



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

VYUŽÍVÁNÍ BIOPALIV TŘETÍ GENERACE PRO ENERGETICKÉ ÚČELY

USE OF THIRD-GENERATION BIOFUELS FOR ENERGY PURPOSES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Barbora Janská

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tereza Zlevorová

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Studentka: **Barbora Janská**
Studijní program: Energetika
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **Ing. Tereza Zlevorová**
Akademický rok: 2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Využívání biopaliv třetí generace pro energetické účely

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílené pěstování rychle rostoucích energetických plodin konkuruje potravinářskému průmyslu, proto je vývoj směřován k jiným možnostem produkce biopaliv. Ve fázi vývoje je například energetické využívání řas, označovaných obecně jako biopaliva třetí generace. Danou problematikou se zabývají například vědci ve Spojených státech nebo Číně, na které by měla navázat tato bakalářská práce.

Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem je vypracovat podrobné shrnutí současného stavu poznání využívání biopaliv třetí generace. Dílčími cíli bude:

- rešerše využívání biopaliv v Česku a ve světě
- shrnutí současného stavu poznání zaměřeného na způsoby pěstování řas
- možnosti využití řas pro výrobu bioethanolu nebo bioplynu

Seznam doporučené literatury:

ANANTHI, V.; RAJA, Rathinam; CARVALHO, Isabel S.; BRINDHADEVI, Kathirvel; PUGAZHENDHI, Arivalagan et al. A realistic scenario on microalgae based biodiesel production: Third generation biofuel. Online. Fuel. 2021, roč. 284. ISSN 00162361. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118965>

SACHIN POWAR, Ranveer; SINGH YADAV, Anil; SIVA RAMAKRISHNA, Ch.; PATEL, Swastika; MOHAN, Man et al. Algae: A potential feedstock for third generation biofuel. Online. Materials Today: Proceedings. 2022, roč. 63, s. A27-A33. ISSN 22147853. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.07.161>

JANDAČKA, Jozef. Technologie pre zvyšovanie energetickeho potencialu biomasy. 1. Žilina: BALPO, 2007. ISBN 978-80-969595-4-9

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Biopaliva z řas v současnosti působí jako velmi atraktivní zdroj pro budoucí využití. Tato bakalářská práce se bude zabývat celým procesem produkce paliv, od kultivace až po samotný produkt. Na úvod je v první kapitole uvedeno rozdělení biopaliv a postoje ke zpracování řas v České republice a zahraničí. Následují metody kultivace. Ve třetí kapitole jsou popsány způsoby sklizně, separace a jednotlivé procesy výroby biopaliv třetí generace. Práce mimo jiné zahrnuje porovnání výtěžků jednotlivých paliv z běžně používaných energetických plodin s řasami.

Klíčová slova

Biopaliva třetí generace, kultivace řas, mikrořasy

ABSTRACT

Algae-based biofuel is currently a very attractive source for future use. This bachelor's thesis covers the whole process of fuel production, from cultivation to the product itself. The first chapter covers the classification of biofuels and attitudes towards algae processing in the Czech Republic and abroad. Next, there are methods of cultivation. The third chapter describes ways of harvest, separation and individual processes of third-generation biofuel production. This work, among other things, includes a comparison of the yield of biofuels from commonly used energetic feedstock with algae.

Key words

Third-generation biofuel, algae cultivation, microalgae

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JANSKÁ, Barbora. *Využívání biopaliv třetí generace pro energetické účely* [online]. Brno, **2024**. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157437>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Tereza Zlevorová.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Využívání paliv třetí generace pro energetické účely** vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Barbora Janská

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Tereze Zlevorové za cenné připomínky a rady, které mi poskytla při vypracování závěrečné práce, dále Ing. Veronice Solčány a Mgr. Dagmar Janské za pomoc s korekturou a stylistickou stránkou práce.

OBSAH

ÚVOD.....	10
1 Biopaliva.....	11
1.1 Rozdělení biopaliv	11
1.1.1 První generace	11
1.1.2 Druhá generace	12
1.1.3 Třetí generace	13
1.1.4 Čtvrtá generace	14
1.2 Třetí generace ve světě	14
1.3 Třetí generace v České republice.....	16
2 Pěstování řas	18
2.1 Pěstování ve volné vodě	18
2.2 Pěstování v nádržích.....	20
2.3 Pěstování ve foto-bioreaktorech	22
3 Výroba biopaliv z řas.....	24
3.1 Sběr, sklizeň a separace	24
3.1.1 Makrořasy.....	24
3.1.2 Mikrořasy	24
3.2 Biopaliva a způsoby jejich výroby	28
3.2.1 Bioethanol a bioplyn.....	28
3.2.2 Biovodík	30
3.2.3 Bionafta a bio-olej	31
3.3 Další produkty	37
ZÁVĚR.....	38
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	40
SEZNAM OBRÁZKŮ	47
SEZNAM TABULEK	48

ÚVOD

S rozvojem technologií roste i poptávka po energiích v podobě elektřiny či paliv pro automobilovou, leteckou a lodní dopravu. Veškerá technika, na kterou se společnost ve svém životě spoléhá musí být něčím poháněna. Ovšem ne všechny tyto pohony jsou šetrné k životnímu prostředí.

Se zvyšujícími se nároky na energie roste i spotřeba paliv. Celková roční spotřeba pohonných hmot v České republice se pohybuje přes 5 milionů tun. Podíl bezemisních zdrojů při výrobě elektřiny se teprve nedávno přehoupl přes 50 %. Poměrně velkou část energetického mixu stále zastupují paliva z fosilních zdrojů. Ty jsou nejen vyčerpitelná, ale i ve velké míře znečišťují krajinu. Největším tématem současnosti je vliv spalování fosilních paliv na oteplování atmosféry.

Vypouštění oxidu uhličitého, vzniklého při spalování, do ovzduší se podílí na skleníkovém efektu. Jsou snahy jeho koncentraci a tím i dopady snížit na co nejnižší úroveň. Metody jsou různé, od podporování elektromobility, přes zavádění elektráren poháněných obnovitelnými zdroji, které jsou tak uhlíkově neutrální, až po snahy CO₂ zachytávat a následně dále zpracovávat či uložit.

Tento hon za napravením, nebo alespoň zmírněním, klimatických změn otevírá dveře novým oblastem výzkumu a pokroku ve vědě. Vznikají tak nové zdroje energie a prostor pro další uhlíkově neutrální růst. Jedním z těchto nových odvětví se bude zabývat i tato bakalářská práce – výroba paliv z řas, aneb biopaliva třetí generace. Práce je rozdělena celkem do tří kapitol.

První kapitola pojednává o rozdělení všech biopaliv do kategorií, a to především podle jejich významu pro potravinářský průmysl, či zásahu do zemědělské půdy. Jejím cílem je seznámit s jednotlivými zdroji a poukázat na důležitost hledání šetrných zdrojů, které nebudou konkurencí pro potravinářství. Dále nahlédne do problematiky světového a lokálního postoje k řasové biomase.

Druhá kapitola rozebírá jednotlivé způsoby pěstování. Zaměřuje se na výhody, které má jeden systém oproti druhému, a kde naopak jsou jeho slabé stránky.

Předmětem třetí kapitoly je pak samotná výroba biopaliv. Osvětluje především různé způsoby zpracování řasové biomasy, a to metody a energetickou náročnost sklizně i technologické postupy při produkci biopaliv.

Tato práce je čistě rešeršní. Její obsah byl zpracován na základě vyhledávání a zpracovávání dat z různých zdrojů a jejich následné interpretaci. Většina zdrojů pochází ze zahraničních prací, protože je tato problematika v České republice jen velmi málo rozšířená. Bylo čerpáno převážně z článků z anglicky psaných, odborných periodik.

1 Biopaliva

1.1 Rozdělení biopaliv

Biopaliva se rozdělují do skupin především podle toho, z čeho byla vyrobena nebo jakým způsobem zasahují do jiných odvětví průmyslu. Vývoj a výzkum biopaliv se rozvíjí s rostoucí poptávkou na snížení emisí oxidu uhličitého a větší důraz na ochranu životního prostředí. Vznikají proto nové skupiny biopaliv, které jsou svým rozšířením prozatím střídmé. Výhody, které mají, by je ale mohly vyzdvihnout mezi ta v současnosti více používaná [1].

Následující kapitoly se budou zaměřovat na tyto jednotlivé skupiny, a proč jsou právě ony vhodné či nevhodné pro výrobu biopaliv v současnosti i výhledově.

První dvě velké skupiny, na které lze biopaliva dělit, jsou primární a sekundární biopaliva.

Primární

Primární biopaliva se dají označit i pojmem biomasa. Jsou to především tuhá paliva, která se používají ve své přírodní formě [3]. Dále se potom mohou upravovat tak, aby bylo jednodušší je spalovat či přepravovat a skladovat. Mezi hlavní formy takovýchto úprav patří štěpkování, peletování dřevní štěpky nebo balíkování další rostlinné biomasy [2].

Mezi primární biopaliva se řadí dřevní biomasa a odpady z dřevozpracujícího průmyslu, rostlinná biomasa ze zemědělské výroby či exkrementy z výroby živočišné [4].

Sekundární

Sekundární biopaliva mohou být v kapalném, plynném i tuhém skupenství (bionafta, bioplyn, dřevěné uhlí) a jejich využití také zahrnuje daleko větší paletu aplikací. Od primárních biopaliv se liší hlavně i tím, že jsou z nich odvozena [3].

Primární biopaliva musí projít určitými procesy (viz kapitola 3.2), které mají za cíl zvýšit jejich energetickou hodnotu či zjednodušit přepravu a spalování, tím se z nich stávají biopaliva sekundární [4]. Pro tyto procesy je zásadní, aby vstupní surovina byla velmi bohatá na sacharidy nebo lipidy, aby se z nich vytěžilo co nejvíce paliva [5].

Sekundární biopaliva dále můžeme dělit na čtyři podskupiny, z nichž každá se odlišuje původem vstupní suroviny.

1.1.1 První generace

Biopaliva první generace mají svůj původ u plodin, které zároveň slouží jako potraviny. Jedná se o rostliny s vysokým obsahem sacharidů nebo lipidů.

Plodiny s vysokým obsahem sacharózy, jako jsou kukuřice, cukrová řepa nebo třtina, slouží jako dobrá vstupní surovina pro výrobu bioethanolu. V tomto případě dochází k extrakci cukru a následnému alkoholovému kvašení.

Ve skupině plodin v potravinovém průmyslu, které se dají využít i pro energetické účely, jsou například řepka, slunečnice a sójové boby. Ty obsahují vysoký podíl lipidů a jsou využitelné na produkci bionafty [6].

V případě těchto biopaliv je velkým problémem právě to, že jsou to plodiny, které normálně slouží jako potraviny či krmivo pro hospodářská zvířata. Proto nastává boj mezi tím, zda produkovat na orné půdě potraviny, nebo paliva [7]. Při zvýšení produkce paliv z jedlých plodin hrozí propad v produkci potravin a tím následný nárůst jejich cen.

Dalším velkým problémem je dopad na životní prostředí v podobě hnojiv a pesticidů používaných pro zvýšení výnosů [8].

1.1.2 Druhá generace

Kvůli čím dál většímu zabírání orné půdy a využívání potenciálních potravin pro energetické účely vznikla nová generace biopaliv. Velkou výhodou představuje fakt, že jsou to rostliny méně náročné na kvalitu půdy a finanční náklady [9].

Druhů takovýchto rostlin je vícero. Jedná se například o dávivec černý (*Jathorpa curcas*) – malý strom původem ze Střední Ameriky. Roste v tropických oblastech a nevádí mu vyprahlá půda. Výtěžek je v takovém případě ale menší.

Dalším druhem je skočec obecný (*Ricinus communis*). Opět strom malého vzrůstu, který je zdrojem ricinového oleje. Roste rychleji než dávivec a zemědělci s ním mají více zkušeností.

Kaučukovník brazilský (*Hevea brasiliensis*) je využitelný nejen z pohledu produkce přírodního kaučuku. Jeho semena by se dala využít v energetickém průmyslu při výrobě bionafty.

Dalšími zdroji oleje pro výrobu bionafty může být tabák virginský (*Nicotiana tabacum*) nebo otruby z rýže. Druhé zmíněné se ve velkých množstvích nachází především na území Číny a Indie. Využití otrub v energetice však nepodlehlo dostatečnému výzkumu, aby se jimi daly nahradit konvenční zdroje.

Všechny zmíněné rostliny (kromě rýže) produkují ve větší míře semena s vysokým obsahem lipidů. Oleje z těchto semen však obsahují pro člověka toxické látky. Stejně jako rostlinný olej z rýžových otrub se tak řadí mezi oleje nepoživatelné. Nekonkurují tedy olejům z biopaliv první generace – nenastává souboj mezi palivem a potravinou [11].

Tab 1. Výtěžnost oleje podle plodiny – biopaliva druhé generace [11]

Energetická plodina	Typ rostliny	Výtěžnost semen (kg/ha)	Obsah oleje v semenu (%)	Výtěžnost oleje (kg/ha)
Dávivec černý (<i>Jathorpa curcas</i>)	Strom	2500	36	≈900
Skočec obecný (<i>Ricinus communis</i>)	Strom/keř	450	48–60	≈240
Kaučukovník brazilský (<i>Hevea brasiliensis</i>)	Strom	150	40–50	≈65
Tabák virginský (<i>Nicotiana tabacum</i>)	Bylina	1171	33–40	≈430
Moringa olejodárná (<i>Moringa oleifera</i>)	Strom	3000	30–40	≈1050
Jojoba kalifornská (<i>Simmondsia chinensis</i>)	Keř	1125–2250	45–55	≈840
Kalaba obvejčitá (<i>Calophyllum inophyllum</i>)	Strom	4680	60–75	≈3160

Používají se také zbytky z rostlinné, živočišné a dřevozpracující výroby, proto jsou tyto suroviny skromné i na zemědělskou plochu, hnojiva a pesticidy i množství vody pro pěstování.

Nevýhodou u druhé generace je oproti první především vyšší vstupní kapitál na komplikovaná zařízení pro zpracování materiálu. Proces vyžaduje řetězec vstupních úprav pro získání cukru na fermentaci. Narozdíl od první generace, kde plodiny vstupují do procesu přímo [6]. Jedná se totiž o materiály založené především na lignocelulóze a uhlohydrátech. Mezi používané suroviny patří stromy, keře, traviny nebo zbytky ze zemědělské výroby [8].

1.1.3 Třetí generace

Třetí generace zahrnuje převážně paliva vyrobená z řas, které se dají nazvat vodní biomasou. Dalšími možnými zdroji jsou tuky a oleje a to např. rybí nebo další živočišné tuky a odpadní oleje z kuchyní. Jsou to zdroje, které jsou schopny svým složením navýšit produkci biopaliv.

Například řasy jsou i přes vysokou cenu technologie pro pěstování, sběr a zařízení na zpracování schopné tento cenový schodek vyvážit. Především výtěžností paliva, která je na jednotku plochy podstatně větší než u výše zmíněných generací biopaliv. Dále také rychlostí růstu a faktem, že nepotřebují zabírat pro svůj růst kvalitní ornou půdu, která by jinak mohla být využita pro pěstování plodin pro potravinářství. Vyznačují se i vysokým obsahem bílkovin, sacharidů a tuků a zároveň nízkým obsahem ligninu – toho může být využito v následné produkci sekundárních biopaliv.

