

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra chemie**



**Biopaliva z vodních řas**

**Bakalářská práce**

**Matěj Bárta**

**Ochrana krajiny a využívání přírodních zdrojů**

**Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Hönig, Ph.D. et Ph.D.**

© 2020 ČZU v Praze

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Biopaliva z vodních řas" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor(ka) uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 7. 7. 2020

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Vladimíru Hönigovi, Ph.D. et Ph.D. za jeho vedení při psaní této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat členům své rodiny za to, že to se mnou vydrželi až do konce a po celou dobu studia mě velice podporovali.

# Biopaliva z vodních řas

## Souhrn

Biopaliva III. generace jsou, prozatím laboratorně zkoumaná, alternativa paliv. Základní složkou těchto paliv je olej, který získáváme z vodních řas. Biopaliva III. generace by měla nahradit biopaliva I. a II. generace. Biomasa, ze které získáváme biopaliva I. a II. generace, konkurující přímo i nepřímo potravinovému průmyslu. Kvalita biopaliv závisí na kvalitě a složení biomasy (obnovitelný materiál pocházející z rostlinné či živočišné produkce), ze které je palivo získáváno. K dnes nejvyužívanějším biopalivům patří bionafta a bioethanol.

Tématika biopaliv je zastoupena i v různých zákonech legislativního rámce Evropské unie a České republiky. Zákony a směrnice se zaměřují převážně na pohonné hmoty, což jsou veškerá paliva sloužící k pohonu palivových motorů. Nejdůležitějším zákonem České republiky, který pojednává o biopalivech, je zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší. Tímto zákonem se Česká republika snaží dosáhnout závazku vůči Evropské unii a Kjótskému protokolu k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu. Mezinárodní smlouva o změně klimatu byla přijata roku 1997 a v roce 2015 nahrazena Pařížskou dohodou. Plnění těchto závazků je založeno na snížení emisí skleníkových plynů za pomoci mísení biopaliv s fosilními palivy.

Řasy představují nesourodou skupinu fotosyntetizujících organismů, které neřadíme do vyšších rostlin. Pro tuto uměle vytvořenou taxonomickou jednotku je velice složité určit, které organismy do této skupiny patří a které ne. Podle velikosti se dělí na makrořasy a mikrořasy. Organismy řazené k mikrořasám jsou pro tvorbu biopaliv vhodnější. Jedná se o organismy příliš malé na to, aby byly rozpoznatelné bez mikroskopu. Látky potřebné pro svůj růst získávají z okolního prostředí a za pomoci fotosyntézy. Požadavky na to aby se umělá kultivace takových organismů vyplatila, jsou rychlý nárůst biomasy, vysoký obsah oleje a nenáročnost na prostředí. Ke kultivaci v laboratořích slouží otevřené systémy, uzavřené fotobioreaktory a imobilizační nádrže. Otevřený systém představuje koryto o délce několika set metrů, ve kterém se otáčí míchací lopatka. Výhodou otevřených nádrží, jsou nízké pořizovací náklady, ale je velice složité udržet v kultivaru čistou kulturu. Fotobioreaktory jsou nejčastěji horizontálně zavěšené, uzavřené trubky, z průhledného materiálu a jsou dlouhé desítky metrů. V těchto reaktorech se lépe udržují optimální podmínky pro růst organismů. Jedná se hlavně o světlo, teplo, pH vody, salinitu a promíchávání. Optimální hodnota těchto kultivačních parametrů je pro jednotlivé kultury různá. Ke sklizni biomasy řas se využívá nejčastěji sedimentace a flotace, ale je možno využít flokulantu (látky, která snižuje negativní náboj řasových buněk a tak vytváří agregáty), nebo filtrační zařízení. Ze správně kultivovaných mikrořas můžeme teoreticky získat až desetinásobek oleje než z dosud využívaných olejonosných plodin jako je sója, kokosový ořech, palma olejná, či canola.

Kdy a jestli vůbec budou biopaliva III. generace rentabilním zdrojem energie záleží na tom, zda se vědcům podaří zefektivnit kultivační metody a také na tom, zda takto získaná biomasa bude levnější než surová ropa.

**Klíčová slova:** biomasa, biopalivo, vodní řasy, energetika, pohonná hmota

# Biofuels from algae

## Summary

Biofuels of the third generation, for the time being laboratory investigated only, are one of alternatives to fuels. The basic component of these fuels is oil, which we obtain from algae. Biofuels of 3<sup>rd</sup> generation should replace biofuels of 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> generation. Biomass for these generations competes directly and indirectly with the food industry. The quality of biofuels depends on the quality and composition of biomass, which is renewable material from plant or animal production. The most widely used biofuels today are biodiesel and bioethanol.

The theme of biofuels is also represented in various laws of the legislative framework of the EU and the Czech Republic. Laws and directives focus mainly on fuels, which are used to drive fuel engines. The most important law, dealing with biofuels, in the Czech Republic is Act No. 201/2012 Coll., on air protection. By this law, the Czech Republic wants to achieve a commitment which is based on the commitment of the EU and the Kyoto Protocol to the UNFCCC. This international treaty was adopted in 1997 and replaced in 2015 by the Paris Agreement. The fulfilment of these commitments is based on the reduction of greenhouse gas emissions through the blending of biofuels with fossil fuels.

The Algae are a disparate group of photosynthetic organisms that we do not classify as higher plants. It is very difficult to determine which organisms belong to this artificially created taxonomic unit and which do not. They are divided into macroalgae and microalgae according to size. Organisms classified as microalgae are more suitable for the production of biofuels. These organisms are too small to be recognizable without a microscope. The substances needed for their growth are obtained from the environment and with the help of photosynthesis. The requirements for the artificial cultivation to pay off are: the rapid growth of biomass, the high oil content, and the low environmental demand. Open systems, closed photobioreactors, and immobilization tanks are used for cultivation in laboratories. The open system is a trough that is several hundred meters long, in which the mixing paddle rotates. The advantage of open tanks is low acquisition costs. It is very difficult to maintain a clean culture in the cultivar. Photobioreactors are closed tubes, which are most often horizontally suspended and made of transparent material. They are tens of meters long. Optimal conditions are better maintained in these reactors for the growth of the organism. These are light, heat, water pH, senility, and agitation. The optimal value of the cultural parameters varies in culture to culture. Most often used harvest methods of algal biomass are sedimentation and flotation, but it is possible to use a flocculant (a substance that reduces the negative charge of algal cells and thus forms aggregates) or a filtration device. From properly cultivated microalgae we can obtain up to ten times more oil, than from oil-bearing crops such as soybeans, coconut, oil palm or canola.

When and if the production of the biofuels from algae will be viable source of energy depends on whether scientists succeed in streamlining cultivation methods and also on whether the biomass thus obtained will be cheaper than crude oil.

**Keywords:** biomass, biofuel, algae, energy, fuel

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>1 -</b>
<b>2 Cíl práce</b> .....	<b>2 -</b>
<b>3 Základní pojmy</b> .....	<b>3 -</b>
<b>3.1 Paliva</b> .....	<b>3 -</b>
<b>3.2 Ropa</b> .....	<b>3 -</b>
<b>3.3 Pohonné hmoty</b> .....	<b>4 -</b>
3.3.1 Benzín .....	4 -
3.3.2 Nafta.....	5 -
<b>4 Legislativa</b> .....	<b>6 -</b>
<b>4.1 Světová legislativa</b> .....	<b>6 -</b>
4.1.1 Rámcová úmluva OSN o změně klimatu.....	6 -
4.1.2 Kjótský protokol k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu .....	7 -
4.1.3 Pařížská dohoda. ....	8 -
<b>4.2 Politika biopaliv v Evropské unii</b> .....	<b>9 -</b>
4.2.1 Legislativní rámec.....	9 -
4.2.2 Zelená kniha komise .....	9 -
4.2.3 Bílá kniha komise .....	10 -
<b>4.3 Legislativa České republiky</b> .....	<b>10 -</b>
<b>5 Biomasa a biopaliva</b> .....	<b>12 -</b>
<b>5.1 Biomasa</b> .....	<b>12 -</b>
5.1.1 Složení biomasy .....	12 -
5.1.2 Fyzikální a chemické vlastnosti .....	13 -
5.1.3 Zplyňování .....	13 -
5.1.4 Fermentace.....	15 -
5.1.4.1 Anaerobní fermentace .....	15 -
5.1.4.2 Alkoholová fermentace .....	16 -
<b>5.2 Biopaliva</b> .....	<b>17 -</b>
5.2.1 Historický vývoj biopaliv .....	17 -
5.2.2 Biopaliva I. generace .....	18 -
5.2.3 Biopaliva II. generace .....	19 -
5.2.4 Biopaliva III. generace.....	20 -
<b>6 Vodní řasy</b> .....	<b>21 -</b>

<b>6.1</b>	<b>Mikrořasy</b> .....	<b>22</b> -
6.1.1	Kultivační parametry .....	23 -
6.1.1.1	Světlo .....	23 -
6.1.1.2	Teplota .....	24 -
6.1.1.3	pH .....	24 -
6.1.1.4	Míchání (analogie s hydrodynamikou v přírodě) .....	25 -
6.1.1.5	Salinita .....	25 -
6.1.1.6	Živiny .....	25 -
6.1.2	Kultivační metody.....	26 -
6.1.2.1	Otevřené systémy - rybníky.....	26 -
6.1.2.2	Uzavřené fotobioreaktory .....	27 -
6.1.2.3	Imobilizované řasy .....	28 -
6.1.3	Sklízení mikrořas .....	29 -
6.1.3.1	Sedimentace a flotace .....	29 -
6.1.3.2	Flokulace .....	30 -
6.1.3.3	Filtrace .....	30 -
6.1.3.4	Biologická filtrace .....	30 -
<b>6.2</b>	<b>Makrořasy</b> .....	<b>30</b> -
6.2.1	Kultivační systémy makrořas.....	31 -
<b>7</b>	<b>Biopaliva z vodních řas</b> .....	<b>32</b> -
<b>7.1</b>	<b>Bionafta</b> .....	<b>34</b> -
<b>7.2</b>	<b>Bioethanol</b> .....	<b>36</b> -
<b>8</b>	<b>Potenciál biopaliv z vodních řas</b> .....	<b>39</b> -
<b>8.1</b>	<b>Potenciální výnos</b> .....	<b>39</b> -
<b>8.2</b>	<b>Energetická bilance kultivací mikrořas</b> .....	<b>41</b> -
<b>9</b>	<b>Predikce budoucího vývoje</b> .....	<b>44</b> -
<b>10</b>	<b>Závěr</b> .....	<b>46</b> -
<b>11</b>	<b>Literatura</b> .....	<b>47</b> -
<b>12</b>	<b>Samostatné přílohy</b> .....	<b>I</b>

# 1 Úvod

V dnešní době si nedovedeme představit, co bychom dělali bez elektrického proudu, spalovacích motorů v automobilech, či teplé vody tekoucí z kohoutku každé evropské domácnosti. Neustálý nárůst automobilové dopravy je zřetelný jak v přeplněných městech, tak na vesnicích. Nepřetržitý nárůst konzumní společnosti si žádá více a více elektrické energie. S tímto rostoucím trendem se zvyšují i škodlivé emise skleníkových plynů vycházející z komínů tepelných elektráren, fabrik i výfuků automobilů. V návaznosti nárůstu skleníkových plynů v atmosféře, znečišťování a destrukci přírody se mění globální klimatické podmínky na Zemi. Tyto změny pocítujeme stále častěji díky extrémům v počasí. Ať se jedná o ničivé povodně, extrémní sucha či větrné smrště. Každý z těchto problémů ovlivňuje jak ekonomické zatížení společnosti, tak i lidské životy samotné.

V důsledku výše zmíněných ekonomických, ekologických, ale i sociálních důvodů a snižujícího se zájmu o fosilní paliva jsme tlačeni k hledání alternativních zdrojů energie. Zdrojů, které by neničily planetu, a současně s tím by jejich získávání nebylo ekonomicky nerentabilní. K dnešním, ve společnosti známým alternativám patří solární elektrárny, větrné turbíny či vodní elektrárny. Ale je tu i jiný zdroj energie, který má velký potenciál pro získávání elektrického proudu, tepla i pohonných hmot. Touto alternativou je biomasa a s ní související biopaliva I. a II. generace.

Ovšem i tato možná volba má zápornou stránku. Pěstování energeticky významných rostlin je velice náročné na vodní zdroje. Zároveň tyto rostliny zabírají ornou půdu a tím konkurují rostlinám potřebným pro obživu lidstva. Převážně z těchto důvodů se vědci stále snaží přijít s novými zdroji biomasy. Se zdroji, jejichž pěstování či kultivace si vyžádá mnohem méně energie, vody i území v poměru s energetickou výtěžností. Zdá se, že veškeré požadavky splňují řasy, zejména mikrořasy.

V dnešní době se řasy využívají v gastronomii, farmacii či akvakultuře a v posledních letech se s nimi pracuje i jako s novým zdrojem biopaliv III. generace.



## **2 Cíl práce**

Cílem této bakalářské práce je na základě studia odborné a vědecké literatury vytvořit přehled o biopalivech III. generace. Bude popsáno legislativní zastoupení biopaliv, taxonomicky nejednotná skupina řasy, kultivace řas a metody získávání biopaliv III. generace, včetně potenciaálního výnosu a ekonomické rentability těchto procesů.

