosynteticky produkovaný kyslík. V případě nedostatečného přestupu plynů může dojít k limitaci uhlíkem, nebo nárůstu koncentrace kyslíku na úroveň, při které dochází k inhibici růstu mikrořas. Odstranění přebytečného kyslíku je obzvláště důležité v případě uzavřených FBR. Otevřené nádrže mohou být potenciálně limitovány uhlíkem díky omezením daným přestupem přes vodní hladinu. Umělé zvýšení koncentrací oxidu uhličitého umožňuje dosáhnout vyšších koncentrací biomasy před sklizní. Je potřeba si uvědomit, že díky podmínkám v konkrétním kultivačním systému (míchání, aerace...) je méně než 10 % celkového dostupného CO_2 k dispozici pro růst mikrořas. Použití odpadního CO_2 z elektráren a jiných zdrojů pomůže vyřešit otázku dodávky uhlíku a zároveň snížit uhlíkovou stopu zdroje odpadního CO_2 .

Dostatečná ozáření kultury

Dodávka fotosynteticky aktivního záření (PAR) je velmi důležitá, protože růst mikrořas je do určité míry přímo úměrný vzrůstající intenzitě PAR. Přímé sluneční osvětlení (40 % PAR) je však často příliš intenzivní na to, aby se využily všechny fotony a přebytečná energie je disipována ve formě tepla. Tento fakt hraje obzvláště významnou roli v otevřených náhonech (raceway ponds), kdy v hlubších vrstvách nádrže jsou buňky limitovány světlem, protože většina je absorbována vrchními vrstvami suspenze, takže často kultury trpí fotoinhibicí a nedostatkem světla současně. Dostatečné míchání suspenze může tento problém částečně vyřešit. Kultury se vlivem tepla slunečního záření (~ 60 %) často přehřívají a je nutné chladit, což může být energeticky i technologicky náročné.

Stabilita kultury

V závislosti na vlastnostech pěstovaného kmene může být více či méně obtížné se vyhnout kontaminaci jinými druhy. Monokultury mikrořas mohou přerůst rychleji rostoucí kmeny. V případě použití odpadní vody budou dominovat přirozeně se vyskytující kmeny mikrořas. Za těchto podmínek

je obtížné řídit složení kultury i růstové podmínky, avšak např. pro účely produkce biopaliv i směsné kultury nejsou velký problém.

Kontrola růstových podmínek

Jak produkce biomasy, tak odstranění znečištění jsou závislé na podmínkách, ve kterých mikrořasy rostou. Nejdůležitějšími parametry jsou koncentrace živin (především uhlík), pH a teplota. Mikrořasy nedokážou využít veškeré formy anorganického uhlíku stejně, to je důvod, proč má pH a s ním související změny ve formách anorganického uhlíku tak velkou důležitost. Volný oxid uhličitý je mikrořasami přijímán, forma HCO_3^- je nejvýhodnější, ale CO_3^{2-} většina řas nevyužije. Od pH 9 tvoří forma CO_3^{2-} přibližně polovinu rozpuštěného anorganického uhlíku, proto je žádoucí udržovat pH pod touto hodnotou. Řízením růstových podmínek dochází sice ke zvýšení produktivity, ale zároveň i ke zvýšení nákladů. U velkých zařízení je řízení těchto podmínek obzvláště obtížné.

Dostupnost vody a pozemků

Průmyslové pěstování mikrořas v otevřených kultivačních systémech vyžaduje velké objemy vody a velké pozemky. Čistírny odpadních vody mají sice k dispozici dostatečné množství nutrientů, ale nemusejí mít k dispozici potřebné volné pozemky, a to především v případě, že se jedná o membránové čistírny se snahou o malé půdorysné plochy.

Zpracování řasové biomasy

Největší technologickou překážkou není produkce samotných mikrořas, ale jejich sklizení a následné zpracování (downstream processing). Sklizeň mikrořas je nejdražším procesem (až 50 % celkových nákladů), protože rozměry mikrořas jsou v jednotkách až desítkách μm , takže není možné využít sedimentaci. V současné době existují čtyři skupiny metod pro sklizeň: (1) chemické metody (flokulace), (2) mechanické (odstředování, filtrace, flotace), (3) elektrické (elektroforéza), a (4) biologické (auto-flokulace a bio-flokulace). Vhodná volba metody separace buněk mikrořas z živného média je závislá na finálním využití biomasy. Snížení nákladů na sklizení mikrořas je nezbytně nutné, mají-li být mikrořasy komerčně pěstovány ve velkém měřítku za nízkých nákladů. Levnou metodou sklizení je bio-flokulace, což je například využití vloček mikrořas s bakteriemi, které sedimentují gravitačně. Použití vhodné separační techniky však vždy závisí na finálním využití řasové biomasy (potravinářství, kosmetika, zemědělství či biopaliva).

4.2 Přehled kultivačních systémů použitelných pro produkci mikrořas v podmínkách ČR

V ČR jsou kultivace různých kmenů mikrořas testovány především Mikrobiologickým ústavem AV ČR v Třeboni, částečně také Ústavem chemických procesů Praha, Mendelovou univerzitou v Brně a firmou P.S.I. Drásov.

Tab. 4: Přehled kultivačních systémů, jejich stručná charakteristika, využitelnost v ČR a jejich výhody/nevýhody.

Typ kultivačního systému	Charakteristika	Vhodnost pro ČR
Oběžné náhony (Open raceway pond)	Nízké náklady, jednoduchá instalace, ale náchylné ke kontaminaci	Vhodné jen sezónně (jaro–léto)
Tenkovrstvá kaskáda	Tenká vrstva kultury stékající po nakloněné ploše	Vhodné jen sezónně (jaro–léto)
Fotobioreaktor (FBR)	Uzavřený systém (trubkový, deskový)	Vhodné celoročně
Fermentor	Uzavřený systém bez osvětlení pro heterotrofii, dobře řízené podmínky	Vhodné celoročně

Podrobnější popis kultivačních systémů a FBR, viz kap. 1.

Reálně použitelné jsou pro ČR: fermentory, uzavřené FBR (pilotní provoz, vyšší kvalita biomasy), otevřené systémy – tenkovrstvé kaskády, oběžné náhony (pro větší objemy venkovní produkce biomasy v období, jaro–léto), použití pro potravin a krmné doplňky, biohnojiva, biostimulanty, kosmetika, biopaliva).

4.3 Identifikace oblastí potenciální aplikace v ČR

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, mikrořasy jsou, díky svým rozmanitým aplikacím a potenciálu v různých průmyslových odvětvích, velmi perspektivní organismy a v poslední době si získaly značnou pozornost. V České republice se řasová biotechnologie v posledních letech posunula od masové produkce biomasy mikrořasy *Chlorella* k více sofistikovaným aplikacím, jakými jsou zvyšování nutriční hodnoty potravin (funkční potraviny, potravní doplňky - nutraceutika) nebo krmiv pro některá zvířata (např. slepice, psi, okrasné ryby a jiné). Hrají klíčovou roli v akvakulturách, a to především pro obsah cenných molekul typu polynenasycených mastných kyselin (ARA, EPA, DHA) a pigmentů (např. astaxantin, lutein, beta-karoten). Díky obsahu bioaktivních sloučenin nacházejí mikrořasy možnosti uplatnění i v takových oblastech jako jsou kosmetika, farmacie a medicína. Rychle rostoucí mikrořasy jsou považovány za perspektivní zdroj biomasy pro výrobu biopaliv třetí generace, přípravu speciálních chemikálií, výrobu energie a zmírňování emisí skleníkových plynů. Mikrořasy navíc vykazují slibné využití v čištění odpadních vod, odstraňování kontaminantů jako jsou těžké kovy, PAH, PCB a pro snížení obsahu živin proti eutrofizaci vod (fytoremediace).

Potravinářství / krmivářství

Přímá konzumace řasové biomasy je omezena na velmi malé množství druhů. Tento stav je dán relativně přísnými legislativními omezeními, faktory trhu, zvyky a požadavky zákazníků a v neposlední řadě i specifické přípravě. *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Arthrospira*, *Dunaliella*, *Haematococcus* a *Nannochloropsis* jsou hlavními druhy mikrořas na současném trhu potravních doplňků. Řasová biomasa se využívá v potravinářském průmyslu především pro její vysoký obsah omega-3 polynenasycených mastných kyselin včetně esenciálních mastných kyselin. Omega-3 polynenasycené mastné kyseliny, jako jsou kyselina eikosapentaenová (EPA) a dokosahexaenová

(DHA), jsou nepostradatelné zejména pro zdravý vývoj mozku a očí u dětí, resp. pro správnou funkci kardiovaskulárního systému u dospělých.

Řasová biomasa má také významný obsah minerálních látek a stopových prvků (Se, Zn, Cr, I, Mg, atd.), které hrají významnou roli pro růst tkání, aktivaci a regulaci látkové výměny v organismu a také se podílejí na vedení nervových vzruchů. Ještě významnější je fakt, že většina těchto esenciálních stopových prvků se v řasové biomase vyskytuje ve formě vázané na organické molekuly (pigmenty, aminokyseliny, mastné kyseliny, metaloproteiny, atd.). Takto organicky vázané stopové prvky jsou daleko lépe využitelné pro lidský organismus než ve formě anorganických solí. Mikrořasy jsou také bohaté na bílkoviny, lipidy, vitamíny a antioxidanty, což je činí ideálními pro výrobu funkčních potravin a doplňků stravy (nutraceutik). U některých kmenů mikrořas, např. *Anabaena*, *Nostoc muscorum*, *Synechococcus*, *Synechocystis* sp. byl zjištěn obsah osmoprotektantů (trehalosa, acetylserin, acetylglukosamin, glukosyl glycerol, glycin betain). Trehalosa a glukosyl glycerol nalézají uplatnění jako přídavek do energetických nápojů.

Biostimulační přípravky na bázi mikroskopických mikrořas pro použití v zemědělství

Biostimulační přípravky na bázi mikrořas se aplikují prostřednictvím listových postřiků, základního ošetření osiva, doplňků půdy, hydroponie a nosičových systémů. Tímto způsobem řasová biomasa zlepšuje chemické a biologické vlastnosti půdy, snižuje potřebu syntetických agrochemikálií (konvenčních pesticidů) a posiluje agronomické faktory, jako je klíčivost, růst rostlin a výnosy. Obecně se tím zvyšuje udržitelnost a cirkulární ekonomika zemědělské produkce.

Řasová biomasa, jako součást krmných směsí pro různá zvířata výrazně zlepšuje jejich celkový zdravotní stav, vitalitu a reprodukční schopnosti. Tato aplikace má výrazný finanční efekt především pro malé soukromé farmy zabývající se chovem různých zvířat (telata, prasata, psi, kožešinová zvířata, akvarijní rybičky atd.). Z hospodářských zvířat, při jejichž chovu se uplatňuje řasová biomasa, je bezesporu nejvýznamnější chov drůbeže. Využití karotenoidů (astaxantin, lutein, zeaxantin, beta-karoten, aj.) obsažených v řasové biomase pro zlepšení pigmentace masa bylo u nás i v zahraničí již široce ověřeno v praxi. Ve srovnání se syntetickými pigmenty (např. Carrophyll, Hofman La Roche) standardně přidávanými do krmných směsí byla prokázána jejich výrazně vyšší biologická účinnost. Požadovaného účinku je dosaženo již doplněním krmné dávky o 0.5-1 % řasové biomasy přimíchané přímo do krmiva pro ryby (losos, pstruh duhový nebo okrasné ornamentální ryby). Druhá varianta je začlenění mikrořas do potravního řetězce ryb sestávajícího postupně z následných kroků: mikrořasy (fytoplankton) – zooplankton (vířníci, Artemie, Dafnie) – larvální stádia měkkýšů/korýšů/ryb.

Bioremediace povrchových eutrofních vod

Rozvoj nežádoucího vodního květu sinic způsobený eutrofizací povrchových vod je jednou z aktuálních environmentálních výzev. Ideálním řešením je důkladná analýza podmínek v povodí nádrže, identifikace zdrojů živin a jejich eliminace. Pokud již dojde k tomu, že voda v nádrži dosáhne stavu hypertrofie, existují omezené možnosti, jak situaci řešit. Část z nich je vysoce nákladná a invazivní (bagrování sedimentů), jiné mají pouze dočasný účinek a spočívají v použití chemických prostředků (koagulantů či algicidů). Některé kmeny mikrořas lze využít k odstranění rozpuštěných živin z vody. Pro tyto účely se např. využívá nový typ plovoucího FBR s polopropustným dnem. Narostlá biomasa (včetně živin) se tímto způsobem z vody relativně snadno odstraní a je možno ji použít například jako ekologické hnojivo či biostimulant.

Kosmetický a farmaceutický průmysl

Extrakty z biomasy mikrořas jsou jednou z nejpobulárnějších přísad do celé řady kosmetických produktů. Nejčastějšími řasami používanými v kosmetickém průmyslu jsou *Chlorella* a *Arthrospira*, a to především jako produkty pro ochranu pokožky proti stárnutí (anti-aging) a protidráždivé (anti-irritant) přípravky. Například řasy *Nannochloropsis* a *Dunaliella* produkují látky mající vynikající zvláčňující vlastnosti na kůži a dále stimuluji proliferaci buněk. Velmi zajímavé je též využití hydratačních vlastností mikrořas, a to především díky obsahu polyglukuronátů, které pronikají do hlubokých vrstev kůže. Některé kmeny mikrořas obsahují celou řadu zajímavých látek velmi silně absorbujících v UV-b oblasti slunečního záření. Mezi nejznámější patří scytonemin a mycosporinové aminokyseliny (mycosporine-like amino acids, MAA), které jsou ve vodě rozpustné sloučeniny charakteristické absorpční maximum v rozmezí 310 až 360 nm. Bioaktivní látky z mikrořas, jako jsou karotenoidy a fykobiliproteiny, nacházejí uplatnění v kosmetice a medicíně díky svým antioxidačním a protizánětlivým vlastnostem. V medicíně se uplatňuje i další velice zajímavá složka řasové biomasy, a to je takzvaný *Chlorella* růstový faktor (*Chlorella* Growth Factor, CGF), který se získává extrakcí účinných látek z biomasy vodou za horka. Tento komplex organických látek je jednou z nejzajímavějších aplikací zelené mikrořasy *Chlorella*. Příznivě ovlivňuje hladinu sérových a jaterních lipidů, cholesterolu a glykogenu v krvi. Působí příznivě při léčbě alergií, chorob trávicího ústrojí a při prevenci stresových stavů. Mezi lékařské aplikace patří jeho využití pro léčení trofických a bérceových vředů, ekzémů, popálenin a špatně se hojících ran. Výsledky studií potvrdily, že masti s obsahem CGF vykazují výrazné granulační a epitelizační účinky.

Ekologické technologie

Vedle již zmíněného snížení eutrofizace povrchových vod jsou mikrořasy využívány při čištění odpadních vod, sekvestraci CO₂ a jako náhrada fosilních paliv, tzv. obnovitelná paliva (biopaliva). Mezi ostatními zelenými rostlinami mikrořasy vynikají zejména tím, že jejich fotosyntetický potenciál je větší než u vyšších rostlin (tzn., že využívají světlo efektivněji). Například český výzkum přispěl k efektivnějšímu využití mikrořas díky metodě separace biomasy, která snižuje energetické náklady při výrobě biopaliv.

Chemický průmysl

Získávání tzv. prioritních chemikálií (např. etanol, butanol, metan, olej, syngas) patří k zajímavým aplikacím řasové biomasy v chemickém průmyslu.

Výroba etanolu z mikrořas probíhá stejným způsobem jako ze zemědělských plodin obsahujících cukry a škroby. Škrob z mikrořas se z buněk uvolní mechanicky nebo enzymaticky, výsledná směs po fermentaci je z bioreaktoru odvedena a etanol je separován destilací. Pevný zbytek může být využit jako krmivo pro dobytek, nebo může být zpracován zplyňováním. Etanol může být jako palivo využit buď samostatně, nebo jako směs s benzinem. Dobrým zdrojem biomasy pro výrobu etanolu je například *Chlorella vulgaris*, protože má – za určitých podmínek kultivace – vysoký obsah škrobu (až 60 % sušiny).