U odpadních tuků z různých provozů je problémem jejich lišící se složení a často obsažené nečistoty. To ve velké míře omezuje jejich využití. Nachází se však nové cesty, jak využívat odpadní lipidy z výroby. Jedním z nich je využití odpadních zbytků ze zpracování kávových zrn [8]. Bionafta se z nich získává transesterifikací. Při porovnání s běžnou naftou se dají

pozorovat zlepšení určitých vlastností (např. výhřevnost, bod vzplanutí či cetanové číslo), u jiných pak nastává zhoršení (bod tuhnutí a bod zákalu), které se dá řešit přidáním aditiv [10].

1.1.4 Čtvrtá generace

Za biopaliva čtvrté generace se považují ta, která také pochází z řas, zejména mikrořas. Tyto řasy jsou ovšem geneticky upravené organismy. Takové modifikace využívající molekulární biologii, fyzikálně-chemické procesy a genetické inženýrství mají za cíl zvýšit schopnost organismu ukládat lipidy a sacharidy – navýšit následnou produkci biopaliv. Mezi hlavní představitele této skupiny patří především sinice (př. *Synechococcus elongatus*) a mikrořasy (př. *Chlamydomonas starchless*) [8].

Tab 2. Rozdělení biopaliv [8]

	Zpracování	Generace	Zdroj
Biopaliva	Primární	V surovém stavu	- ▪ dřevní biomasa a odpady ▪ odpady ze zemědělské a živočišné výroby
	Sekundární	Upravené procesy s chemickou přeměnou	I. ▪ jedlé plodiny
			II. ▪ nejedlé plodiny
			III. ▪ řasy (nebo odpadní tuky)
		IV. ▪ geneticky upravené řasy	

1.2 Třetí generace ve světě

První snahy o zavedení biotechnologií pro pěstování řas v otevřených jezírkách pochází už z 50. let minulého století. Tehdy byly shromážděny první informace o kultivaci řasových kultur. Později šlo především o snahu získat další zdroj bílkovin. S postupem času se přešlo k produkci větších kvantit. Dříve, i v současnosti, šlo především o produkci potravinářského, farmaceutického a kosmetického průmyslu. Od přelomu tisíciletí dochází k pokusům řasy geneticky šlechtit, aby se dalo využít jejich potenciálu i v energetickém odvětví [14].

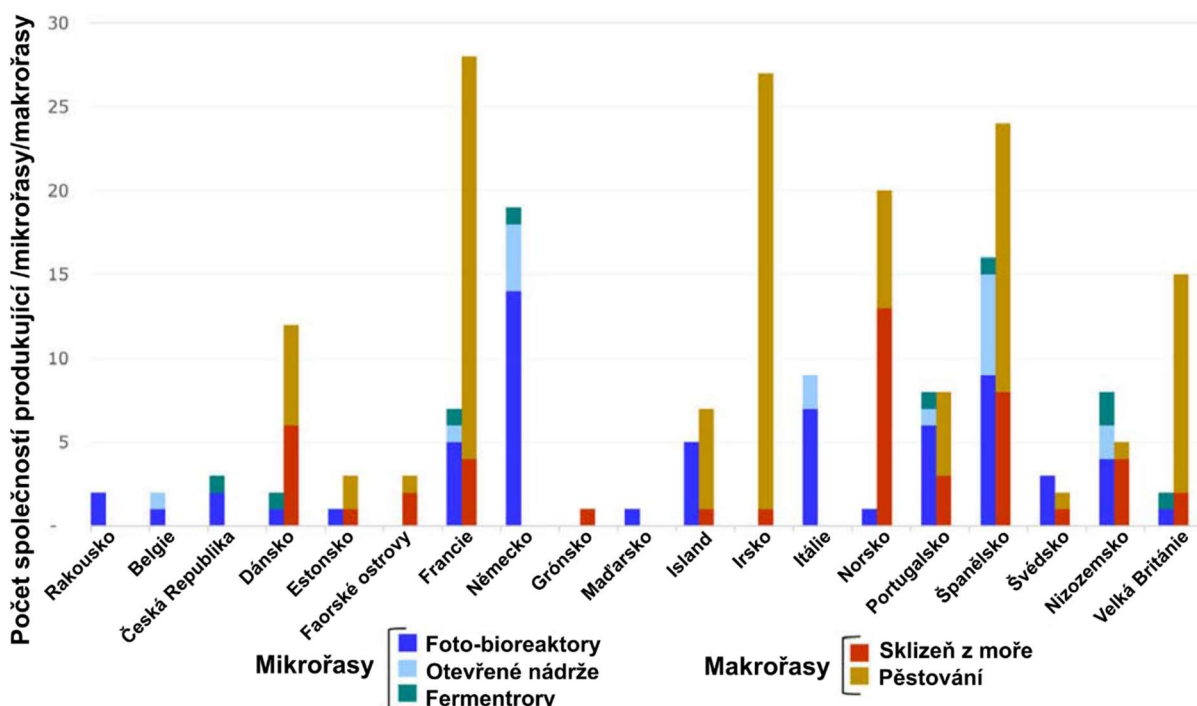
Tab 3. Příklady druhů mikrořas, kde se pěstují a jejich využití [14]

Druh mikrořasy	Oblast	Využití
Chlorella	Japonsko Mexiko	Potravinové doplňky a krmiva
Spirulina	Spojené státy americké Thajsko Jihoafrická republika Čína	Potravinové doplňky a krmiva
Haematococcus	Havaj	Astaxantin*
Dunaliella	Austrálie	β-karoten

*přirodní barvivo rozpustné v tucích, patří mezi karotenoidy, silný antioxidant [15]

S pokrokem ve výzkumu využití a výroby biopaliv třetí generace se však objevuje i více jejich produkce [12]. Řada společností zabývajících se výrobou biopaliv z řas se nachází na území Spojených států amerických [13].

V Evropě je produkce vodní biomasy rozšířená především v přímořských oblastech. Velká část řas je totiž získávána sběrem volně rostoucích kolonií nebo pěstováním v otevřené vodě. Mezi lídry v tomto odvětví v Evropě patří – Francie, Norsko, Irsko a Španělsko v oblasti sběru makrořas; Itálie, Španělsko, Portugalsko a Německo v oblasti mikrořas. Následující graf vykresluje podíl společností na získávání řas různými způsoby. Firmy jsou rozděleny i podle typu řas a mateřského státu.



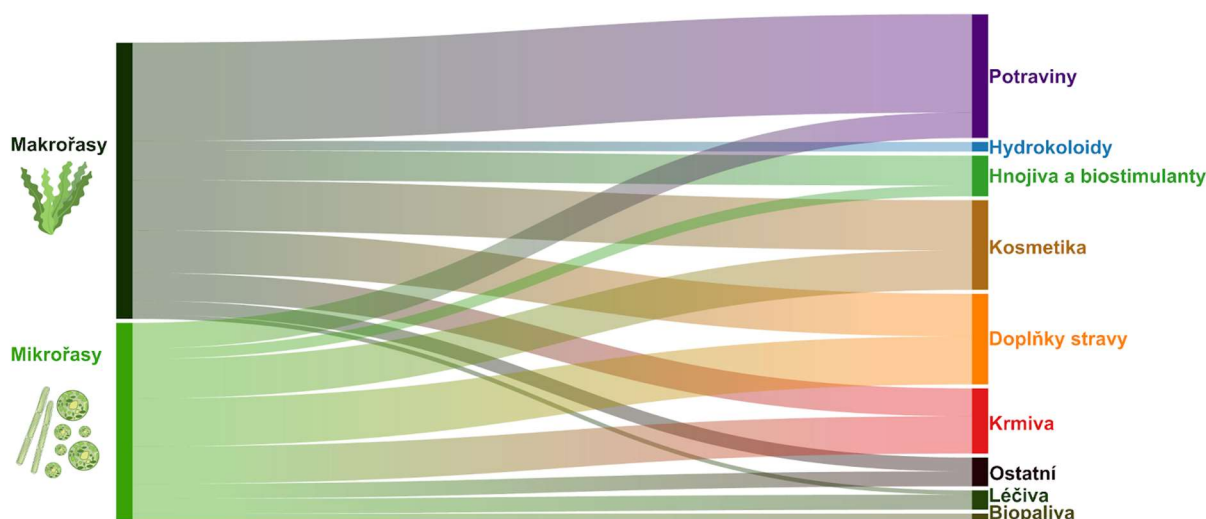
Graf 1. Počet společností zabývajících se produkcí řas v Evropě [12]

Norsko je dále i největším producentem makrořas pěstovaných cíleně. K dispozici má od roku 2019 plochu 834 ha. Společnosti s povolením k pěstování řas však do roku 2021 ani nezvládly využít celý potenciál a fungovaly za sníženého výkonu. Norské pobřeží ale případně do budoucna nabízí možnost plochu dále rozšířit – za podmínky nárůstu produkce řas.

Dalšími oblastmi s větší zemědělskou produkcí řas v Evropě jsou Francie a Pyrenejský poloostrov. Za zmínku stojí i Nizozemsko a Dánsko. Poslední zmíněné se dále také vyznačuje tím, že jeho produkci makrořas zastává z jedné poloviny sběr a z druhé právě pěstování.

Mezi země nejvíce zasahující do produkce mikrořas v Evropě patří Německo, Itálie či Španělsko, jak už bylo zmíněno výše. Tyto státy jsou mimo jiné i významnými producenty spiruliny. Nejvíce zastoupené pěstitelské způsoby jsou potom foto-bioreaktory u mikrořas a otevřené nádrže u spiruliny.

Podíl výroby biopaliv z vodní biomasy je v Evropě velmi malý. Většina řas se spotřebuje v potravinářství, farmacii nebo kosmetickém průmyslu. V následujícím obrázku je vykresleno, jakým podílem jednotlivé společnosti produkující řasy přispívají do různých odvětví průmyslu. Nejedná se však o graf, kde by hrál roli objem celkové biomasy. Jde pouze o znázornění pole zájmu evropských firem. Je zřejmé, že v současné době jen málo společností pracujících s řasami dává přednost jejich zpracování na paliva [12].



Obr 1. Podíly evropských producentů řas na různých průmyslových aplikacích [12]

1.3 Třetí generace v České republice

I v České republice probíhá výzkumná činnost v rámci kultivace řas. Jedná se například o metody pěstování či snahu snížit energetickou náročnost separačních procesů.

Vědci Akademie věd České republiky (AV ČR) z Ústavu chemických procesů a Ústavu pro hydrodynamiku vyvinuli přístroj pro snazší separaci řasové biomasy od pěstícího média. Snižují se tím náklady na její zpracování. To by mohlo mít za následek větší využití této cenné suroviny v oblasti výroby biopaliv.

Pro další zpracování je totiž potřeba suchá biomasa. To znamená odseparovat ji od velkého množství vody, ve kterém se pěstuje. Na jeden kilogram suchých řas připadá až tisíc litrů vody. Na její odseparování je nezbytné velké množství energie. Vědcům z AV ČR se podařilo toto množství značně snížit. Rozhodli se využít elektrolyzu. Vyvinuli tzv. elektrokoagulační jednotku (Obr 2.). Její princip se využívá také při chirurgii, pro vysoušení tkání elektrickým proudem, nebo při čištění odpadních vod.

Jednotka funguje v kontinuálním provozu. Aby tento způsob fungoval, musí se do média přidat železné ionty, které naruší jeho stabilitu. To zajišťují železné elektrody přes, které roztok protéká. Dále prochází systémem aerace a membránových stěn. Dochází k vločkování řas. Ty se pak odseparují z média jedním z mnoha způsobů (viz kapitola 3.1.2).

Tímto způsobem je možné docílit účinnosti separace až 97 %. Pro využití v potravinářství je ale tato metoda nevhodná. Biomasa obsahuje velké množství železa. I na to se však vědci zaměřují [16].

Dalším z pracovišť zkoumajících kultivaci a využití mikrořas je třeboňské Centrum řasových technologií ALGATECH. To spadá pod Mikrobiologický ústav AV ČR. Jejich polem zájmu je využití řas v průmyslu a medicíně [17].



Obr 2. Elektrokoagulační jednotka [18]

2 Pěstování řas

Způsobů, jak získávat tuto rostlinnou surovinu je vícero. Pohybují se od prvotního prostého sběru po moderní způsoby pěstování v propracovaných fotobioreaktorech. Jako všechno má každý z nich své výhody a nevýhody, které se mimo jiné vážou i na geografickou polohu. O tom, jaký z nich použít je tedy nutno rozhodnout až po analýze podmínek dané lokality.

2.1 Pěstování ve volné vodě

Tento způsob pěstování se dá použít hlavně pro mořské řasy, z nichž některé konkrétní jsou schopny rapidního růstu. Příkladem takové řasy je *Macrocystis pyrifera*. Rostliny však musí být uchyceny v substrátu. Proto je potřeba je připevnit na konstrukci, mají-li se pěstovat v otevřené vodě, a ne na pobřeží. Při vhodném přístupu k pěstování s ohledem na životní cyklus řasy je možné zvýšit jejich výtěžnost až několikanásobně. Toho se pak dá dosáhnout přesouváním farmy po kabelech na kotvě do různých hloubek v závislosti na denní době a slunečním svitu. Výzkum takového způsobu pěstování prováděli vědci z USC Wrigley Institute, přičemž porovnávali výsledky výnosu řas pěstovaných tímto způsobem s řasami rostoucími přirozeně. Výtěžek z řas kultivovaných “výtahovou metodou” byl až čtyřikrát větší [19].

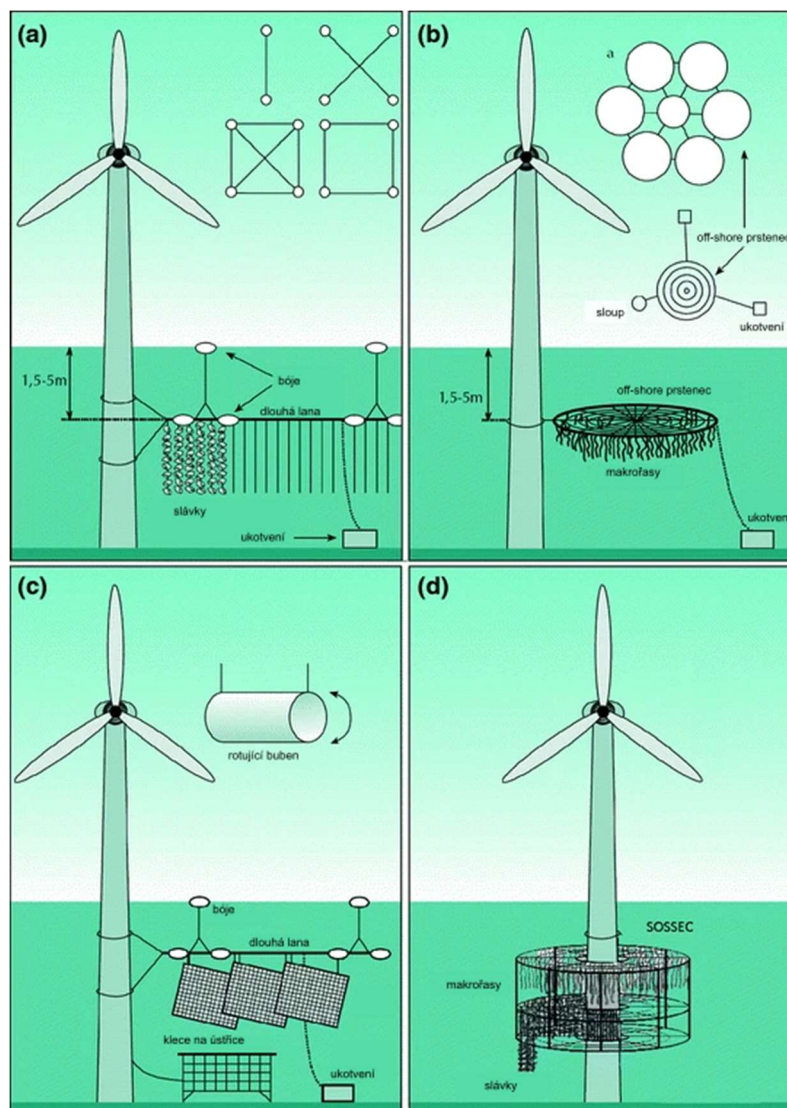


Obr 3. Farma na mořské řasy poblíž vesnice Kia, Šalamounovy ostrovy [22]

V potaz se však musí vzít i druh pěstované řasy a podmínky, ve kterých bude vyrůstat. Druh od druhu totiž záleží na postupech pěstování. Ty se můžou různit.