### 3 Základní pojmy

Biopaliva jsou jednou z možných alternativ k fosilním palivům. K nejvýznamnějším zdrojům fosilních paliv patří surová ropa. Z té se vyrábí mnoho pevných, kapalných i plyných paliv. V českém jazyce i v českém legislativním rámci, na rozdíl od anglického pojmu fuel, se rozlišují termíny palivo a pohonné hmoty.

#### 3.1 Paliva

Existence a stálý rozvoj lidské společnosti je založen na získání dostatku energie. Tuto potřebnou energii získáváme z chemických i organických látek, které nazýváme paliva.

V knize „Udržitelný rozvoj“ od Pavla Nováčka je palivo popisováno jako každá látka, jejímž spalováním se za hospodářsky a hygienicky přijatelných podmínek uvolňuje teplo.

V průběhu historie lidstvo využívalo energii pocházející z biomasy (dřevo, sláma...), tedy energii fotosyntetického původu. Až v posledních cca 200 letech umíme efektivně užívat energii získanou spalováním fosilních paliv (ropa, hnědé a černé uhlí,...) (Nováček, 2010). Fosilními palivy označujeme přetransformovanou prehistorickou organickou hmotu (Škorpík, 2011).

#### 3.2 Ropa

Anglický název Petroleum, vycházející z latinského petra, „hornina“ nebo „kámen“ a oleum, „olej“, poprvé použil německý mineralog George Bauer. Tímto pojmem označil komplexní směs uhlovodíků a jiných organických sloučenin (Riva Joseph P., 2018).

Uhlovodíkové řetězce obsažené v ropě pochází z prehistorických organismů. K většině hromadění uhlovodíků (organických zbytků) dochází v sedimentárních pánvích. Usazené organické zbytky jsou zcela překryty sedimentárními horninami (Selley C., et al., 2015).

V praxi je termín „ropa“ používán pouze pro kapalnou formu, ale z technického hlediska zahrnuje i zemní plyn a bitumen (pevná forma) (Riva Joseph P., 2018).

Uhlovodíkové řetězce se v ropě vyskytují ve skupenství plynném ( $\text{CH}_4$  až  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ), kapalném ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$  až  $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ ) i pevném. Zastoupení jednotlivých složek v ropě je závislé na podmínkách vzniku a na místě nálezů. V parafinické ropě nacházíme převážně jednoduché alkány, naproti tomu v naftenické ropě jsou hlavní složkou zacyklené řetězce. V aromatické ropě převládají uhlovodíkové řetězce s aromatickými jádry (Škorpík, 2011). Avšak téměř veškerá ropa se pohybuje, bez ohledu na fyzikální nebo chemické variace, v rozmezí 82 až 87 % uhlíku a 12 až 15 % vodíku. Pevné formy, tzv. bitumeny se obecně liší v rozmezí 80 až 85 % uhlíku a 8 až 11 % procent vodíku.

Kromě uhlovodíků jsou v ropě přítomny v malých, ale často důležitých množstvích síra, dusík a kyslík. Z těchto tří prvků se v největším množství vyskytuje síra. V surové ropě její poměr kolísá dle místa naleziště. V nalezištích středního východu má procentické zastoupení rozsah 0,05 až 2 %. Naproti tomu v těžkých mexických nebo mississippských olejích je síra přítomna až v 5 % hmotnosti. Při spalování ropných produktů by oxidy síry představovaly hlavní znečišťující látku, a proto je přebytečná síra ze surové ropy odstraněna ještě před rafinací. Atomy kyslíku se v surové ropě vyskytují v množstvích menších než 2 %. Převážná většina je součástí těžkých uhlovodíkových sloučenin. Dusík pak tvoří jen méně než 0,1 % hmotnosti (Riva Joseph P., 2018).

Většina komerčně využívané ropy je tvořena tepelným zráním organické hmoty. Tímto procesem je organická hmota přetransformována na kerogen. Jedná se o komplexní uhlovodík zbařený methanu, oxidu uhličitého a vody, uvolňovaných při biogenním rozkladu organické hmoty. Proces, při kterém kerogen vzniká, se nazývá diagenese. Tento proces probíhá v mělkém podpovrchu za normálních teplot a tlaku.

Druhá fáze transformace se nazývá katagenese. Tato fáze probíhá pod většími nánosy sedimentární horniny. V důsledku toho se zvyšuje tlak a teplota. Olejná forma ropy se uvolňuje z kerogenu při teplotách mezi 60 °C a 120 °C. Plynné frakce vznikají při teplotách mezi 120 – 225 °C. Při závěrečné etapě nazývané metagenese se obvykle uvolňuje pouze methan.

Podmínky pro tyto procesy nejčastěji vznikají ve stratifikovaných jezerech, kontinentálních šelfech a při anoxických událostech v povodí oceánu. V kontinentálním prostředí jsou podmínky splňovány pouze v bažinách (Selley C., et al., 2015).

Pro snazší skladování i spalování ropy provádíme krakování. Jedná se o tepelné zpracování, při kterém za teplot 450 až 900 °C dochází ke štěpení složitých uhlovodíkových řetězců na řetězce jednodušší (Škorpík, 2011). K dalším úpravám ropy patří frakční destilace, během které surovou ropu rozdělíme do jednotlivých frakcí jako je benzín, petrolej, plynový olej, mazací olej, zbytkový topný olej, bitumen a (Riva Joseph P., 2018).

### **3.3 Pohonné hmoty**

Souslovím pohonné hmoty označujeme skupinu veškerých paliv, která jsou používána k pohonu palivových motorů. Lze je dělit podle původu na podskupiny minerálních pohonných hmot a pohonných hmot rostlinného původu. Minerální pohonné hmoty se vyrábějí z hmot těžených z podzemského povrchu. Patří k nim benzín či nafta. Mezi pohonné hmoty rostlinného původu patří například bioethanol, či bionafta (Kadrmas, 1940).

Častější způsob dělení je založený na tom, jak jsou pohonné hmoty v motoru zapalovány. První skupinou jsou paliva pro častěji používané zážehové motory, tedy paliva, která jsou zapalována jiskrou. Do této kategorie zařazujeme motorové a letecké benzíny a veškeré druhy náhradních paliv. Druhou třídou jsou pohonné hmoty, jejichž zážeh je způsobený kompresním teplem. Do druhé kategorie řadíme veškeré druhy motorových naft (Roman, 1995).

#### **3.3.1 Benzín**

Benzín je uměle smíchaná komplexní směs uhlovodíků a velkého množství jiných organických složek. Koncentrace organických složek se v jednotlivých benzínech liší a je závislá na surovém materiálu, ze kterého byl rafinován i na samotných postupech rafinace (Karim, 2012).

Uhlovodíkové řetězce jsou složeny převážně z alkanů (parafinů) hexanu, heptanu a oktanu. Jsou tekuté za normální teploty a jejich bod varu nepřesahuje 200 °C. Tato směs uhlovodíků je na vzduchu velice těkavá a vytváří výbušnou směs. Pro tyto vlastnosti je využívána jako palivo pro zážehové motory. Účelným mícháním benzínu se volatilita v zimě zvyšuje a bod vzplanutí snižuje přidáním těkavějších butanů a pentanů. Naproti tomu v letním období množství těkavějších látek ve směsi benzínu redukuje. Tyto směsi zajišťují

nastartování motoru v zimním období a omezují hrozbu samovzplanutí paliva v letních měsících. (G.Speight, 2019).

Díky těkavosti je benzín náchylný na předčasné vznícení způsobené teplem vzniklým klepáním motoru (G.Speight, 2019). Odolnost benzínu vůči klepání motoru je vyjadřována oktanovým číslem. Stanovení čísla probíhá za standardních podmínek dvojím porovnáním zkušebního paliva s isooktanem a n-heptanem, které mají přesně stejnou tendenci a intenzitu klepání. Výsledné oktanové číslo komerčního motorového benzínu je průměr těchto dvou měření (Karim, 2012).

### **3.3.2 Nafta**

Nafta pro vznětové motory je přímo výchozí látka z rafinace ropy. Jedná se o směs těžkých petrolejových frakcí a nejlehčích frakcí olejových (Roman, 1995).

Dieselové motory pracují na principu kompresního zapalování rozprášeného paliva. Palivo je vstříkováno vzduchem do pístové komory za vysoké teploty a vysokého tlaku v poslední fázi zdvihu pístu (Karim, 2012).

Jakost nafty je stanovena státními normami. Určuje se destilační rozmezí, kterým musí daný vzorek prokapat. To zajišťuje dostatek lehkých frakcí pro kompresní vznícení a zároveň dostatek těžkých frakcí (frakce lehkých olejů) na promazávání pístů.

Stejně jako u benzínu se určuje oktanové číslo, tak u nafty se určuje její vhodnost pro správný chod vznětového motoru pomocí cetanového čísla. Pro naftu je důležité, aby v kompresním stavu vzplála co nejrychleji (Roman, 1995). Tato jmenovitá hodnota je určena porovnáním vhodnosti vzorku se specifickými směsmi binárních kapalných paliv s cetanem a isoheksadekanem. Vzorek je umístěn v hodnotící stupnici mezi čistým cetanem (hexadekan) s hodnocením 100 cetanových čísel a isoheksadekanem s cetanovým číslem 15.

## 4 Legislativa

Snahou světových lídrů je zmírnění dopadu lidské činnosti na znečištění planety je vždy korigována za pomoci mezinárodních smluv, unijních směrnic a státních zákonů. Právě tak je tomu i s využíváním biopaliv.

### 4.1 Světová legislativa

Spalováním ať fosilních paliv či biopaliv uvolňujeme do ovzduší emise skleníkových plynů, které ovlivňují klimatické změny na zemi. Pro ochranu přírody a klimatu země je potřeba uvolňování těchto emisních jednotek redukovat, či jim úplně zamezit.

Světovou legislativu k ochraně přírody a klimatu zajišťuje Organizace spojených národů (OSN). OSN pořádá pravidelné konference o změně klimatu, na kterých jedná o opatřeních na zmírnění dopadu probíhajících změn klimatu. V dnešní době jsou nejpodstatnější legislativní závazky jednotlivých států obsaženy v Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu, Kjótském protokolu k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu a Pařížské dohodě. (OSN, 2015).

#### 4.1.1 Rámcová úmluva OSN o změně klimatu

OSN přijala Rámcovou úmluvu OSN o změně klimatu roku 1992 na Konferenci OSN o životním prostředí a rozvoji v Rio de Janeiru. Úmluva vstoupila v platnost dne 21. března 1994. Tato úmluva umožňuje OSN jednat o možných postupech při řešení problémů spojených se změnou klimatu. Jedná se především o problematiku:

- snižování emisí skleníkových plynů
- vyrovnání se s negativními dopady změn klimatu
- finanční a technologické podpory rozvojových zemí

Rámcová úmluva OSN byla dne 16. října 2009 podepsána 194 státy světa. Česká republika se, jako třicátý šestý stát, přidala dne 13. června 1993 a ratifikovala ji dne 7. října 1993.

Úmluva je založena na čtyřech hlavních principech:

- pravidlo mezigenerační spravedlnosti, t.z. chránit klima ve prospěch nejen současné, ale i příštích generací;
- výchozí zásada je společná pro členské státy EU, ovšem pro každý z nich je s rozdílnou odpovědností. Tento princip říká, že ekonomicky vyspělé země nesou hlavní odpovědnost za rostoucí koncentrace skleníkových plynů v atmosféře, a z toho také vyplývá jejich povinnost poskytovat pomoc rozvojovým zemím;
- princip ochrany především těch částí planety, které jsou nejméně tolerantní na negativní dopady klimatických změn;
- princip předběžné opatrnosti upozorňuje na neodkladnost řešení problému, a to ani v tom případě, kdy nelze ještě veškeré důsledky změny klimatu přesně definovat. (MŽP, 2019).

#### 4.1.2 Kjótský protokol k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu

Kjótský protokol k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu byl přijat členy OSN v Japonském Kjótu v roce 1997. Avšak díky podmínkám obsaženým ve článku 25, protokol vešel v platnost až 16. února 2005 (Boer, 2008). Výše zmíněný článek 25 omezuje ratifikaci protokolu dvěma podmínkami: „*Tento protokol vstupuje v platnost devadesátým dnem po dni uložení listiny o ratifikaci, přijetí, schválení nebo přistoupení od nejméně 55 stran úmluvy, mezi nimiž budou smluvní strany uvedené v příloze I, jejichž celkové emise oxidu uhličitého v roce 1990 představovaly alespoň 55 procent celkových emisí oxidu uhličitého smluvních stran uvedených v příloze I*“ (OSN, 1998).

Podepsáním protokolu se zúčastněné strany zavázaly ke stabilizaci atmosférické koncentrace skleníkových plynů na úrovni, která zabrání ničivým změnám klimatu (Boer, 2008).

Jedná se o emise šesti základních skleníkových plynů

- hexafluorid sírový (SF<sub>6</sub>)
- hydrofluorouhlíky (HFC);
- methan (CH<sub>4</sub>);
- oxid dusný (N<sub>2</sub>O);
- oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>);
- perfluorované uhlovodíky (PFC) (UNFCCC, 2004).

Strany se zavázaly ke snížení emisí skleníkových plynů nejméně o 5,2 % oproti roku 1990. Tento závazek musel být splněn do konce prvního kontrolního období, které probíhalo mezi lety 2008 a 2012 (MŽP, 2008). Závazky pro jednotlivé státy jsou popsány v příloze B Kjótského protokolu viz tabulka 4.1.