Butanol je důležitou průmyslovou chemikálií, která je považována za kvalitní kapalné palivo s potenciálem nahradit benzin. Tradičně je butanol vyráběn bakteriální anaerobní fermentací substrátů obsahujících cukry. Použití biomasy mikrořas místo biomasy zemědělských plodin přináší několik výhod: není potřeba půda pro růst biomasy, není potřeba sladká voda, rychlejší růst biomasy; nesoupeří s rostlinami pěstovanými jako potraviny a mají vyšší výnosy biomasy ve srovnání s polními plodinami.

Metan, podobně jako butanol, je komerčně vyráběn anaerobním rozkladem organických odpadů s vysokým obsahem vody. Anaerobní fermentace je proces přímé přeměny organického materiálu na bioplyn – směs metanu, oxidu uhličitého a jiných plynů. Pro tento proces lze využít také biomasu mikrořas. Z důvodu nízkého poměru C/N je nutné k biomase z mikrořas přidávat produkty s vysokým poměrem C/N (např. odpadní papír).

Bio-olej z mikrořas je možné vyrábět rychlou pyrolýzou nebo hydrotermálním zkapalňováním, což je proces přeměny biomasy probíhající ve vodě při teplotě 280 až 370 °C a vysokých tlacích (10 až 25 MPa).

Syngas (směs H_2 , CO, CO_2 , N_2 , CH_4 a N_2) je možno produkovat zplyňováním řasové biomasy spočívající v částečné oxidaci za vysokých teplot (800 až 900 °C), nebo zplyňováním za nízké teploty za přítomnosti katalyzátoru. Studie ukazují, že zplyňování a zkapalňování se jeví jako nejvhodnější metody pro konverzi řasové biomasy. V neposlední řadě syngas obsahuje oxid uhličitý a amoniak, které je možné recyklovat a tím podpořit růst mikrořas.

Aplikace mikrořas z chladných biotopů

Studie ukazují, že polární mikrořasy jsou schopny adaptace na klimatické podmínky východní či severní Evropy, což otevírá možnosti jejich kultivace v zimních měsících i v České republice.

5 Analýza využitelnosti v praxi v oblasti akvakultury

Mikrořasy v akvakultuře jsou náhradou přirozeného fytoplanktonu, kde přispívají ke zlepšení nutričního obsahu krmiva a zdravotního stavu chovaných druhů. Biomasa mikrořas koncentrovaná v jednoduché buňce je solární továrna, která vyrábí bílkoviny, lipidy a polysacharidy včetně dalších důležitých složek jako jsou karotenoidy, nenasycené mastné kyseliny, esenciální aminokyseliny, antioxidanty, vitamíny a také bioaktivní látky, např. antibakteriální, imunostimulační a fungicidní. K produkci biomasy se využívá řada sladkovodních i mořských kmenů z různých skupin jako jsou *Arthrospira* (*Cyanobacteria*), *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Haematococcus*, *Dunaliella* (*Chlorophyta*), *Nannochloropsis* (*Eustigmatophyta*), *Isochrysis a Pavlova* (*Prymnesiophyceae*), *Phaeodactylum*, *Skeletoma*, *Navicula*, *Thalassiosira*, a *Chaetoceros* (*Bacillariophyceae*), *Tetraselmis* (*Prasinophyceae*) a řada dalších.

Kultury mikrořas cíleně pěstované v konstruovaných kultivačních zařízeních nabývají v současnosti stále většího významu pro využití biomasy nejen v potravinách, krmivech pro zvířata a kosmetice, ale také jako krmivo v líhních a při produkci tržních ryb v halových akvakulturách. Mikrořasy jsou využívány buď přímo jako živá kultura nebo ve formě zmrazené pasty (kultury), případně jako potrava pro zooplankton, kterým se pak krmí larvy ryb. Zpracované mikrořasy (např. usušená biomasa) slouží jako významný přídatek do krmení pro mladé i dospělé ryby (Becker 2013). Výzkumy v posledních desetiletích také prokázaly, že přítomnost živé populace mikrořas v akvakultuře (tzv. „*green-water technique*“) příznivě ovlivňuje zdraví a fyzickou kondici ryb, protože produkcí kyslíku a spotřebou CO₂ a odpadních živin (biofiltrace) zlepšují prostředí nádrží a také potlačuje růst bakterií a plísní (Neori 2011).

5.1 Význam mikrořas a jejich složek v akvakultuře

Krmivo a nutriční doplněk z mikrořas Slouží pro larvální a juvenilní stadia ryb, koryšů a měkkýšů a také halové i venkovní akvakultury jako zdroj:

- Proteinů a lipidů
- Polynenasycených mastných kyselin omega-3 a omega-9 (ALA, ARA, EPA, DHA)
- Esenciálních aminokyselin a bílkovin
- Pigmentů a antioxidantů (karotenoidy)
- Antimikrobiálních látek

Přídavek mikrořas do akvakultury přispívá ke zlepšení kvality vody vzhledem k tomu, že:

- Mikrořasy využívají živiny (N, P,) a snižují eutrofizaci
- Produkují kyslík a pohlcují CO₂
- Možnost použití pro biofiltraci v RAS systémech

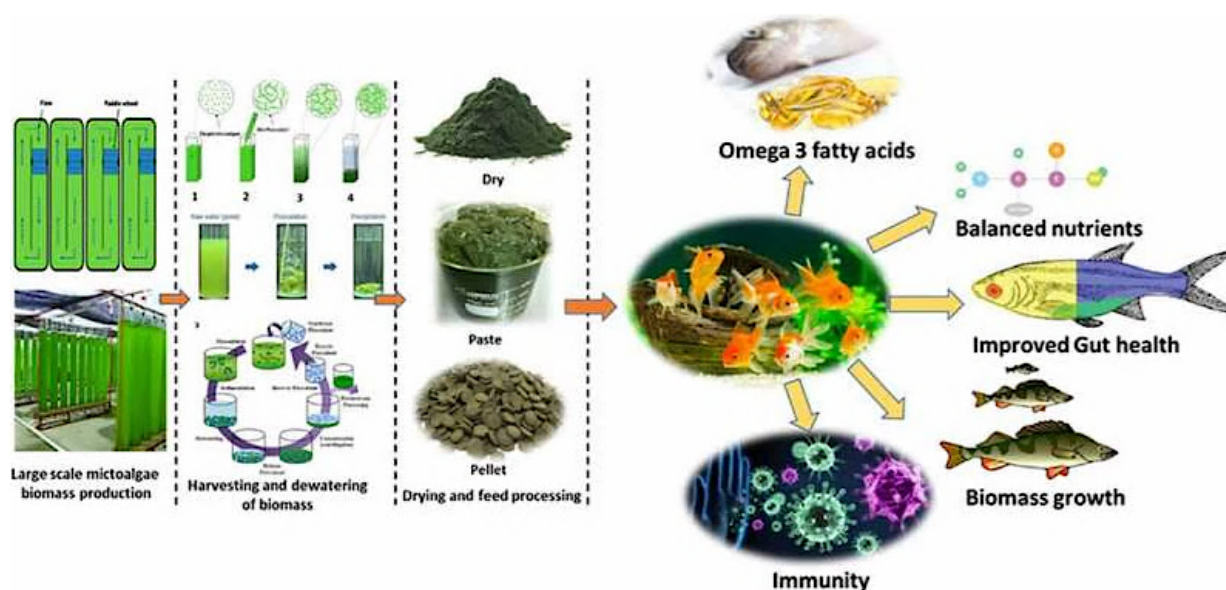
Přídavek kultury mikrořas má také zdravotní přínosy pro chované organismy, které se projevují jako:

- Vylepšení fyziologie a zvýšení míry přežití
- Imunostimulační účinky
- Prevence bakteriálních a plísňových infekcí
- Podpora trávení (probiotika), zlepšení míry přežití

Tab. 5: Přehled využití a přínosů mikrořas v akvakultuře

Oblast využití	Popis	Typické mikrořasy
Krmivo	Živé kultury pro larvy ryb, koryšů (např. krevety), a měkkýšů (ústřice, slávky), přídavek do granulí pro mladé a dospělé ryby	<i>Nannochloropsis</i> , <i>Tetraselmis</i> , <i>Isochrysis</i> , <i>Chlorella</i> , <i>Tetraselmis</i> , <i>Isochrysis</i> , <i>Pavlova</i> , <i>Phaeodactylum</i> , <i>Skeletoma</i> , <i>Navicula</i> , <i>Thalassiosira</i> , <i>Chaetoceros</i> , aj.
Nutriční doplňky	Polynenasycených mastných kyselin omega-3 a omega-9, karotenoidy, antioxidanty, imunostimulanty	<i>Nannochloropsis</i> , <i>Haematococcus</i> , <i>Dunaliella</i> , <i>Chlorella</i> ,
Zlepšení kvality vody	Odstraňování dusíku, fosforu, CO ₂ , produkce kyslíku, green-water effect	<i>Chlorella</i> , <i>Scenedesmus</i>
Biofiltrace v RAS	Propojení s recirkulačními systémy RAS (biofiltry, CO ₂) – recyklace živin, biologické dočištění vody – mikrořasy pohlcují odpadní živiny	<i>Chlorella</i> , <i>Scenedesmus</i>
Podpora zdraví	Vylepšení fyziologie a zvýšení míry přežití, prevence nemocí, zlepšení imunity, probiotika	Různé zelené mikrořasy
Ekologická integrace	Součást udržitelné akvakultury – možnost recyklace odpadních živin	<i>Chlorella</i> , <i>Scenedesmus</i> , různé zelené mikrořasy

Obr. 10: Schéma technologických postupů pro akvakulturu ryb založených na krmivech (prášek, pasta, granule) obsahujících mikrořasy



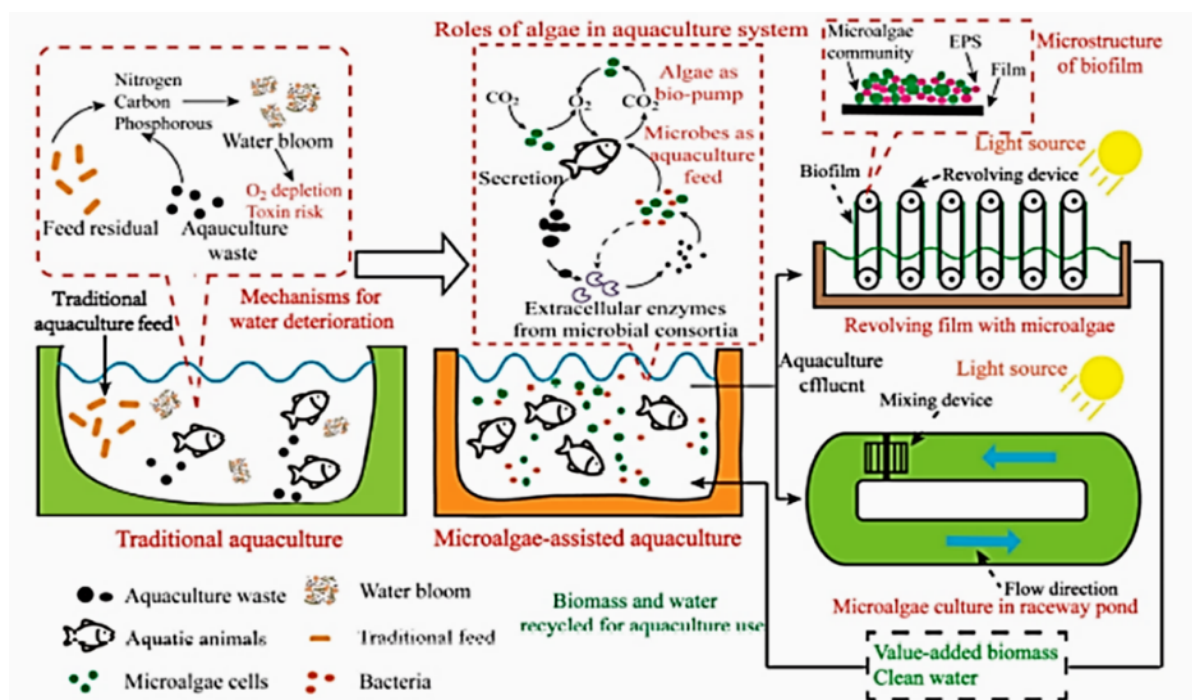
Zdroj: Ahmad a spol. 2022

Akvakultura s podporou mikrořas (microalgae-assisted aquaculture)

Kultura mikrořas, která je přidána do nádrže pro chov ryb nebo je pěstována v odpadních vodách z akvakultury, by mohla zvýšit samočisticí schopnost systému a snížit náklady na produkci tím, že spotřebuje odpady vylučované vodními živočichy, a také funguje jako regenerace prostředí k udržení obsahu rozpuštěného kyslíku ve vodě a spotřebě CO_2 . Biomasa mikrořas pěstovaných v efluentu z akvakultury může sloužit jako přírůstek do krmení a zároveň dochází k recyklaci vod. Koncepce akvakultury s přidáváním mikrořas spočívá v záměru přeměny organických látek v eutrofních efluentech na biomasu mikrořas a následné využití biomasy k částečné náhradě krmiva pro akvakulturu a posílení imunity vodních živočichů, což představuje udržitelné prostředí pro vodní živočichy.

Konkrétní schéma akvakultury podporované mikrořasami je znázorněno na obrázku podle Han a spol. 2019. Mikrořasy, které jsou přidány do akvakultury pro chov ryb nebo do nádrže, by mohly zvýšit samočisticí schopnost systému akvakultury tím, že tráví některé odpady vylučované vodními živočichy, a také fungují jako bio pumpa k udržení obsahu rozpuštěného kyslíku ve vodě. Použitá technologie sklizně musí být šetrná a vhodná pro systém akvakultury. Sklizená čerstvá biomasa se může použít jako krmivo pro akvakulturu, aby se snížily náklady na chov ryb, a vyčištěná odpadní voda se recykluje do systému akvakultury.

Obr. 11: Schéma tradiční akvakultury a akvakultury s přidáváním mikrořas (podle Han a spol. 2019)



5.2 Limitace a nevýhody použití mikrořas jako přírůvku do krmiva

Náklady na produkci mikrořas jsou i nadále určitou překážkou pro přírůvky do krmiv v akvakulturách. Mají potenciál ekonomického využití jen snížením nákladů na produkci a distribuci biomasy mikrořas (Ahmad a spol. 2022).

- Mikrořasy vyžadují velkou spotřebu energie na sklizeň, sušení a přípravu krmiv.

- Nesprávné zpracování může změnit jejich nutriční a fyzikální vlastnosti, což následně snižuje jejich využití jako krmiva.
- Některé mikrořasy (např. *Chlorella*) mají pevné buněčné stěny, které je nutné narušit dezintegrací.
- Určité kmeny (např. *Dunaliella*) produkují extracelulární polysacharidy, které mohou bránit vstřebávání živin.
- Špatná stravitelnost a výrazné hromadění solí u mořských druhů mikrořas používaných jako krmivo pro ryby může způsobovat problémy.

Mikrořasy by měly v krmivech zajistit pouze 10 - 15 % potřebných bílkovin, aniž by ovlivnily vývoj nebo spotřebu potravy.

(i) Kultura mikrořas, která je přidána do nádrže pro chov ryb nebo je pěstována v efluentu z akvakultury, by mohla zvýšit samočisticí schopnost systému a snížit náklady na produkci tím, že spotřebuje odpady vylučované vodními živočichy, a také funguje jako regenerace prostředí k udržení obsahu rozpuštěného kyslíku ve vodě a spotřebě CO₂. (ii) Biomasa mikrořas pěstovaných v odpadních vodách z akvakultury může sloužit jako přídatek do krmení a zároveň dochází k recyklaci vod.