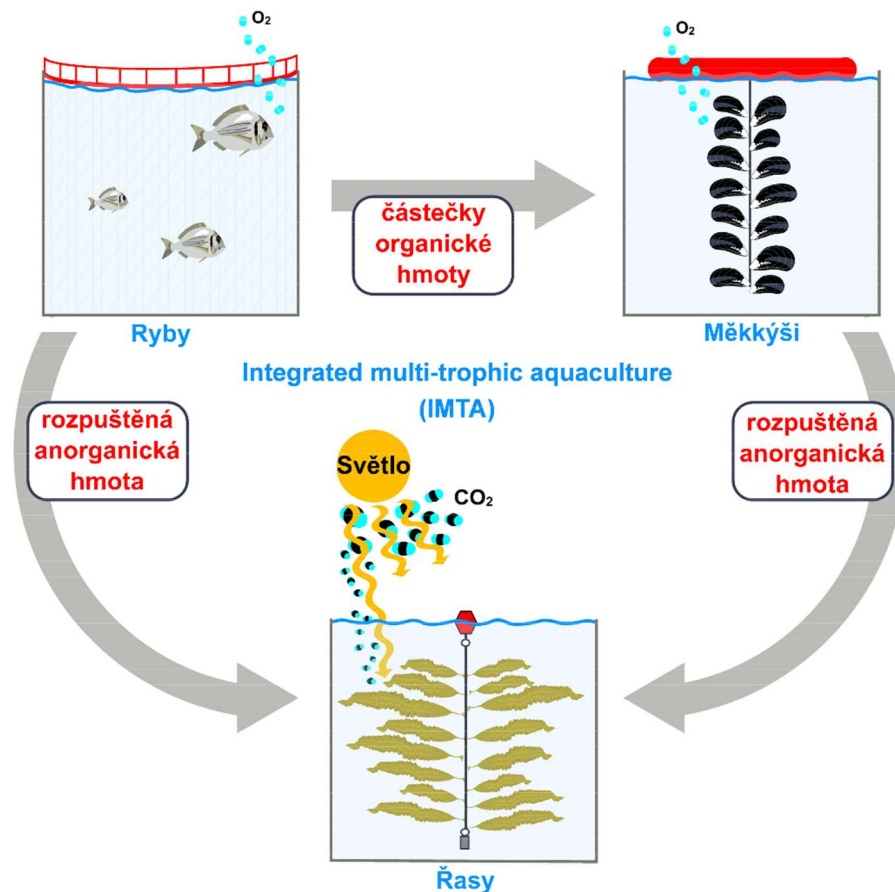
V závislosti na dostupných podmínkách je možné pěstovat makrořasy i ve vnitrozemí. To s sebou nese výhodu větší kontroly nad procesy. Dochází tak k rovnoměrnému přísunu biomasy během roku či ke standardizované kvalitě a složení rostlin.

V neposlední řadě je tu možnost využít již existující podpory v podobě větrných off-shore elektráren. Sloupy větrné elektrárny totiž představují ideální ukotvení pro farmu na makrořasy (Obr 4.). Jeden z projektů zahrnujících spojení akvakultury s výrobou energie má za cíl využít větrné elektrárny v Severním moři na pobřeží Nizozemska [20].



Obr 4. Možnosti instalací akvakultur v rámci off-shore větrných elektráren – (a) Nahoře způsoby uchycení farmy na slávky; dole samotné řešení pěstování mušlí; (b) Nahoře design prstencové konstrukce; dole pěstování makrořas; (c) Možnosti kultivace ústřic, včetně rotujícího bubnu; (d) Systém SOSSEC (Submersible Offshore Shellfish and Seaweed Cage – „ponorná off-shore klec na škeble a mořské řasy“) [21]

Další možností je integrovaný systém pěstování řas v oblastech sádek. Může se jednat o soužití dvou nebo více druhů v rámci jedné farmy (viz Obr 5.). Jedná se o sádky s rybami nebo mušlemi. Ty dodávají řasám tolik potřebné živiny pro růst, které se u kontrolovaných monokultur většinou musí dodávat uměle. Jde tedy o využití vzájemné symbiózy mořské fauny a flory, která bez zásahu člověka v přírodě funguje zcela přirozeně [12].



Obr 5. Integrovaný systém multi-druhové akvakultury [12]

2.2 Pěstování v nádržích

Pěstování v otevřených nádržích připadá především mikrořasám. Nádrž je relativně mělká (cca 30 cm) oválného tvaru se středním předělem. Lopatkové kolo zajišťuje promíchávání vody s pěstovanými řasami, aby docházelo k rovnoměrnému růstu – přístup ke slunečnímu záření, provzdušňování, distribuce živin (Obr 7.) [24].

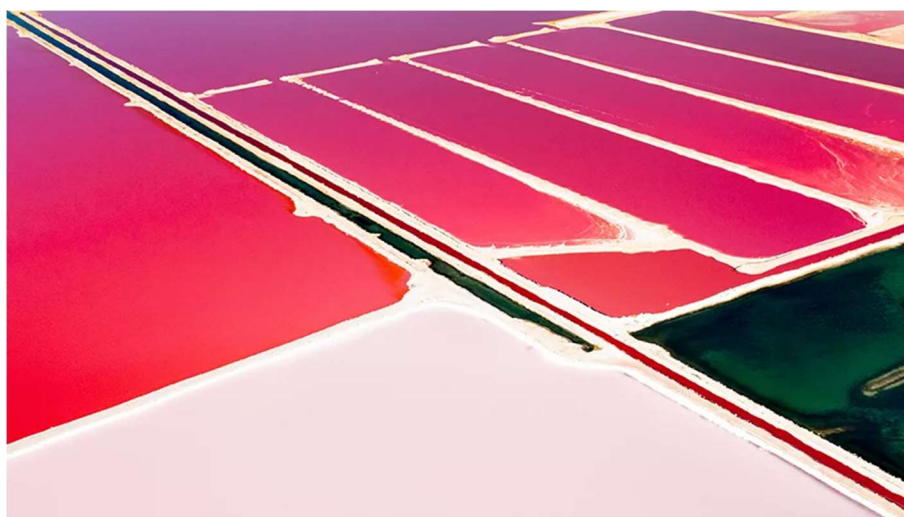
Je pochopitelné, že různé druhy řas mají rozdílné přírůstky. U otevřených jezírek je významným faktorem i lokace a s ní související klimatické podmínky. Díky povrchu vystavenému přírodním vlivům dochází ke značnému ovlivňování teploty v nádrži, což má za následek výkyvy v nárůstu rostlinné hmoty.

K dalšímu ochlazování směsi dochází přirozeným odpařováním na otevřeném povrchu nádrže, které přirozeným způsobem zabraňuje vodě v přehřívání. Přináší to však s sebou problém ztráty vody do ovzduší.

Další nevýhodou při práci s odkrytou hladinou je kontaminace substrátu vnějšími vlivy. To má za následek, že pěstovaný produkt není 100% čistý.

Pro zlepšení výnosů se v určitých místech nádrže vstříkuje dodatečný oxid uhličitý, který řasy spotřebovávají na výrobu vlastní energie a stavbu další buničiny. To představuje možnost recyklovat námi vyprodukovaný skleníkový plyn a přetvořit jej v nová ekologičtější paliva, potraviny či doplňky stravy [23].

Existují však i případy, kde je oxid uhličitý pro růst přítomný pouze v atmosféře a není dodáván uměle. Nedochází ani k mechanickému promíchávání substrátu, čímž se výrazně snižují náklady – jak pořizovací, tak provozní. Všeobecně je tento přirozený způsob vhodný pro druhy rostoucí i v nepříznivých podmínkách. Příkladem takového provozu je farma na slanovodní řasu (*Dunaliella salina*), která je zdrojem karotenoidů. [32] Vyfocena z leteckého pohledu na Obr 6.

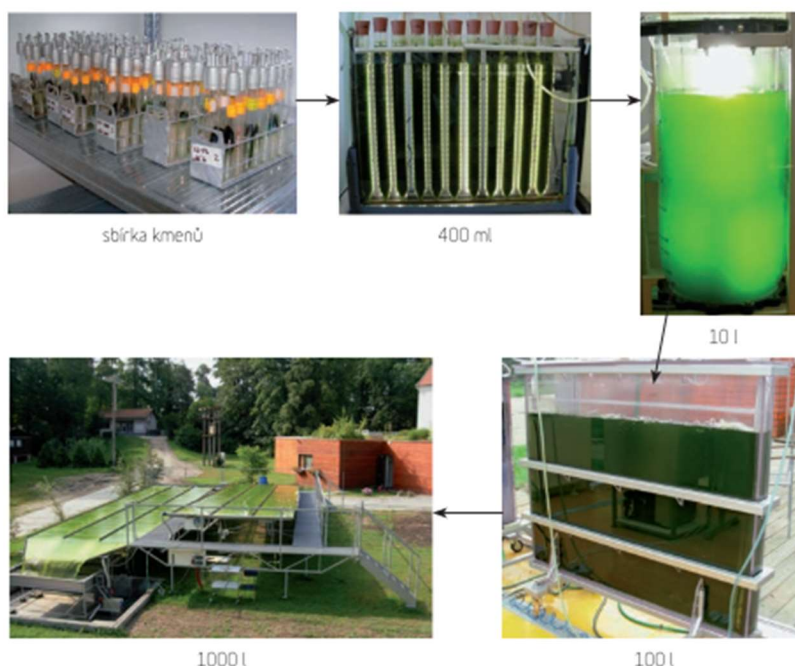


Obr 6. Otevřená jezírka bez mechanizovaného pěstování v Hutt Lagoon, Austrálie [25]



Obr 7. Mechanizované průtočné nádrže společnosti Earthrise Nutritionals, Kalifornie [23] – Největší farma na Spirulinu na světě; doplněk stravy, potravinářské barvivo [26]

Aby se však mohly řasy pěstovat takto ve vnějších podmínkách, musí nejprve dojít k jejich postupnému rozpěstování (Obr 8.). Rozpěstování začíná u malého vzorku požadovaného kmenu. Ten se označuje jako násada či inokulum. Tento vzorek se postupně nechá rozrůst do větších objemů ve foto-bioreaktorech (viz následující kapitola). První stádia probíhají zpravidla pod umělým světlem ve vnitřních prostorech a jejich rozředění je postupné, aby se předešlo světelnému šoku. Ten by totiž mohl mít za důsledek odumření vzorku [14].



Obr 8. Rozpěstování kultury mikrořas – ve směru šipek: sbírka vzorků na agaru, válcové laboratorní foto-bioreaktory, venkovní plošný reaktor, venkovní kaskáda [14]

2.3 Pěstování ve foto-bioreaktorech

Foto-bioreaktor je uzavřený, řízený systém. Řasy se v něm pěstují i pod umělým světlem v laboratorním prostředí budov. Reaktor nám poskytuje možnost dokonale ovládat vnitřní prostředí tak, aby bylo ideální pro růst řas v maximální míře. Jedná se o řízený přísun živin, vody, zajištění správné teploty a světla nebo kontrola žádaného pH. Systém je dále schopen pozorovat hustotu řas v reaktoru a zajišťovat důkladné promíchání substrátu [23].

Typů reaktorů je více. Primárně se dělí na dva typy – trubicové a deskové (Obr 9.). Trubicové reaktory můžeme umístit buď horizontálně nebo vertikálně. Transparentní nádoby reaktoru mohou být vyrobeny ze skla nebo plastu [12].

Vysoké cenové náklady, které jsou spojeny s tímto systémem, jsou vzhledem k jeho funkci samozřejmostí. Je však nutné brát v potaz výhody, které s sebou tento způsob kultivace přináší.

Hustota řas na jednotku objemu vody může být vzhledem k otevřeným jezírkům o dost vyšší. Snižuje se tak tím její spotřeba i následné náklady na sklizeň a další zpracování – to jak finanční, tak i časové.

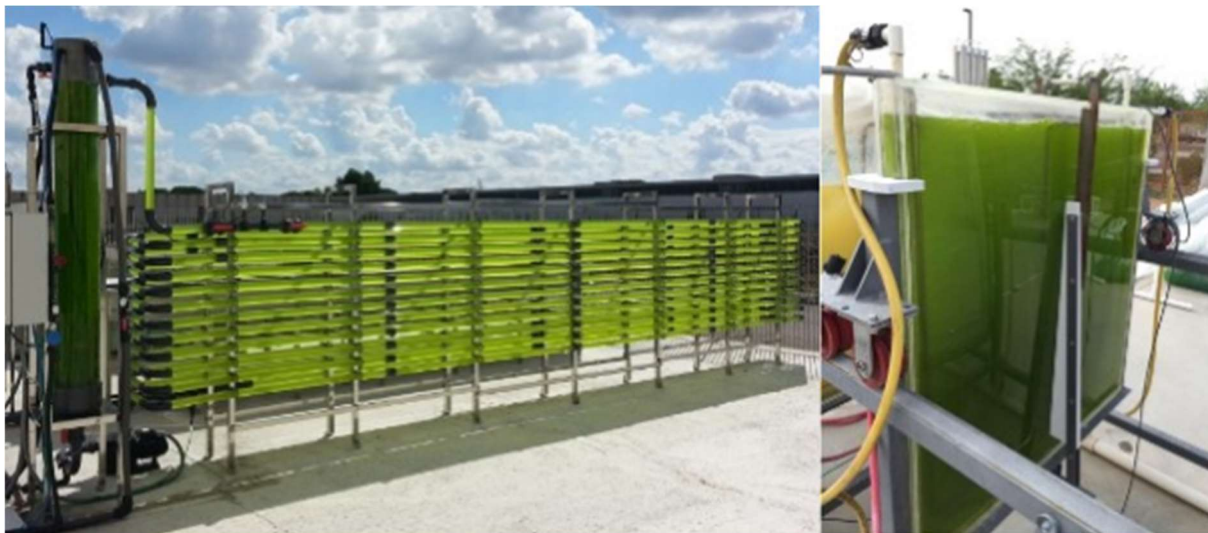
Narozdíl od otevřených nádrží ztráta vody v reaktoru vlivem vypařování nenastává. Vypařování má ale i jiný efekt, jak už bylo popsáno v kapitole výše. Snižuje teplotu vody v nádrži a tím zabraňuje přehřívání systému. U otevřených nádrží to může být jak výhoda, tak i nevýhoda. U uzavřených reaktorů se tím ale můžeme dostat k problému přehřívání, který se potom musí řešit vnějšími prostředky uměle.