**Tabulka 4.1. Země zařazené do přílohy B Kjótského protokolu za první závazkové období a jejich emisní cíle (UNFCCC, 2004).**

Země	Cíl (1990 ** - 2008/2012)
EU-15 *, Bulharsko, ČR, Estonsko, Lotyšsko, Lichtenštejnsko, Litva, Monako, Rumunsko, Slovensko, Slovinsko, Švýcarsko	-8 %
US ***	-7 %
Kanada, **** Mad'arsko, Japonsko, Polsko	-6 %
Chorvatsko	-5 %
Nový Zéland, Ruská federace, Ukrajina	0
Norsko	+ 1 %
Austrálie	+ 8 %
Island	+ 10 %

\* 15 států EU (členové v roce 1997) přijalo cíl 8 %, který bude mezi sebou přerozdělován, s využitím systému podle protokolu známého jako „bublina“. Země mají jednotlivé cíle, které

však společně vytvářejí celkový cíl skupiny zemí.

\*\* Některé státy mají jinou výchozí linii než 1990.

\*\*\* USA uvažovala neratifikovat Kjótský protokol.

\*\*\*\* 15. prosince 2011 oznámila Kanada své odstoupení od protokolu k 15. prosinci 2012 (UNFCCC, 2004).

Na konci prvního období v prosinci 2012 byl k Protokolu přidán dodatek, kterým strany potvrdily jeho pokračování během druhého období. Druhé kontrolní období bylo stanoveno mezi lety 2013 až 2020. Členské státy EU se zavázaly snížit do roku 2020 emise skleníkových plynů o 20 % vůči roku 1990. Tento cíl Evropské unie byl již formulován v roce 2009 v tzv. klimaticko - energetickém balíčku.

Dodatek není závazný pro rozvojové země a země s rozvíjející se ekonomikou jako je Čína, Indie, Brazílie atd. Ke druhému kontrolnímu období se připojila pouze část ze 192 zemí prvního kontrolního období. Tyto dva důvody mají za následek, že závazky druhého kontrolního období pokryjí odhadem pouhých 15 % celosvětových emisí skleníkových plynů.

Česká republika na základě usnesení vlády č.669/1990 podepsala Kjótský protokol dne 23. listopadu 1998 (MŽP, 2008).

#### **4.1.3 Pařížská dohoda.**

V prosinci 2015 byla na 21. klimatické konferenci OSN podepsána Pařížská dohoda. Jedná se o právní pokračování Kjótského protokolu, jehož druhé kontrolní období končí v roce 2020 (Cléménçon, 2016). Dohoda vstupuje v platnost po splnění zásadní podmínky. Listina vstupuje v platnost 30 dní po ratifikaci alespoň 55 států zapojených do Rámcové úmluvy, jejichž emise skleníkových plynů představují 55 % globálních emisí GHG (skleníkové plyny; anglicky: greenhouse gas) (MŽP, 2008-2020). Tato podmínka byla splněna 4. listopadu 2016 (MŽP, 2016).

Při sepisování dohody smluvní strany opustily myšlenku spravedlivého podílu stran na snižování emisí CO<sub>2</sub> dle závazných tabulek obsažených v příloze B Kjótského protokolu (OSN, 2016).

Pařížská dohoda je postavena výhradně na dobrovolných závazcích zemí (Cléménçon, 2016). Rozvinuté státy tak nepykají za historický přínos CO<sub>2</sub> do ovzduší a pozornost se obrátila na rozvojové země, aby kontrolovaly své budoucí emise (OSN, 2016).

Cílem dohody je zlepšení světové reakce na hrozby spojené se změnou klimatu. Jak chce OSN tohoto předsevzetí dosáhnout, popisuje samotná smlouva v odst. 1., článek 2: „...mimo jiné pomoci:

a) udržení nárůstu průměrné globální teploty výrazně pod hranicí 2 °C oproti hodnotám před průmyslovou revolucí a úsilí o to, aby nárůst teploty nepřekročil hranici 1,5 °C oproti hodnotám před průmyslovou revolucí, a uznání, že by to výrazně snížilo rizika a dopady změny klimatu;

b) zvyšování schopnosti přizpůsobit se nepříznivým dopadům změny klimatu a posilování odolnosti vůči změně klimatu a nízkoemisního rozvoje způsobem, který neohrozí produkci potravin;

c) sladění finančních toků s nízkoemisním rozvojem odolným vůči změně klimatu....“ (OSN, 2016).

Česká republika se v rámci Evropské unie zavázala ke snížení emisí skleníkových plynů do roku 2030 nejméně o 40 % oproti roku 1990 (MŽP, 2016).

## **4.2 Politika biopaliv v Evropské unii**

Evropská unie přímo ovlivňuje politické dění na území jednotlivých členských států. Vlády těchto států mají povinnost zpracovat směrnice vydané Radou Evropské unie do svých legislativních rámců. Evropská unie se alternativními zdroji energie zabývá hlavně na úrovni pohonných hmot.

### **4.2.1 Legislativní rámec**

První legislativní dokument pojednávající o biopalivech vydala EU 13. září 1993. Jedná se o Rozhodnutí Rady EU č. 93/500/EHS. Rozhodnutí ukládalo členským zemím do roku 2005 zaručit na trhu 5 % biopaliv pro motorová vozidla. Dne 1. října 1997 Rada EU vydala stanovisko, ve kterém podporuje výrobu pohonných hmot, jejichž součástí je bioethanol.

Směrnici Evropského parlamentu a Rady 2003/30/ES o podpoře využívání biopaliv anebo jiných obnovitelných zdrojů v dopravě vydala EU 8. května 2003 (EBB, 2003). Směrnice podporovala nahrazení nafty či benzínu pro dopravní účely za biopaliva a jiné obnovitelné zdroje v jednotlivých členských státech (EU, 2003). Jednotlivým státům umožňovala v dobrovolném množství mísit obnovitelná paliva s fosilními (Skogstad , et al., 2019). Rada tak učinila se záměrem dosáhnoutí cílů, jako je dodržování závazků týkajících se změny klimatu, zajištění zásobování šetrného k životnímu prostředí a podpory obnovitelných zdrojů energie (EU, 2003). Tato směrnice byla 23. dubna 2009 nahrazena směrnicí 2009/28/ES. Nová směrnice členským státům uděluje povinnost mísit biopaliva do pohonných hmot. Obsah biopaliv v pohonných hmotách má činit 5,75 % (EU, 2009).

Směrnice 2009/28/ES byla naposledy upravena směrnicí 2018/2001/ES ze dne 11. prosince 2018. Úprava po státech EU požaduje snížení podílu biopaliv I. generace na trhu (EU, 2018).

Dne 3. března 2003 vydal Evropský parlament v Bruselu směrnici o kvalitě paliv 2003/17/ES (EU, 2003). Tato direktiva upravovala směrnici 1998/70/ES o jakosti benzínu a motorové naftě, která byla sepsána 13. října 1998 (Parlament EU, 1998). Členské státy EU měly povinnost uvést v platnost zákony, směrnice a správní předpisy ve shodě s tímto nařízením pro svá území nejpozději do 30. června 2003 a uvědomit o tomto činu Komisi. Zákony jednotlivých států vešly v platnost 1. ledna 2004 (Parlament EU, 1998). Nejprínosnější úpravou směrnice pro biopaliva je stanovení cíle na snížení emisí skleníkových plynů pro pohonné hmoty (Skogstad , et al., 2019).

Členské státy EU mohou použít sníženou sazbu ze spotřební daně na čistá biopaliva nebo na biopaliva ve směsích s minerálními palivy, která jsou používána jako motorové palivo. Tuto pravomoc jim umocňuje článek 16, Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/96/ES ze dne 27. října 2003 (EBB, 2003).

### **4.2.2 Zelená kniha komise**

Již od roku 1985 publikuje Evropská komise Zelené knihy. Tato publikace je zaměřená vždy na nějakou problematiku v Evropské unii. V první části knihy je vždy popisován současný stav onoho problému. Ve druhém segmentu poté Komise navrhuje, jak situaci řešit.



Úkolem Zelených knih je vyvolat o tématu veřejnou rozpravu. Do této debaty se může v připomínkovém období formou připomínek zapojit každý občan EU. Po ukončení veřejné diskuze je problematika Evropskou komisí zpracována do zákona či směrnice (Vláda České republiky, 2005-2020).

Zelená kniha komise „Evropská strategie pro udržitelnou, konkurenceschopnou a bezpečnou energii“ z roku 2006 navrhuje nadále zvyšovat podíl biopaliv na trhu s pohonnými hmotami (KOMISE EVROPSKÝCH SPOLEČENSTVÍ, 2006).

V roce 2008 komise vydala Zelenou knihu s titulem „O nakládání s biologickým odpadem v Evropské unii“. V této knize je popisována možnost využití bioodpadu jako biopaliva, což by přispělo ke snížení emisí skleníkových plynů (KOMISE EVROPSKÝCH SPOLEČENSTVÍ, 2008).

#### **4.2.3 Bílá kniha komise**

Bílá kniha patří mezi dokumenty evropské, vydávané Evropskou komisí. Kniha samotná je obsáhlý dokument s návrhy, jak by mělo Společenství postupovat v určité oblasti. Bílá kniha většinou vychází v návaznosti na Zelenou knihu komise. Účelem listiny je rozpoutat debatu mezi zainteresovanými stranami, Evropským parlamentem a Radou s cílem dosáhnout politické shody. Evropská rada může Bílou knihu přetransformovat v akční program doporučující členským státům, jak postupovat při řešení daného tématu (Vláda České republiky, 2005-2020).

V dubnu 2009 vyšla Bílá kniha s titulem „Přízpůsobení se změnám klimatu: směřování k evropskému akčnímu rámci“, která navazuje na Zelenou knihu se stejným titulem. V této knize jsou uvedeny návrhy, jak se EU zachová vůči změnám klimatické stability světa (KOMISE EVROPSKÝCH SPOLEČENSTVÍ, 2009). Další Bílá kniha pojednávající přímo o obnovitelných zdrojích, kam biopaliva patří, nese titul „Energie pro budoucnost - obnovitelné zdroje energie“ (Vláda České republiky, 2005-2020). O emisích skleníkových plynů také pojednává kniha s názvem „Plán jednotného evropského dopravního prostoru – vytvoření konkurenceschopného dopravního systému účinně využívajícího zdroje“ (Evropská komise, 2011).

### **4.3 Legislativa České republiky**

Zavádění biopaliv do provozu v České republice má tři základní důvody. Prvním z nich je snaha o snížení závislosti ČR na dovážené ropě. Druhý argument se týká zvyšování počtu motorových vozidel a s tím související nárůst spotřeby pohonných hmot. Neméně podstatným posledním důvodem je rozvoj zemědělské činnosti (Kizlink, 2009).

V České republice jsou nařízení daná evropskou směrnicí 2003/30/ES zakotvena v zákoně č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší (Hromádko, et al., 2010). Zákon ukládá povinnost osobě uvádějící pohonné hmoty na trh České republiky, aby zajistila v palivech minimální, zákonem povolený, obsah biopaliv. Od 1. června 2010 procentuální zastoupení biopaliv v pohonných hmotách musí činit 6 % z objemu pohonných hmot (Zákonodárna moc ČR, 2002). Výše zmíněnou legislativu pozměňuje zákon 92/2004 Sb., který do zákona zařazuje pojem biopaliva (Zákonodárna moc ČR, 2004).

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/30/ES, jak již bylo zmíněno výše, zrušuje směrnici 2009/28/ES. Povinnosti pro Českou republiku vyplývající z této nové

směrnice byly zakotveny do zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší. Zákon vešel v platnost 1. ledna 2012. Biopaliva použitá pro dopravní účely musí splňovat určitá kritéria udržitelnosti. Tato kritéria jsou definována jako úspora emisí skleníkových plynů. Úspora vyjádřená v procentech uvádí, kolik procent emisí skleníkových plynů se vypustí do ovzduší spálením biopaliva oproti ekvivalentnímu množství fosilních paliv. Zákonem definovaná procentická úspora od roku 2018 činí 60 %. Výrobce je povinen toto kritérium prokázat certifikací paliv (Zákonodárna moc ČR, 2012).

Dne 24. října 2003 vešel v platnost zákon č. 353/2003 Sb. o spotřebních daních ve znění pozdějších předpisů, který udává podmínky zdanění biopaliv. Zákon udává sazbu 1610 Kč/1000 l v případě biopaliv určených pro prodej či použití pro pohon motoru. Dále udává tarif 2190 Kč/1000 l v případě methylesteru mastných kyselin splňující podmínky udržitelných biopaliv, která jsou určena k prodeji a pohonu motorů. Zákon také určuje daňovou úlevu na biopaliva, která jsou určena pro pilotní projekty technologického vývoje ekologicky příznivější palivové směsi schválené Ministerstvem životního prostředí a Ministerstvem financí (Zákonodárna moc ČR, 2003).

Mezi další legislativní prvky, které svými nařízeními nepřímo ovlivňují politiku biopaliv na území České republiky, patří: zákon č. 353/2003 Sb., novelizován zákonem č. 107/2007 Sb., o pohonných hmotách a čerpacích stanicích pohonných hmot a vyhláška č. 229/2004 Sb., stanovující požadavky na pohonné hmoty pro provoz vozidel na silnicích a způsob sledování a monitorování jejich kvality (Kizlink, 2009).