5.3 Přehled některých evropských podniků, které se aktivně zabývají produkcí krmiv a využitím mikrořas v chovech ryb, korýšů a měkkýšů

Komerční firmy a producenti krmiv pro akvakulturu

Skretting (Nizozemsko/Norsko, součást Nutreca)

- Největší světový výrobce krmiv pro chované ryby, s důrazem na inovace surovin – včetně řasových složek – a vlastní výzkumné centrum, Skretting ARC
- www.skretting.com

BioMar (Dánsko)

- Přední výrobce akvakulturních krmiv, aktivně zkoumá „nové ingredience“, mezi nimi i mikrořasy jako alternativu k rybím olejům
- www.biomar.com

SPAROS (Portugalsko)

- Společnost zabývající se výzkumem a vývojem krmiv pro ryby a krevety
- Typ: výzkum a vývoj + specializovaná krmiva, provozuje také pilotní líheň
- Použití: vlastní kultura mikrořas pro živou potravu (zejména *Chlorella*, *Tetraselmis*)
- www.sparos.pt

IRIDA S.A. – Fish Hatchery Division (Řecko)

- Druhy: mořské ryby
- Mikrořasy: pěstované ve vnitřních vertikálních FBR
- Využití: obohacování „green water“ a vířníků
- Poznámky: vyvíjí také vlastní krmné přídatky
- www.irida.com

Fitoplancton Marino (Španělsko)

- Jeden z evropských lídrů v produkci mořských mikrořas („*Tetraselmis chuii*“), využívaných mj. pro akvakulturu
- www.fitoplanctonmarino.com

PTAqua (Irsko – Dublin)

- Dodává například živou DHA-obohacenou *Chlorellu* vhodnou pro chov vířníků, klíčových pro larvální fáze akvakulturních živočichů
- ptaqua.eu/

Běžně používané rody mikrořas:

- *Nannochloropsis* – vysoký obsah EPA, robustní kultura
- *Isochrysis* – bohatá na DHA
- *Tetraselmis* – používá se jako potrava pro vířníky
- *Chlorella* – univerzální, snadno se pěstuje

5.4 Popis vybraných EU projektů zabývajících se uplatněním mikrořas v akvakultuře

V posledních deseti letech probíhalo několik evropských projektů, jejichž náplní bylo uplatnění mikrořas v akvakultuře, na kterých se podílela řada subjektů – firem i akademických pracovišť. Níže v Tab. 6 je uveden přehled recentních EU projektů týkajících se využití mikrořas v akvakultuře se stručným popisem – doba trvání, výše podpory, partneři a cíle.

Tab. 6: Souhrn recentních evropských projektů – mikrořasy v akvakultuře

Název	Program	Doba	Podpora (€)	Partneři	Cíl + využití v akvakultuře
REALM	Horizon Europe	2022–2026 (4r)	~1,99 mil. EU support	13 institucí v PT, NL, FI, DE ...	Čištění odpad. vody + mikrořasy → krmení, bioprodukce
SABANA	Horizon 2020	2016–2021 (5r)	~8,85 mil. EU (celk. 10,65 M Euro)	Univ. Almería + 10 institucí a firem	Biorafinérie → akvafeed, biohnojiva, biostimulanty
INNOAQUA	Horizon Europe	2023–2027 (4r)	~6 mil. EU	NORCE, Algemy, Leitat, Inesctec, ...	IMTA systémy + krmení z mikrořas
NewTechAqua	Horizon 2020	2020–2023 (4r)	~5,99 mil. EU	26 organizací (výzkum + průmysl)	Inovace krmiva, genetika, nové druhy ryb
BIORAS_SHRIMP	Horizon 2020	2022-2024 (3r)	150 kEuro	5 partnerů	Vývoj RAS + Biofloc systému pro chov krevet s využitím mikrořas
AlgaeProBANOS	Horizon Europe	2023–2027 (4r)	>12 mil. (SME ~1 mil.)	26 partnerů, BANOS region	8 produktů z mikrořas, GTM, akcelerator

REALM

- Program: Horizon Europe
- Doba trvání: červenec 2022 – červen 2026 (48 měsíců)
- Výše podpory: EU podporuje projekt částkou 1,99 mil. €, celkový rozpočet 2,85 mil. €
- Partneři: koordinátor Necton (PT) a 12–13 partnerů: Biorizon Biotech, Wageningen University, University of Twente, IMEC, ESCI (DE), S2AQUAcoLAB, Cádiz University, další

Cíle a uplatnění v akvakultuře:

- Využití odpadních vod ze skleníků pro pěstování mikrořas
- Technologie: kontinuální pěstírna, FBR, AI + senzory pro automatizaci
- Produkce biomasy pro využití jako biopesticidy, biostimulanty, krmení pro akvakultury
- Čištění vody, zachytávání CO₂, úspora 50 % nákladů na produkci mikrořas, uplatnění v krmení pro akvakulturu

SABANA

- Program: Horizon 2020 – Blue Growth (GA 727874)
- Doba trvání: prosinec 2016 – listopad 2021
- Výše podpory: Celkové náklady ~10,65 mil. €, EU příspěvek ~8,85 mil. € (83 % H2020)
- Partneři: 14 partnerů (polovina firmy), Universidad de Almería (koord.), FCC Aqualia, KIT, Biorizon Biotech, Mikrobiologický ústav AV ČR, AIA (IT), GEA Westfalia (G), Szczeczeni István Egyetem (H) a další

Cíle a uplatnění v akvakultuře:

- Biorafinérie mikrořas pěstovaných v komunální odpadní vodě nebo mořské vodě
- Výstupy: biostimulanty, biopesticidy, potravní a krmné doplňky, biohnojiva, krmivo pro akvakultury
- Podpora oběhového hospodářství (circular economy) a ekologicky šetrné technologie (zero-waste přístup)
- Demonstrace technologie na ploše 5 ha
- Primární využití v zemědělství i akvakultuře – udržitelná ekonomika
- Testování velkoplošných DEMO provozů ve Španělsku

INNOAQUA

- Program: Horizon Europe (GA 101084383) - Innovative approaches for an integrated and sustainable freshwater aquaculture sector
- Doba trvání: červen 2023 – květen 2027
- Výše podpory: celkem kolem 7,2 mil. €, EU příspěvek ~6 mil. €
- Partneři: NORCE (NO) koordinátor, dále instituce Algemy, Leitat, Inesctec, A4F Portugal, Pescanova, SeaEight, PEDAL Consulting (SK) a další z ES, PT, FR, SK, BE

Cíle a uplatnění v akvakultuře:

- Podpořit udržitelný rozvoj sladkovodní akvakultury v Evropě prostřednictvím inovativních technologií, ekologických přístupů a integrované produkce
- Využití recirkulačních akvakulturních systémů (RAS) + mikrořasy
- Akvaponie (kombinace chovu ryb a pěstování rostlin bez půdy)
- Integrovaná multitrofická akvakultura (IMTA) – propojení různých druhů organismů (např. ryb, mikrořas, měkkýšů), které si navzájem pomáhají snižovat dopady na životní prostředí
- Podpora udržitelnosti a bioekonomiky – snižování spotřeby vody, energie a chemikálií
- Podpora oběhového hospodářství (circular economy) a ekologicky šetrné výroby potravin

NewTechAqua

- Program: Horizon 2020 (GA 862658)

- Doba trvání: leden 2020 – prosinec 2023
- Výše podpory: celkem ~6,72 mil. €, EU příspěvek ~5,99 mil. €,
- Partneři: 26 subjektů: univerzity (Bologna, CIHEAM), výzkumná centra (Nofima, IRTA, IFREMER), firmy (Cromaris apod.)

Cíle a uplatnění v akvakultuře:

- Podpořit rozšíření a diverzifikaci evropské akvakultury (ryby, měkkýši i mikrořasy) prostřednictvím vývoje a ověření technologicky pokročilých, odolných a udržitelných řešení.
- Krmení (WP1): vývoj "pro-health", organických a „zero-waste“ krmiv
- Zdraví a genetika: predikční modely nemocí, sady pro detekci, šlechtitelské programy, AI pro odolnost vůči chorobám
- Operační systémy: systém 4.0 – řízení chovů v reálném čase, satelitní monitoring, RAS a akvaponie
- Rozvoj druhů: reprodukční technologie pro nové druhy (amberjack, Senegal sole aj.) Podpora 6 podniků – vývoj řasových produktů (potrava, krmení, textil, kosmetika, biostimulanty)

BIORAS_SHRIMP

- Program Horizon 2020 ERA-Net BlueBio Cofund spojený s Malta Council for Science and Technology, italským Ministerstvem univerzit a výzkumu a Norskou výzkumnou radou (RCN)
- Doba trvání: 2022-2024.
- Celkový rozpočet: asi 200 000 €, z toho EU: asi 150 000 €, RCN přispívají 1 363 000 NOK (~ 125 000 €).
- Koordinátor: University of Salento (Itálie)
- Partneři: NIBIO (Norsko), AquaBioTech Group (Malta), University of Pisa, Biotecna s.r.l., BioSyntex s.r.l. (Itálie), Department of Fisheries and Aquaculture (DFA) (Malta), Akvaplan-niva AS (Norsko), Kerala University of Fisheries and Ocean Studies (KUFOS) (Indie)

Cíle a uplatnění v akvakultuře:

- Vyvinout a testovat RAS/Biofloc systémy pro intenzivní chov krevet
- Ekologická akvakultura krevet: minimalizace spotřeby vody, uzavřený oběh živin, snížení vypouštění odpadních vod.
- Krmivo: bioflocs a mikrořasy obohacují dietu mladých krevet – zlepšují imunitu a růst.
- Biohnojiva a biomasa: přebytečná biomasa mikrořas & sludge využitelné v zemědělství.
- Ekologická akvakultura krevet: minimalizace spotřeby vody, uzavřený oběh živin, snížení vypouštění odpadních vod.
- Staví na moderním principu udržitelné akvakultury
- Podporuje cirkulární ekonomiku – od odpadů ke kvalitnímu krmivu a bioproduktům.

Testovací lokality

- Malta & Norsko: výstavba a testování malých pilotních RAS systémů.
- Pilotní i rozšiřitelný systém pro Středomoří (Malta, Itálie) a Skandinávii (Norsko).

AlgaeProBANOS

- Program: Horizon Europe (EU Mission "Restore our Ocean & Waters", GA 101112943)
- Doba trvání: 2023 – 2027 (4 roky)
- Výše podpory: Přes 12 mil. € (1 mil. € od SME)
- Partneři: 26 organizací (Submariner Network EWIV koordinátor), včetně Nofima, CSCP, INOVA+, Universiteit Gent, Oceanbasis, Power Algae atd.

Cíl a uplatnění v akvakultuře:

- Zrychlit vývoj a tržní zavedení udržitelných inovativních produktů založených na řasách z oblasti Baltského a Severního moře.

- Podpora 6 podnikatelských pilotů (start-upy, MSP) k uvedení řasových produktů pro potraviny, krmiva, nutraceutika, textil, kosmetika, biostimulanty
- Zdroje: mikrořasy i mořské makrořasy z Baltského/Severního moře
- Go-to-market strategie pro začínající firmy + rozvoj průmyslového akcelérátoru řasového odvětví (Algae Accelerator) – know-how, školení, pokyny, platforma, spolupráce
- Projekt přispívá k iniciativám EU „Mission Ocean” a „Blue Mission BANOS”, podporuje modrou ekonomiku, cirkulární přístup a udržitelnost moří

Další projekty viz databáze Cordis.⁹

Tab. 7: Další případové studie a národní aplikací mikrořas v akvakultuře ve střední Evropě

Projekt / Země	Typ chovu	Kultivační systém mikrořas	Použité druhy mikrořas	Výsledky / přínos	Stav projektu
BioFish & Algae (AT)	Pstruh (RAS)	FBR (trubice) + raceway	<i>Chlorella</i> , <i>Scenedesmus</i>	- Zlepšená kvalita vody - 15 % krmiva nahrazeno mikrořasami - Redukce N a P o 30–50 %	Komerční provoz
Fraunhofer IGB / PHOBIOR (DE)	Tilápie (RAS)	Vertikální FBR	<i>Scenedesmus</i> , <i>Chlorella</i>	- 10–12 % zvýšený růst ryb - Lepší kvalita vody	Pilot provoz úspěšně dokončen
Arthrospira Slovinsko (SI)	Koi kapr, pstruh	Otevřené bazény	<i>Arthrospira</i>	- Lepší vitalita KOI - Vyšší přežívání - Pigmentace	Malý podnik, aktivní
InnoAqua (PL)	Kapr (průtočný)	Sušená biomasa, není pěstování mikrořas	<i>Arthrospira</i> , <i>Chlorella</i>	- Krmná náhrada do 20 % - Imunostimulační efekt	Výzkumný projekt
Slovenská poľn. univ. (SK)	Sumec africký (RAS)	Integrovaná biofiltrace s mikrořasami	<i>Chlorella</i>	- Zlepšení filtrace - Vyhodnocení ve fázi testů	Výzkumný projekt

⁹ <https://cordis.europa.eu>

Tab. 8: Přehled možných přínosů při uplatnění mikrořas v akvakultuře

Ukazatel	Výsledek
Přídavek mikrořas v krmivu	1-5 % podíl biomasy ve směsi krmení
Zdravotní stav ryb	Lepší fyzická kondice, lepší procento přežití
Kvalita vody	Snížení obsahu N a P o 20–50 %, stabilní pH, produkce kyslíku vs. spotřeba CO ₂
Technologická náročnost	Vyšší – při kultivaci mikrořas v kontrolovaném prostředí (nutné osvětlení, čerpání efluentu, míchání)
Ekonomika	Nákladnější než při použití klasických krmiv, ale s přidanou hodnotou zlepšením fyziologie a přežití ryb
Přidaná hodnota	Dobré fyzické zdraví, lepší vzhled (barva kůže) Přirozené chování jedinců Udržení lepších podmínek v akvakultuře v rozmezí vhodném pro daný druh mikrořasy a akvakultury (teplota, kyslík, pH, salinita a proudění)

6 Využitelnost pěstování řas / sinic podniky akvakultury jako diverzifikace činnosti

6.1 Současný stav produkce ryb v České republice

Produkce akvakultury v České republice se obecně vyznačuje extenzivním nebo polointenzivním chovem v rybnících. Daleko méně se využívají intenzivní systémy v halových „indoor“ akvakulturách (např. chov candátů ve Výzkumném ústavu rybářském a ochrany vod ve Vodňanech nebo chov sumečka afrického v Akvapionické farmě Brno), které představují jen asi 2 % produkce ryb. Celková roční produkce ryb je v současné době 19 až 21 tisíc tun za posledních 25 let. V průměru to představuje kolem 450–500 kg ryb na hektar. Dominantní rybou je kapr (asi 85 %), nicméně důležitou součástí rybníčního chovu v České republice je polykultura, kdy se v rybnících současně chovají také amur a tolstolobik, spolu s tradičními doplňkovými rybami (lín, karas) a dravými druhy (štika, candát, sumec a okoun). Přibližně 25 až 30 % produkce kaprů pochází z doplňkového krmení (pšenice a ječmen), avšak většina produkce je založena na přirozené potravě – zooplanktonu a zoobentosu. V poslední době bylo krmení i hnojení výrazně omezeno zákonem z důvodu enormního eutrofizačního zatížení (růst vodního květu fytoplanktonu způsobený vysokou koncentrací živin).

Důležitou skutečností je, že ČR patří mezi čtyři největší producenty a exportéry sladkovodních akvarijních a okrasných ryb v EU (Španělsko 40-48 %, ČR 21-24 %, Nizozemsko 17-18 %, Belgie 3-4 %), zejména díky moderním chovným systémům a výhodné poloze. Ornaamentální ryby sice tvoří jen 0,2–0,3 % (47 t) objemu akvakultury v ČR, nicméně hodnota vývozu v roce 2023 byla 13,5 milionu Euro, což je 35 % celkové produkce akvakultury (38 mil Euro). Tato produkce má vysokou marži – okrasné, živě prodávané ryby tvoří výrazně významnější podíl na exportní hodnotě.

Tab. 9: Shrnutí rozdílů mezi extenzivní a intenzivní akvakulturou

Kritérium	Extenzivní chov (rybníky)	Intenzivní chov (umělé, technologicky řízené systémy)
Prostředí	Rybníky	Nádrže, RAS
Výživa	Přirozená	Plně krmené
Produkce	Nízká	Vysoká
Náklady	Nízké	Vysoké
Kontrola	Minimální	Přesná
Typické druhy	Kapr	Pstruh, sumec, candát

6.2 Využití mikrořas v akvakultuře, průmyslové produkci a dalších oborech v EU

Z 650 tun produkce mikrořas v EU se do akvakultury pravděpodobně využívá jen kolem 20–50 tun, tedy asi 3–8 %. Všechno ostatní směřuje do high-value aplikací (doplňky lidské výživy, zemědělství, farmakologie, kosmetika). Pokud uvažujeme o produkci mikrořas jako krmiva v rybochovných zařízeních in-house, znamená to nižší závislost na externích dodavatelích. Podniky pak mají také možnost prodávat biomasu nebo cenné produkty do potravinářského, farmaceutického, kosmetického nebo krmivářského průmyslu. Otázkou je, zda vlastní produkce mikrořas je pro rybochovné zařízení provozně výhodná a ekonomická, což záleží na velikosti provozu. Je důležité vždy zvážit, zda náklady pro aplikaci mikrořas jsou vyváženy přínosy pro akvakulturu.