Při pěstování v uzavřeném systému nedochází ani ke kontaminaci výpěstků zvenčí [23].

Větší nevýhodou, když se pomínou vysoké pořizovací náklady, je častá údržba. A to zejména čištění reaktoru. Na jeho stěnách totiž dochází k pokrývání biofilmem, který snižuje průnik světla skrze transparentní plochy [28]. Tvorba biofilmu je typická pro řadu mikroorganismů

v různých prostředích. Je však přímo závislá na proudění kapaliny okolo povrchu, na kterém by se mohl film usadit [29]. Foto-bioreaktor je tudíž díky malým rychlostem proudění ideálním místem na tvorbu těchto nánosů [28].

Pěstování v reaktorech je záležitostí především mikrořas. Je však možné pěstovat i větší řasy v prostředí budov pod umělým světlem [27].



Obr 9. Vertikální trubcový [30] a deskový foto-bioreaktor [31]

Tab 4. Porovnání otevřených nádrží a uzavřených foto-bioreaktorů [72]

	Foto-bioreaktor	Nádrž
Roční produkce biomasy (kg)	100 000	100 000
Koncentrace biomasy v kultivačním médiu (kg/m³)	4,00	0,14
Rozloha zařízení (m²)	5681	7828
Výtěžek oleje (m³/ha)		
▪ 70 % _{hm} lipidů	136,9	58,7
▪ 30 % _{hm} lipidů	99,4	42,6
Spotřeba CO₂ (kg/rok)	183 333	183 333
Struktura zařízení	132 paralelních trubek na jednotku	978 m ² na nádrž
	0,6 m v průměru	12 m široká
	80 m dlouhé trubky	82 m dlouhá
		0,30 m hluboká
Počet jednotek	6	8

3 Výroba biopaliv z řas

Řasy jsou velmi všestranným zdrojem energie – jak z pohledu paliv a jejich produkce, tak z pohledu využití v potravinářství, farmacii a dalších odvětvích průmyslu. Nejen že spotřebovávají námi vyprodukovaný oxid uhličitý, ale dají se i zpracovávat různými způsoby a získávat tak rozličné produkty.

3.1 Sběr, sklizeň a separace

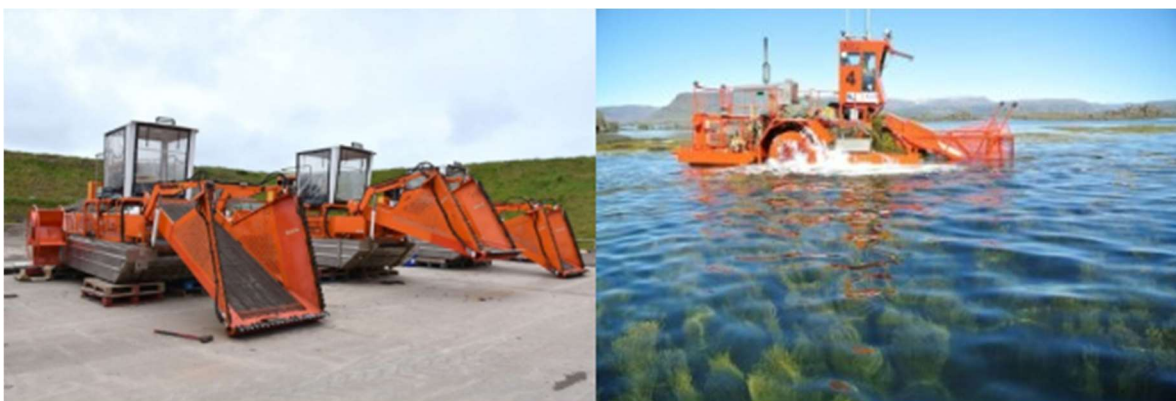
3.1.1 Makrořasy

Manuální sběr

Manuální sběr makrořas byl prvním používaným způsobem, který je do dnešních dob hodně rozšířený. Přístupuje se k němu v oblastech, kde je méně prostoru – menší rybníky a potoky nebo pobřežní oblasti. Způsob ručního sběru je vcelku energeticky i finančně nenáročný. Může s ním být spojené použití ručních řezaček nebo sítí a drátů. Manuální sběr je ale nevhodný pro využití ve velkých objemech [33].

Mechanická sklizeň

Při potřebě většího objemu vodní biomasy se využívá mechanická sklizeň. Ta se uskutečňuje pomocí speciálně vyvinutých řezaček či kombajnů (viz Obr 10.). Ty mají účinněji sklízet jak v pobřežních oblastech, tak v otevřené vodě – tam, kde jsou omezení pro sběr manuální. Pro mechanický sběr se upravují čluny a obojživelná či pozemní vozidla. Ta mohou být vybavena žacím mechanismem, hráběmi pro sběr, pásovým dopravníkem či vakuovými čerpacími systémy, přívěsy, nakládacími jeřáby atd. Mechanický systém sklizeň může být nevhodný v oblastech, kde není pěstována výhradně monokultura řas. Sekačka by mohla sklízet i druhy mimo cílovou skupinu nebo být ohrožením pro různé živočichy. Je tedy ideální ji využívat pro kontrolované farmy s makrořasami [33].



Obr 10. Mechanická sklízecí jednotka [40][41]

3.1.2 Mikrořasy

Sklizeň mikrořas je založena na separaci biomasy od média, ve kterém byla pěstována. Tyto procesy jsou velmi nákladné a mohou dosáhnout až na téměř třetinu celkových nákladů. To kvůli vysoké náročnosti na spotřebu energie a vysokým vstupním kapitálům. Mezi metody

sklizně mikrořas se řadí filtrace, odstředování pomocí centrifugy, vločkování (flokulace) nebo flotace. Pro zvýšení účinnosti je možné procesy separace různě kombinovat. Každá metoda má svoje pro a proti. Výhody a nevýhody se vztahují především k energetické a cenové náročnosti, toxicitě separačního média, udržitelnosti nebo kontaminaci biomasy [35].

Filtrace

Filtrace využívá polopropustnou membránu, která na svém povrchu zachytává mikrořasy a médium propouští dál. Způsob je univerzálním pro různé druhy řas podle nastavení membrány vzhledem k daným požadavkům. Jeho velkou nevýhodou je zanášení a následné ucpávání porů membrány – ta tedy vyžaduje častou výměnu a údržbu. To může mít za následek zvýšení nákladů. Je ale možné využití membrány ze snadno dostupného, levného materiálu, který tuto nevýhodu vyváží [35]. Různé materiály umožňují různou úroveň záchytu. Nejlepší membránu tvoří filtry ze strečové bavlny, které jsou schopny mikrořasy odfiltrovat až z 93 % [36].

Centrifugace

Centrifugace (odstředování) je proces, při kterém dochází k oddělování biomasy řas od pěstícího média. K oddělování se využívá odstředivé síly, hustoty a velikosti jednotlivých částic. Jeho účinnost při záchytu je velmi vysoká, je však časově a energeticky náročný. Využití tohoto způsobu je pro některé aplikace nevhodné. Velké síly působící při odstředování mohou totiž narušit buněčnou stěnu. To vede ke ztrátě některých látek, které potom odchází s pěstícím médiem skrze membránu [35].

Flokulace

Flokulace neboli vločkování je proces oddělování mikrořas od pěstícího média. Řasy při něm vytváří shluky – vločky. K shlukování dochází přidáním činidla, které naruší povrchové napětí buněk. Tato činidla mohou být na chemické, nebo biologické bázi.

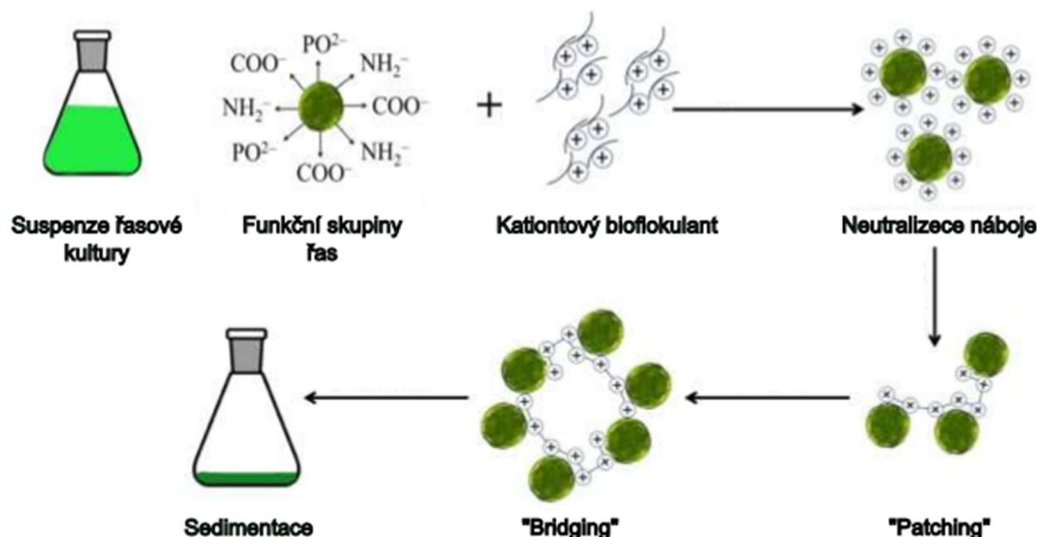
Chemické vločkovače jsou zpravidla soli hliníku či železa (síran hlinitý, chlorid železitý). Jejich účinnost odstraňování biomasy může dosahovat až 95 %. Jejich použití ale zvyšuje cenu výroby. Jsou to totiž látky toxické a nešetrné k životnímu prostředí. Je nutné je následně odstraňovat dodatečnými procesy, aby nezpůsobovaly kontaminaci.

Bioflokulanty jsou na druhou stranu k přírodě šetrné a bezpečné. Není třeba úprava odpadů po flokulaci a pěstící médium se i po použití bioflokulace dá použít znovu. Tím se snižují celkové náklady na výrobu a tento způsob vločkování se tedy stává tím levnějším. Znehodnocují ovšem odseparovanou biomasu. Vločkovače jsou většinou biopolymery. Ty navíc dosahují lepších účinností už při nižších koncentracích narozdíl od chemických flokulantů. Celý průběh bioflokulace je znázorněn na Obr 11.

Další možností je využití elektro-flokulace – cenově výhodný proces bez chemikálií, ale energeticky náročný [35]. Jde o proces využívající elektrolyzy. Kombinuje flokulaci s flotací, což s sebou přináší výhodu kontinuální separace biomasy. Koagulanty vznikající na anodě reagují s buňkami řas v pěstícím médiu a zachytávají je. Plynný vodík, který se generuje na katodě, potom stoupá k hladině a zachytává přitom vločky biomasy.

V horní části reaktoru shromážděná biomasa odchází k dalšímu zpracování (viz Obr 12.). Tento způsob vločkování se používá i při odstraňování znečišťujících látek z vody. Voda použitá při pěstování tak není separačním procesem nijak znehodnocená a může se vrátit zpět do procesu [71].

Po vločkování se biomasa z roztoku odstraňuje použitím filtrace, sedimentace, nebo níže zmíněné flotace [37].



Obr 11. Schéma bioflokulace [38]

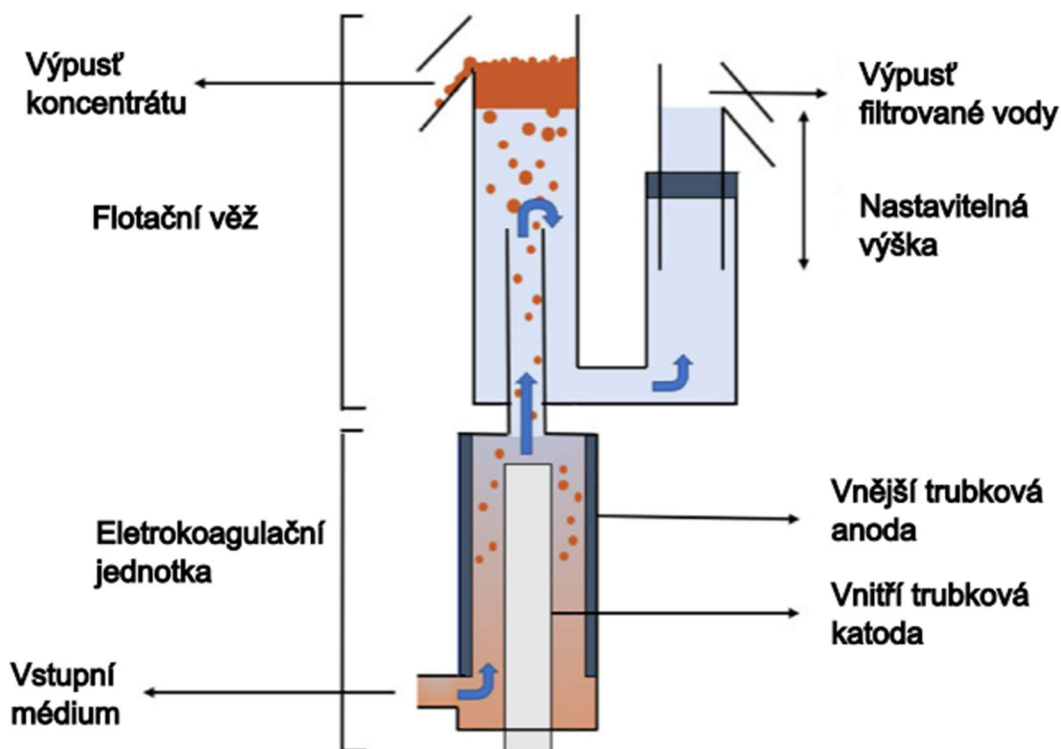
Flotace

Flotace využívá proudění bublin médiem. Bublínky se navážou na mikrořasy a unášejí se směrem k hladině. To zaručuje jednoduchou a levnou sklizeň bez použití chemikálií nebo tvoření zbytečného odpadu. Účinnost tohoto procesu je relativně vysoká. Bublínky se do roztoku dostávají třemi hlavními způsoby.

Prvním z nich je využití natlakovaného vzduchu, kterým se roztok nasatí. Když se poté celý systém přenesení do atmosférického tlaku, začne se rozpuštěný vzduch z média uvolňovat a tvořit bublínky. Tento způsob patří mezi ty více energeticky náročné.

Dalším je energeticky, a tudíž i cenově, nenáročný proces. Bublínky se při něm generují aerací.

Třetím je využití elektrolýzy. Při ní se na elektrodě produkují mikrobublínky, které unášejí buňky řas k hladině. Při použití střídavého proudu dochází k narušení buněčné stěny. Záleží na aplikaci, aby se dalo posoudit, zda je tato skutečnost výhodou, či nikoliv. Při elektrolyzačním způsobu je problémem zanášení elektrod. Ty se proto musí často vyměňovat, což způsobuje zvýšení výrobních nákladů [35].