## 5 Biomasa a biopaliva

Kvalita biopaliva závisí na kvalitě suroviny, ze které je získáváno. Potřebné látky se získávají různými procesy zpracování biomasy. Pro biopaliva I. generace jsou tímto zdrojem energetické rostliny, které přímo konkurují zemědělské produkci potravin. Biopaliva II. generace získáváme ze zemědělského odpadu a zdroj biopaliva III. generace pochází z vodních řas.

### 5.1 Biomasa

Pojmem biomasa jsou označovány obnovitelné materiály pocházející z rostlinné či živočišné produkce. Jedná se především o materiály, které přímo nespádají do potravinářských či spotřebních produktů. Tento přebytečný materiál ale může mít alternativní průmyslové využití. Některé studie zařazují pod označení biomasa i mikrobiální metabolické odpady (McKendry, 2002).

Mezi největší výhody využívání biomasy jako zdroje energie patří její obnovitelnost. Díky fotosyntéze jsou sluneční energie a atmosférický oxid uhličitý transformovány do biomasy rostlin. Spalováním takovéto biomasy se do ovzduší opět uvolňuje CO<sub>2</sub>, který rostliny opět zmetabolizují. Tento proces je tedy ekologický a je označován jako uhlíkový cyklus, ve kterém je elementární uhlík neustále recyklován (Tao, 2014).

Vědci dělí biomasu podle různých charakteristik. K těm základním patří rozdělení biomasy na čtyři základní typy: bylinné rostliny / trávy; dřeviny; vodní rostliny; hnoje (McKendry, 2002). V rámci tohoto dělení jde dále rostlinný materiál rozdělit na rostliny s vysokým a nízkým obsahem vlhkosti.

Další možné dělení je podle zdrojů biomasy na zemědělské odpady (kukuřičné stopy, sláma, trupy osiva, cukrová třtina, bagasy, skořápky a hnůj ze skotu, drůbeže a prasat), dřevěné materiály (dřevo nebo kůra, piliny, lomítka a šrot z mlýna), komunální odpad (odpady z papíru a třísek) a energetické plodiny (topol, vrba, volečka...) (Tao, 2014).

Forma procesu přeměňujícího biomasu na energii je založena na obsahu vlhkosti v biomase. Je-li obsah vlhkosti v materiálu biomasy velký natolik, že by energie potřebná pro vysušení byla nadměrná vůči získané energii, volíme tzv. vodné zpracování. Tyto procesy zahrnují biologicky zprostředkované reakce, jako je „mokrý“ fermentace. K takto zpracovávané biomase patří např. bylinná biomasa, cukrová třtina,...

Biomasa, která obsahuje malé množství vlhkosti, je z ekonomického hlediska výhodnější zpracovat suchou formou. Mezi procesy suchého zpracování biomasy patří zplynování nebo spalování. Takto jsou zpracovávány třeba štěpky z dřevařského průmyslu.

Při určování správné formy zpracování biomasy hrají ovšem roli i jiné ukazatele. Mezi tyto faktory patří množství vzniklého popela, přítomnost alkálií či obsah stopových složek. Výskyt těchto ukazatelů v biomase má nepříznivý dopad na procesy tepelné přeměny. Ke sledovaným faktorům patří též i obsah celulózy. Její množství ovlivňuje procesy biochemické fermentace (McKendry, 2002).

#### 5.1.1 Složení biomasy

Organický materiál, z něhož se biomasa skládá, je komplexní směs uhlohydrátů, tuků a bílkovin, spolu se stopovým množstvím minerálů jako je Na, P, Ca a Fe.

Rostlinná biomasa je složena z uhlohydrátů (cca 75 %) a ligninu (cca 25 %). Lignin je složitá směs organických látek zesíťovaných fenylypropanovými deriváty, které udržuje vlákna celulózy a hemicelulózy pohromadě. Mezi další uhlohydrátové polymery patří škrob, který je homopolymerem glukózy. Glukóza patří k hlavním zdrojům biochemické energie organismů. Hemicelulóza je strukturní polymer složený z cukrů xylózy, glukózy, arabinózy a manózy.

Heterogenní materiály jako jsou hemicelulóza, lignin, či tuky se hůře rozkládají na užitečné chemikálie než homogenní materiály, jako je škrob a celulóza.

Spalováním uhlovodíkových řetězců, složených z C a O, se uvolňuje velké množství požadované tepelné energie. Tuto tepelnou energii poté přetransformováváme v potřebnou formu energie (Tao, 2014).

### 5.1.2 Fyzikální a chemické vlastnosti

Biomasu jako zdroj paliva hodnotíme stejnými fyzikálními a chemickými kritérii, jako paliva tuhá. K těmto charakteristikám patří výhřevnost, spalné teplo, měrná hmotnost, údaje z hrubého rozboru, údaje z prvkového rozboru a údaje o vlastnostech popelovin (teplota spékání, měknutí a tání).

Mezi údaje získané z hrubého rozboru patří výhřevnost a hmotnost obsahu vody, množství popela a prachový podíl v %. Jak již bylo zmíněno, především vysoký obsah vlhkosti je problematický u spalování biomasy. Prachový podíl se při spalování biomasy pohybuje kolem 70 – 85 %.

Prvkové rozboru zjišťují především obsah C (50 %), O (43 %) a H (6 %), na jejichž poměru je závislá výhřevnost daného materiálu. Dále se zjišťuje obsah S, N, Cl a F, jejich výskyt je nežádoucí z hlediska výhřevnosti a negativního vlivu na životní prostředí (Konzultační centrum biomasa, 2009-2011).

### 5.1.3 Zplyňování

Zplyňování je procesem zpracování biomasy tzv. za sucha. Jedná se o termochemickou přeměnu uhlíkatého materiálu na výhřevný energetický plyn pomocí zplyňovacích médií a tepla. Výsledný plyn je složený ze tří složek. Výhřevná složka se skládá z H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub> a dalších minoritních sloučenin. V doprovodné skupině je CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub> a znečišťující složka je tvořena dehtem, prachem, sloučeninami síry, chlóru,... (Pohořelý, et al., 2010).

Samotný proces se skládá z několika na sebe navazujících procesů. První fáze zahrnuje sušení paliva. Během procesu je biomasa ohřívána na teplotu do 200 °C a postupným odpařováním je zbavována nadbytečné vlhkosti. Optimální vlhkost činí 15 %. Odpařená vlhkost reaguje v reakčním pásmu či odchází ve vyrobeném plynu (Peer, et al., 2016).

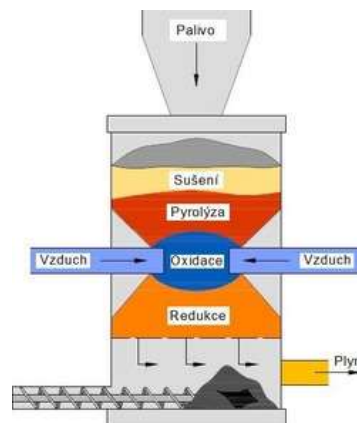
Druhá fáze je nazývána pyrolýza nebo též odplynění. Jedná se o tepelný rozklad organických materiálů za nepřístupu zplyňovacích médií. Tímto médiem jsou například kyslík, vzduch, oxid uhličitý nebo vodní pára.

Regulací hlavních reakčních parametrů (teplota, rychlost záhřevu, doba záhřevu a vlhkost biomasy) je možné ovlivnit získané produkty. Pyrolýzu podle těchto zákonitostí dělíme do tří skupin (Ochodek, et al., 2007).

- Pyrolýza 1: biomasa se rozkládá při teplotě 500 – 700 °C. Při těchto teplotách se používá jako katalyzátor aktivní uhlí, aby nedocházelo k tvorbě zuhelnatělých látek, nebo alkalický katalyzátor usnadňující reakci.
- Pyrolýza 2: zplyňování biomasy oblasti II probíhá za teplot 374 – 500 °C. Pro usnadnění zplyňování jsou používány kovové katalyzátory.
- Pyrolýza 3: hydrolýza biomasy za teploty 374 °C. Tento typ je pomalý a pro tvorbu plynu jsou nutné katalyzátory (Douglas C., 2008).

Oxidace představuje třetí fázi. Během ní probíhá částečná oxidace hořlavých plynů, pevného uhlí a ostatních složek. Pásmo oxidace je v oblasti přívodu zplyňovacího média. Použitím kyslíku či vzduchu jako zplyňovacího média se uvolní v oblasti vstupu tohoto média oxidační vrstva s teplotou mezi 800 – 1500 °C Teplo získané při těchto exotermických reakcích je dodáváno pro endotermickou reakci zplyňovacího procesu.

Poslední proces zplyňování představuje redukce. Spalitelné látky obsažené v plynu vznikají redukcí CO<sub>2</sub> na CO nebo redukcí vodní páry na H<sub>2</sub>. Během redukcí, které probíhají za nepřítomnosti kyslíku, může zreagovat i uhlík s vodíkem za vzniku CH<sub>4</sub>. Nepřítomnost kyslíku snižuje teplotu plynu a většina uhlíku je spálena nebo zredukována na CO, nebo odchází z reakce ve formě popelu (Ochodek, et al., 2007). Schéma průběhu pyrolýzy je na obrázku 5.1.



**Obrázek 5.1. Průběh reakcí v reaktoru (Peer, et al., 2016).**

První dva procesy sušení a pyrolýza a poslední proces redukce patří k endotermním reakcím. To znamená, že spotřebovávají teplo, které může být získáno přímo z oxidační fáze. Teplo je také možné přivádět z okolního prostředí. Pro první situaci se používá označení autotermní, neboli přímé zplyňování. Zatímco pro situaci, kdy je teplo přiváděno z okolí do reaktoru, hovoříme o tzv. alotermním, nebo nepřímém zplyňování.

Při přímém zplyňování je přibližně 20 – 25 % biomasy použito pro dodávání tepla endotermickým reakcím. Dále je zapotřebí do reaktoru pro exotermické reakce dodávat kyslík. Dodávání vzdušného kyslíku má ovšem za následek naředění produkovaného plynu dusíkem a tím snížení obsahu výhřevných složek. Výhřevnost takto získaného plynu se pohybuje v rozmezí 2,5 – 8,0 MJ/m<sup>3</sup>.

Pomocí alotermní pyrolýzy je získáván plyn o výhřevnosti až 14 MJ/m<sup>3</sup> a se širšími možnostmi využití. Tento proces výroby prodražuje složitost zařízení pro dodávání tepla do

reaktoru. Zplyňovacím médiem, jehož zahříváním je zajištěn přívod tepla do reaktoru, je nejčastěji vodní pára (Pohořelý, et al., 2010).

#### 5.1.4 Fermentace

Podle typu biomasy dělíme fermentační procesy na fermentaci anaerobní a alkoholovou. Během anaerobní fermentace je výsledným produktem bioplyn, dále využívaný na výrobu elektrického proudu, tepla atd. Nejdůležitějším produktem z alkoholové fermentace, jinak označované i jako ethanolové kvašení, je ethanol, který je využívaný například jako pohonná hmota.

##### 5.1.4.1 Anaerobní fermentace

Během anaerobní fermentace dochází k přeměně surové biomasy na stabilizovaný substrát a bioplyn. Pro toto technologické zpracování organické hmoty je zapotřebí bioplynových stanic (BPS) (Mužík, et al., 2003). Bioplynové stanice pracující na principu „suché“ fermentace. Tímto procesem je zpracovávána především organická hmota s vysokým obsahem sušiny. Vlastnosti organické hmoty vhodné pro anaerobní fermentaci jsou uvedeny v tabulce č. 5.1. Biomasu dávkujeme do garážovitého fermentoru v sypkém stavu kolovým nakladačem (Pospíšil, 2011). V České republice je v současnosti v provozu dvanáct BPS. Tyto stanice zpracovávají přes 200 tis. t materiálu ročně. Množství zpracované biomasy odpovídá pouhým 10 % odhadovaného ekonomického potenciálu ČR. Celkový obsah vhodné biomasy pro anaerobní fermentaci v České republice je uveden v Příloze 1. Vzniklý bioplyn je dále využíván na:

- a. přímé spalování a ohřev teplotnosného média (např. topení, sušení, chlazení, vaření),
- b. výroba elektrické energie a ohřev teplotnosného média (kogenerace),
- c. výroba elektrické energie, tepla a chladu (trigenerace),
- d. palivo
- e. neenergetické využití BP (chemická výroba sekundárních produktů) (Mužík, et al., 2003).

**Tabulka 5.1. Vlastnosti biomasy pro anaerobní fermentaci (Mužík, et al., 2003).**

Podíl org. hmoty [% suš.]	Sušina [%]	Poměr C:N	pH
>60	7 - 25	20 - 30:1	6,7 - 7,5

Základním principem při tvorbě bioplynu je vyhnívání organických látek, neboli fermentace bez přístupu vzduchu a ve vlhkém prostředí za přítomnosti methanových bakterií - methanogenů. Jedná se o biochemický proces složený z posloupných fyzikálních, fyzikálně-chemických a biologických procesů. Jednotlivé reakční procesy probíhají při teplotách od 0 °C do 70 °C. Výsledkem soustavy procesů je hořlavý plyn methan a doprovodnými látkami jsou oxid uhličitý a voda. Samotný proces se dělí do čtyř základních fází (Michal, -).