Důvodů, proč využít mikrořasy v akvakultuře je celá řada. Představují vysoce efektivní, ekologicky šetrný a výživově hodnotný přírůstek do potravy jako zdroj esenciálních složek. Důležitá je i možná role kultur živých mikrořas pro zlepšení kvality vody ve směsných alga-akvakulturách. Kulture mikrořas mohou sloužit také jako nástroj cirkulární bio-ekonomiky (např. recirkulaci odpadního CO₂ a živin).

Kultivace mikrořas v rámci akvakulturních a rybářských podniků (tj. produkce in-house) představuje možnost diverzifikace činnosti, která může být významná – ekonomicky, ekologicky i technologicky. Důležité je posouzení využitelnosti kultivace mikrořas v akvakulturních podnicích, zejména rybářských subjektech v ČR, s důrazem na diverzifikaci činností, přínosy pro zdraví ryb, kvalitu vody a integraci do stávajících technologií.

Produkce a zpracování biomasy mikrořas rybochovnými podniky může využít také principu biorafinérie, kdy jsou nejprve extrahovány cenné látky (karotenoidy, PUFA) jako aditiva pro akvakultury a zbytek biomasy po rafinaci se využije jako krmivo, hnojivo nebo zdroj pro výrobu biopaliv. Příkladem takového přístupu je např. projekt SABANA uvedený v podkapitole 5.4.

Dále uvedené možnosti představují formu diverzifikace činnosti pro podniky akvakultury v období měnícího se klimatu, environmentálních regulací, udržení kvality vody, rostoucí ceny krmiv a dalších omezení.

Produkce biomasy a cenných látek (aditiva do krmiv)

Biomasa obohacená o cenné látky (PUFA, karotenoidy) – pro potraviny i krmiva

- Extrakt karotenoidů (astaxantin, beta-karoten, lutein, aj. - barvivo pro maso lososů, pstruhů, krevet nebo ornamentálních ryb)
- Extrakt polynenasycených mastných kyselin (linolenová, arachidonová, eikosapentaenová, dokosaheptaenová)

Jako živá potrava – kultura nebo zmrazená pasta buněk mikrořas se využívají mikrořasy pro larvální stádia ryb a raků a také jako potrava pro zooplankton (artémie, vířníci). Zooplankton následně slouží jako živá potrava pro plůdek některých druhů ryb (např. candát, pstruh duhový), což zlepšuje míru přežití, růst a fyziologii rybího plůdku.

Sušená biomasa (1-5 %) různých mikrořas slouží jako aditivum (obsahuje především bílkoviny, polysacharidy, lipidy, a zejména karotenoidy a PUFA) do krmení ryb (přezimování generačních ryb, mladé ryby, ornamentální druhy), kde zvyšuje výživovou hodnotu a imunitu. Tato surovina je významná zvláště v případě chovu ornamentálních ryb, které potřebují karotenoidy (beta-karoten, astaxantin, lutein, aj.) pro výrazné vybarvení.

6.3 Doporučení možností pro zavedení algakultury v rybochovných zařízeních v ČR

Kultivace mikrořas má určitý potenciál pro diverzifikaci činnosti rybochovných zařízení. Významné přínosy jsou:

- Příprava krmiv pro zvýšení úspěšnosti chovu (přežití larev, rychlejší růst)
- Ekologizace provozu (snížení dusíku/fosforu ve vodě)
- Možnost získat nové příjmy z biomasy.

Pro ČR lze využít mikrořasy především jako krmivo, tzn. jako živou potravu pro larvální a juvenilní stadia. Živá kultura nebo ve formě zmrazené pasty (mikrořas) slouží pro larvy ryb a korýšů nebo plůdek některých ryb, případně jako potravu pro zooplankton, kterým se pak dále krmí larvy. Zpracované mikrořasy (např. sprejově usušená biomasa) může také sloužit jako významný přírůstek (1-5 %) do krmení pro mladé i dospělé ryby v halových i venkovních chovech, např. při přezimování produkčních generačních ryb. Významné může být také využití biomasy mikrořas obsahující především barevné karotenoidy a esenciální nenasycené mastné kyseliny jako přírůstek do krmiva pro chov okrasných ryb (ať již akvarijních nebo bazénových), který je významným odvětvím v ČR.

Tab. 10: Ekonomické a praktické výhody vlastní produkce mikrořas pro akvakultury (závisí na rozsahu požadavků)

Přínos	Výhody pro podnik
Úspora/vylepšení krmiv	Nižší závislost na externích dodavatelích
Diversifikace výnosů	Prodej biomasy, ekologické certifikace
Zdraví ryb a míra přežití	Zlepšení růstu, vitality a barvy ryb Podpora imunitního systému Prevence nemocí, redukce potřeby antibiotik Vyšší produkční efektivita
Zlepšená ekologie provozu	Nižší environmentální zátěž, lepší kvalita vody
Cílové druhy	Okrasné ryby (KOI, akvarijní druhy) Lososovité (pstruh) Okounovité (candát, tilápie, sumec africký) Kaprovitě ryby (kapr, amur)

Prodej biomasy kultivovaných mikrořas jiným subjektům

Existuje možnost dodávat mikrořasy do jiných líhní nebo farem s potřebou kvalitní živé potravy. Lokální produkce má výhodu v jednoduché logistice a čerstvosti.

Tab. 11: Přínosy zavedení kultivace mikrořas do provozu rybochovných podniků

Aplikace	Přínos	Poznámka
Malé kultivační jednotky (např. 50–100 m²)	Vlastní produkce krmiva	Vhodné pro farmy s vlastním zpracováním mikrořas a výrobou krmení
Řasové doplňky pro krmiva	Zvýšení kvality a zdraví ryb	Testovat ve spolupráci s výzkumem (např. FROV, AV ČR)
Biofiltrace v RAS	Zajištění kvality vody v akvakultuře	Lze propojit s dodávkou energie pro LED osvětlení a CO ₂ z bioplynek
Spolupráce na vývoji produktů (řasové pelety, pasty)	Možnost komerční výroby	Dotace z OP Rybářství, TAČR, EIP-Agri

Tab. 12: Praktická doporučení pro zavedení kultivace mikrořas do provozu rybochovných podniků

Typ systému	Vhodnost pro integraci mikrořas do akvakultury	Poznámky
Nádrž, RWP	vhodné	Přirozený výskyt mikrořas, možnost podpořit řízenou kultivaci
Průtočný chov	středně vhodné	Kultivace a sklizeň mikrořas vyžaduje zpětnou recirkulaci vody
RAS (recirkulační systémy)	vysoce vhodné	Propojení řasových jednotek s biofiltry, řízené osvětlení, využití CO ₂ a odpadních živin

Technické požadavky pro kultivaci mikrořas v rybochovných zařízeních:

- Světelný zdroj (přírodní nebo LED)
- Kultivační jednotky (otevřené nádrže, oběžné náhony, FBR), případně umístěné v hale nebo ve skleníku
- Monitoring kvality vody (pH, NH₄⁺, PO₄³⁻, CO₂)
- Využití CO₂ a živin z akvakultury

Postup implementace v MSP

- Analýza provozu – zjistit objem spotřebované vody, množství CO₂, odpadní živiny
- Volba druhu mikrořasy a typu kultivačního systému
- Pilotní jednotka (např. 50–500 L) – test kultivace a růstu biomasy
- Sběr dat, vyhodnocení testu – spolupráce s výzkumem
- Využití biomasy – živá kultura jako krmení, sušení, lisování, přídavek do pelet
- Propagace – ekologická značka, marketing, přidaná hodnota v prodeji

6.4 Modely propojení kultur mikrořas a akvakultury pro ČR

Nádrže s řízeným růstem mikrořas

- Podpora růstu mikrořas (fytoplanktonu) pomocí aerace a osvětlení
- Použití přirozených bioindikátorů
- Menší zařízení vhodné pro ekologické farmy

RAS + kultivace mikrořas (recirkulační chov ryb)

- Vhodné pro: Pstruh, candát, sumec, tilápie
- Produkce: RAS generuje CO₂ a odpadní vodu → živiny N, P jsou využity kulturou mikrořas → vzniká biomasa → slouží zpětně jako krmivo
- Výhoda: Udržitelný koloběh, snížení zátěže vody, cirkulární ekonomika

Tab. 13: Profil typického provozu s propojením kultur mikrořas a akvakultury

Cílový podnik	Malá rybochovná farma, akvakultura
Produkce ryb	Pstruh, siven, africký sumec, tilápie, candát
Druh mikrořasy	<i>Chlorella</i> , <i>Scenedesmus</i> , <i>Nannochloropsis</i> (snadná kultivace těchto kmenů)
Technologie	Malý oběžný náhon, FBR
Integrace	Odebírání vody z RAS → kultivace mikrořas → remediace / čištění vody / sklizeň biomasy
Výstup	- Biomasa do krmiva - Vyčištěná voda - Ekologická značka a diverzifikace

Doporučení:

- V malých provozech lze využít pilotní kultivaci mikrořas (např. *Chlorella*).
- U RAS systémů zvážit integrování FBR jednotky.
- Využít partnerství s výzkumnými institucemi (FROV JČU, AV ČR, MENDELU, VÚRH Vodňany).

6.5 Příležitosti a budoucí trendy

Krmiva nové generace

- Využití mikrořas jako náhrady rybí moučky a oleje (zejména *Schizochytrium*, *Nannochloropsis* – bohaté na DHA).
- Vývoj biologicky aktivních krmných aditiv (např. astaxantin ze *Haematococcus* pro zbarvení lososovitých).

„Zelená“ recirkulace a integrace

- Zapojení mikrořas do integrované multitrofické akvakultury (IMTA) – společně s rybami a mořskými řasami.
- FBR s mikrořasami jako součást RAS pro čištění vody a produkci biomasy současně.

Bioekonomika a cirkulární zemědělství

- Využití mikrořas pro zpracování odpadních živin z akvakultury – extrakce biostimulantů/biopesticidů, zbytek jako hnojivo nebo krmivo, produkce bioplynu či biosložek pro kosmetiku/léčiva.

Tab. 14: Výzvy a omezení oboru

Faktor	Problém
Ekonomika	Přídavek mikrořas do krmení představuje vyšší náklady oproti tradičním krmivům, měly by být vyváženy vyšší cenou a účinkem produktu
Stabilita produkce	Citlivost kultury na podmínky pěstování – světlo, teplotu, kontaminaci (zejména při venkovním pěstování)
Standardizace	Nedostatek certifikovaných norem pro použití mikrořas v krmivech
Přijetí trhem	Konzervativní přístup rybářských subjektů, nízká informovanost
Regulace	Nutnost schválení pod EFSA jako "nové krmivo" (novel feed) pro některé druhy mikrořas

Tab. 15: Možnosti financování a podpory v ČR

Zdroj	Možnost využití – aktuální (A) + potenciální (P)
OP Rybářství 2021–2027	Investice do akvakultury, zpracování produktů (P)
EIP-Agri / MAS výzvy	Inovační partnerství, mezioborové projekty (A)
TAČR, MPO, SFŽP	Pilotní technologie, environmentální projekty (A)
Horizont Evropa, LIFE	Mezinárodní spolupráce a klimatická opatření (A)

Tab. 16: Případové studie využití mikrořas v chovu okrasných ryb ve spolupráci s rybářskými subjekty v ČR

Kmen mikrořasy	Účel	Způsob aplikace	Reference
<i>Scenedesmus, Chlorella, Haematococcus</i>	Zvýšení růstu, vitality a zbarvení kůže u albinických sumců	Přímé přimíchání sušené biomasy do granulovaného krmiva	Zaťková a spol. (2011)
<i>Haematococcus pluvialis</i>	Zvýšení intenzity zbarvení u skalár	Přídavek sušené biomasy do krmiva	Kouba a spol. (2013)
<i>Chlorella sp.</i>	Zvýšení zbarvení a růstu u jesetera malého	Sušená biomasa přidána do krmiva	Sergejevová & Masojídek (2013)
<i>Chlorella vulgaris, Haematococcus pluvialis</i>	Vyhodnocení barvy okrasných ryb - sumec velký, jelec jesen, karas zlatý, Koi kapr	Sušená biomasa přidána do extrudovaného krmiva	Urban a spol. 2013
<i>Chlorella sp.</i>	Zlepšení antioxidační odpovědi a hromadění selenu u parmy obecné	Přídavek sušené biomasy obohacené o Se do krmení	Kouba a spol. (2014)
<i>Chlorella sp.</i>	Zvýšení odolnosti kapra obecného vůči oxidačnímu stresu	Sušená biomasa v krmivu (1–10 %), krmení proti oxidačnímu stresu	Stará a spol. (2014)
<i>Monodopsis, Monoraphidium sp.</i>	Využití mikrořas s vysokým obsahem mastných kyselin jako alternativního krmiva pro akvakulturu	Kultivace ve FBR; záměr pro použití mikrořas in-house v líhních jako krmiva	Štěrbová a spol. (2023)
<i>Chlorella vulgaris, Trachydiscus minutus</i>	Zlepšení výživy larev candáta potravou obohacenou o PUFA	Kultivace mikrořas pro použití jako živé potraviny vířníků a následně rybích larev	Yanes-Roca a spol. (2024)

Zdroj: MBU AV ČR, JU

Výzkumné instituce zabývající se využitím mikrořas v akvakultuře

Mikrobiologický ústav AV ČR, Třeboň - Centrum Algatech

Přední centrum řasové biotechnologie v ČR s dlouholetou tradicí od 1960. Pracovníci zkoumají možnosti kultivace mikrořas, produkce biomasy obohacené o bioaktivní látky s aplikací do akvakultur.

CENAKVA (Jihočeská univerzita – Fakulta rybářství a ochrany vod)

Výzkumná infrastruktura zahrnující laboratoře, projekty i technologie pro studium sladkovodních akvakultur ryb a raků s využitím RAS, včetně zkoumání přídatku mikrořas v integrovaných systémech a krmení.

7 Ekonomická analýza pěstování řas / sinic ve střední Evropě a využitelnosti řas / sinic včetně specifikace potenciálních nebo existujících bariér využitelnosti

V rámci studie byli osloveni všichni známí producenti mikrořas v ČR a regionu střední Evropy. Přes dlouhodobé kontakty nebylo možné získat konkrétní údaje z oblasti ekonomiky a financí, neboť je **všechny firmy považují za obchodní tajemství** a nejsou ochotné je poskytnout ani s příslibem anonymizace a non-disclosure dokumentace. Proto se řešitelský tým rozhodl prozkoumat veřejně **dostupné studie** zabývající se ekonomikou pěstování mikrořas přednostně v uzavřených systémech (viz seznam literatury níže a přiložené příklady). Zde se však většinou jedná o **specifické instalace**, nikoli o plně komerční provoz. Proto nakonec ekonomika vychází z dílčích indikativních nabídek producentů technologií, zprostředkovaných informací a zkušeností autorů.

Určit přesné, jednotné a aktuální investiční (CAPEX) a provozní (OPEX) náklady pro pěstování mikrořas v regionu střední Evropy je poměrně složité z několika důvodů:

1. **Variabilita technologií:** Existuje mnoho různých technologií pro pěstování mikrořas (otevřené nádrže typu raceway, uzavřené FBR – trubkové, ploché panely atd.). Každá z nich má výrazně odlišné nároky na CAPEX i OPEX, a to i v rámci kategorií, neboť lze použít řadu materiálů, a to i dle způsobu výživy, například velmi široké spektrum plastů, sklo, ocel, beton ...
2. **Měřítko produkce:** Náklady na kilogram sušiny se výrazně snižují s rostoucím měřítkem produkce. Pilotní nebo malé provozy budou mít výrazně vyšší jednotkové náklady než velké komerční farmy.
3. **Konečný produkt:** Účel pěstování mikrořas (potraviny, krmivo, bioenergie, kosmetika, farmaceutika) ovlivňuje postprodukční procesy (sklizeň, sušení, extrakce, purifikace), které významně přispívají k celkovým nákladům. Například produkce astaxantinu nebo fykocyaninu pro potravinářské účely vyžaduje specializované a drahé vybavení.
4. **Lokalita a místní podmínky:** Ceny energií (elektřina, teplo), vody, CO₂, živin a práce se v jednotlivých zemích střední Evropy liší. Dostupnost slunečního svitu a teplotní podmínky také ovlivňují potřebu dodatečného osvětlení a vytápění/chlazení.
5. **Stupeň vývoje:** Některé technologie jsou ve fázi výzkumu a vývoje, jiné v pilotním měřítku a jen málo z nich dosáhlo plně komerční úrovně. S pokrokem se náklady snižují.
6. **Úroveň automatizace:** Vyšší automatizace snižuje náklady na práci, ale zvyšuje počáteční investici.