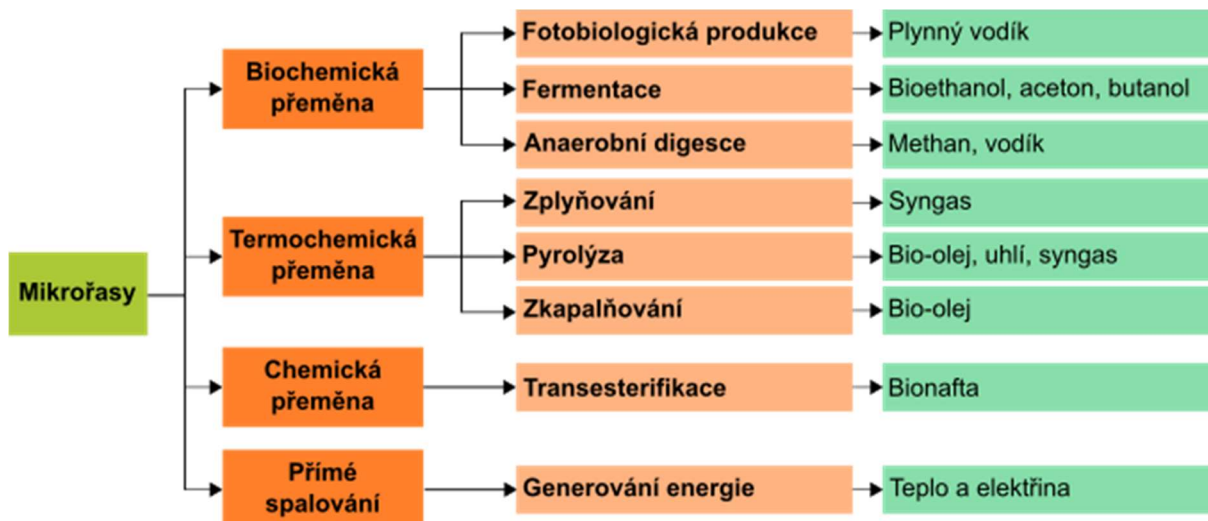
Obr 12. Schéma elektrolyzní koagulační jednotky s flotací [39]

Tab 5. Shrnutí výhod a nevýhod jednotlivých typů separace mikrořas [35]

Způsob separace	Výhody	Nevýhody
Filtrace	<ul style="list-style-type: none"> Využití levných, snadno dostupných materiálů Optimalizace membrány pro dané požadavky 	<ul style="list-style-type: none"> Zanášení, nutná častá výměna/čištění membrány
Centrifugace	<ul style="list-style-type: none"> Vysoká účinnost zachytu 	<ul style="list-style-type: none"> Časově a energeticky náročné Narušení buněk, ztráta látek v médiu
Chemická flokulace	<ul style="list-style-type: none"> Vysoká účinnost zachytu 	<ul style="list-style-type: none"> Zvýšení ceny procesu kvůli toxicitě flokulantů
Biologická flokulace	<ul style="list-style-type: none"> Šetrnost flokulantů Recyklace pesticího média 	<ul style="list-style-type: none"> Znehodnocení biomasy
Elektro-flokulace	<ul style="list-style-type: none"> Bez chemikálií 	<ul style="list-style-type: none"> Energetická náročnost
Tlaková flotace	<ul style="list-style-type: none"> Bez chemikálií 	<ul style="list-style-type: none"> Energetická náročnost
Aerace	<ul style="list-style-type: none"> Bez chemikálií Recyklace média Nízká energetická náročnost 	<ul style="list-style-type: none"> -
Elektrolytická flotace	<ul style="list-style-type: none"> Bez chemikálií Nízká energetická náročnost Kontinuální systémy 	<ul style="list-style-type: none"> Vysoké vstupní a procesní náklady

3.2 Biopaliva a způsoby jejich výroby

Způsobů výroby biopaliv z řas je hned několik. Všechny procesy jsou založeny na procesech chemické přeměny za různých podmínek a mohou se dělit na tři hlavní skupiny podle primárních hybatelů reakcí – biochemické, termochemické, chemické (shrnutí viz Obr 13. a Obr 14.).



Obr 13. Shrnutí způsobů zpracování mikrořas na biopaliva [54]



Obr 14. Shrnutí způsobů zpracování makrořas na biopaliva [55]

3.2.1 Bioethanol a bioplyn

Následující procesy se řadí mezi tzv. biochemické procesy. To jsou takové, které potřebují ke svému průběhu nějaký živý organismus. Jsou jimi zpravidla mikroorganismy, které vytváří požadovaný produkt jako odpadní látku při svých metabolických procesech. Tyto procesy jsou důležité pro správné fungování jejich životních funkcí, probíhají proto zcela přirozeně. Dají se však různými způsoby katalyzovat a znásobit tak výtěžnost daných látek nebo rychlost reakce, jak bude popsáno v následujících kapitolách.

Anaerobní fermentace

Anaerobní fermentace (nebo také kvašení bez nutnosti přístupu kyslíku) je proces rozkladu cukrů nebo organických kyselin (popř. dalších chemických látek), při kterém se uvolňuje

energie, plyny (CO₂) a konečné produkty kvašení. Vznikat může ethanol nebo laktát, dále také oxid uhličitý nebo i vodík. Jako katalyzátory reakcí slouží enzymy – ty poskytují příslušné bakterie či kvasinky.

Druh bakterií a kvasinek potom záleží na typu kvašení. Každý druh potřebuje k životu jiný vstupní „reaktant“, který následně chemickými a biologickými procesy přemění na daný výstupní produkt.

Mezi nejběžnější typy anaerobní fermentace patří alkoholové a mléčné kvašení.

Alkoholové kvašení patří z hlediska výroby biopaliv mezi ty nejdůležitější. Fermentaci řídí kvasinky, které způsobují přeměnu jednoduchých cukrů na ethanol a oxid uhličitý [42].

U mikrořas se v prvním kroku fermentace přeměňuje sacharóza na fruktózu a glukózu. Tyto sloučeniny jsou následně – jak už bylo výše zmíněno – přeměněny na bioethanol a CO₂. Vše pomocí biokatalyzátoru v podobě kvasinek [43].

Anaerobní digesce

Při anaerobní digesci, která funguje na podobném principu jako fermentace, rozkladem organického materiálu vzniká bioplyn. Jedná se o proces se čtyřmi stádii, ke kterému jsou potřeba čtyři různé mikroorganismy. Digesce musí být kontrolovaná a přísně řízená, aby nedošlo k jejímu narušení a zkažení várky [44].

Bioethanol

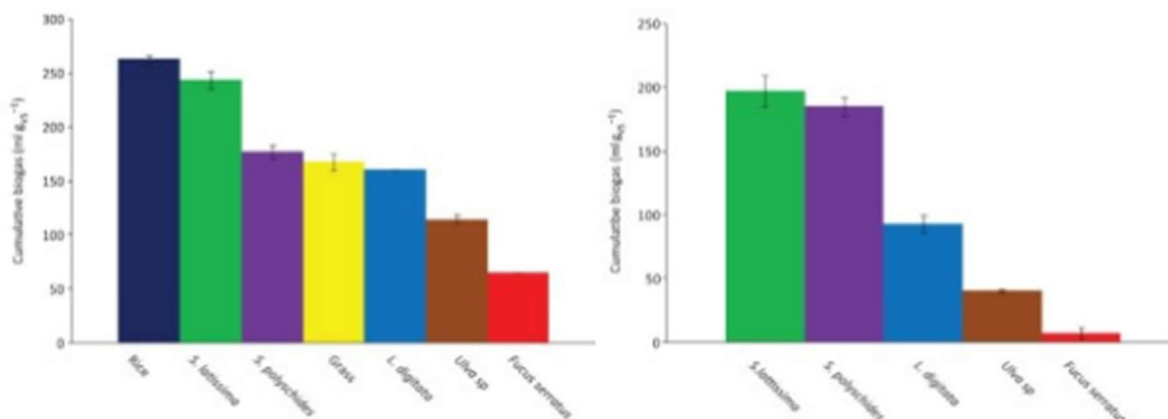
Výroba bioethanolu s sebou nese hned několik výhod. Patří mezi ně především možnost jeho přimíchávání do pohonných hmot. Snižuje se tím tak znečišťování atmosféry a náklady na produkci. U řas se pak dá jeho výtěžek navyšovat správnými podmínkami kultivace či postupem při fermentaci. [69]

Tab 6. Výtěžek bioethanolu z vybraných zdrojů [70]

Zdroj	Výtěžek ethanolu (l/ha)
Kukuřičné stonky	1 050–1 400
Pšenice	2 590
Maniok jedlý	3 310
Čirok dvoubarevný – cukrový	3 050–4 070
Kukuřice	3 460–4 020
Cukrová řepa	5 010–6 680
Proso prutnaté	10 760
Mikrořasy	46 760–140 290

Bioplyn

Bioplyn, jak už bylo zmíněno výše, vzniká anaerobní digestí pomocí mikroorganismů bez přístupu kyslíku. Obsahuje zhruba 60 % CH₄, 35 % CO₂ a zbylých pět procent tvoří – H₂, N₂, CO a těkavé aminy. Je vhodný pro využití v oblastech bez plynových přípojek jako zdroj tepla a energie, nejen pro energetické účely ale třeba i na vaření [8].



Graf 2. Výtěžek bioplynu, reaktor 120 ml (vlevo při 35 °C, vpravo při 20 °C) [68]

Tab 7. Vysvětlivky k Graf 2.

Původní pojmy	České pojmy
Cumulative biogas	Kumulativní objem bioplynu
VS – volatile solids	Těkavé pevné látky
➤ ml/gvs	➤ mililitr na gram těkavých pevných látek
Rice	Rýže
Saccharina latissima	Čepelatka cukrová
Soccorhiza polyschides	-
Grass	Traviny
Laminaria digitata	Čepelatka prstnatá
Ulva sp.	Porost locikový
Fucus seratus	Chaluha pilovitá

3.2.2 Biovodík

Fotobiologická produkce

Stejně jako u anaerobní fermentace a digestce se jedná o biochemický proces. Fotobiologická produkce je proces látkové přeměny chemickými a biologickými procesy, který využívá sluneční energii. Z hlediska energetiky a využitelných paliv se tedy jedná především o cukry, které se následně dalšími procesy přeměňují na palivo, a to vodík.

Některé druhy řas a sinic totiž po krátký čas „fotoprodukují“ vodík jakožto odpadní látku, aby se zbavily přebytečné energie. U těchto druhů se dá určitými opatřeními zajistit, aby místo běžné fotosyntézy produkovaly právě vodík. Toho se dá dosáhnout ochuzením vody o živiny, které vede k oslabení citlivosti receptoru na přítomnost kyslíku [45]. Řasy a sinice

totož při tomto procesu používají sluneční záření ke štěpení vody na ionty kyslíku a vodíku. Ionty vodíku se spojí a vytváří tak plynné molekuly H_2 .

Některé fotosyntetizující organismy mohou tento proces využívat k rozkládání organické hmoty – „fotofermentace“ – také za vzniku vodíku.

Využití tohoto způsobu produkce vodíku není zatím v takovém stadiu výzkumu, aby se mohlo aplikovat ve větším měřítku. Je to však cesta k získávání paliva šetrného k ekosystému, a to pouze za pomoci slunečního záření [46].

Navýšení účinnosti tohoto procesu se dá dosáhnout více způsoby, ať už je to genetická úprava produkujícího organismu nebo desorpce kyslíku rozpuštěného ve vodě.

Hlavním představitelem využívajícím tento způsob rozkladu vody je pláštěnka *Chlamydomonas reinhardtii* (Obr 15.) [47].



Obr 15. *Chlamydomonas reinhardtii* [57][58]

Biovodík

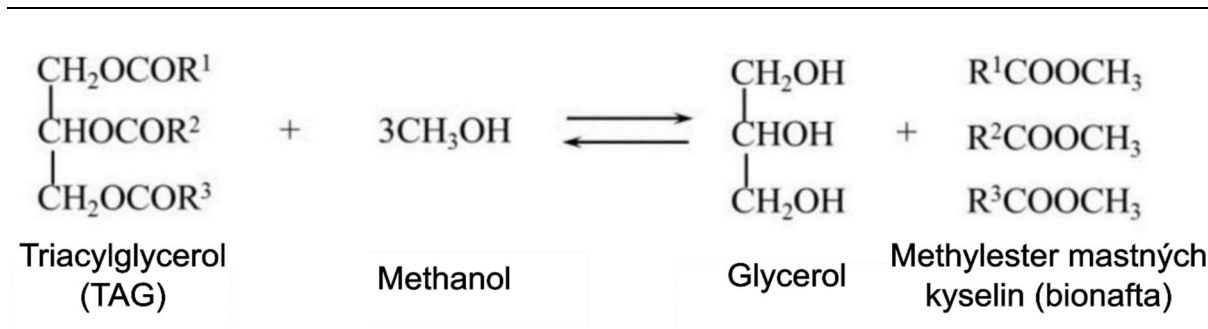
Vodík je neznečišťující zdroj velkého množství energie (s výhřevností cca 2,75-krát větší než paliva na bázi uhlíku, výhřevnosti viz Tab 9.). Jediným produktem jeho hoření ve voda [73].

Biovodík se dá použít jako zdroj energie do palivových článků. Díky jejich účinnosti a šetrnosti vůči prostředí se může vodík stát vhodnou alternativou pro neobnovitelné zdroje [33]. Dále také jako raketové palivo či jako surovina v chemickém průmyslu.

Dalšími způsoby výroby vodíku z řas mohou být dva typy fermentace bez přístupu světla a kyslíku – suchá fermentace (vznik kyseliny máselné, CO_2 a vodíku) nebo mokrá fermentace (vznik kyseliny octové, CO_2 a vodíku). Pro tyto fermentace je vhodná například již zmíněná *Chlamydomonas reinhardtii*. Dále lze využít fotofermentaci bez přístupu kyslíku. Ta může využívat kyselinu octovou vzniklou při výše zmíněném procesu a přeměnit ji pomocí sluneční energie na vodík a oxid uhličitý. [73]

3.2.3 Bionafta a bio-olej

Při chemickém procesu *transesterifikace* dochází k reakci oleje v řase a methanolu za vzniku glycerolu a methylesterů – bionafty (viz Obr 16.). Aby ale reakce mohla nastat je nutné oleje z řasy nejprve extrahovat. Toho je možné docílit hned několika způsoby [43].



Obr 16. Transesterifikace [56]

Metody extrakce

Extrakce pomocí rozpouštědel

Velká řada metod zahrnuje použití různých chemických rozpouštědel jako je především chloroform. Takováto extrakce má sice vysokou účinnost, ve velkém měřítku má ale nežádoucí zdravotní a enviromentální dopady. Jako méně toxické rozpouštědlo se dá použít ethanol, butanol, hexan nebo estery kyseliny octové atd. Záleží ovšem na třídě lipidu, který je potřeba extrahovat. Každé rozpouštědlo má svá pro a proti. Výzkumy co nejšetrnějších a nejúčinnějších způsobů probíhají po celém světě [52].

Metoda *in situ*

Hydrolyza lipidů a transesterifikace *in situ* („v místě“ [51]) je metoda pro využití u vlhké biomasy. Ta je zpracována na extrakci lipidů s následnou transesterifikací na bionaftu. Díky tomu je to ideální metoda pro použití v energetickém průmyslu pro výrobu biopaliv z řas. Metoda probíhá ve speciálním reaktoru za zvýšené teploty v několika fázích. Řasy se současně suší a dehydratují, tím se vlhká biomasa přeměňuje na pevnou látku. Po ochlazení se oddělí pevná fáze od kapalné v mírném vakuu pomocí filtrace. Ve výzkumu se musel poté provést podrobnější pokus pro určení teplot, dob setrvání a množství ethanolu vstupujícího do reakce. Jsou však stále prováděny výzkumy a testy pro ověření proveditelnosti této metody ve větším měřítku [52].