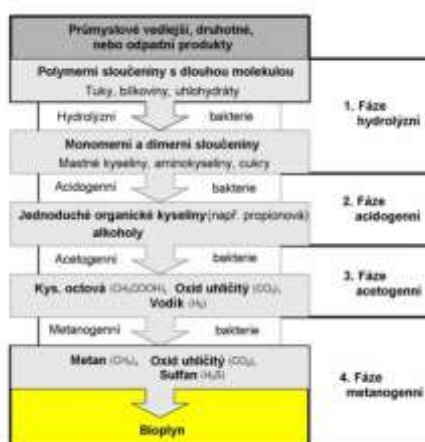
První fází je hydrolýza. Tato fáze probíhá v prostředí, ve kterém je přítomen vzdušný kyslík a dostatečná vlhkost přesahující 50 % hmotnostního podílu. Přítomné mikroorganismy rozkládají pomocí exoenzymů polymery organických látek na jednodušší monomery.

Následující fáze se nazývá acidogeneze. V této části fermentace dochází k anaerobní činnosti fakultativně anaerobních organismů schopných aktivace v obou prostředích. Princip acidogeneze je založený na tvorbě vyšších organických kyselin z monomerů vzniklých hydrolytickým štěpením (Mužík, et al., 2009).

Během acetogeneze, třetí fáze procesu, převádějí acidogenní kmeny bakterií vyšší organické kyseliny na kyselinu octovou, vodík a oxid uhličitý.

Poslední fází anaerobní fermentace je methanogeneze. V této fázi rozkládají methanogenní acetotrofní bakterie kyselinu octovou na methan a oxid uhličitý. Hydrogenotrofní bakterie produkují methan z vodíku a oxidu uhličitého (Michal, -).

Výše popisovaný proces je schématicky znázorněn na obrázku 5.2.



Obrázek 5.2. Fáze výroby bioplynu anaerobní fermentací (Petříková, 1999).

#### 5.1.4.2 Alkoholová fermentace

Jak již bylo řečeno, alkoholovou fermentací se z biomasy vyrábí ethanol (přesně řečeno bioethanol). Bioethanol je palivo vhodné pro pohon vozidel. Spalováním nebo zplyňováním není možné takto vhodné palivo získat (Mužík, et al., 2009).

Výroba bioethanolu je založena na procesu kvašení. Fermentační proces probíhá převážně v anaerobním prostředí. Pouze v počáteční fázi je biomasa provzdušňována za účelem nárůstu buněk a jejich aktivace.

Fermentačním procesem je možné kvasit pouze monosacharidy. Z tohoto důvodu většina složitějších látek musí projít nejdříve procesem hydrolýzy. Složité polymerní látky jsou působením vlastních enzymů mikroorganismů nebo přidáním látek, zpravidla kyselin, štěpeny na jednoduché monomery (Hromádko, et al., 2010).

Samotné kvašení je schématicky zobrazeno na obrázku 5.3. Tato reakce je katalyzována enzymem, který produkují samotné kvasinky. Látka vstupující do reakce je glukóza a výsledný produkt  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$  je ethanol.



Obrázek 5.3. Rovnice alkoholického kvašení (Hromádko, et al., 2010).

Mnoho technologických procesů, které zpracovávají biomasu na ethanol, využívá počáteční odstraňování nánosů velkých nebo nevhodných látek z odpadních materiálů. Po předčištění je organický materiál mechanicky předzpracovaný. Jedná se o odstranění recyklovatelných látek a kontaminantů a drcení velkého organického materiálu. Následně je zpracováván materiál hydrolyticky štěpen. V závislosti na využívané technologii jsou v této fázi používány vysoká teplota, ošetření kyselinou, nebo je zapotřebí vysokého tlaku.

Hydrolýzou vzniklý kašovitý materiál poté prochází samotnou fermentací, během které vzniká potřebný ethanol. Alkoholické látky jsou poté čištěny pomocí destilačních procesů či filtrací. Vzniklý bioethanol je používán jako palivo vysoké kvality (Lin, et al., 2006).

## 5.2 Biopaliva

Mezi jeden z problémů, který doprovází využívání fosilních paliv jako zdroj energie, je uvolňování emisí skleníkových plynů. Plynů, které mají dle všeobecného mínění za příčinu globální změnu klimatu. Z těchto důvodů patří bezemisivita k nejdůležitějším požadavkům na alternativní paliva.

Tento požadavek splňují i paliva získávaná z biomasy. Jejich spalováním se sice uvolňuje do ovzduší určité množství CO<sub>2</sub> (jednoho z nejsledovanějších skleníkových plynů), ale stejné množství do sebe navážou organismy, z nichž biomasa pochází, během svého života. Tím se dosáhne tzv. nulového koloběhu uhlíku (Cheng, 2018).

Pod pojmem biopaliva jsou v dnešní době zahrnuty tekuté pohonné hmoty vyráběné hlavně z finálních zemědělských produktů (obilí, kukuřice,...). Pod pojmem jsou ale zahrnuty též bioplyn a pevná tvarovaná paliva, jako jsou pelety a brikety, které jsou určeny ke spalování. Tyto formy paliv jsou převážně zajišťovány z druhotných zbytků živočišné a rostlinné produkce (hnůj, sláma, seno,...) (Gandalovič, et al., 2009).

Pro lidskou společnost jsou v dnešní době potřebné převážně dva typy biopaliv, a to bionafta vyráběná z rostlinných olejů (palmového, sojového, řepkového a dávivcového) a ethanol vyráběný ze škrobů (kukuřičného a pšeničného) a cukrů.

Nejčastější způsob, jakým se biopaliva dělí, je založen na zdroji biomasy. Podle toho se dělí do tří generací (Maritzová, et al., 2011).

### 5.2.1 Historický vývoj biopaliv

Člověk již takřka od počátku své existence používá obnovitelné zdroje, jako je dřevo, voda a vítr pro získávání potřebné energie. V tabulce 5.2. je vidět, jak byly využívány obnovitelné zdroje v posledních čtyřech stoletích. Prostřední sloupec nám vystihuje nejzákladnější problémy ohledně biopaliv dané doby.



**Tabulka 5.2. Použití biopaliv během čtyř historických epoch a jejich hlavní obavy** (Singh, et al., 2016).

časová perioda	hlavní obavy	využití biopaliv
polovina 19. stol.	-	jako palivo lamp a palivo na vaření
20. století	kvalita paliva a vyčerpání ropy	spalovací motor
2. polovina 20 stol.	mezinárodní ropná politika, zejména arabská ropa	spalovací motor
počátek 21. stol.	změna klimatu, biologická rozmanitost a udržitelnost široce rámující energii výzkumné a politické debaty	spalovací motor

K prvním velkým průmyslovým sektorům výroby a zpracování biopaliv patří německý program z roku 1899. Tento program byl utvořen pro podporu rozvoje venkova a zvýšení soběstačnosti. Tento program zahrnoval výstavbu lihovarů v blízkosti farem, kvóty dovážené ropy, propagace spotřebičů na ethanol a výzkum zahrnující automobily na ethanolová paliva.

Počátkem 20. století byla v Německu uskutečněna výstava věnovaná pouze automobilům, domácím spotřebičům a agrárním strojům poháněným alkoholem. Tato výstava postupně proběhla mezi léty 1901 až 1904 též ve Francii, Itálii a Španělsku a v letech 1907 a 1908 byla uskutečněna ve Spojených státech Amerických.

Britská komise na alkoholové motory, sestavená během první světové války, došla v roce 1921 k závěru, že takovýto typ motorů je vhodnou alternativou pro tropická území a území vzdálená zdrojům fosilních paliv. Francie na výstavu zareagovala dotačním programem, který měl zajistit nezávislost státu na dovážené ropě. Tento nárůst biopaliv bohužel zarazily nízké sklizně v roce 1937 (Singh, et al., 2016).

V dnešní době patří k největším průkopníkům biopaliv Brazílie. Zde byl vojenskou vládou již v 80. letech 20. století zaveden program, který měl za úkol snížit závislost státu na dovozu ropy a zároveň měl podpořit zemědělskou činnost.

Mezi lety 1983 - 1988 bylo již 88 % nových vozů přizpůsobeno na alternativní palivo složené ze směsi benzínu a ethanolu. Tento vývoj byl ohrožen pozdějším rapidním poklesem cen ropy. Kongres proto vydal zákon, který přikazuje rafinériím míchat do pohonných hmot malé množství ethanolu a stát dále pracuje na absolutní energetické nezávislosti na okolních státech.

Brazilským úsilím se dále inspirovaly Spojené státy Americké či Čína. V Příloze 2 je uvedeno 10 největších producentů ethanolu včetně výtěžností z roku 2006 (Biom.cz, 2006).

### 5.2.2 Biopaliva I. generace

Pro produkci výchozí biomasy pro biopaliva I. generace je nejefektivnější území v tropických regionech. V těchto klimatických podmínkách jsou vhodné přírodní podmínky a dostatek úrodné půdy, což má za následek dvou až trojnásobné roční výnosy oproti mírnému pásmu. Velkou nevýhodou těchto regionů je nízké ocenění životního prostředí. To může vést (a také

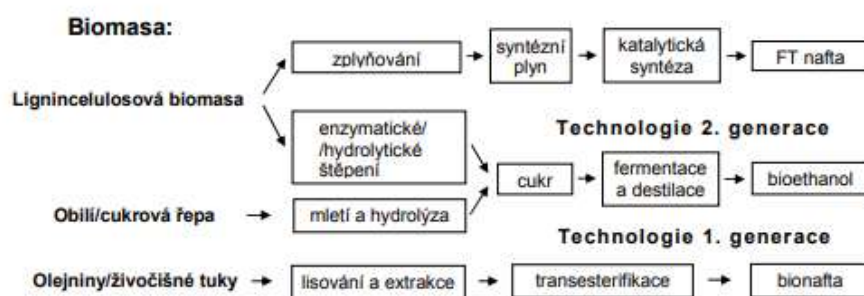
vede) k masivnímu nahrazení přírodních ekosystémů, jako jsou lesy, mokřiny a pastviny, bioenergetickými plodinami. Přirozené biotopy jsou nahrazovány hlavně plantážemi pro pěstování cukrové třtiny. Tyto změny přinášejí výrazná negativa, jako jsou změna kyselosti půdy, použití umělých hnojiv, rapidní snížení biodiverzity a jedovatost pesticidů. Většinou jejich součet převyšuje výhody vysokého výnosu biomasy. Do biopaliv I. generace řadíme:

- a) MEŘO (methylester řepkového oleje) – jedná se o bioethanol vyráběný z rostlin, které obsahují cukr nebo škrob (cukrová třtina, cukrová řepa, kukuřice a téměř všechny druhy obilí),
- b) BioETBE (bioethylterbutylether) - palivo vyráběné adiční reakcí bioethanolu s isobutanem,
- c) rostlinný olej - v klimatických podmínkách střední Evropy se jedná především o řepkový olej (Hromádko, et al., 2009).

### 5.2.3 Biopaliva II. generace

Rozdíl mezi biopalivy I. a II. generace je hned dvojnásobný. V první řadě se liší vlivem na životní prostředí a podstatný rozdíl činí druh biomasy jako suroviny pro jejich výrobu.

Zatímco biopaliva I. generace během celého svého životního cyklu vykazují nízké saldo produkce a jsou vyráběna z „potravinářské“ biomasy, biopaliva II. generace mají významný pozitivní rozdíl v zůstatku produkce CO<sub>2</sub> během životního cyklu. Biopaliva II. generace jsou vyráběna z „nepotravinářské“ lignocelulosové biomasy. K významným zdrojům patří: dřevo, těžební zbytky, seno, sláma, rostlinné odpady, rychle rostoucí dřeviny atd (Hromádko, et al., 2009). Jednotlivé technologie na výrobu biopaliv II. generace se liší podle základního složení biomasy. Obrázek 5.4. schematicky znázorňuje nečastější technologie pro výrobu bioethanolu a bionafty.



**Obrázek 5.4. Znázorněny způsoby výroby jednotlivých druhů biopaliv s vyznačením technologie biopaliv I. a II. generace (Hromádko, et al., 2009).**

Jejich široká komerční použitelnost není doposud příliš jistá. Tato nejistota vychází z důvodu, že biopaliva II. generace jsou stále v demonstrační fázi (Maritzová, et al., 2011).

Paliva řazená do II. generace jsou vyráběna z nepotravinářských zemědělských produktů a zemědělského odpadu. Tento fakt má za následek, že biopaliva II. generace neohrožují lidstvo nadměrným využíváním biomasy na úkor potravin oproti biopalivům řazeným do generace I. (Gandalovič, et al., 2009).

Biomasa pro výrobu biopaliv II. generace během svého životního cyklu vykazuje až 90 % potenciál snížení emisí CO<sub>2</sub> ve srovnání s palivy fosilního původu.

K biopalivům II. generace řadíme:

- a) bioethanol - získáván z lignocelulosové biomasy,
- b) syntetická motorová nafta - produkt Fischerovy Tropšovy syntézy,
- c) biomethanol - produkt katalytické konverze syntézního plynu,
- d) biodimethylether - vznikající katalytickou konverzí syntézního plynu,
- e) biovodík - další produkt produkt katalytické konverze syntézního plynu.

Počátkem 21. století se zatím začínají na trhu s palivy uplatňovat bioethanol a syntetická motorová nafta. Ostatní paliva II. generace jsou prozatím ve stádiu výzkumu a vývoje (Hromádka, et al., 2009).

#### **5.2.4 Biopaliva III. generace**

V dnešní době se stále hledají výhodnější a šetrnější zdroje energie. Jednu z možných variant představují biopaliva III. generace. Biomasa potřebná pro III. generaci biopaliv pochází z řas. K získání biopaliv z řas je zapotřebí velice pokročilé technologie (Maritzová, et al., 2011).