Nicméně lze získat alespoň orientační hodnoty pro **posouzení realizovatelnosti daného záměru**.

7.1 Přehled investičních a provozních nákladů pro pěstování mikrořas v Evropě

Obecné poznámky:

- Čísla jsou vysoce variabilní a jedná se spíše o rozsahy. Pro konkrétní projekt je nutná detailní technicko-ekonomická analýza.
- Nejvýraznější rozdíly v nákladech jsou mezi otevřenými systémy (nádrže, raceway) a uzavřenými FBR. Ty jsou sice dražší z hlediska CAPEX i OPEX, ale nabízejí vyšší produktivitu, lepší kontrolu nad kultivací a nižší riziko kontaminace, což je klíčové pro produkci vyšší hodnoty.
- Střední Evropa má výraznou nevýhodu v oblasti ozáření a klimatu (teplot), v porovnání s jižní Evropou zde budou vždy vyšší náklady na vytápění a potenciálně umělé osvětlení kvůli nižší

intenzitě slunečního svitu a kratšímu vegetačnímu období, pokud není zvolen systém a kmen mikrořasy optimalizované pro nízké teploty a světlo.

Investiční náklady (CAPEX)

Definice: Náklady spojené s pořízením a výstavbou infrastruktury, zařízení a technologie.

a) Otevřené nádrže (raceway ponds):

- **Technologie:** Jednoduché, mělké bazény s míchacím systémem (obvykle lopatkové kolo). Méně náročné na materiály.
- **Velikost:** Od několika stovek m² po hektary (např. 1-10 ha pro komerční účely).
- **CAPEX:** Přibližně **€0.5 - €5 na litr kultivačního objemu**, nebo **€10,000 - €100,000 na hektar**.
- **Na kg sušiny:** Tyto hodnoty se značně liší v závislosti na produktivitě a účelu využití. Některé zdroje uvádějí CAPEX pro oběžné náhony v rozmezí **€1-€10 / kg suché biomasy ročně** (pro velké objemy). U menších projektů a pro cennější produkty to může být výrazně více.
- **Hlavní položky:** Zemní práce, obložení (nádrž), míchací zařízení, čerpadla, systémy dodávky CO₂, sklízecí zařízení (např. centrifugy, filtry), sušárny.
- **Tyto technologie se na území ČR prakticky neuplatňují**

b) Uzavřené FBR (trubkové, ploché panely, válcové):

- **Technologie:** Složitější systémy z průhledných materiálů (sklo, plast), s řízenou dodávkou CO₂, živin, teploty a mícháním.
- **Velikost:** Od desítek litrů (výzkum) po stovky až tisíce m³ (komerční). Pro příklad může být 2500 m³ kultivačního objemu na 1 ha půdy (raceway pond Aqualia, Španělsko) nebo 40 m³ ve vertikálních trubkových FBR na 1 ha skleníku (Eparella, Rakousko).
- **CAPEX:**
 - **Náklady na kg sušiny:** Rozmezí je velmi široké, od **€20 - €200+ / kg suché biomasy ročně**, zejména u menších nebo specializovaných systémů se uvádějí vyšší hodnoty. Pro velké systémy s vysokou produktivitou se mohou snížit na **€5 - €50 / kg suché biomasy ročně**.
 - Pro vysoce hodnotné produkty s náročnými post-produkčními procesy může být CAPEX výrazně vyšší.
- **Hlavní položky:** Materiály bioreaktorů (sklo/plast), včetně krycího skleníku či jiné budovy, konstrukce a podpory, čerpadla, ventily, senzory, automatizované řídicí systémy, systémy pro CO₂, vytápění/chlazení, sklízecí a post-produkční zařízení (centrifugy, sušárny, extrakční linky). **Stavební a materiálové náklady tvoří až 88 % CAPEX.**

Hlavní položky CAPEX a jejich odhadované podíly/hodnoty detailně:

FTB samotné:

- **Materiál a konstrukce:** Toto je obvykle největší část CAPEX. Zahrnuje skleněné nebo plastové trubky/panely, nosné konstrukce, ventily, potrubí.
 - Odhad: **€5 - €50 na litr kultivačního objemu** (pro FBR obecně).
 - Některé zdroje uvádí až **€2000/m³** pro FBR (vs. €50/m³ pro otevřené rybníky).

- Pro **trubkové FBR** (např. 1500 m² ve skleníku): Celkové CAPEX pro zařízení může být v řádu **statisíců až milionů EUR** v závislosti na měřítku.

Separční a odvodňovací zařízení:

- **Centrifugy, membránové filtry, flotační jednotky:** Klíčové pro efektivní oddělení biomasy od kultivačního média. Jsou to drahé položky.
- Odhad: **€300,000 - €1,000,000+** pro komerční měřítko. (Příklad: Portugalská studie uvádí €310 015 pro centrifugu s kapacitou 1811 tun/rok).

Sušicí zařízení:

- **Sušárny (sprejové, bubnové sušárny), lyofilizátory:** Výběr závisí na požadované kvalitě a konečném produktu. Lyofilizace je nejdražší, ale poskytuje nejvyšší kvalitu biomasy.
- Odhad: **€50.000 - €500.000+**. (Příklad: Portugalská studie uvádí €5.000 pro sušárnu, ale to je pravděpodobně pro velmi malý provoz nebo jen část sušicího procesu).

Systémy pro dodávku CO₂:

- **Nádrže na CO₂, kompresory, potrubí, difuzéry:** Zajišťují optimální růst mikrořas. Využití odpadního CO₂ z průmyslu může snížit OPEX, ale vyžaduje investici do infrastruktury pro jeho zachycení a transport.

Systémy pro dodávku živin a vody:

- **Nádrže, čerpadla, míchadla, dávkovací systémy, filtry:** Pro přípravu a recirkulaci kultivačního média.

Systémy pro řízení teploty (vytápění/chlazení):

- **Výměníky tepla, chladiče, topné systémy:** Klíčové pro udržení optimální teploty, zejména v proměnlivém klimatu střední Evropy.
- Odhad: **€50.000 - €200.000+** (Příklad: Portugalská studie uvádí €55.000).

Automatizace a řídicí systémy:

- **Senzory, PLC, software:** Pro monitorování a optimalizaci podmínek kultivace. Zvyšuje efektivitu a snižuje nároky na práci.
- Odhad: **€15.000 - €100.000+** (Příklad: Portugalská studie uvádí €18.473 pro řízení procesu kultivace a €15.695 pro řízení post-produkce).

Infrastruktura a pozemek:

- **Budovy, skleníky, inženýrské sítě, pozemek:** Skleníky jsou často nezbytné pro udržení teploty a ochranu FBR.
- Odhad: **€60.000 - €300.000+** (Příklad: Portugalská studie uvádí €65.619 pro infrastrukturu pro kultivaci a €16.564 pro infrastrukturu pro sklizeň).

Provozní náklady (OPEX)

Jedná se o všechny běžné náklady spojené s denním provozem farmy na pěstování mikrořas, včetně nákladů na obchod, marketing, distribuci a režii.¹⁰

¹⁰ Pro vysoce hodnotné produkty s náročnými zpracovatelskými procesy (např. extrakce pigmentů, omega-3 mastných kyselin) mohou náklady kultivací a následný proces zpracování (downstream) stoupnout na €100 - €500 / kg.

Na kg sušiny (odhadované rozsahy):**Celkové provozní náklady (OPEX) za suchou biomasu:**

- **Otevřené nádrže (raceway ponds):** Typicky nižší, od €2 - €15 / kg suché biomasy. S optimalizací a využitím odpadních vod se náklady mohou pohybovat kolem €0,7 - €3 / kg suché biomasy.
- **Uzavřené FBR:** Výrazně vyšší, od €5 - €50 / kg suché biomasy pro základní biomasu.

OPEX je tedy pro uzavřené systémy také vyšší než pro otevřené, ale je kompenzováno vyšší produktivitou a kvalitou. Kultivační fáze a zpracování biomasy představuje nejvyšší provozní náklady (až 78 %), zejména kvůli spotřebě energie.

Hlavní provozní položky OPEX a jejich odhadované podíly/hodnoty:**Energie (elektřina a teplo)**

- **Elektřina:** Pro čerpadla, míchání (vzduchové kompresory), umělé osvětlení (pokud je použito), vytápění/chlazení, sklizeň a sušení. Zásadní složka OPEX, dle technologie se může její podíl pohybovat od 20 do 60 % (výrazně závisí na rozsahu).
 - Cena elektřiny v Evropě: **€0,10 - €0,25 / kWh.**
 - Záleží na tom, zda je k dispozici lokální zdroj energií (např. bioplynová stanice)
- **Teplo:** Pro udržení optimální teploty, zejména v chladnějších měsících.

Práce

- **Mzdy:** Pro obsluhu, údržbu, kontrolu kvality, řízení. I přes automatizaci jsou lidská práce a dozor nezbytné.
 - Odhad: €8 - €15 / hodina (pro nekvalifikovanou/kvalifikovanou práci v regionu). Práce může tvořit 40 – 70 % celkových nákladů u menších systémů, u větších klesá pod 40 %, zejména s nástupem automatizace.

Živiny

- **Hnojiva** (živiny – dusík, fosfor, draslík, stopové prvky)
 - U heterotrofních systémů glukóza nebo jiný (odpadní) zdroj uhlíku
 - Využití odpadních vod může výrazně snížit tuto položku.

Voda

- **Doplnění odparu, proplachování, příprava média:**
 - Cena vody: €0,5 - €1,0 / m³. (Příklad: Portugalská studie uvádí €0,593 / m³, Nizozemská €0,878 / m³).
 - Náklady na čištění odpadních vod (pokud jsou používány) nebo na vypouštění odpadních vod (Nizozemská studie uvádí €0,1 / m³ za vypouštění).

CO₂

- **Nákup CO₂ (pokud není z odpadních plynů):**
 - Cena CO₂: €35 - €45 / t, to se může promítnout do €0,06 - €0,54 / kg suché biomasy v závislosti na účinnosti fixace CO₂.

Údržba a opravy

- Náhradní díly, servis, čištění bioreaktorů – odhad: typicky 5 - 10% CAPEX ročně.

Spotřební materiál a chemikálie

- Čisticí prostředky, filtry, laboratorní potřeby.

7.2 Modelace nákladů pro tři typy fototrofních systémů pěstování mikrořas ve skleníkových podmínkách střední Evropy

Tubulární FBR

Tab. 17: Tubulární FBR – modelace nákladů (objem 100 m³)

Položka	Hodnota (€)
Investiční náklady (CAPEX)	957 000
– FBR systém	552 000
– Budova/skleník, pozemek	125 000
– LED osvětlení	118 000
– Systémy řízení teploty (topení, vzduchotechnika)	59 000
– Systémy pro dodávku vody, živin a CO ₂	20 000
– Automatizace a řídicí systémy	18 000
– Sklizení a dezintegrace	35 000
– Sušicí zařízení	30 000
Roční provozní náklady (OPEX)	206 000
– Energie provoz (svícení, topení, čerpadla)	55 000
– Energie zpracování (sklizení, dezintegrace, sušení)	25 000
– CO ₂ , živiny, voda	10 000
– Pracovní síla	64 000
– Údržba a spotřební materiál	17 000
Marketing, obchod, distribuce	25 000
Režijní náklady	10 000
Roční produkce	25 000 kg sušiny
Prodejní cena	12 €/kg
Roční tržby	300 000
Roční cash-flow	94 000
Prostá návratnost investice	10 let
Návratnost po započítání ceny peněz (7 % p.a.)	35 let

Plochý panelový FBR

Tab. 18: Plochý panelový FBR – modelace nákladů (objem 100 m³)

Položka	Hodnota (€)
Investiční náklady (CAPEX)	847 000
– Systém FBR	480 000
– Budova/skleník, pozemek	110 000
– LED osvětlení	105 000
– Systémy řízení teploty (topení, vzduchotechnika)	55 000
– Systémy pro dodávku vody, živin a CO ₂	20 000
– Automatizace a řídicí systémy	15 000
– Separace a dezintegrace	32 000
– Sušicí zařízení	30 000
Roční provozní náklady (OPEX)	184 000
– Energie provoz (svícení, topení, čerpadla)	45 000
– Energie zpracování (separace, dezintegrace, sušení)	22 000
– CO ₂ , živiny, voda	9 000
– Pracovní síla	64 000
– Údržba a spotřební materiál	12 000
Marketing, obchod, distribuce	22 000
Režijní náklady	10 000
Roční produkce	22 000 kg sušiny
Prodejní cena	12 €/kg
Roční tržby	264 000
Roční cash-flow	80 000
Prostá návratnost investice	11 let
Návratnost po započítání ceny peněz (7 % p.a.)	41 let

Otevřená nádrž (raceway pond) ve skleníku

Tab. 19: Otevřená nádrž (raceway pond) ve skleníku – modelace nákladů (objem 100 m³)

Položka	Hodnota (€)
Investiční náklady (CAPEX)	225 000
– Systém FBR	80 000
– Budova/skleník, pozemek	50 000
– Jednoduché osvětlení	15 000
– Systémy řízení teploty (topení, vzduchotechnika)	21 000
– Systémy pro dodávku vody, živin a CO ₂	5 000
– Automatizace a řídicí systémy	5 000
– Separace a dezintegrace	19 000
– Sušicí zařízení	30 000
Roční provozní náklady (OPEX)	90 000
– Energie provoz (svícení, topení, čerpadla)	20 000
– Energie zpracování (separace, dezintegrace, sušení)	11 000
– CO ₂ , živiny, voda	4 000
– Pracovní síla	32 000
– Údržba a spotřební materiál	8 000
Marketing, obchod, distribuce	10 000
Režijní náklady	5 000
Roční produkce	12 500 kg sušiny
Prodejní cena	9 €/kg
Roční tržby	112 500
Roční cash-flow	22 500
Prostá návratnost investice	10 let
Návratnost po započítání ceny peněz (7 % p.a.)	33 let

Shrnutí: Všechny tři systémy jsou **na hranici ekonomické návratnosti** při základní prodejní ceně biomasy (liší se podle dosažitelné čistoty). Výrazné zlepšení přináší:

- vyšší prodejní cena na základě produkce speciální extraktů či jinak upravených výrobků
- dotace na obnovitelné zdroje nebo CO₂
- využití odpadního tepla nebo CO₂ z průmyslu

Pro **heterotrofní pěstování mikrořas ve fermentoru o objemu 100 m³** jsou zpracovány dvě varianty:

- Standardní kultivace s glukózou
- Kultivace s využitím odpadních cukrů (např. melasa, syrovátka)

Heterotrofní fermentace s glukózou

Tab. 20: Heterotrofní fermentace s glukózou – modelace nákladů (objem 100 m³)

Investiční náklady (CAPEX)	1 545 000
– Fermentor	887 000
– Budova, pozemek	70 000
– Sterilizační jednotka, předúprava	205 000
– Systémy řízení teploty	26 000
– Systémy pro dodávku vody a živin	138 000
– Automatizace a řídicí systémy	122 000
– Separace a dezintegrace	55 000
– Sušicí zařízení	42 000
Roční provozní náklady (OPEX)	281 000
– Energie provoz (topení, chlazení, čerpadla)	28 000
– Energie zpracování (separace, dezintegrace, sušení)	43 000
– Živiny, voda	66 000
– Pracovní síla	64 000
– Údržba a spotřební materiál	28 000
Marketing, obchod, distribuce	37 000
Režijní náklady	15 000
Roční produkce	45 000 kg sušiny
Prodejní cena	10 €/kg
Roční tržby	450 000
Roční cash-flow	169 000
Prostá návratnost investice	9 let
Návratnost po započítání ceny peněz (7 % p.a.)	25 let

Heterotrofní fermentace s odpadními cukry (např. melasa, syrovátka)

Tab. 21: Heterotrofní fermentace s odpadními cukry – modelace nákladů (objem 100 m³)

Investiční náklady (CAPEX)	1 664 000
– Fermentor	887 000
– Budova, pozemek	70 000
– Sterilizační jednotka, předúprava	333 000
– Systémy řízení teploty	26 000
– Systémy pro dodávku vody a živin	138 000
– Automatizace a řídicí systémy	122 000
– Separace a dezintegrace	50 000
– Sušicí zařízení	38 000
Roční provozní náklady (OPEX)	234 000
– Energie provoz (topení, chlazení, čerpadla)	26 000
– Energie zpracování (separace, dezintegrace, sušení)	39 000
– Živiny, voda	12 000
– Pracovní síla	64 000
– Údržba a spotřební materiál	41 000
Marketing, obchod, distribuce	37 000
Režijní náklady	15 000
Roční produkce	40 000 kg sušiny
Prodejní cena	10 €/kg
Roční tržby	400 000
Roční cash-flow	166 000
Prostá návratnost investice	10 let
Návratnost po započítání ceny peněz (7 % p.a.)	34 let

Vyhodnocení

Všechny varianty jsou **ekonomicky neudržitelné bez podpory**, vyšší prodejní ceny nebo přechodu na produkty s vyšší přidanou hodnotou (např. astaxantin, EPA, fykocyanin). Výrazné zlepšení přináší:

- využití **odpadních substrátů z potravinářství**
- **dotace na cirkulární ekonomiku**
- **vertikální integrace** (např. výroba kapslí, extraktů)

U jednotlivých příkladů je uvažována základní cena sušené biomasy (například pro krmení). Existují však desítky variant zhodnocení produkce biomasy, a to čištěním (pro potravinářskou produkci), zvýšením obsahu účinné látky nebo její extrakcí. Ceny jsou pak na níže uvedených úrovních.