Extrakce pomocí enzymů

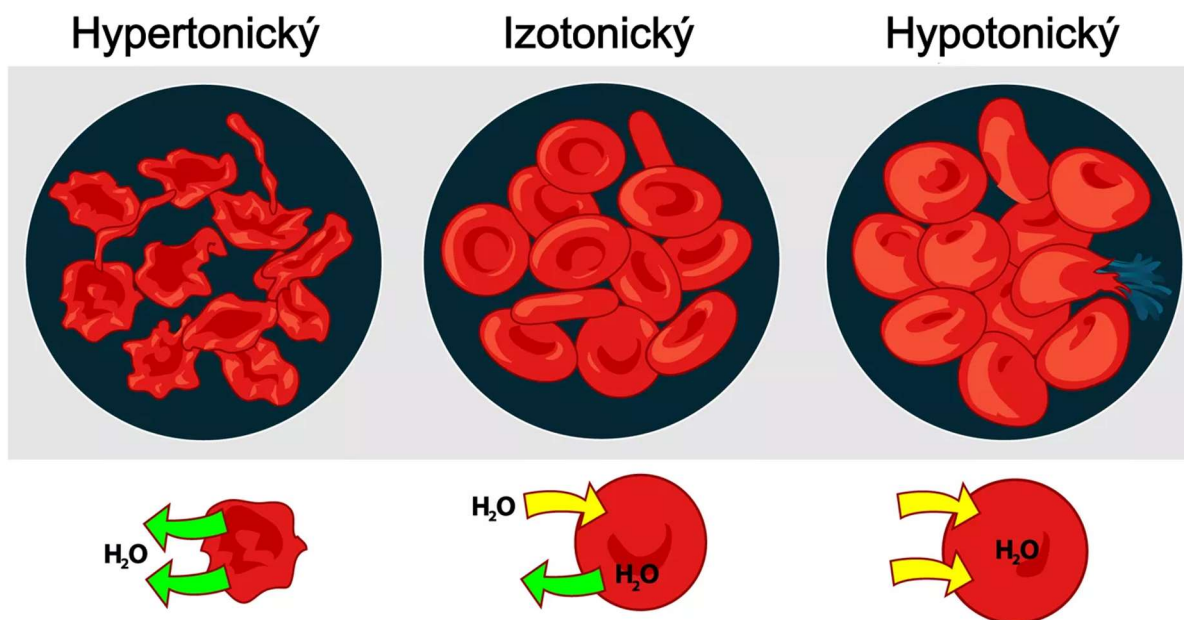
Možné je i využití enzymů, jako je např. trypsin. Enzymy pomáhají rozkládat tuhou buněčnou stěnu. Je to metoda velmi účinná. Závisí však na složení lipidů a druhu mikrořas a je potřeba je udržovat na požadované teplotě. Na rozdíl od mechanických způsobů extrakce (viz níže) není tak náročný na vstupní energii. Proto je velice výhodný i přes vysoké vstupní náklady [52].

Extrakce vlivem osmotického tlaku

Další způsob, který se jeví jako velmi dobrý především v rámci extrakce lipidů z mikrořas, je využití osmotického tlaku. Osmotický tlak je tlak vyvíjený roztokem na semipermeabilní (polopropustnou) membránu. U difuze se pohybují molekuly látky tak, aby vyvážily koncentraci v každém bodě. U osmózy však přes membránu proudí k vyvážení koncentrací

voda. A to proto, že látky v ní rozpuštěné mohou být příliš velké, aby prošly membránou. Proudící voda snižuje koncentraci v místě, do kterého putuje. Rozlišují se tři stavy roztoků: hypertonický, izotonický a hypotonický. U izotonického roztoku jsou koncentrace vně i uvnitř sledované buňky stejné. U hypertonického je koncentrace vně větší a u hypotonického je tomu naopak [59].

Mělo by jít o způsob extrakce velmi účinný a jednoduchý. Pracuje tedy na principu různých koncentrací solí uvnitř a vně buňky. Při vyšší koncentraci soli uvnitř buňky (hypotonický) se vlivem osmotického jevu snaží voda v okolí dostat přes buněčnou stěnu a ta tím zvětšuje svůj objem. Pokud je tomu opačně a větší koncentrace je vně řasy, buňka se zmenšuje (hypertonický). V obou případech dochází k osmotickému stresu. Pokud je stres příliš vysoký a nápor osmotických sil na stěnu buňky příliš velký, dojde k jejímu kolapsu – prasknutí [52]. Osmotické jevy jsou vykresleny na příkladu červených krvinek na Obr 17.



Obr 17. Vliv osmotického tlaku na červené krvinky [59]

Extrakce mechanickým narušením

Lisování (jedna z nejstarších metod) se řadí mezi jednoduché způsoby extrakce. Využívá se při něm vysokého, mechanicky vyvolaného tlaku k rozbití buněčné stěny a následnému vytlačení oleje. Tlak ale nesmí překročit určitou maximální mez, při které dochází k znehodnocení lipidů a tvorbě nežádoucího tepla. To opět záleží na typu dané biomasy.

Extrakce lisováním je však energeticky náročná. Především kvůli vysokým nárokům na nízký obsah vlhkosti biomasy. Je tedy vyžadováno sušení řasové biomasy, to potom může tvořit až třetinu celkových nákladů na extrakci. Další nevýhodou je tuhá buněčná stěna. To se ale dá překonat např. pomocí ultrazvuku (viz následující kapitola), ten o něco zvýší procesní náklady. V neposlední řadě je přítomnost pigmentů v oleji. Ty se musí odstranit adsorbci (aktivní uhlí) nebo rozpouštědlem – opětovné navýšení ceny. Proto je extrakce lisováním velmi drahá a časově náročná.

Další možnou mechanickou metodou, která nevyžaduje vysoušení biomasy, ani jiné odstraňování vody z pěstíčního média, je homogenizace pomocí kuliček. Ty mají optimální průměr asi 0,5 mm a jsou vyrobené z oxidu zirkoničitého nebo karbidu titanu – je ale podmínkou zvolit správné parametry kuliček pro daný typ řasy. Tyto materiály se vyznačují svojí tvrdostí, která napomáhá zvýšit účinnost procesu. Velkou výhodou této metody je, že se kuličky mohou vsypat přímo do kultivační nádoby. Ta však musí být opatřena chladícím pláštěm kvůli odvodu tepla vzniklého třením. Nádoby jsou totiž s kuličkami protřepávány na vibrační plošině. Vibrační metoda je vhodná především pro laboratorní podmínky, kdy je potřeba vzorek s dokonalým promísením. Druhou možností je umístit kuličky a biomasu do nádoby s míchátkem. Dochází ke kombinaci míchání, mletí a kolizí – zajištění efektivního procesu poškození buněčných stěn řas [52].

Ultrazvuková a mikrovlnná extrakce

Narušení buněčné stěny mikrořas pomocí ultrazvuku. Při průchodu zvukové vlny médii dochází k periodickému střídání vysokého a nízkého tlaku. Při nízkém tlaku se v kapalném médiu tvoří malé vakuové bublinky. Ty při vysokém tlaku implodují. Dochází tedy k akustické kavitaci. Při zaniknutí bublinky dojde k lokálnímu nárůstu tlaku. Ten má za následek lokální nárůst rychlosti kapaliny. Buněčná stěna mikrořasy nápor síly nevydrží a praskne. Využití ultrazvuku se však používá více při snižování populací škodlivých mikroorganismů [50].

Tato metoda může být využita jako příprava k lisování oleje za studena. Narušení buňky má za následek větší účinnost procesu [49].

Při extrakci pomocí mikrovln dochází k ohřívání vzorku a tvorbě vodních par uvnitř buňky. To má za následek tvorbu mikrotrhlin v její stěně. Tento způsob nevyžaduje vysoušení biomasy.

Využití této metody je prozatím nejjednodušší, nejúčinnější a nejkvalitnější způsob extrakce. Díky své účinnosti, časové náročnosti a nákladům spojeným s provozem se očekává, že se od něj v dohledné době nebude upouštět. Jedinou nevýhodou jsou náklady na údržbu [52].

Paliva

Bio-olej

Bio-olej se dá z řas získat různými způsoby (viz kapitoly výše). V jeho složení se nachází téměř sto chemických sloučenin, jako jsou fenoly a furfuraly, které vznikají rozkladem celulózy v řasách [43]. Olej můžeme z řas (kromě výše zmíněných procesů) získat i pyrolýzou.

Pyrolýza je termochemický proces v anaerobním prostředí. U řas probíhá za normálního tlaku mezi teplotami 350–700 °C. Produkty jsou bio olej, pevné zbytky s vysokým obsahem uhlíku (uhlí – „biochar“) a bioplyn s nekondenzujícími složkami (lehké uhlovodíky, CO, CO₂, H₂). U Spiruliny nastává největší výtěžek z rychlé pyrolýzy při 550 °C [43].

U pomalé pyrolýzy se vstupní reaktant zahřívá na zhruba 500 °C rychlostí navyšování o 5 až 7 °C za minutu. Při pomalé pyrolýze je výtěžek oleje spíše menší, převládá tuhý produkt.

Výtěžek oleje se dá navýšit rychlou pyrolýzou. U rychlé se pohybuje navyšování teploty okolo 500–1000 °C za minutu. Na rozdíl od pomalé pyrolýzy musí navážka obsahovat jemnější frakci v rádech milimetrů [53].

Bionafta

Bionafta je biopalivo složené z methyl esterů vzniklých transesterifikací z organických olejů. U reakce je přítomen katalyzátor (např. ve formě hydroxidu draselného – KOH).

Díky výrobě z biomasy nepřispívá bionafta nepříznivým vlivem CO₂. Emise z bionafty jsou celkově nižší než z běžné nafty (např. saze, síra, polycyklické aromatické uhlovodíky aj.), je i méně toxická a biologicky odbouratelná. Díky své větší viskozitě má bionafta lepší mazací schopnosti a zvyšuje tak životnost motoru.

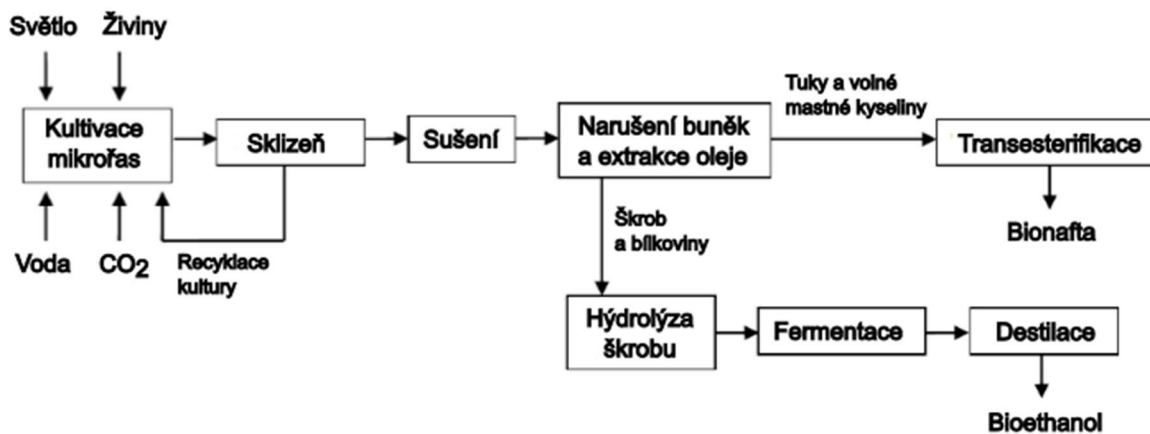
Má ovšem i své nevýhody. Těmi je zvýšená přítomnost emisí NO_x – zvýšené kompresní poměry u motorů na bionaftu. Mírně snižuje výkonnost motoru (okolo 2 % celkově). V současné době je i většina jeho produkce soustředěna do zdrojů pro biopaliva první generace. Z toho vyvstává problém konkurence energetického a potravinářského průmyslu. Zájem o něj však pořád roste a sahá se proto po jiných zdrojích pro jeho produkci [61].

Pro větší využití řasové biomasy se dá využít integrované výroby bionafty a bioethanolu (viz Obr 18.). Po extrakci lipidů pro transesterifikace se tak využijí i proteiny a sacharidy na fermentaci [48].

Tab 8. Obsah lipidů, potřeba půdy a výtěžek bionafty pro vybrané druhy rostlin [56]

Rostlina	Obsah lipidů (%)	Výtěžek lipidů (l/ha · rok)	Využití půdy (m ² · rok/kg _{bionafta})	Výtěžek bionafty (kg/ha · rok)
Kukuřice	44	172	66	152
Konopí	33	363	31	321
Sója	18	636	18	562
Dávivec	28	741	15	656
Lnička	42	915	12	809
Řepka	41	974	12	862
Slunečnice	40	1 070	11	946
Skočec	48	1 307	9	1 156
Palma	36	5 366	2	4 747
Mikrořasy I.*	30	58 700	0,2	51 927
Mikrořasy II.*	50	97 800	0,1	86 515
Mikrořasy III.*	70	126 900	0,1	121 104

*I. – s nízkým obsahem tuků; II. – se středním obsahem tuků, III. – s vysokým obsahem tuků

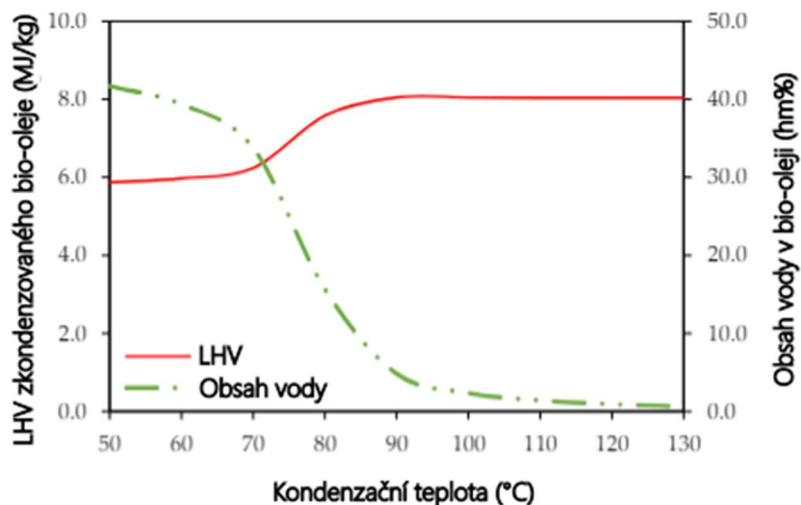


Obr 18. Integrovaný proces výroby bionafty a bioethanolu z řas [48]

Tab 9. Výhřevnosti vybraných paliv

Palivo	Výhřevnost (MJ/kg _{dry}) (LHV – „lower heating value“)	Zdroj
Biomasa (<i>Chlorella</i>)	23,52	[60]
Bionafta ze sojových bobů	37	[61]
Bionafta z řas	41	[61]
Nafta	42,5	[62]
Bio-olej	≈6-8 (Graf 3)	[64]
Vodík	120,21	[63]
Bioethanol	26,4	[66]
Ethanol	27,0	[65]
Bioplyn (Řasy)	19,7-25,1 MJ/m ³ (≈54-70 % CH ₄)	[67] ([68])

*Pokud není uvedeno jinak, není palivo vyrobeno z řas.