Růst zájmu o paliva III. generace vyvolala především snaha nahradit biopaliva I. generace, fosilní paliva a omezit biopaliva II. generace za pomoci palivy obnovitelných a především uhlík-neutrálních. To vše za účelem zvýšení udržitelnosti životního prostředí a za účelem ekonomické stability.

Olejně složky nebo škrob obsažené v biomase řas je možné konvertovat na biodiesel, bioolej nebo bioethanol. Fermentací popsanou výše jde získávat bioplyn nebo lze biomasu z řas přímo spálit a vyrobit elektřinu nebo teplo. Za určitých podmínek lze z biomasy produkované řasami získat i biovodík.

Termochemickými metodami lze z biomasy získat olej či syngas, který je zásadní surovinou v rafinériích. Syngas je směs plynů, z nichž je nejvíce zastoupen oxid uhelnatý a vodík (Kopecký, et al., 2016).

Technologie získávání biopaliv z převážně vodních řas jsou v dnešních dnech intenzivně studovány na řadě výzkumných pracovišť. Biopaliva III. generace nejsou prozatím masivně produkována na globální trh (Maritzová, et al., 2011). Více se řasám budu věnovat v kapitole 6 Vodní řasy.

## 6 Vodní řasy

Řasy, latinsky *Algae*, řecky *Phykos*, představují skupinu (Kalina, et al., 2005), která je velice těžko definovatelná (Raven, et al., 2014). Termín řasy nemá žádné formální taxonomické postavení (Andersen, et al., 2007). V odborné literatuře České republiky se toto označení používá pro spojení „sinice a řasy“. Toto slovní spojení je používáno pro prokaryotické sinice a eukaryotické řasy (Kalina, et al., 2005).

Nejčastěji se tento termín používá pro označení polyphyletní skupiny organismů (tj. skupina organismů, které nesdílejí společného vývojového předka, ale sledují různé evoluční linie) (Barsanti, et al., 2014). Jedinci spadající do této skupiny jsou převážně vodní fotosyntetizující organismy (Andersen, et al., 2007), které nepatří k „vyšším rostlinám“ (embryofyta) (Raven, et al., 2014).

Mezi řasami a embryofyty existuje velké množství morfologických podobností, ale přesto jejich podobnosti jsou mnohem menší než jejich rozdíly. Řasy na rozdíl od vyšších rostlin nemají vysokou diferenciaci, což znamená, že nemají tělo rozlišeno na kořen, stonek, list (Barsanti, et al., 2014) - vlastnosti, které sdílejí s nízkými vaskulárními rostlinami (např. mechy, játrovky a rohovce) (Raven, et al., 2014) - ani cévní svazky. Organismy řadící se do řas netvoří embrya. Jejich reprodukční struktury se skládají z buněk, které jsou všechny potenciálně plodné a postrádají sterilní buňky. Mají monogenetické i digenetické životní cykly (Barsanti, et al., 2014).

Kromě toho se řasy vyskytují v různých podobách. Velikostí sahají od mikroskopických druhů *Micromonas* po druhy dosahující délky až 60 metrů. Mají pestrou škálu fotosyntetizujících pigmentů. To jim umožňuje fotosyntetizovat i ve světelných podmínkách pro vyšší rostliny nepřijatelných (Andersen, et al., 2007).

Jak již bylo řečeno, řasy jsou nejednotná umělá taxonomická jednotka a je velice složité určit, které organismy do této skupiny patří a které ne. Někteří je dělí podle barviv ve svých chlorofylech, jiní podle velikosti. Van den Hoek et. al.(1995) rozděluje řasy do systematických skupin uvedených v tabulce 6.1. Toto rozdělení je v dnešní době přijímáno jako nejpřesnější členění taxonomicky nejednotné skupiny řas. Pro účel této bakalářské práce dále rozdělím řasy pouze podle jejich velikosti na mikrořasy a makrořasy (Kalina, et al., 2005).

Řasy jsou nepostradatelným ekologickým producentem kyslíku a potravinovou základnou takřka pro veškeré vodní živočichy. Setkáme se s nimi v mnoha odvětvích lidské činnosti. Pro lidstvo jsou ekonomicky důležité převážně jako zdroj ropy, potravin, krmiv a řady farmaceutických a průmyslových výrobků. V oblasti pohonných hmot je pro výrobu biopaliv využívána biomasa tvořená převážně mikrořasami (Andersen, et al., 2007).

**Tabulka 6.1 Přehled řasových oddělení a jejich současné zařazení (Kalina, et al., 2005).**

Imperium	Říše	Oddělení
Prokarya	Bakterie (Bacteria)	Sinice (Cyanobacteria)
	Prvoci (Protozoa)	Eugleny (Euglenophyta)
Eukarya	Chromista	Obrněnky (Dinophyta)
		Chlorarachniophyta
	Skrytěnky (Cryptophyta)	
	Heterokontophyta	
	Rostliny (Plantae)	Glaucoophyta
		Ruduchy (Rhodophyta)
		Zelené řasy (Chlorophyta)
		Parožnatky (Charophyta)

## 6.1 Mikrořasy

Termínem mikrořasy se označují veškeré organismy zařazené taxonomicky k řasám, které jsou příliš malé na to, aby byly rozpoznatelné bez mikroskopu. V této kategorii řas jsou zahrnuty jak eukaryotické mikrořasy, tak prokaryotické cyanobakterie (eukaryotní jednobuněčné i vláknité řasy) (Larsdotter, 2006). Jsou to tedy organismy s velikostí v řádu mikrometrů. Sinice *Prochlorococcus* je nejmenší známou řasou na světě. Její jednobuněčné tělo není v průměru větší než 1  $\mu\text{m}$

Do skupiny mikrořas jsou řazeny i mikroorganismy, které začaly před 2,5 miliardami let tvořit kyslíkatou atmosféru Země. Od té doby se vyvinuly v pestrou skupinu jak vodních tak i půdních organismů a rozšířily se po celé planetě. Vyskytují se ve všech ekosystémech světa a tvoří nezpochybnitelnou ekologickou složku (Kopecký, et al., 2016).

Fotosyntetický mechanismus a metabolické děje probíhají v jejich tělech podobně jako u vyšších rostlin. Avšak mají jednu velkou výhodu, a to že fotosyntetický potenciál je výrazně větší (tzn., využívají sluneční záření mnohem efektivněji).

Fotosyntetický proces je jediný cyklus, během něhož jsou solární záření a  $\text{CO}_2$  transformovány v energii a slouží jako zdroj kyslíku. Díky větší účinnosti fotosyntézy mikrořasy rostou až desetkrát rychleji než vyšší rostliny. Další výhodou využívanou při jejich kultivacích je, že mají velmi krátké reprodukční cykly (Stříteský, et al., 2013).

Vodní mikrořasy označované jako plankton tvoří základnu potravinové pyramidy. Můžeme je najít v téměř každé vodě na Zemi. Mikrořasy vyskytující se v mořích a oceánech produkují téměř polovinu fotosyntetické produkce kyslíku na světě (Kopecký, et al., 2016).

Mezi další výhody mikrořas, které jsou využívány při jejich kultivacích, patří:

- Jejich kultivace může probíhat jak ve sladké tak mořské vodě. Nesoupeří tedy o půdu a živiny se zemědělskými plodinami.
- Je možné jejich celoroční pěstování i zpracování.
- Složení výsledné biomasy je možné modifikovat podle požadavků pouhou změnou podmínek, ve kterých mikrořasy rostou.

- d) Správnou kultivací je u mnoha druhů možné docílit poměrně vysoké produkce vybraných komerčně cenných produktů (proteiny, lipidy, uhlovodíky, potravinové doplňky, vitaminy, pigmenty nebo energetické produkty).
- e) I přes kultivaci ve vodě je její výsledná spotřeba mnohonásobně nižší než u suchozemských rostlin.
- f) Spotřebu CO<sub>2</sub> je možné využít při uvolňování spalinových plynů, které jsou využity jako zdroje uhlíku pro stavu řas a tím se zvýší jejich růst.
- g) Mikrořasy obsahují mnoho látek, které je možné zpracovávat na cenné produkty, jako jsou bionafta, biobutanol, methan, ethanol a další (Stříteský, et al., 2013).

Z chemického hlediska jsou řasy mikroorganismy, které mají vysoký obsah bílkovin. Buňky mikrořas jsou schopné syntetizovat všechny aminokyseliny a mohou tak lidem poskytnout ty základní. Sacharidy jsou v tělech mikrořas zastoupeny převážně formou škrobu a glukózy. Průměrný obsah lipidů činí rozpětí mezi 1 % a 70 %. Lipidy jsou složeny převážně z glycerolu a nasyčených nebo nenasycených mastných kyselin (12 až 22 atomů uhlíku). Zvláště zajímavé jsou mastné kyseliny z řad omega 3 a omega 6. Celkové množství mastných kyselin je ovlivněno nutričními a environmentálními faktory. Tělesné schránky mikrořas také poskytují téměř všechny důležité vitamíny (např. A, B1, B2, B6, B12, C, E, biotin, kyselina listová a kyselina pantothenová). Mikrořasy jsou také bohaté na pigmenty. Mezi nejdůležitější patří chlorofyl, zastoupený v suché hmotě 0,5 % až 1 %. Dalším podstatným pigmentem jsou karotenoidy zastoupené v průměru 0,1 % až 0,2 % v suché hmotnosti. U mikrořasy *Dunaliella* činní β-karoten až 14 % v sušiny (Spolaore, et al., 2006).

### **6.1.1 Kultivační parametry**

Každý organismus potřebuje pro svůj růst a optimální vývoj určité podmínky, které mu zajišťuje prostředí, ve kterém žije. Při kultivaci řas zajišťujeme tyto podmínky my. Pomocí určitých regulací a optimalizací základních faktorů růstu můžeme dokonce i zmnohonásobit produkci požadované biomasy oproti produkci z přírody.

Mezi nejdůležitější parametry, které ovlivňují růst a vývoj řas patří množství a kvalita světla, teplota, pH, turbulence systému, salinita a živiny. Neoptimálnější podmínky pro daný kmen řas přesně odpovídají specifikacím prostředí, ve kterém se daný druh vyskytuje (Barsanti, et al., 2014).

#### **6.1.1.1 Světlo**

Většina mikrořas se řadí mezi fototrofní organismy. Fototrofní organismus je schopen získávat potřebnou energii pro svůj vývoj ze sluneční energie (Larsdotter, 2006). Maximální intenzita viditelné části světelného spektra dopadající na povrch země je zhruba pětkrát až desetkrát vyšší (asi 400 W.m<sup>-2</sup>) než množství, které jsou organismy schopné fotosynteticky přetřansformovat. Tento fakt umožňuje, aby více než 90 % dopadajícího viditelného světla bylo disipováno (nevratně ztraceno) (Kopecký, et al., 2016) ve formě tepla a necelých 10 % přetvořeno na chemickou energii (Larsdotter, 2006).

Požadavky na intenzitu dopadajícího světla se u jednotlivých tříd vodních řas liší. Nároky se výrazně mění v souvislosti s hloubkou vodního kolektoru a v souvislosti s hustotou kultury mikrořas. Nárůst potřebné intenzity světla je přímo úměrný narůstající hloubce, ve které se kolonie vyskytuje. Tentýž princip platí i s narůstající koncentrací buněk. Čím vyšší

hustota kolonie je, tím je potřeba vyšší intenzita světla, aby mohlo pronikat do kultury (Barsanti, et al., 2014). Avšak příliš vysoká intenzita světla (přímé sluneční záření) působí na kultivované mikrořasy inhibičně (Stříteský, et al., 2013).

Mikrořasy si vytvořily několik strategií, aby se udržely v blízkosti vodní hladiny a tím mohly zachytit dostatek potřebného světla. Princip většiny strategií je založen na snížení měrné hmotnosti a tím minimalizaci rychlosti klesání (Kopecký, et al., 2016).

Je proto velice důležité při umělé kultivaci řas dbát na dostatečné osvětlení, které je redukováno pomocí filtrů (Barsanti, et al., 2014).

Jak jsem již zmínil, tak některé mikrořasy patří do kategorie heterotrofních organismů. Tyto organismy ke svému růstu nepotřebují jako zdroj energie sluneční záření. Místo toho využívají jako zdroj energie organický uhlík. Kultivace těchto mikrořas přináší ohledně světelných podmínek své výhody. Není nutné zajišťovat přirozené či umělé osvětlení. Tím se snižují náklady na sklizeň biomasy o mnohem vyšší koncentraci než u fototrofních druhů (Stříteský, et al., 2013).

Sluneční záření je pro kultivace řas poskytováno zdarma a přesto má několik nevýhod. Kultivační nádrže se musejí přizpůsobovat dennímu cyklu, povětrnostním podmínkám, ročnímu období a je nutno zvolit optimální lokalitu, která není zastíněna okolním prostředím (Kopecký, et al., 2016). Naproti tomu umělé osvětlení má výhodu v nepřetržitém účinku. Velkým mínusem umělého osvětlení jsou vysoké finanční náklady. Tento důvod zabraňuje jeho využití v plném měřítku (Stříteský, et al., 2013).

Aby se zvýšil příjem světla pro všechny mikrořasy v kolektoru, tak se medium neustále promíchává. Turbulence vystavuje všechny buňky světlu po alespoň krátkou dobu, a tím umožňuje vysokou produktivitu. Ovšem nejefektivnější způsob jak zabránit světelnému omezení je snížit hloubku kultivačních nádrží. Obecně se doporučují hloubky mezi 15 a 50 cm. Avšak v zimním období by výška hladiny neměla překročit více než 20 cm (Barsanti, et al., 2014).