Tab. 22: Přehled cen produktů z mikrořas

Druh mikrořasy	Hlavní produkt(y)	Tržní cena (€/kg)	Poznámka
<i>Arthrospira</i>	Sušená biomasa, fykocyanin	10 – 30 (biomasa), 300–500 (extrakt)	Fykocyanin jako přírodní barvivo
<i>Chlorella vulgaris</i>	Tablety, prášek	15 – 60	Vyšší cena u bio a GMP certifikace
<i>Haematococcus pluvialis</i>	Astaxantin	200 – 700	Extrakt 5/10 % astaxantinu, velmi vysoká přidaná hodnota
<i>Dunaliella salina</i>	Beta-karoten	200 – 400	Používá se jako barvivo a antioxidant
<i>Schizochytrium sp.</i>	Omega-3 oleje (DHA, EPA)	80 – 200	Alternativa k rybím olejům
<i>Nannochloropsis sp.</i>	EPA olej, sušená biomasa	50 – 150	Vysoký obsah EPA, využití jako nutraceutika
<i>Isochrysis galbana</i>	Omega-3, karotenoidy	100 – 250	Používá se i v akvakultuře
<i>Tetraselmis sp.</i>	Krmiva, antioxidanty	20 – 60	Využití v akvakultuře a krmivech
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	Fukoxantin	500 – 1 500	Silný antioxidant, využití v kosmetice a výživě

Poznámky k cenám

- Ceny jsou **orientační pro B2B trh** (velkoobchodní odběry).
- U extraktů (např. astaxantin, fykocyanin) závisí cena na koncentraci a čistotě.
- Produkty s **bio, vegan nebo GMP certifikací** mohou dosahovat až dvojnásobné ceny.
- U některých druhů (např. *Haematococcus*) je běžná **dvoufázová kultivace**, což zvyšuje náklady, ale i hodnotu produktu.

7.3 Případové studie

Případ 1: Technoekonomické hodnocení pěstování mikrořas v trubicovém FBR

Tato studie, publikovaná v časopise *Clean Technologies and Environmental Policy* (2021), zkoumá techno-ekonomický potenciál pěstování *Nannochloropsis* sp. v trubicových FBR v podmínkách vlhkého kontinentálního klimatu, kdy jako modelová lokalita byla použita střední část Německa. Impulsem pro výzkum je celosvětový nedostatek omega-3 polynenasycených mastných kyselin (EPA a DHA) a ekologické limity rybích zdrojů těchto látek.

Studie modeluje průmyslový systém s horizontem 30 let a stanovuje čistou současnou hodnotu (NPV) a návratnost investice (ROI) při různých technických a ekonomických parametrech. Hodnocení zahrnuje rozpis investičních a provozních nákladů, citlivostní analýzy na délku kultivačního období a ceny komodit a srovnání s produkcí ryb v akvakultuře. Výsledky ukazují, že fototrofní pěstování mikrořas může být výživově hodnotné i ekonomicky životaschopné i v chladnějších podmínkách a současně nabízí nižší environmentální dopad ve srovnání s tradičními rybími zdroji.

Měrné investiční náklady:

- Infrastruktura: 1,90 €/kg biomasy (~47 500 CZK/t DW)
- Počáteční investice: 0,36 €/kg DW (~9 000 CZK/t DW)
 - o Investiční struktura (z celku):
 - o Skleněné trubky: 24–31 %
 - o Sušárna: až 24 %
 - o Budovy: 18–21 %
 - o Zbytek: <10 %

Návratnost investice:

- Základní scénář: ROI 80,66 % (30 let), první kladné cashflow po 10,5 letech
- Optimistický scénář (+15 % cena): ROI 118,2 %, návratnost za 9 let
- Při poklesu cen o 15 %: ROI jen 42,9 %, návratnost až za 13,75 let
- Roční ROI (annualizovaně): mezi 1,1–2,5 %

Prodejní ceny:

- Biomasa: základní cena 9,60 €/kg DW → ~240 000 CZK/t DW
- Řasový olej (EPA+DHA):
 - o Literatura: 144 €/kg (3 600 CZK/kg) → nevýdělečné
 - o Modelově přijatelná cena: 209 €/kg (5 225 CZK/kg)
 - o EPA+DHA čisté složky: 530–2 300 €/kg (střední: 1 025 €/kg = ~25 600 CZK/kg)

Případ 2: Projekt EnAlgae – Obchodní ekonomika mikrořas a následného zpracování

Zpráva projektu EnAlgae se zaměřuje na hodnocení ekonomické proveditelnosti a následného zpracování (downstream processing, DSP) pěstování mikrořas v evropském kontextu. Poskytuje podrobný přehled nákladových struktur, možných zdrojů příjmů a tržních aplikací produktů na bázi řas. Studie zkoumá současné komerční postupy i budoucí scénáře a zdůrazňuje vliv technologického pokroku a efektu z rozsahu na ekonomiku výroby. Hodnotí také hodnotové řetězce od pěstování až po produkty s vysokou přidanou hodnotou a poukazuje na ekonomické bariéry i příležitosti pro evropské producenty.

Syntézou dat z pilotních a demonstračních projektů má tato zpráva pomoci zainteresovaným stranám lépe porozumět finanční životaschopnosti a strategickým aspektům využití mikrořas v bioekonomice.

Měrné investiční náklady:

- FBR jednotka 1 000 m² (flat panel):
 - o Celkem: €303 000 (~7,6 mil. CZK)
 - o Specifický objem: 57,7 m³ → cca 5 244 CZK/litr objemu
- Přesná struktura investic:
 - o Konstrukce bioreaktoru: €26 000 (8,6 %)
 - o Chlazení a topení: €55 000 (18,1 %)
 - o Odplynění: €45 000 (14,9 %)
- Řízení: €40 000 (13,2 %)
 - o Infrastruktura: €75 000 (24,8 %)
 - o Centrifuga: €45 000 (14,9 %)

Infrastruktura sklizně: €17 000 (5,6 %)

Návratnost:

- Open pond: ROI 10 %, doba návratnosti 10 let (při prodejní ceně 35 €/kg DW v Nizozemsku – aditivní trh)

Prodejní ceny:

- Biomasa (krmivo/aditivum): 35 €/kg DW → 875 000 CZK/t
- Nákladová cena flat-panel systému: 12,52 €/kg DW → ~313 000 CZK/t

8 Výsledky dotazníkového šetření

Dotazníkové šetření¹¹ a rozhovory byly cíleně směřovány na **široké spektrum subjektů** – od bioplynových stanic, přes rybářské podniky až po výrobce a zpracovatele mikrořas v ČR i zahraničí.

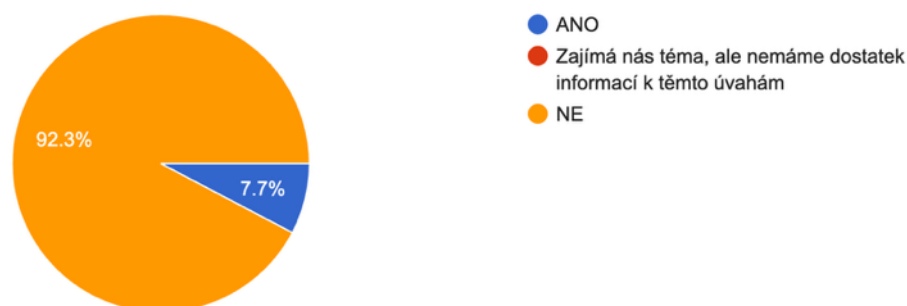
Rozsah oslovených

- **Bioplynové stanice BPS (ČR):** cca 300 subjektů newsletterem + následné telefonické oslovení
- **Rybářské podniky v ČR:** 18 konkrétních subjektů (např. Rybářství Třeboň, Rybářství Kolář, Klatovské rybářství, Pstruhařství Skalní mlýn aj.)
- **Zahraniční producenti mikrořas (střední Evropa):** Rakousko, Německo, Maďarsko, Polsko, Slovensko, Slovinsko, Lotyšsko – celkem přes 25 firem (např. BDI BioLife Science, Algomed, BlueBioTech, AlgEn, SpirulinaNord aj.).
- **Další firmy v navazujících oborech:** farmacie, kosmetika, výživa, krmiva, energetika – subjekty z Česka i zahraničí (např. Contipro, Algamo, Bonaloka, Photon Energy, AlgaEnergy, Phycorn).
- **Akademické a výzkumné instituce:** např. Rybářské sdružení ČR, JČU – FROV, zahraniční univerzity a výzkumné stanice.
- **Další akvakulturní podniky:** cca 30 subjektů z veřejných databází firem s oborem podnikání akvakultura.

8.1 Vyhodnocení šetření

Dotazník zodpovědělo celkem 39 subjektů z přibližně 370 oslovených, z toho 11 rybářských a akvakulturních podniků, 24 bioplynových stanic a 4 další subjekty (tam, kde nejsou níže uvedeny jiné počty, vyplnili odpověď všichni respondenti)

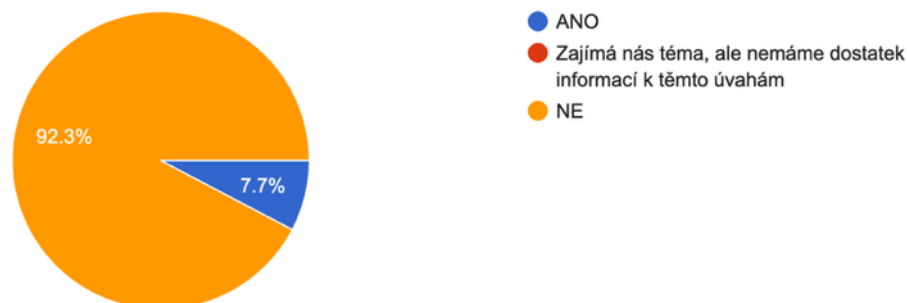
1.A Uvažovali jste někdy o vlastní produkci řas v ČR jako o své hlavní činnosti nebo její součásti (produkce řasové biomasy in-house k prodeji pro další zpracování nebo k výrobě vybraných substancí z řas)?



- Výsledek: Většina odpovědí NE, zájem jen ojedinělý.
- Interpretace: Firmy nepovažují produkci mikrořas za perspektivní hlavní byznys.

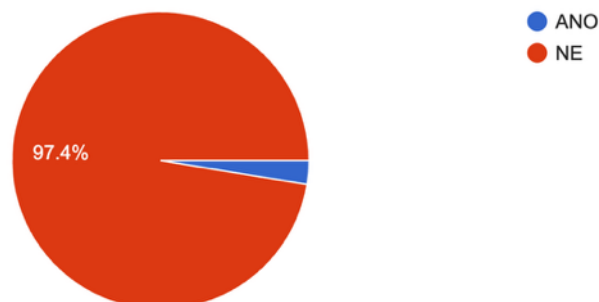
¹¹ <https://forms.gle/CXe2k1fcoYaBLG3P6>

1.B Uvažovali jste někdy o vlastní produkci řas v ČR jako doplnění pro Vaši současnou činnost (chov ryb, odchov larev, chov krevet a jiné další akvakultury, subdodávka pro výrobu léčiv či doplňků)?



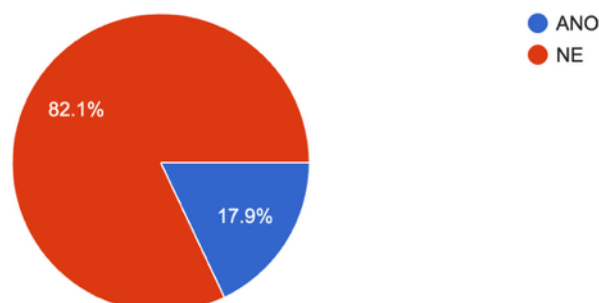
- Výsledek: Odpovědi rozdělené, většinou NE, menší část připouští ANO.
- Interpretace: Pokud vůbec, firmy by řasy vnímaly jen jako doplňkovou aktivitu.

2. Máte zájem o nákup mikrořas produkovaných v ČR?



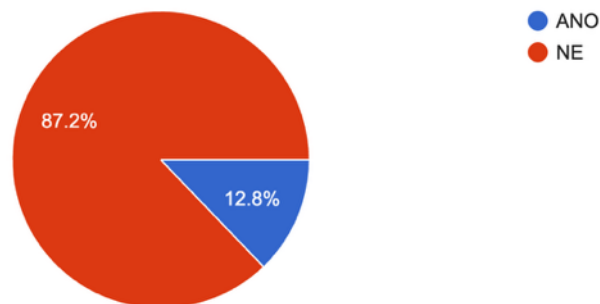
- Odpovědi byly rozdělené, ale převažuje velmi nízký zájem.
- Interpretace: Firmy nemají zájem o nákup mikrořas z ČR.

3. Jste informováni, že můžete v rámci OP Rybářství, aktivity 2.1.1 Inovace požádat o podporu na výdaje spojené s testováním vodních řas, testováním či pilotními projekty v oboru pěstování vodních řas (ve spolupráci výzkumné organizace a podniku)?



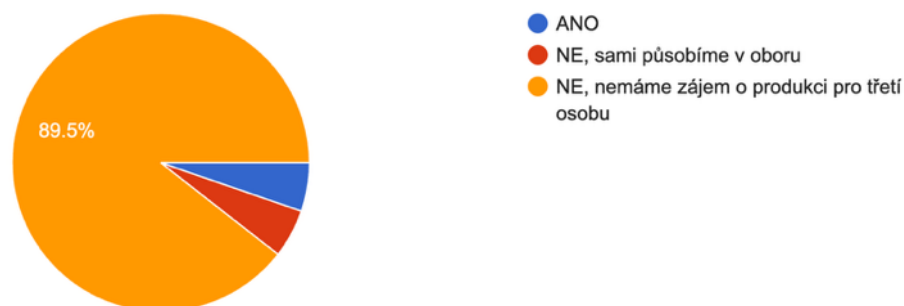
- Respondenti nejsou převážně o této možnosti informováni.

4. Jste informováni, že se v rámci OP Rybářství uvažuje i o podpoře standardní produkce a zpracování řas? Měli byste o takovou podporu zájem?



- Respondenti nejsou převážně o této možnosti informováni.

5. Měli byste zájem vybudovat a provozovat komerční produkci řas (tedy výrobu pro odběratele, který by produkt dále využíval)?



- Výsledek: Většina NE, výjimky pouze při garanci odbytu/dotací.
- Interpretace: Tržní motivace velmi slabá, bez záruk odbytu se firmy do komerční produkce nepustí.

6. Jaký rozsah výroby by pro Vás byl nejzajímavější / nejpřijatelnější?

- Drtivá většina respondentů uvedla „**Neumíme odpovědět**“ (31 odpovědí).
- Menší část zvolila variantu „**Máme záměr, ale nechceme odpovídat**“ (2 odpovědi).

Z toho vyplývá, že **většina subjektů nemá jasnou představu o vhodném rozsahu výroby**, což ukazuje na nízkou připravenost nebo chybějící znalosti v této oblasti.

7. Disponuje Vaše společnost přebytečnými levnými energiemi?

- ANO: 19
- NE: 16
- NE, ale máme možnost je nasmlouvat: 1

Výsledek ukazuje, že zhruba polovina firem má přístup k levným přebytkům energií, což je klíčový předpoklad pro ekonomickou realizovatelnost řasových projektů.