Graf 3. Závislost výhřevnosti (LHV) a obsahu vody v bio-oleji na kondenzační teplotě [64]

3.3 Další produkty

Řasy se využívají v mnoha odvětvích průmyslu – jako hnojivo a krmivo pro hospodářské účely, součást kosmetiky a výživových doplňků v rámci farmacie nebo v úpravách vody a energetickém průmyslu [74]. Jsou zde ovšem i další zajímavé aplikace, které se těší nově objevenému zájmu.

Gely

Jedním z důležitých produktů je také agar. Gel působící např. jako zahušťovadlo do krémů. Především je ale důležitým produktem z vědeckého pohledu. A to jako substrát pro mikrobiální a jiné kultury. (viz např. kapitola 2.2 Obr 8. – inokulum). Jemu příbuzný je i karagenan. Oba se získávají z červených mořských makrořas [75].

Bioplasty

Dalším odvětvím, které by mohlo v rámci kultivace řas nabývat na významu, je produkce bioplastů ze škrobu. Klade se čím dál větší důraz na snížení spotřeby fosilních zdrojů a s nimi souvisejícího znečištění ekosystému skleníkovými plyny a toxickými látkami. Proto se vyvíjí nové způsoby produkce plastů, které v běžném životě hrají obrovskou roli. Kultivace, zpracování a následná předúprava řas je však stále velmi drahou záležitostí. Z tohoto důvodu je využití takového zdroje pro bioplasty zatím v komerčním měřítku stále nerealizovatelné [75].

SeaCell

V neposlední řadě je produkce přírodních tkanin. Německá firma SMARTFIBER AG přišla s inovativním typem vláken – SeaCell. Ta jsou vyrobena z dřevní celulózy a řas z udržitelných zdrojů. Při jejich produkci se do okolí neuvolňují žádné nežádoucí chemikálie. Jsou navíc 100% biodegradabilní a šetrné [76].

ZÁVĚR

Tato práce se zaměřovala na shrnutí současných poznatků v rámci kultivace řas a následné produkce biopaliv. Z provedené rešerše lze usuzovat, že tato oblast výzkumu bude mít v budoucnu tendenci se vyvíjet. Řasy totiž poskytují velký prostor pro využití v energetickém sektoru hlavně z hlediska uhlíkové neutrality a malých nároků na prostor. Jejich hlavní výhodou je, že při svém růstu potřebují právě oxid uhličitý, stejně jako ostatní zástupci zemské flory. Spotřebovávají ho ve velkém množství a tím napomáhají jeho odstraňování z ovzduší. Nezabírají tolik prostoru při kultivaci jako jiné energetické plodiny. Jejich následné sklizení a separace jsou však procesy velmi energeticky náročné. Se zlepšujícími se technologiemi by ale mohly být zdrojem pro biopaliva, konkurujícím běžným energetickým plodinám.

Procesy výroby biopaliv se také odvíjí od konkrétního výsledného produktu. I zde je ovšem prostor pro výběr vhodného způsobu podle dostupných prostředků.

Vhodné kultivační metody se mohou lišit podle lokality. Otevřené systémy nádrží jsou vhodnější do oblastí s menšími výkyvy počasí, aby se dosáhlo co největších výtěžků. Ale usí se brát ohled na následné zpracování biomasy. Protože tento způsob není vhodný tam, kde se vyžaduje, aby biomasa nebyla ničím kontaminovaná. Uzavřené systémy na druhou stranu splňují podmínku sterility i kontrolované teploty. Jsou ale mnohonásobně dražší – jak investičně, tak provozně. Je tedy na daném pěstiteli, aby se rozhodnul, zda je pro něj větší nevýhoda cenová náročnost nebo slabá kontrola nad stavem systému.

Zásadním faktorem může být i přístup k mořské vodě v rámci pěstování makrořas. Podle *Frontiers in Marine Science* (jak bylo zmíněno v kapitole 1.2) jsou největšími producenty makrořas v Evropě následující státy: Francie, Irsko, Norsko, Španělsko. Všechny zmíněné mají dlouhé linie pobřeží, které mohou využít pro kultivaci.

Dalším důležitým aspektem je energetická a finanční náročnost procesu. Především separace biomasy od pěstícího média. Je potřeba se rozhodnout, zda pro odstranění velkého množství vody zvolit čistší (ale dražší) způsob elektrokoagulace, nebo se spokojit s jinými méně účinnými, či znečišťujícími technologiemi.

Většina producentů řas se tedy zaměřuje na oblasti uplatnění, které jsou pro ně výhodnější. Hodně firem bohužel od výroby paliv z řas odstupuje kvůli vysokým nákladům na výrobu. Pohonné hmoty a energie z nich produkované by byly výrazně dražší než konvenční zdroje. Energetický sektor ale není jediný, kde se provádí výzkum na využití řasové biomasy. Daleko častěji se setkáváme s produkty z řas ve farmaceutickém a potravinářském průmyslu. V těchto oblastech se řasy běžně zpracovávají už delší dobu na doplňky stravy nebo barviva. Nové možnosti počítají s jejich aplikací v dalších masově využívaných oblastech. Podílely by se zejména na výrobě biodegradabilních bioplastů nebo nových typů textilií.

Z tohoto vyplývá, že jsou řasy velmi univerzálním a atraktivním přírodním zdrojem, který by byl schopný nahradit velkou část produktů vyráběných z neobnovitelných nebo neekologických zdrojů jejich šetrnějšími variantami. Díky všestrannému využití a velkému potenciálu řas lze očekávat, že budou i nadále předmětem zkoumání vědeckých týmů po celém světě, které se budou snažit najít nové způsoby jejich upotřebení. Největší zájem by mohl vyvolat energetický sektor, kde jsou už v současnosti snahy o zlepšení procesu výroby biopaliv po stránce energetické i finanční. Docílilo by se tím získání zdroje pro pohonné hmoty, který bude šetrný k životnímu prostředí. Pokud by vědecká činnost dala vzniknout procesu

s minimální energetickou náročností a přijatelnou finanční dostupností, který by byl navíc šetrný k životnímu prostředí, mohly by řasy zcela nahradit fosilní zdroje paliv.

Pro podmínky v České republice by z hlediska klimatu byly pravděpodobně vhodnější uzavřené systémy kultivace mikrořas, které poskytují lepší kontrolu teploty média, a tudíž i větší nárůst hmoty. To bez přihlédnutí k finanční náročnosti projektu. V zimním období by se musel klást zvýšený důraz na opatrnost z hlediska možného zamrzání média, které by svým rozpínáním mohlo narušit integritu soustavy a způsobit tak škody a s nimi spojené přídavné finanční náklady.

Nejlepší technologií pro separaci biomasy by mohla být elektrokoagulační jednotka vyvinutá vědci AV ČR. Má sice vyšší investiční a provozní náklady, zvyšuje však účinnost separace a nijak nekontaminuje biomasu ani médium – vodu lze tedy dále využít v kultivačním procesu. Umožňuje kontinuální provoz a snižuje tak časovou náročnost.

Pro samotnou výrobu biopaliv by bylo ideální zvolit takovou metodu, kde bude zpracování biomasy co možná největší, aby se využil její potenciál. Proto se nabízí proces integrované výroby bionafty a bioethanolu (Obr 18.), při kterém se zužitkují obsažené lipidy i sacharidy. Vzniklý fermentační zbytek lze dále uplatnit jako hnojivo, popř. peletované topivo nebo podestýlku pro hospodářská zvířata. Pokud se tedy s řasovou biomasou bude nakládat řádnými a hospodárnými procesy, může být spotřebována beze zbytku celá její hmota.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] CHERUBINI, F. a A. H. STRØMMAN. Life cycle assessment of bioenergy systems: State of the art and future challenges. *Bioresource Technology* [online]. 2011, **2011**(102/2), 437-451 [cit. 2024-04-09]. ISSN 0960-8524. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096085241001360X>
- [2] VOBOŘIL, D. Biomasa – využití, zpracování, výhody a nevýhody, energetické využití v ČR. *OEnergetice* [online]. **2017** [cit. 2024-03-21]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody>
- [3] Biofuels and agriculture – a technical overview. In: *The State of Food and Agriculture 2008* [online]. Electronic Publishing Policy and Support Branch Communication Division FAO, **2008**, s. 10-11 [cit. 2024-05-14]. ISBN 978-92-5-105980-7. Dostupné z: <https://www.fao.org/4/i0100e/i0100e00.htm>
- [4] Biofuel. *Energy KnowledgeBase* [online]. **2020** [cit. 2024-03-21]. Dostupné z: <https://energyknowledgebase.com/topics/biofuel.asp>
- [5] ALASWAD, A., M. DASSISTI, T. PRESCOTT a A. G. OLABI. Technologies and developments of third generation biofuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2015, **2015**(51), 1446-1460 [cit. 2024-03-26]. ISSN 1364-0321. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115007054>
- [6] MAT ARON, N. S., K. S. KHOO, K. W. CHEW, P. L. SHOW, W.-H. CHEN a T. H. P. NGUYEN. Sustainability of the four generations of biofuels – A review. *International Journal of Energy Research* [online]. 2020, **2020**(44), 9266–9282 [cit. 2024-03-21]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/er.5557>
- [7] PRIYA, P. S. DEORA, Y. VERMA, R. A. MUHAL, Ch. GOSWAMI a T. SINGH. Biofuels: An alternative to conventional fuel and energy source. *Materials Today: Proceedings* [online]. 2022, **2022**(48/5), 1178-1184 [cit. 2024-03-21]. ISSN 2214-7853. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785321056650>
- [8] NEUPANE, D. Biofuels from Renewable Sources, a Potential Option for Biodiesel Production. *Bioengineering* [online]. 2022, **2022**(10), 1-29 [cit. 2024-03-21]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9855116/#B24-bioengineering-10-00029>
- [9] BHUIYA, M. M. K., M. G. RASUL, M. M. K. KHAN, N. ASHWATH, A. K. AZAD a M. A. HAZRAT. Second Generation Biodiesel: Potential Alternative to-edible Oil-derived Biodiesel. *Energy Procedia* [online]. 2014, **2014**(61), 1969-1972 [cit. 2024-03-21]. ISSN 1876-6102. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214030835>
- [10] UDDIN, M. N., K. TECHATO, M. G. RASUL, N. M. S. HASSAN a M. MOFIJUR. Waste coffee oil: A promising source for biodiesel production. *Energy Procedia* [online]. 2019, **2019**(160), 677-682 [cit. 2024-04-04]. ISSN 1876-6102. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021931313X?ref=cra_js_challenge&fr=RR-1

- [11] DEMIRBAS, A., A. BAFAIL, W. AHMAD a M. SHEIKH. Biodiesel production from non-edible plant oils. *Energy Exploration & Exploitation* [online]. 2016, **2016**(34/2), 290–318 [cit. 2024-05-15]. ISSN 2048-4054. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/295503341_Biodiesel_production_from_non-edible_plant_oils
- [12] Current Status of the Algae Production Industry in Europe: An Emerging Sector of the Blue Bioeconomy. *Frontiers in Marine Science* [online]. 2021, **2021**(7), 1-24 [cit. 2024-04-21]. ISSN 2296-7745. Dostupné z: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2020.626389/full>
- [13] VONDRÁŠKOVÁ, M. *Dopady pěstování plodin na výrobu biopaliv v rozvojových zemích Subsaharské Afriky* [online]. Olomouc, **2014** [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/b4ynal/11441052>. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci. Vedoucí práce Doc. RNDr. Pavel NOVÁČEK, CSc.
- [14] MASOJÍDEK, J., R. LHOTSKÝ, J. KOPECKÝ a O. PRÁŠIL. Mikrořasy – solární továrna v jedné buňce. *Centrum Algatech* [online]. **2016** [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: https://www.alga.cz/UserFiles/mstefanova/files/Mikro%20řasy_sol%C3%A1rn%C3%AD%20tov%C3%A1rna%20v%20jedn%C3%A9%20bu%C5%8ce.pdf
- [15] AMBATI, R. R., S. M. PHANG, S. RAVI a R. G. ASWATHANARAYANA. Astaxanthin: sources, extraction, stability, biological activities and its commercial applications--a review. *Marine drugs* [online]. 2014, **2014**(12/1), 128-152 [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3917265/>
- [16] Čeští vědci otevřeli dveře k efektivnějšímu využití řas po celém světě. *Technologická agentura ČR* [online]. **2020** [cit. 2024-05-14]. Dostupné z: https://www.tacr.cz/wp-content/uploads/2020/08/200806_TZ_rasy.pdf
- [17] *Centrum Algatech* [online]. **2014** [cit. 2024-05-14]. Dostupné z: <https://www.alga.cz/>
- [18] Elektrokoagulace. In: *ENVI-PUR* [online]. **2020** [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.envi-pur.cz/image/981/13/elektrokoagulace-2.png>
- [19] USC scientists may have unlocked kelp's potential as a major biofuel source. *USC Today* [online]. **2021** [cit. 2024-02-21]. Dostupné z: <https://today.usc.edu/kelp-as-biofuel-ocean-seaweed-energy-usc-scientists/>
- [20] NORTH SEA FARM 1. *North Sea Farmers* [online]. **2021** [cit. 2024-04-26]. Dostupné z: <https://www.northseafarmers.org/about-nsf1>
- [21] BUCK, B. H. a R. LANGAN. The German Case Study: Pioneer Projects of Aquaculture-Wind Farm Multi-Uses. In: *Aquaculture Perspective of Multi-Use Sites in the Open Ocean* [online]. Springer Cham, **2017**, s. 253–354 [cit. 2024-05-01]. ISBN 978-3-319-51159-7. Dostupné z: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-51159-7_11#citeas
- [22] Seaweed farm near Kia Village. In: *Living Oceans Foundation* [online]. **2014** [cit. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://www.livingoceansfoundation.org/wp-content/uploads/2014/11/underwater-view-of-seaweed-farm.jpg>