#### **6.1.1.2 Teplota**

U teploty v kultivační jednotce platí to, co u všech ostatních faktorů, a to že by měla být v ideálním případě co nejbližší teplotě, v níž jsme exemplář sbírali (Barsanti, et al., 2014). Zvyšováním teploty se zvyšuje i rychlost růstu řas až do dosažení optimální teploty. Následné zvyšování teploty má pouze za následek rychlý pokles nárůstu biomasy (Larsdotter, 2006). Teplotní nika se u většiny běžně kultivovaných řas pohybuje obvykle v rozpětí 16 – 35 °C. (Barsanti, et al., 2014) (Kopecký, et al., 2016). Teploty pod 16 °C většinou zastavují další růst organismů. Teplota nad 35 °C je pro většinu řas letální (Barsanti, et al., 2014).

#### **6.1.1.3 pH**

Rychlost růstu mikroorganismů a jejich vývoj ovlivňuje též hodnota pH v prostředí (Larsdotter, 2006). Většina kultivovaných řas má svojí toleranční křivku mezi pH 7 - 9. Ovšem optimální hodnoty pro nejrychlejší nárůst biomasy se pohybuje v rozmezí pH 8,2 – 8,7. Avšak existují i druhy jejichž optimální pH sahá do kyselejší či zásaditější části spektra (Barsanti, et al., 2014).

pH je v kultivačních nádržích obvykle zvyšováno díky fotosyntetické asimilaci CO<sub>2</sub>.

Hodnotu pH také reguluje, jaký druh anorganického uhlíku je v médiu k dispozici. Další ovlivňující činitel hodnoty pH je absorpce dusíku řasami. Asimilace dusičnanových iontů má tendenci zvyšovat pH. Pouze když je jako zdroj dusíku používán amoniak, může se pH média snížit až na 3. Takto nízká hodnota pH je pro většinu kultivovaných mikrořas smrtící.

Vysoké pH může vést k vysrážení fosfátů v médiu do formy fosforečnanu vápenatého. Tato reakce je opět vratná pokud se pH sníží.

Při vysokých hodnotách pH je zapotřebí hlídat obsah amoniaku. Vysoká koncentrace amoniaku v takovém případě vede k potlačení fotosyntézy (Larsdotter, 2006).

Jakýkoli výkyv z optimálních hodnot pH může způsobit, z důvodů narušení mnohých buněčných procesů, kolaps celé kultury (Barsanti, et al., 2014). Zabránit extrémním hodnotám pH, lze pomocí turbulence, která podporuje výměnu plynů mezi vodou a vzduchem (Larsdotter, 2006).

#### **6.1.1.4 Míchání (analogie s hydrodynamikou v přírodě)**

Míchání již bylo zmíněno jak u světelného faktoru, tak u hodnot pH. Je to důležitý činitel, který zabraňuje usazování řas. Tím je zajištěno stejné odhalení všech buněk světelnému zdroji (Barsanti, et al., 2014). Dochází k rychlému střídání režimu světlo/tma v cyklech trvajících desítky až stovky milisekund (frekvence 10 - 100 Hz). Pomocí experimentů bylo zjištěno, že tato frekvence přesně odpovídá rychlostem obratu enzymů fotosyntetického aparátu. To má za následek zvýšení účinnosti fotosyntézy a následný nárůst biomasy (Kopecký, et al., 2016).

Mícháním je zajištěno rovnoměrné rozmístění živin v médiu. Turbulence také zabraňuje přirozenému rozvrstvení organismů v kultivaru. Dále je turbulencí podpořena výměna plynů mezi kultivačním médiem a vzduchem (Barsanti, et al., 2014).

Dobře míchané kolektory s kulturami mikrořas (algakultury) představují umělé systémy, jejichž produkce biomasy je o několik řádů vyšší než řídké populace fytoplanktonu v přírodě (Kopecký, et al., 2016).

#### **6.1.1.5 Salinita**

Mikrořasy se vyskytují jak v mořské tak sladké vodě. Při kultivaci mořské řasy je nutno dodržet určitou salinitu kultivačního media. Řasy jsou naštěstí vůči změnám salinity extrémně tolerantní. Za pomoci experimentů bylo zjištěno, že většina druhů řas roste nejlépe při salinitě o hodnotě mírně nižší, než je v jejich přirozeném prostředí (Barsanti, et al., 2014).

#### **6.1.1.6 Živiny**

Pro vodní řasy jsou nejpodstatnější látky, které slouží jako zdroj uhlíku. Uhlík se vyskytuje buď ve formě CO<sub>2</sub> z atmosféry nebo spalinových plynů, případně ve formě uhlovodíků.

Mezi živiny patří takzvané nutrienty a mikronutrienty. Nutrienty jsou látky požadované ve vyšších koncentracích a jedná se o základní stavební prvky dusík, fosfor a draslík (Stříteský, et al., 2013). Jejich dostupnost mikrořasám je zajišťována intenzivní turbulencí (Kopecký, et al., 2016). Mikronutrienty představují mikroprvky potřebné pro správnou funkci organismů. K těmto prvkům patří železo, vápník, křemík, mangan, měď, zinek a další (Stříteský, et al., 2013).

Při pěstování hustých produkčních kultur je klíčovou podmínkou dodatečný přísun CO<sub>2</sub>. Jeho přirozená koncentrace ve vzduchu, činící v dnešní době méně než < 0,04 ppm, je



o několik řádů nižší, než požadovaná koncentrace v pěstebních mediích (Kopecký, et al., 2016).

### **6.1.2 Kultivační metody**

Technologie dnešní doby umožňují produkovat heterotrofní nebo mixotrofní mikrořasy, a však z ekonomického hlediska je v současnosti nejběžnější produkce autotrofních řas (Stříteský, et al., 2013).

Mezi dva nejpodstatnější a nejpoužívanější systémy kultivace mikrořas patří uzavřené a otevřené systémy. Otevřený systém neboli otevřená nádrž je nejstarší kultivační systém na produkci mikrořas. Každá z variant kultivace má své výhody i nevýhody. Uzavřené systémy umožňují větší kontrolu růstových podmínek, zatímco otevřené systémy jsou do značné míry ovlivněny vnějšími faktory. Oproti tomu otevřené systémy mají často jednodušší konstrukce a tím zjednodušený provoz. Z těchto důvodů může být otevřená varianta vhodnější z ekonomického hlediska. Ke kultivačním systémům mikrořas patří i imobilizace, kde jsou buňky zachyceny v pevném médiu (Larsdotter, 2006).

Kultivační nádrže by neměly být toxické. Měly by být chemicky inertní, přiměřeně transparentní vůči světlu a snadno vymyvatelné. Mezi doporučené materiály pro kultivační nádoby a přípravu médií patří:

- Borosilikátové sklo
- Polykarbonát
- Teflon
- Polystyren

K materiálům, které by se rozhodně neměly v kultivačním procesu mikrořas používat, patří všechny typy gum a PVC, které nejsou odolné vnějším vlivům (Barsanti, et al., 2014).

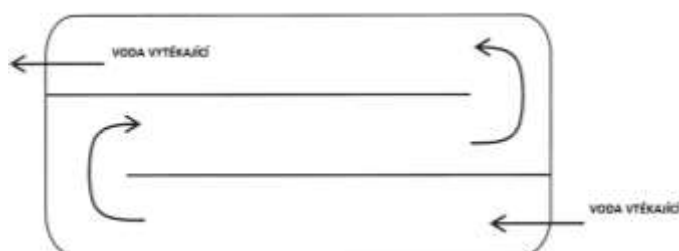
#### **6.1.2.1 Otevřené systémy - rybníky**

Pěstování mikrořas v otevřeném systému pro komerční účely obvykle probíhá v nádržích – jde o přírodní či umělé nádrže, oběžné náhony nebo kaskády nakloněných ploch (Kopecký, et al., 2016). Používají se převážně dva typy nádrží. Kolektor s mělkými dostihovými dráhami a kruhové rybníky s rotujícím ramenem pro promíchání kultur (Larsdotter, 2006). Kultury mikrořas v těchto kolektorech mají přímý kontakt s okolním prostředím (Kopecký, et al., 2016).

První ze zmíněných variant je tvořena mělkou nádrží (20 až 50 cm hluboká). Tato nádrž je uzavřená smyčka. V této smyčce projíždí kolesové kolo pro míchání, recirkulaci a předcházení sedimentaci (Stříteský, et al., 2013). Mělké dostihové kolektory se využívají při čištění odpadních vod, fakultativních rybníků a ve vysoce hodnotných řasových rybnících.

Fakultativní nádrže jsou obvykle hluboké více než jeden metr. V těchto nádržích rostou ve vrstvách povrchové vody řasy a poblíž dna je anoxické prostředí. Kolektory s vysokým obsahem řas jsou, jak již bylo zmíněno, naproti tomu hluboké jen necelý metr. Tyto nádrže se nepřetržitě mísí jemným mícháním. Tím je docíleno aerobního prostředí v celém objemu kultivace (Larsdotter, 2006). Míchání v otevřených kultivačních nádržích zajišťuje oběžné čerpadlo, rotující rameno, lopatková kola, nebo je zajištěno probubláváním vzduchu (Kopecký, et al., 2016).

Otevřené systémy kultivace vodních mikrořas jsou levnější než uzavřené kultivační nádrže. Oproti uzavřeným systémům mají také nižší energetické nároky a nevyžadují tolik obsluhy a údržby. Ovšem velkým mínusem je ovlivnění vývoje biomasy vnějšími faktory. Z tohoto důvodu kolísá již tak poměrně nízký výnos biomasy (Stříteský, et al., 2013). Koncentrace biomasy se pohybuje v rozmezí 0,5 - 1 g biomasy na litr. Nárůst biomasy v otevřeném systému se pohybuje v průměru mezi 1 - 2 g m<sup>-2</sup> den<sup>-1</sup> (Kopecký, et al., 2016). Schéma kultivace řas v otevřeném systému je na obrázku 6.1.



**Obrázek 6.1. Kolektor s mělkými dostihovými dráhami (Larsdotter, 2006).**

### 6.1.2.2 Uzavřené fotobioreaktory

Fotobioreaktor je termín, který se používá pro uzavřené míchané kultivační systémy. Tyto systémy jsou osvětlovány přirozeným nebo umělým světlem (Kopecký, et al., 2016).

I uzavřené fotobioreaktory lze rozdělit do dvou hlavních tříd. První možnost zahrnuje kryté dostihové dráhy a druhá představuje trubkové reaktory. Uzavřené fotobioreaktory mají oproti otevřeným systémům mnohem lepší charakteristiky pronikání světla. Světelná cesta je obvykle menší než 30 mm. Tento faktor umožňuje získat vyšší množství biomasy za mnohem kratší dobu zadržení než otevřené nádrže (Larsdotter, 2006).

Uzavřené kolektory jsou technicky komplikovanější. Kolektory jsou navrhovány tak, aby byly vyřešeny problémy spojené s otevřenými nádržemi (např. snížení rizika kontaminace u mikrořas využívaných k produkci léčiv) (Stříteský, et al., 2013). Osvětlený vak je nejjednodušším fotobioreaktorem. Tento vak obsahuje kulturu mikrořas volně plovoucích v mediu. Kultura je za pomoci proudu vzduchu obohacována o CO<sub>2</sub> (Kopecký, et al., 2016). Nejběžnější nádrže fotobioreaktorů jsou tvořeny systémem průhledných trubíc, válců nebo plochých panelů. Jednotlivé komponenty jsou propojeny do cirkulační smyčky (Stříteský, et al., 2013). Vyrábějí se ze skla nebo průhledných plastů odolných k vnějším vlivům (Kopecký, et al., 2016). K jejich obsluze je zapotřebí odborného personálu a provoz kolektorů vyžaduje velké množství energie k nastolení optimálních podmínek pro kultivaci řas. Těmto vyšším technickým nárokům odpovídají i vysoké provozní a pořizovací náklady (Larsdotter, 2006). Ovšem cena výsledné biomasy může být nižší než v případě otevřených nádrží, protože koncentrace biomasy jsou mnohem vyšší a to má za příčinu zpracování menších objemů vody (Stříteský, et al., 2013).

Cirkulace v kolektorech je zajištěna pomocí čerpadel nebo proudu stlačeného vzduchu. Mnohem výhodnější než čerpadla odstředivá jsou čerpadla peristaltická a membránová. Aby byla při nárůstu biomasy dodržena fyziologická teplota je zapotřebí fotobioreaktory ochlazovat. Ochlazují se buď pomocí tepelných výměníků nebo stříkáním vody na povrch fotobioreaktoru. Další možností je ponořit kultivační smyčku do temperačního rezervoáru (Kopecký, et al., 2016).

Průhlednost smyček pro trubkovitou kultivaci minimalizuje vnitřní stínový efekt mezi řasami. To má za následek osvětlení buněk řas z více než jednoho směru. Refrakce světla však v trubicích vytvoří stínované oblasti. Z těchto důvodů je zapotřebí dostatečné promíchávání media, aby bylo zajištěno osvětlení všech buněk.