8. Disponuje Vaše společnost prostorem?

- ANO: 22
- NE: 12
- NE, ale máme možnost získat/pronajmout: 1

Většina respondentů **má k dispozici prostor**, což je pozitivní. Zhruba třetina prostor nemá, ale bariéra je zde menší než u financí.

9. Disponuje Vaše společnost finančními prostředky ke spolufinancování projektu?

- NE: 31
- ANO: 2
- NE, ale máme možnost najít investora: 1

Finanční bariéra je zcela zásadní: téměř všichni respondenti přiznávají, že nemají vlastní prostředky k investici. Bez dotačních schémat nebo externích investorů jsou projekty nerealizovatelné.

10. Kde vidíte úzká místa a bariéry pro realizaci záměru?

Odpovědi byly často kombinované, nejčastěji se opakovaly:

- Technologické bariéry (např. dostupnost know-how, složitost provozu).
- Provozně-organizační bariéry (nutnost obsluhy, kapacity personálu).
- Ekonomické bariéry (nákladovost, nejistota návratnosti).
- Legislativní bariéry (povolení, regulace).
- Jiné bariéry (individuálně specifikované, viz níže).

Nejčastější kombinace: technologické + provozně-organizační + ekonomické.

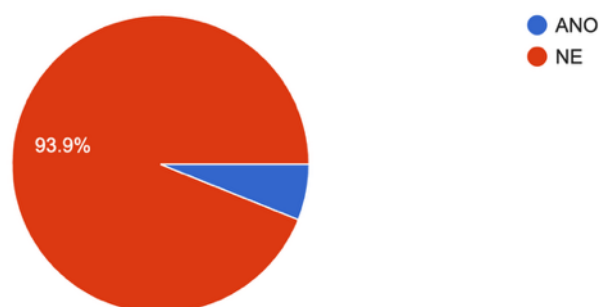
Jiná úzká místa a bariéry (otevřené odpovědi)

V odpovědích se objevují hlavní témata:

- Konec podpory BPS / omezená životnost provozů → „BPS bude končit v roce 2029... potom už nebudeme provozovat.“
- Nedostatek levné energie → „Nemáme přebytky tepla. Všechno je využito.“
- Omezené výrobní prostory → „Naše BPS je malá pro zajištění tepla.“
- Investiční neochota → „Sami investovat nebudeme.“
- Legislativa a povolovací procesy → „Určitě to bude problém povolit a postavit.“
- Nerelevance tématu pro firmu → „Tento projekt je pro nás zcela cizí téma.“

Z těchto odpovědí plyne, že **hlavní překážky jsou ekonomicko-legislativní (finance, dotace, povolování) a infrastrukturní (energie, prostory, životnost BPS).**

11. Pomohlo by Vašemu případnému záměru zajištění obchodní stránky jinou firmou? Například formou dlouhodobého kontraktu s velkoodběratelem, zpracovatelem či distributorem (pro tuto spolupráci není možné využít podporu z OP Rybářství 2021–2027)?



- Výsledek: Téměř jednohlasné NE.
- Interpretace: Outsourcovaná výroba není atraktivní, téma je vnímáno jako nerelevantní.

12. Bylo by zajímavé realizovat záměr produkce/zpracování řas ve spolupráci se specializovanou (českou nebo zahraniční) firmou? V jaké roli?

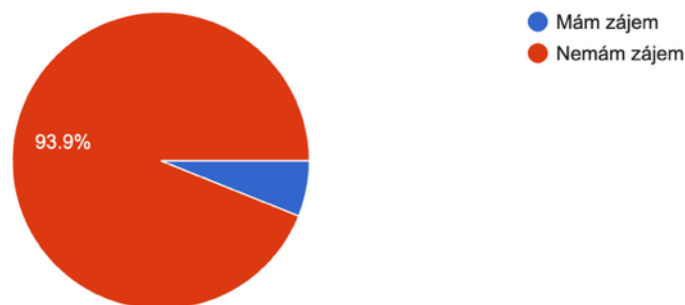
Výsledky

- 31 respondentů: „Neuvažujeme o spolupráci“
- 1 respondent: „Poradce/výzkumná instituce ... a zároveň spoluinvestor/společník“
- 1 respondent: „Spoluinvestor/společník v nově založené dceřiné společnosti“

Interpretace

- Převážná většina firem nemá zájem o spolupráci se specializovanými firmami v oblasti řasové produkce.
- Jen 2 subjekty si dokážou představit zapojení partnera – a to buď formou výzkumného poradenství nebo kapitálového vstupu.
- To potvrzuje obecný trend z jiných otázek: nízká motivace firem k investicím a zároveň i skeptický postoj vůči novým partnerstvím.

Otázka 12 ukazuje minimální ochotu firem ke spolupráci, a pokud už by ke spolupráci došlo, pak by se jednalo spíše o menšinové případy spojené s výzkumnými institucemi nebo se spolufinancováním ve společném podniku.

13. Máte kontakty na specializované firmy, nebo byste měli zájem o jejich zprostředkování?

- Drtivá většina respondentů (31 z 33) nemá zájem o navázání kontaktu či jejich zprostředkování. Pouze 2 respondenti by o zprostředkování kontaktů stáli.
- Tento výsledek potvrzuje celkový trend z předchozích otázek: nízká motivace firem vstupovat do spolupráce a vyhledávat partnery v oblasti řasové produkce.

Souhrnné hodnocení s doplněním o oslovené publikum**Hodnocení výsledků**

- Odpovědi jasně ukazují, že **většina oslovených firem nevnímá téma produkce mikrořas jako pro ně relevantní.**
- Pokud je zájem, pak jen podmíněný: **při dostupnosti dotací, partnerství nebo garantovaného odbytu.**
- **Bariéry:** finance (kritická), legislativa, technologie a organizační kapacity.
- **Podpora:** firmy by přivítaly především **finanční a poradenskou.**

Výzkum proběhl na **široce diverzifikovaném vzorku subjektů** – od tradičních českých rybářství a bioplynových stanic až po zahraniční producenty a navazující průmyslové obory. Přesto napříč celým spektrem panuje **nízká ochota se do řasových projektů zapojit**, pokud nebudou vytvořeny silné **ekonomické a legislativní stimuly.**

9 Závěrečný souhrn

Studie „Analýza využití řas/sinic v akvakultuře ČR“ se zaměřuje na mikrořasy, jejich charakteristiky a podmínky pro pěstování a využití, včetně podnikatelského prostředí na trhu. Mikrořasy představují základ potravních řetězců v akvakultuře a zároveň jsou významným zdrojem biomasy jako krmení. Obecně mají široké využití – od potravin a krmiv, přes kosmetiku, farmaceutiku a biopaliva, až po environmentální aplikace (čištění odpadních vod, sekvestrace CO₂).

Mikrořasy (jako součást fytoplanktonu) představují základ potravních řetězců v přírodních systémech. Označení „mikrořasy“ zahrnuje velice širokou skupinu, většinu mikroorganismů, kam patří prokaryotní sinice (cyanobaktérie) i eukaryotní řasy. Mikrořasy mají vysokou rychlost růstu (reprodukční cyklus mají obvykle pouze jeden den). **Většina druhů roste optimálně při 20 – 30 °C.** Pro intenzivní kultivaci je nezbytný dostatečný přísun živin, CO₂, a světla, stejně jako dostatečné míchání a odplynění kyslíku.

Pro pěstování se používají v podstatě tři typy systémů:

- **Otevřené nádrže** (např. oběžné náhony/raceway ponds, tenkovrstvé kaskády) mohou být levné z hlediska konstrukce a provozu (raceway ponds), ale málo kontrolovatelné. Produkce je variabilní, od nízké produktivity (raceway ponds) po vysoce produktivní tenkovrstvé kaskády. Vzhledem k otevření kultivační plochy existuje vysoké riziko kontaminace jinými mikroorganismy. Pro klimatický region střední Evropy jsou otevřené systémy nevhodné vzhledem ke krátké kultivační sezóně, kdy je málo slunečných dní, a mimo léto i nízké teploty, především během noci.
- **Fotobioreaktory** (trubicové, panelové) se dají v našem regionu využít ve větší míře, protože umožňují lepší kontrolu kultivačních podmínek a kontaminace – umožňují produkci kvalitní biomasy, avšak za vyšších (jeden až dva řády) nákladů. Pro klimatický region střední Evropy jsou tyto systémy vhodné především pro vnitřní použití – haly, skleníky, v zimě vytápěné a přisvětlované umělými světelnými zdroji.
- **Heterotrofní fermentory** – se využívají pro pěstování kultur mikrořas heterotrofně, tzn. bez světla s využitím organických substrátů (např. glukózy) jako zdrojů uhlíku a energie. Růst je velmi rychlý do vysokých hustot biomasy, kde je velmi dobrá kontrola kultivačních podmínek a především sterility. Produktem je kvalitní biomasa čisté řasové monokultury, která má široké využití, především v potravinářství a ve farmácii.

V EU pracuje přes 400 producentů mikrořas, převážně malých firem. Nejaktivnějšími státy jsou Francie, Španělsko, Německo a Portugalsko. Nejvíce se pěstuje *Arthrospira (Spirulina)*, dále *Chlorella* a *Nannochloropsis*.

Perspektiva je především v produkci specializovaných látek s vysokou přidanou hodnotou (high value product), nikoli v masové produkci biomasy.

Důležité omezení pro kultivaci je podnebí, protože otevřené systémy lze v ČR využít jen sezónně (měsíce květen–říjen). Mezi hlavní překážky produkce mikrořas v ČR ve velkém měřítku patří vyšší spotřeba energie (nutnost vytápění, separace buněk), toxicity některých kmenů sinic ve volných vodách (konzervační limity) a konkurence zemí s levnějšími provozmi.

Ekonomika a regulace v ČR, ale i v celé EU jsou konzistentně identifikovány jako limitující faktory. Vysoké výrobní náklady, infrastrukturní požadavky (uzavřené FBR, případně instalace ve sklenících) a regulační problémy jsou uváděny jako omezující faktory komerční životaschopnosti.

Tab. 23: Ekonomické vyhodnocení

Parametr	Nejvyšší hodnota nalezena
Měrné CAPEX (m²/m³)	7,6 mil. CZK / 1 000 m ²
Detailní rozpad investice	Skleněné trubky až 31 %, sušárna 24 %
ROI nejlepší scénář	118,2 %, návratnost 9 let
Prodejní cena biomasy (B2B)	240 – 900 tis. CZK/t (většina studií)
Cena mikrořasového oleje	až 1 025 €/kg EPA+DHA (~25 600 CZK/kg)

Na druhou stranu tržní perspektiva je vnímána jako pozitivní faktor komerčního využití mikrořas. Výzkum se posouvá ke komerčním modelům postavených primárně na vysoké přidané hodnotě – od krmiv, doplňků stravy a kosmetiky po potraviny (mikrořasy jako „superpotravina“), zemědělství a bioenergetiku.

Pro zdárný komerční projekt musí zájemce o produkci mikrořas splnit několik základních podmínek – mezi nimi je správná volba pěstovaných mikrořas s dlouhodobým potenciálem využití (odběratelem či ve vlastní režii), odpovídající technologie, vhodné místo navazující na stabilní zdroj levných energií a zajištění financí.

Největší zátěží je vstupní investice, která se pohybuje v řádu desítek milionů korun a jejíž návratnost v naprosté většině případů přesahuje 10 let. Pro specializovanou výrobu včetně návazné technologie získávání klíčových substancí z řas jsou investiční náklady nejvyšší, čemuž však odpovídají vysoké prodejní ceny produkce a nejvyšší rentabilita. Proto právě tato oblast představuje nejatraktivnější příležitost pro české podniky. U výroby s nízkými investičními a provozními náklady, která produkuje pouze základní biomasu, nevidíme velký prostor, protože ji lze snadno nahradit dovozem z třetích zemí. I v rámci EU mají podnikatelé v ČR ztíženou pozici oproti jižněji položeným státům kvůli zvýšené spotřebě energií na produkci mikrořas. Každý projekt je nutné kalkulovat a posuzovat individuálně, protože existují stovky variant řešení a referenční hodnoty se pohybují ve velkém rozptylu.

Jako hlavní bariéry pro rozvoj podnikání v oboru pěstování a využití mikrořas v ČR lze tedy uvést:

- klimatické podmínky (venkovní kultivace max. 6 měsíců v roce),
- vysoké investiční a provozní náklady při omezeném trhu produktů,
- nedostatek propojení výzkumu s praxí,
- nejasnou legislativu a schvalování nových typů potravin,
- nízká poptávka a konkurence levných dovozů (Čína, Indie).

Tyto bariéry je možné odstranit či snížit realizací navrhovaných opatření:

- **Posílit výzkum, vývoj a inovace** formou podpory z fondů Evropské unie nebo formou veřejné podpory jak projektů, tak vytváření prostředí pro jejich realizaci (inkubátory, pilotní aplikace).
- **Posílit spolupráci mezi výzkumem a firmami** otevřením výše uvedených projektů pro maximální šíři žadatelů a organizování networkingových a osvětových akcí či zaměřením podpory do vyšších

fází komercializace, včetně transferu technologií, kdy se zatím stále jedná o unikátní instalace s potřebou lokalizace pro české prostředí.

- **Vzdělávat cílové skupiny** (podnikatele v souvisejících oborech a potenciální odběratele produktů) o benefitech mikrořas a možnostech jejich pěstování a získávání produktů z nich na území ČR, podporovat odborné vzdělávací aktivity včetně konferencí, seminářů, workshopů nebo specializovaných kurzů.
- **Zaměřit veřejnou podporu, včetně podpory z evropských fondů na vývoj a výrobu produktů s vysokou přidanou hodnotou** – pigmenty (astaxantin, fykocyanin, lutein), omega-3 mastné kyseliny (EPA, DHA), bioaktivní látky pro medicínu
- Maximálně zjednodušit legislativní procesy pro uplatnění produktů z mikrořas.

Obecně lze na závěr konstatovat, že o standardní podnikání v oboru pěstování a využití mikrořas v České republice není zájem, protože se jedná v současnosti o rizikové podnikání s dlouhodobou návratností investic a potřebou vysoké technologické i obchodní zdatnosti. Proto se oslovené subjekty raději věnují svému core businessu a nehodlají se pouštět do nejistých experimentů. Reální zájemci, alespoň o dílčí podporu, se počítají v jednotkách a u nich lze předpokládat zájem o veřejné spolufinancování jejich technologického upgradingu či dalšího vývoje jejich produktů s vysokou přidanou hodnotou. Odhadem se jedná o maximálně desítky milionů korun.

Na druhou stranu je z hlediska dlouhodobé perspektivy hospodářství ČR a zaměření na potravinovou soběstačnost či naplňování priority rozvoje biotechnologií vhodné obor dále podpořit na úrovni aplikace výsledků VaV ve vlajkových projektech. Zajímavým typem aktivity, která by mohla být podpořena z fondů Evropské unie nebo jiných národních zdrojů, by mohlo být dlouhodobě podpořené centrum kompetence zahrnující všechny vhodné složky (např. bioplynová stanice, subjekt se zkušenostmi s akvakulturou, biotechnologičtí specialisté pro extrakci cílových látek, cíloví odběratelé z oboru farmacie či potravinových doplňků), jehož výstupem bude společný podnik se specializovaným produktem s vysokou přidanou hodnotou, který poslouží zároveň jako vzor a „učebnice“ pro další zájemce. Takový projekt by mohl akcelarovat podnikání v oblasti mikrořas, které je složité právě svým přesahem do různých, a z hlediska legislativy, ekonomiky a procesů velmi odlišných oborů.

Vzhledem k výše uvedenému tedy doporučujeme zadavateli následující:

- Podporovat v rámci OP Rybářství 2021 – 2027 inovace v oblasti pěstování a kultivace řas.
- Vzhledem k bariérám vstupu do odvětví jako jsou vysoké finanční náklady, dlouhá návratnost investice, klimatické podmínky a současný nízký zájem o vstup do odvětví nepodporovat pěstování řas v rámci Investic do akvakultury.
- Při přípravě nového programového období konzultovat se sektorem a dalšími státními institucemi možnou podporu center kompetence v oblasti pěstování a kultivace řas.