- [23] KUMAR, V. a S. MOHAN JAIN. Plants and algae species: Promising renewable energy production source. *Emirates Journal of Food and Agriculture* [online]. 2014, **2014**(26/8), 679-692 [cit. 2024-02-29]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/263160730_Plants_and_algae_species_Promising_renewable_energy_production_source
- [24] SLEGGERS, P. M., M. B. LÖSING, R. H. WIJFFELS, G. VAN STRATEN a A. J. B. VAN BOXTEL. Scenario evaluation of open pond microalgae production. *Algal Research* [online]. 2013, **2013**(2/4), 358-368 [cit. 2024-05-15]. ISSN 2211-9264. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211926413000568>
- [25] An aerial view of Hutt Lagoon's lakes. In: *BASF* [online]. **2016** [cit. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://www.basf.com/au/en/media/blog/articles-older/pretty-in-pink.html>
- [26] Evolutionary Innovation. *DIC Healthcare* [online]. 2024 [cit. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://dic-healthcare.jp/en/healthcare/challenging/>
- [27] CHEMODANOV, A., A. ROBIN a A. GOLBERG. Design of marine macroalgae photobioreactor integrated into building to support seagrass agriculture for biorefinery and bioeconomy. *Bioresource Technology* [online]. 2017, **2017**(241), 1084-1093 [cit. 2024-04-09]. ISSN 0960-8524. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852417309628>
- [28] BĚLOHLAV, V. *Intenzifikace míchání a homogenizace kultivačního média ve fotobioreaktorech pro kultivaci mikrořas* [online]. Praha, Barcelona, **2021** [cit. 2024-04-09]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/98481>. Disertační práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Tomáš Jirout, Enrica Uggetti.
- [29] DONLAN, R. M. Biofilms: Microbial Life on Surfaces. *Emerging Infectious Diseases* [online]. 2002, **2002**(8/9), 881–890 [cit. 2024-04-09]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2732559/>
- [30] FBR Tubular. In: *ENHANCEMICROALGAE* [online]. **2020** [cit. 2024-05-14]. Dostupné z: https://emamarket.anfaco.es/gb/catalogo_detalle.php?nar1=108&var1=Photobioreactors%20and%20microalgae%20production%20solutions&var1=
- [31] ROSOV, T., P. WENSEL, J. MCGOWEN a W. R. CURTIS. A preliminary implementation of metabolic-based pH control to reduce CO₂ usage in outdoor flat-panel photobioreactor cultivation of *Nannochloropsis oceanica* microalgae. *Algal Research* [online]. 2016, **2016**(18), 288-295 [cit. 2024-05-14]. ISSN 2211-9264. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211926416302272>
- [32] BODENES, P. *Study of the application of pulsed electric fields (PEF) on microalgae for the extraction of neutral lipids* [online]. Saint-Aubin, **2017** [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/317648968_Study_of_the_application_of_pulsed_electric_fields_PEF_on_microalgae_for_the_extraction_of_neutral_lipids. Disertační práce. Université Paris-Saclay.
- [33] CRABTREE, G. W. a M. S. DRESSELHAUS. The Hydrogen Fuel Alternative. *MRS Bulletin* [online]. 2008, **2008**(33/4), 421-428 [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://www.cambridge.org/core/journals/mrs-bulletin/article/hydrogen-fuel-alternative/BFD3D2EBB36FEA8BDBDD539D537D616B>

- [34] ALAM, S.N., Z. KHALID a A. GULDHE. Harvesting and pretreatment techniques of aquatic macrophytes and macroalgae for production of biofuels. *Environmental Sustainability* [online]. 2021, **2021**(4), 299–316 [cit. 2024-04-25]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42398-021-00178-6#citeas>
- [35] A review on microalgae cultivation and harvesting, and their biomass extraction processing using ionic liquids. *Bioengineered* [online]. 2020, **2020**(11/1), 116–129 [cit. 2024-04-25]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6999644/>
- [36] Low-cost harvesting of microalgae biomass from water. *International Journal of Development and Sustainability* [online]. 2013, **2013**(2/1), 1-11 [cit. 2024-04-25]. ISSN 2168-8662. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/275270352_Low-cost_harvesting_of_microalgae_biomass_from_water
- [37] Harvesting algae. *Energy Education* [online]. **2014** [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Harvesting_algae
- [38] KUSHWAHA, P., S. KUMARI, K. SINGH a K. SURESH KUMAR. Bioflucculation: A potential means of harvesting microalgae. *JETIR* [online]. 2020, **2020**(7/10), 2593-2609 [cit. 2024-05-17]. ISSN 2349-5162. Dostupné z: <https://www.jetir.org/papers/JETIR2010336.pdf>
- [39] A new reactor design for harvesting algae through electrocoagulation-flotation in a continuous mode. *Algal Research* [online]. 2020, **2020**(47), 1-7 [cit. 2024-05-17]. ISSN 2211-9264. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211926419310926>
- [40] Harvesting seaweed for cattle feed. *All About Feed* [online]. **2019** [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.allaboutfeed.net/all-about/new-proteins/harvesting-seaweed-for-cattle-feed/>
- [41] SeaCell: The Ultimate Guide. *Oliver Charles* [online]. **2022** [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.oliver-charles.com/pages/seacell-the-ultimate-guide>
- [42] Typy a produkty bakteriálního metabolismu. *WikiSkripta* [online]. **2018** [cit. 2023-11-10]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Typy_a_produkty_bakteri%C3%A1ln%C3%ADho_metabolismu
- [43] OZCAKIR, G. a A. KARADUMAN. Bio-oil production from microalgae by pyrolysis: A mini-review. *Journal of Engineering Research and Applied Science* [online]. 2021, **2021**(10/1), 1640-1649 [cit. 2024-05-17]. ISSN 2147-3471. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/373160402_Bio-oil_production_from_microalgae_by_pyrolysis_A_mini-review
- [44] MEEGODA, J. N., B. LI, K. PATEL a L. B. WANG. A Review of the Processes, Parameters, and Optimization of Anaerobic Digestion. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [online]. 2018, **2018**(15/10), 1-16 [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6210450/>
- [45] Photobiological Production of Hydrogen. *National Renewable Energy Laboratory* [online]. **2007** [cit. 2023-11-10]. Dostupné z: <https://www.nrel.gov/docs/fy08osti/42285.pdf>

- [46] Hydrogen Production: Photobiological. *Energy.gov* [online]. 2019 [cit. 2023-11-10]. Dostupné z: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-photobiological>
- [47] HEMSCHMEIER, A., S. FOUCHARD a L. COURNAC. Hydrogen production by *Chlamydomonas reinhardtii*: an elaborate interplay of electron sources and sinks. *Planta* [online]. 2008, **2008**(227), 397–407 [cit. 2024-03-21]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00425-007-0626-8#citeas>
- [48] DRAGONE, G., B. FERNANDES, A. VICENTE a J. TEIXEIRA. Third generation biofuels from microalgae. *Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology* [online]. 2010, **2010**(2), 1355-1366 [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/236006059_Third_generation_biofuels_from_microalgae
- [49] Biodiesel from Algae using Ultrasonication Read more: https://www.hielscher.com/algae_extraction_01.htm. *Hielscher Ultrasonics* [online]. 2013, **2023** [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: https://www.hielscher.com/algae_extraction_01.htm
- [50] Ultrasound for microalgal cell disruption and product extraction: A review. *Ultrasonics Sonochemistry* [online]. 2022, **2022**(87), 1-18 [cit. 2024-05-16]. ISSN 1350-4177. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135041772200147X?via%3Dihub>
- [51] In situ. *Velký lékařský slovník* [online]. 2015 [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://lekarske.slovníky.cz/pojem/in-situ>
- [52] RANJITH KUMAR, R., P. HANUMANTHA RAO a M. ARUMUGAM. Lipid Extraction Methods from Microalgae: A Comprehensive Review. *Frontiers in Energy Research* [online]. 2015, **2015**(2), 1-9 [cit. 2024-05-16]. ISSN 2296-598X. Dostupné z: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2014.00061/full>
- [53] ANDĚL, M. *Pyrolytické zpracování odpadů* [online]. Praha, 2016 [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/66530/F2-BP-2016-Andel-Matous-Matous%20Andel_Bakalarska%20prace%282016%29-Pyrolyticke%20zpracovani%20odpadu.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. Lukáš Krátký, Ph.D.
- [54] PRABAKARAN, P. a S. KARTHIKEYAN. Algae biofuel: A futuristic, sustainable, renewable and green fuel for I.C. engines. *Materials Today: Proceedings* [online]. 2023, **2023**(1), 1-9 [cit. 2024-05-04]. ISSN 2214-7853. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785323016474#b0265>
- [55] Macroalgae for biofuels production: Progress and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2015, **2015**(47), 427-437 [cit. 2024-05-04]. ISSN 1364-0321. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115002397>
- [56] A review on biodiesel production from microalgae: Influencing parameters and recent advanced technologies. *Frontiers in Microbiology* [online]. 2022, **2022**(13), 1-20 [cit.

- 2024-05-18]. ISSN 1664-302X. Dostupné z: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2022.970028/full>
- [57] UTEX 89 *Chlamydomonas reinhardtii*. *UTEX Culture Collection of Algae* [online]. 2024 [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://utex.org/products/utex-0089?variant=30991237709914>
- [58] The photosynthetic alga *Chlamydomonas reinhardtii* under the microscope. *National Science Foundation* [online]. 2022 [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: https://www.nsf.gov/news/mmg/mmg_disp.jsp?med_id=188212&from=
- [59] Osmotic Pressure and Tonicity. *ThoughtCo.* [online]. 2019 [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://www.thoughtco.com/osmotic-pressure-and-tonicity-3975927>
- [60] Algae, *Chlorella* (#2333). *Phyllis2* [online]. 2003 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: <https://phyllis.nl/Biomass/View/2333>
- [61] CAMPBELL, M. N. Biodiesel: Algae as a Renewable Source for Liquid Fuel. *Guelph Engineering Journal* [online]. 2008, 2008(1), 2-7 [cit. 2024-05-20]. ISSN 1916-1107. Dostupné z: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=8340982cf68992e97368f89a851f87f59c48ff5c>
- [62] SUBBURAYALU RAMESH, H. a P. THIYAGARAJAN. Fuel characterisation studies on *Chlorella vulgaris* methyl ester algae – a third-generation biofuel. *International Journal of Ambient Energy* [online]. 2023, 2023(44/1), 1243-1254 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01430750.2023.2171484>
- [63] KUMAR, M., A. OYEDUN a A. KUMAR. A comparative analysis of hydrogen production from the thermochemical conversion of algal biomass. *International Journal of Hydrogen Energy* [online]. 2019, 2019(44/21), 10384-10397 [cit. 2024-05-19]. ISSN 0360-3199. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319919308821>
- [64] ZAINI, I., N. SOPHONRAT, K. SJÖBLOM a W. YANG. Creating Values from Biomass Pyrolysis in Sweden: Co-Production of H₂, Biocarbon, and Bio-Oil. *Processes* [online]. 2021, 2021(9), 1-22 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/349590918_Creating_Values_from_Biomass_Pyrolysis_in_Sweden_Co-Production_of_H2_Biocarbon_and_Bio-Oil
- [65] Ethanol properties. *IEA AMF TCP* [online]. 2013 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: https://www.iea-amf.org/content/fuel_information/fuel_info_home/ethanol/e10/ethanol_properties
- [66] Bioethanol. *European Biomass Industry Association* [online]. 2013 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: <https://www.eubia.org/cms/wiki-biomass/biofuels/bioethanol/>
- [67] ARGALIS, P. a K. VEĞERE. Perspective Biomethane Potential and Its Utilization in the Transport Sector in the Current Situation of Latvia. *Sustainability* [online]. 2021, 2021(13), 7827-7845 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/353242140_Perspective_Biomethane_Pote

ntial_and_Its_Utilization_in_the_Transport_Sector_in_the_Current_Situation_of_Latvia

- [68] VANEGAS, C. H. a J. BARTLETT. Green energy from marine algae: biogas production and composition from the anaerobic digestion of Irish seaweed species. *Environmental Technology* [online]. 2013, **2013**(34/15), 2277–2283 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09593330.2013.765922?scroll=top&needAccess=true>
- [69] Algae: The Reservoir of Bioethanol. *Fermentation* [online]. 2023, **2023**(9/8), 712-741 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2311-5637/9/8/712>
- [70] Algae as a Feedstock for Bioethanol Production: New Entrance in Biofuel World. *International Journal of ChemTech Research* [online]. 2014, **2014**(6), 1381-1389 [cit. 2024-05-19]. ISSN 0974-4290. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/267752859_Algae_as_a_Feedstock_for_Bioethanol_Production_New_Entrance_in_Biofuel_World
- [71] ROBINSON, V. Electroflocculation in the treatment of polluted water. *Australian Water and Wastewater Association* [online]. 1999, **1999**(1), 181-188 [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/265990355_Electroflocculation_in_the_Treatment_of_Polluted_Water
- [72] VOBECKÁ, K. *Biopaliva z vodních řas* [online]. Praha, **2012** [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/46361/BPTX_2010_1__0_263672_0_96901.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze. Vedoucí práce Ing. Mgr. Jakub Kočan.
- [73] Insights into biohydrogen production from algal biomass: Challenges, recent advancements and future directions. *International Journal of Hydrogen Energy* [online]. 2024, **2024**(52/D), 127-151 [cit. 2024-05-20]. ISSN 0360-3199. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319923012454#sec1>
- [74] AZIZ, N., R. PRASAD, A.I.M. IBRAHIM, A.I.S. AHMED, J. PATRA, C. VISHNUPRASAD a G. DAS. Promising Applications for the Production of Biofuels Through Algae. In: *Microbial Biotechnology* [online]. Singapore: Springer, **2017**, s. 81-103 [cit. 2024-05-20]. ISBN 978-981-10-6847-8. Dostupné z: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-6847-8_4#citeas
- [75] Current application of algae derivatives for bioplastic production: A review. *Bioresource Technology* [online]. 2022, **2022**(347), 1-16 [cit. 2024-05-20]. ISSN 0960-8524. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096085242200027X?casa_token=pln-89qDp9QAAAAA:D00GJVnGtDqdOx1L6l__ntLpw8JCQEqQloexjBtQUkp-tk_N8FuQlvZ0kzCgrOexiiaLi4A#s0010
- [76] SEACELL. *SMARTFIBER AG* [online]. **2022** [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://smartfiber.de/seacell>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr 1.	Podíly evropských producentů řas na různých průmyslových aplikacích [12]	16
Obr 2.	Elektrokoagulační jednotka [18].....	17
Obr 3.	Farma na mořské řasy poblíž vesnice Kia, Šalamounovy ostrovy [22]	18
Obr 4.	Možnosti instalací akvakultur v rámci off-shore větrných elektráren [21].....	19
Obr 5.	Integrovaný systém multi-druhovému akvakultury [12]	20
Obr 6.	Otevřená jezírka bez mechanizovaného pěstování v Hutt Lagoon, Austrálie [25]	21
Obr 7.	Mechanizované průtočné nádrže společnosti Earthrise Nutritionals, Kalifornie [23].....	21
Obr 8.	Rozpěstování kultury mikrořas [14].....	22
Obr 9.	Vertikální trubicový [30] a deskový foto-bioreaktor [31]	23
Obr 10.	Mechanická sklízecí jednotka [40][41]	24
Obr 11.	Schéma bioflokulace [38]	26
Obr 12.	Schéma elektrolyzní koagulační jednotky s flotací [39].....	27
Obr 13.	Shrnutí způsobů zpracování mikrořas na biopaliva [54].....	28
Obr 14.	Shrnutí způsobů zpracování makrořas na biopaliva [55].....	28
Obr 15.	Chlamydomonas reinhardtii [57][58]	31
Obr 16.	Transesterifikace [56].....	32
Obr 17.	Vliv osmotického tlaku na červené krvinky [59]	33
Obr 18.	Integrovaný proces výroby bionafty a bioethanolu z řas [48]	36

SEZNAM TABULEK

Tab 1.	Výtěžnost oleje podle plodiny – biopaliva druhé generace [11]	13
Tab 2.	Rozdělení biopaliv [8].....	14
Tab 3.	Příklady druhů mikrořas, kde se pěstují a jejich využití [14]	14
Tab 4.	Porovnání otevřených nádrží a uzavřených foto-bioreaktorů [72]	23
Tab 5.	Shrnutí výhod a nevýhod jednotlivých typů separace mikrořas [35]	27
Tab 6.	Výtěžek bioethanolu z vybraných zdrojů [70]	29
Tab 7.	Vysvětlivky k Graf 2.....	30
Tab 8.	Obsah lipidů, potřeba půdy a výtěžek bionafty pro vybrané druhy rostlin [56].....	35
Tab 9.	Výhřevnosti vybraných paliv	36