10 Použitá literatura

1. Acién, F. G., Fernández Sevilla, J.M., Molina Grima, E. (2012). Costs analysis of microalgae production. In: *Biofuels from Algae*. Online. Second Edi. B.m.: Elsevier, s. 551–566. ISBN 9780444641922. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64192-2.00021-4>
2. Acién, F. G. et al. (2019). Production cost of a real microalgae production plant and strategies to reduce it. *Biotechnology Advances*. Online. 30(6), 1344–1353. ISSN 07349750. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2012.02.005>
3. Araújo, R. et al. (2021). Current Status of the Algae Production Industry in Europe: An Emerging Sector of the Blue Bioeconomy. *Frontiers in Marine Science*. Online. 7(January), 1–24. ISSN 22967745. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.626389>
4. Banerjee, S. a Ramaswamy, S. (2019). Comparison of productivity and economic analysis of microalgae cultivation in open raceways and flat panel photobioreactor. *Bioresource Technology Reports*. Online. 8(September), 100328. ISSN 2589014X. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100328>
5. Berden-Zrimec, M. (2022). Bioresources in Circular Bioeconomy. Series: Value Chains' Transparency and Sustainability. Online. (July). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23803.18722>
6. Bhatt, A. et al. (2022). Techno-economic analysis of microalgae cultivation for commercial sustainability: A state-of-the-art review. *Journal of Cleaner Production*. Online. 370(March), 133456. ISSN 09596526. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133456>
7. Clippinger, J. a Davis, R. (2019). Techno-Economic Analysis for the Production of Algal Biomass via Closed Photobioreactors: Future Cost Potential Evaluated Across a Range of Cultivation System Designs. Online. <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/72716.pdf>
8. Cruz, J. D. a Vasconcelos, V. (2024). Legal Aspects of Microalgae in the European Food Sector. *Foods*. Online. 13(1). ISSN 23048158. <https://doi.org/10.3390/foods13010124>
9. Enzing, C. et al. (2014). Microalgae-based products for the food and feed sector: an outlook for Europe. Online. ISBN 9789279340376. <https://doi.org/10.2791/3339ESSP>. Algae and the Circular Economy: Regulatory Challenges. May 2021 n°140. Online. <https://phosphorusplatform.eu/images/scope/ScopeNewsletter140.pdf>
10. EVROPSKÁ KOMISE. (2020). Farm to Fork Strategy. For a fair, healthy and environmentally-friendly food systém. Online. https://food.ec.europa.eu/system/files/2020-05/f2f_action-plan_2020_strategy-info_en.pdf
11. EVROPSKÁ KOMISE. (2022). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Towards a Strong and Sustainable EU Algae Sector. Online. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52022DC0592>
12. EVROPSKÁ KOMISE. (2019). Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions — The European Green Deal (COM (2019) 640 final). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52019DC0640>

13. EVROPSKÁ KOMISE. (2020). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: EU Biodiversity Strategy for 2030: Bringing nature back into our lives. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0380>
14. Evropský parlament a Rada Evropské unie. Nařízení (EU) 2021/1060 ze dne 24. června 2021 o společných ustanoveních pro Evropský fond pro regionální rozvoj, Evropský sociální fond Plus, Kohezní fond, Fond spravedlivé transformace a Evropský námořní, rybářský a akvakulturní fond a o finančních pravidlech pro tyto fondy a pro Fond pro azyl, migraci a integraci, Fond vnitřní bezpečnosti a nástroj finanční podpory pro správu hranic a vízovou politiku [online]. Úřední věstník EU, L 231, 30. 6. 2021, s. 159. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/cs/TXT/?uri=CELEX%3A32021R1060>
15. Evropský parlament a Rada Evropské unie. Nařízení (EU) 2021/1139 ze dne 7. července 2021, kterým se zřizuje Evropský námořní, rybářský a akvakulturní fond a doplňuje nařízení (EU) 2017/1004 [online]. Úřední věstník EU, L 247, vydáno 13. července 2021, s. 1–49. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/cs/TXT/?uri=CELEX:32021R1139>
16. Gallego, I. et al. (2025). The microalgal sector in Europe: Towards a sustainable bioeconomy. New Biotechnology. Online. 86(July 2024), 1–13. ISSN 18764347. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2025.01.002>
17. Gargano, G., Acién Fernández, F. G. a Pozo Dengra, J. (2022). TECHNO-ECONOMIC ASSESSMENT GUIDE. Online. <https://www.algaenauts.eu/wp-content/uploads/2024/04/D5.1-Techno-Economic-assesment-guide.pdf>
18. Hayes, M. et al. (2023). LEGISLATION CONCERNING THE USE OF MICROALGAE IN AGRICULTURE , FOOD , FEED , PHARMA AND COSMETICS. Online. <https://vb.nweurope.eu/media/21233/25-idea-22-legislation-poster-idea-jv.pdf>
19. Hendriksen, N. B. (2022). Microbial biostimulants – the need for clarification in EU regulation. Trends in Microbiology. Online. 30(4), 311–313. ISSN 18784380. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2022.01.008>
20. Chen, J. (2017). Techno-Economic Analysis of Biodiesel Production from Microalgae: A Review. Trends in Renewable Energy. Online. 3(2), 141–152. ISSN 23762136. <https://doi.org/10.17737/tre.2017.3.2.0035>
21. Chiaramonti, D. et al. (2013). Review of energy balance in raceway ponds for microalgae cultivation: Re-thinking a traditional system is possible. Applied Energy. Online. 102, 101–111. ISSN 03062619. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.07.040>
22. IEA. (2017). State of Technology Review – Algae Bioenergy. Online. ISBN 9781910154304. <http://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2017/02/IEA-Bioenergy-Algae-report-update-Final-template-20170131.pdf>
23. Ketzer, F., Skarka, J. a Rösch, C. (2018). Critical Review of Microalgae LCA Studies for Bioenergy Production. Bioenergy Research. Online. 11(1), 95–105. ISSN 19391242. <https://doi.org/10.1007/s12155-017-9880-1>
24. Kopecký, J., Lhotský, R. a Paichlová, J. (2017). Aktivní látky mikrořas ve výživě. 1. vyd. Praha: Středisko společných činností AV ČR, v.v.i.; Mikrobiologický ústav AV ČR, 2017. 23 stran. ISBN 978-80-270-2247-2. ISSN 2464-6245. http://www.vedakolemnas.cz/miranda2/m2/sys/galerie-download/VKN_59WEB.pdf

25. Kratzer, R. a Murkovic, M. (2021). Food ingredients and nutraceuticals from microalgae: Main product classes and biotechnological production. *Foods*. Online. 10(7). ISSN 23048158. <https://doi.org/10.3390/foods10071626>
26. Kuech, A., Breuer, M. a Popescu, I. (2023). The future of the EU algae sector. Policy Department for Structural and Cohesion Policies Directorate-General for Internal Policies PE. Online. <https://research4committees.blog/2023/03/01/publication-the-future-of-the-eu-algae-sector/>
27. Lähteenmäki-Uutela, A. et al. (2021). European Union legislation on macroalgae products. *Aquaculture International*. Online. 29(2), 487–509. ISSN 1573143X. <https://doi.org/10.1007/s10499-020-00633-x>
28. Manoel, J. A. C. et al. (2025). Microalgae-associated *Stenotrophomonas maltophilia* enhances lutein production and biostimulant activity in *Monoraphidium* sp. *Algal Research*. Online. 91(January). ISSN 22119264. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2025.104250>
29. Masojídek, J., Torzillo, G., Koblížek, M. (2013) Photosynthesis in Microalgal Mass Culture, in: *Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology*, (editors: A. Richmond & Q. Hu). 2nd edition, Wiley-Blackwell, p. 21-36. <https://doi.org/10.1002/9781118567166.ch2>
30. Masojídek J. et al. (2015) Thin-layer systems for mass cultivation of microalgae: flat panels and sloping cascades. In: *Algal Biorefinery*, vol. 2 (eds: R. Bajpai, A. Prokop, M. Zappi), Springer International Publishing, Switzerland 2015, pp. 237-262 https://doi.org/10.1007/978-3-319-20200-6_7
31. Masojídek, J. et al. (2016). Mikrořasy – solární továrna v jedné buňce. 1. vyd. Praha: Středisko společných činností AV ČR, v.v.i., 23 stran. ISBN 978-80-270-0127-9. ISSN 2464-6245. http://www.vedakolemnas.cz/miranda2/m2/sys/galerie-download/vkn_45web.pdf
32. Ministerstvo zemědělství. Víceletý národní strategický plán ČR pro akvakulturu pro léta 2021–2030 [online]. (2021). Schválen vládou ČR usnesením č. 799 ze dne 13. 9. 2021. <https://mze.gov.cz/public/portal/-q306467---yszAxBZ1/vicelety-narodni-strategicky-plan-pro>
33. Ministerstvo zemědělství. Operační program Rybářství 2021–2027 [online]. (2022). Verze leden 2022. Č. rozhodnutí Komise (ENRAF), schváleno 2022. <https://mze.gov.cz/public/portal/-q306473---tJssasEH/op-rybarstvi-2021-2027>
34. Morowvat, M. H. a Ghasemi, Y. (2018). Maximizing Biomass and Lipid Production in Heterotrophic Culture of *Chlorella vulgaris*: Techno-Economic Assessment. *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture*. Online. 10(2), 115–123. ISSN 22127984. <https://doi.org/10.2174/2212798410666180911100034>
35. Norsker, N. H. et al. (2011). Microalgal production - A close look at the economics. *Biotechnology Advances*. Online. 29(1), 24–27. ISSN 07349750. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.08.005>
36. Oostlander, P. C. et al. (2020). Microalgae production cost in aquaculture hatcheries. *Aquaculture*. Online. 525(April), 735310. ISSN 00448486. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735310>
37. Pankratz, S., Oyedun, A. O. a Kumar, A. (2019). Development of cost models of algae production in a cold climate using different production systems. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. Online. 13(5), 1246–1260. ISSN 19321031. <https://doi.org/10.1002/BBB.2015>

38. Ruiz, J. et al. (2016). Towards industrial products from microalgae. *Energy and Environmental Science*. Online. 9(10), 3036–3043. ISSN 17545706. <https://doi.org/10.1039/c6ee01493c>
39. Ruiz, J. et al. (2022). Heterotrophic vs autotrophic production of microalgae: Bringing some light into the everlasting cost controversy. *Algal Research*. Online. 64(February), 102698. ISSN 22119264. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102698>
40. Schade, S. a Meier, T. (2021). Techno-economic assessment of microalgae cultivation in a tubular photobioreactor for food in a humid continental climate. *Clean Technologies and Environmental Policy*. Online. 23(5), 1475–1492. ISSN 16189558. <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02042-x>
41. Slegers, P. M. et al. (2020). Design of Value Chains for Microalgal Biorefinery at Industrial Scale: Process Integration and Techno-Economic Analysis. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. Online. 8(September), 1–17. ISSN 22964185. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.550758>
42. Smetana, S. et al. (2017). Autotrophic and heterotrophic microalgae and cyanobacteria cultivation for food and feed: life cycle assessment. *Bioresource Technology*. Online. 245(August), 162–170. ISSN 18732976. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.113>
43. Su, M. et al. (2023). Applications of Microalgae in Foods, Pharma and Feeds and Their Use as Fertilizers and Biostimulants: Legislation and Regulatory Aspects for Consideration. *Foods*. Online. 12(20). ISSN 23048158. <https://doi.org/10.3390/foods12203878>
44. Valentini, M. et al. (2022). Techno-economic Evaluation of Heterotrophic Microalgal Cultivation Approaches. *Chemical Engineering Transactions*. Online. 93(December 2021), 343–348. ISSN 22839216. <https://doi.org/10.3303/CET2293058>
45. Vázquez-Romero, B. et al. (2022). Techno-economic assessment of microalgae production, harvesting and drying for food, feed, cosmetics, and agriculture. *Science of the Total Environment*. Online. 837(April). ISSN 18791026. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155742>
46. Vázquez-Romero, B. et al. (2024). Techno-economic analysis of using microalgae to treat streams from fish RAS farming and replace fish meal: A case study. *Journal of Water Process Engineering*. Online. 59(November 2023). ISSN 22147144. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.104904>
47. Verdelho, V. a Rizzo, A. (2025). Bottlenecks limiting the development of the algae sector. Online. <https://1url.cz/hJsI7>
48. Wagner, L., Sonnleitner, A. a Matousek, T. (2024). Netzwerk Algen Broschüre: Akteurinnen und Akteure in Österreich. Online. <https://fti-ressourcenwende.at/resources/pdf/netzwerk-algen-akteure-in-oesterreich.pdf>

11 Seznam obrázků

<i>Obr. 1: Schematické znázornění fotosyntézy řas.</i>	4
<i>Obr. 2: Kultivační jednotka typu Oběžného náhonu (Berden-Zrimec, 2022).</i>	10
<i>Obr. 3: Tenkovrstvé kaskády v MBÚ v Třeboni</i>	11
<i>Obr. 4: Trubicový kultivační systém (Schott).</i>	12
<i>Obr. 5: Panelový kultivační systém (Zanella, 2019, Research Gate).</i>	13
<i>Obr. 6: Heterotrofni kultivační systém (MBÚ).</i>	14
<i>Obr. 7: Počet evropských producentů mikrořas a jejich produkce do roku 2021</i>	18
<i>Obr. 8: Přehled základních typů FBR pro produkci mikrořas (mimo Arthrospiru) a rozšířenost jejich využití různými producenty v Evropě</i>	18
<i>Obr. 9: Synergie algakultury s ostatními evropskými politikami a iniciativami</i>	21
<i>Obr. 10: Schéma technologických postupů pro akvakulturu ryb založených na krmivech (prášek, pasta, granule) obsahujících mikrořasy</i>	40
<i>Obr. 11: Schéma tradiční akvakultury a akvakultury s přidavkem mikrořas (podle Han a spol. 2019)</i>	41

12 Seznam tabulek

<i>Tab. 1: Základní praktické informace a pokyny pro velkoobjemové kultivace mikrořas</i>	6
<i>Tab. 2: Srovnání metod velkoplošné kultivace mikrořas</i>	16
<i>Tab. 3: Nejčastěji pěstované rody mikrořas v různých velkoobjemových kultivačních systémech</i>	32
<i>Tab. 4: Přehled kultivačních systémů, jejich stručná charakteristika, využitelnost v ČR a jejich výhody/nevýhody.</i>	35
<i>Tab. 5: Přehled využití a přínosů mikrořas v akvakultuře</i>	40
<i>Tab. 6: Souhrn recentních evropských projektů – mikrořasy v akvakultuře</i>	43
<i>Tab. 7: Další případové studie a národní aplikací mikrořas v akvakultuře ve střední Evropě</i>	46
<i>Tab. 8: Přehled možných přínosů při uplatnění mikrořas v akvakultuře</i>	47
<i>Tab. 9: Shrnutí rozdílů mezi extenzivní a intenzivní akvakulturou</i>	48
<i>Tab. 10: Ekonomické a praktické výhody vlastní produkce mikrořas pro akvakultury (závisí na rozsahu požadavků)</i>	50
<i>Tab. 11: Přínosy zavedení kultivace mikrořas do provozu rybochovných podniků</i>	51
<i>Tab. 12: Praktická doporučení pro zavedení kultivace mikrořas do provozu rybochovných podniků</i>	51
<i>Tab. 13: Profil typického provozu s propojením kultur mikrořas a akvakultury</i>	52
<i>Tab. 14: Výzvy a omezení oboru</i>	53
<i>Tab. 15: Možnosti financování a podpory v ČR</i>	53
<i>Tab. 16: Případové studie využití mikrořas v chovu okrasných ryb ve spolupráci s rybářskými subjekty v ČR</i>	54
<i>Tab. 17: Tubulární FBR – modelace nákladů (objem 100 m³)</i>	59
<i>Tab. 18: Ploché panelový FBR – modelace nákladů (objem 100 m³)</i>	60
<i>Tab. 19: Otevřená nádrž (raceway pond) ve skleníku – modelace nákladů (objem 100 m³)</i>	61
<i>Tab. 20: Heterotrofni fermentace s glukózou – modelace nákladů (objem 100 m³)</i>	62
<i>Tab. 21: Heterotrofni fermentace s odpadními cukry – modelace nákladů (objem 100 m³)</i>	63
<i>Tab. 22: Přehled cen produktů z mikrořas</i>	64
<i>Tab. 23: Ekonomické vyhodnocení</i>	74

13 Seznam příloh

Příloha 1 – Producenti mikrořas v klimatickém regionu obdobném jako ČR

Příloha 2 – Oslovené subjekty