Trubkové reaktory se umísťují buď svisle, nebo vodorovně. Ve svislých kolektorech je provzdušňování a míchání zajištěno vstřikováním vzduchu na dno kolonie. Vstřikovaný vzduch je obohacený o CO<sub>2</sub>. Nevýhodou svislých nádrží je paralelní umístění s paprsky slunce. V létě se tak odráží značné množství sluneční energie pryč (Larsdotter, 2006).

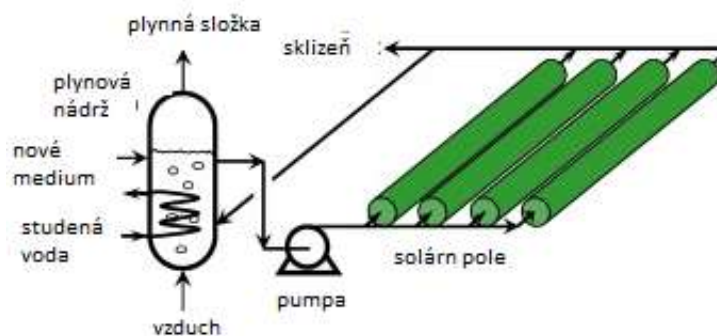
Uzavřené kultivační systémy mají oproti otevřeným mnohé výhody. Jedná se o:

- Dozrání reprodukčních podmínek bez ohledu na vnější vlivy.
- Snížení kontaminace, což umožňuje vybírat z více kultivačních druhů řas.
- Uzavřený kultivační systém má minimální ztráty CO<sub>2</sub>.
- Uzavřený kultivační systém má menší požadavky na prostor.

Ovšem oproti otevřeným systémům mají uzavřené kolektory i určité nevýhody:

- Již výše zmiňovaná počáteční investice a vyšší náklady na provoz.
- Obtížné čištění systému.
- Nutnost chlazení systému.
- Zbavování se nadměrného množství kyslíku, aby nedocházelo k inhibici fotosyntézy (Kopecký, et al., 2016).

Schéma fotobioreaktoru je znázorněné na obrázku 6.2.



**Obrázek 6.2. Trubkový fotobioreaktor s horizontálními trubkami s paralelním chodem (Chisti, 2007).**

### 6.1.2.3 Imobilizované řasy

Imobilizace je další z metod kultivace řas. Zachycení řas na pevném médiu má jednu velkou výhodu a tou je jednoduchost sklizně oproti výše zmíněným kultivacím. Záchytným médiem mohou být například algináty nebo syntetické polymery. Princip imobilizace řasy je založený na uchycení jedinců na nehybné medium a difundací látek z protékající vody do buněk. Imobilizační systém kultivace řas byl testován pro účely čištění odpadních vod. Výsledkem testování je zjištění, že příjem živin se u volných a imobilizovaných buněk ukázal velice podobný.

Důležité je zmínit, že veškeré pokusy s imobilizační jednotkou byly prozatím prováděny v laboratorních podmínkách, což omezuje znalost toho, jak by takové metody fungovaly ve větším měřítku (Larsdotter, 2006).

### 6.1.3 Sklizení mikrořas

Nejobtížnější na kultivaci řas z technologického hlediska není produkce, ale sklizeň a jejich následné zpracování (Stříteský, et al., 2013). Biomasa kultivovaná z mikrořas v otevřených rybnících může dosáhnout 300 mg suché hmotnosti na litr. Kvůli takovému množství tekutého pěstebního média a velikosti mikrořas (v rozmezí 2 - 40  $\mu\text{m}$ ) je jejich sklizeň velice obtížná a jedná se o nejnákladnější součást kultivačního procesu (Kopecký, et al., 2016) (Larsdotter, 2006). Částka, která padne na proces sklizně, činí 25 % až 50 % celkových kultivačních nákladů (Kopecký, et al., 2016) (Stříteský, et al., 2013). K jednoduchým metodám sklizně patří např. filtrace nebo odstředění. Avšak výrazně efektivnější způsoby, jako je chemická flokulace nebo biologická filtrace, jsou ekonomicky mnohem náročnější (Larsdotter, 2006).

Současné technologické procesy zahrnují čtyři skupiny metod pro sklizeň - metody:

- (1) chemické (flokulace),
- (2) mechanické (filtrace, odstředování, flotace, nebo sedimentace),
- (3) elektrické (elektroforéza),
- (4) biologické (autoflokulace a bioflokulace)

Tři nejčastěji užívané metody sklizně jsou detailněji popsány v následujících podkapitolách (Larsdotter, 2006).

Sklizená biomasa z řasové suspenze se následně pomocí filtrace či odstředěním zahustí. Poté je proces doplněn o promytí, které odstraní nežádoucí metabolity, přebytečné živiny a bakterie. Z takto získané suspenze je zchlazením získána tzv. řasová polévka. V poslední fázi kultivace se tato hmota suší.

Zahuštěnou biomasu lze použít např. pro krmení zvířat. Avšak pro většinu potravních a dalších průmyslových aplikací je nutné suspenzi mikrořas dehydratovat. Dehydratací se obsah vody v biomase sníží na 5 %. Mezi sušící technologie patří vysušení na slunci, sprejové sušení nebo lyofilizace.

Lyofilizace je v dnešní době nejšetrnější metodou sušení biomasy, ale velmi nákladnou. Sušení na slunci je oproti tomu nejlevnější metodou, ale hrozí degradace biomasy díky vystavení intenzivnímu záření. Dnes nejpoužívanější metodou v průmyslovém měřítku je sprejové sušení. Při této metodě se suspenze buněk rozstříkne do proudu horkého vzduchu v komoře sprejové sušárny a prášek sušené biomasy sedimentuje ve sběrači.

Po procesech sušení následují další technologické kroky v podobě extrakcí účinných látek, například barviv, olejů, vitamínů a podobně. Podle povahy extrahovaných látek určíme extrakční činidlo – polární nebo nopolární (Kopecký, et al., 2016).

#### 6.1.3.1 Sedimentace a flotace

Procesem sedimentace a flotace je biomasa koncentrována již ve vodě, která je poté dekantována. Sedimentace patří k nejpoužívanějším metodám. Oproti sedimentaci funguje flotace efektivněji a rychleji, ale patří k ekonomicky náročnějším procesům (Larsdotter, 2006).

Flotace je založena na zachycení buněk mikrořas s pomocí dispergovaných bublinek vzduchu. Velkým kladem z ekologického hlediska je to, že je během tohoto procesu využíván většinou vzduch. Během procesu nejsou přítomny žádné chemikálie. Dnes se testuje metoda

magnetické separace, kdy se mikrořasy zachytávají na magnetické částice (např.  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Flotační technologie je omezena pouze na kultivace s řídkou kulturou (Kopecký, et al., 2016).

Mnoho druhů řas je obtížné sedimentovat bez ošetření kvůli přirozené tendenci vznášet se. Pro její usnadnění je často do procesu předřazená flokulace (Larsdotter, 2006).

### 6.1.3.2 Flokulace

Flokulační proces využívá přítomnosti specifické látky, flokulantu (polyvalentní, často polymerní kationty). Tato pomocná látka snižuje negativní náboj řasových buněk a vytváří agregáty (Kopecký, et al., 2016). V praxi se nejčastěji přidávají látky, jako jsou kamenec, vápno,  $\text{FeCl}_3$ , kationtové polyelektrolyty a  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Jejich nevýhodou je možnost sekundárního znečištění média. Mezi bezpečné flokulační látky patří deriváty bramborového škrobu a chitosany (Larsdotter, 2006). Mezi další typy flokulace patří bioflokulace pomocí chitosanu (netoxický polymer acetylglucosaminu), autoflokulace nebo ko-flokulace (využívaná ve směsích určitých kmenů řas). Autoflokulace je proces využívající změny hodnot pH (Kopecký, et al., 2016). Dříve zmíněné organické látky jsou vhodné pro zahájení sedimentace (Larsdotter, 2006). Flokulace se často využívá k odstranění přírodních vodních květů (Kopecký, et al., 2016).

### 6.1.3.3 Filtrace

Filtrační technika je využívána pro veškerá měřítka mikrořas. Zahrnuje metody od hrubého prosévání přes pískové filtry až po membránové filtrační lisy. U těchto lisů je sklizeň řas téměř 100 %. Mikroventilační proces může být aplikován na velké koloniální nebo vláknité řasy, jako je sinice *Spirulina* nebo dusík vázající druhy. Microstrainer je technické zařízení určené pro filtraci řas, které se skládá z rotujícího jemného síta a zpětného proplachu pro sběr řas. Výsledná biomasa má dvacetinásobnou koncentraci oproti původní kultivační směsi (Larsdotter, 2006).

### 6.1.3.4 Biologická filtrace

Biologická filtrace je založena na principu predace, při němž jsou obtížně sklíditelné mikrořasy pozřeny snáze sklíditelnými organismy. Mezi nejznámější filtráty patří mušle a perloočky, jako je *Daphnia spp.* Byly studovány úplné potravní řetězce počínaje odpadní vodou, aby se vyvinuly integrované systémy schopné generovat užitečnou biomasu současně s vyčištěním odpadních vod (Larsdotter, 2006).

## 6.2 Makrořasy

Makrořasy jsou jedinci rostoucí především ve slaných mořských vodách. V českém jazyce je tato skupina organismů nazývána chaluhy (Kopecký, et al., 2016). Obvykle se vyskytují v pobřežních vodách. Vědečtí pracovníci řadí do této skupiny především tři typy mořských řas definovaných podle jejich pigmentů. Jedná se o hnědé řasy (např. *Laminaria*, *Fucus*, *Sargassum*), červené řasy (např. *Gelidium*, *Palmaria*, *Porphyra*) a zelené řasy (např. *Ulva*, *Codium*) (Bruton, et al., 2009). Chaluhy nemají rozlišené tělo jako vyšší řasy. Jejich stélka dosahuje oproti mikrořasám délky až několik metrů (Kopecký, et al., 2016).

S výjimkou zelených řas se makrořasy od vyšších rostlin zásadně liší. Mořské makrořasy mají jedinečné chemické složení. Díky mořskému prostředí obsahují látky, které jim umožňují odolávat stresům, kterým jsou rostliny vystaveny.

Velká část mořských makrořas, které jsou využívány lidskou společností, jsou extrémofilní organismy. Jedná se především o řasy, které se nacházejí v místech s dlouhým denním obdobím sucha (tj. druhy žijící v přílivových oblastech).

Průvodce FAO pro průmysl mořských řas dává veřejnosti vynikající přehled o zdrojích mořských řas a jejich výskytu na celosvětových trzích. V letech 1994 až 1995 byl proveden celosvětový průzkum, který uvedl existenci 221 druhů mořských řas odebraných pro lidské použití. Z 221 druhů používaných lidskou společností je 145 druhů využíváno v potravinářském průmyslu a 101 pro extrakci hydrokoloidů.

Historie průmyslového využívání hnědých mořských řas začíná již v počátcích 20. století. Dnes je tento průmyslový zájem v mnoha regionech s mořskými řasami zaměřen na výrobu energie. Jedná se především o druh *Ulva spp* (Bruton, et al., 2009).

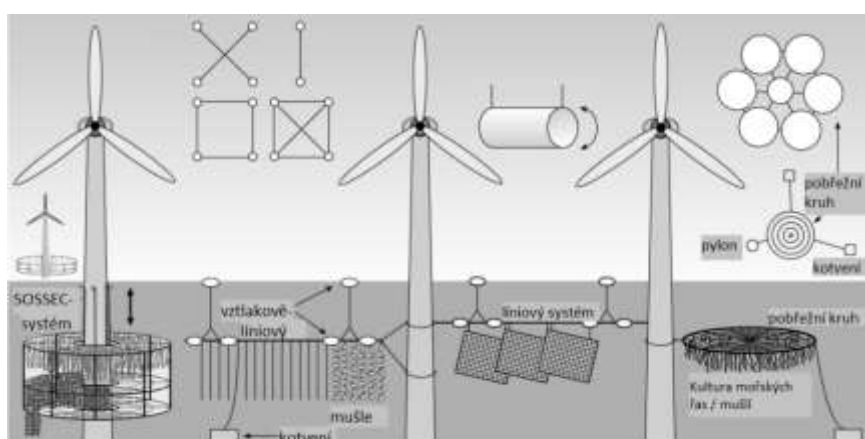
### 6.2.1 Kultivační systémy makrořas

Rody *Laminaria*, *Porphyra*, *Undaria*, *Gracilaria*, *Euchema*, *Ulva* a *Chondrus* jsou průmyslově využívány již mnoho let. Produkce biomasy z volně rostoucích mořských řas se postupně snižuje, zatímco umělé pěstování výrazně narůstá. FAO uvádí, že mezi lety 1996 - 2006 se množství sklizených mořských řas zdvojnásobilo na 15 milionů mokrých tun. Z toho více jak polovinu zastupují hnědé řasy *Laminaria spp*, zejména *L. japonica*. Celosvětový obrat průmyslu rovněž stoupl na 7,2 miliard USD v roce 2006 (Bruton, et al., 2009).

Existuje několik typů kultivačních systémů pro velkoprodukcí makrořas. Veškeré používané kultivace jsou užívány v mořských šelfech nebo při pobřeží. V těchto lokalitách je nižší pravděpodobnost poškození kultivačních technik mořskými proudy a příboji.

Jedná se o systémy volně pohyblivé (dynamicky umístěné loděmi) či kotvené. Kultivační systémy se kotví k mořskému dnu nebo k bójím. V dnešní době se začíná využívat slibný koncept využívající větrných elektráren na moři pro víceúčelovou akvakulturu.

Sklizení narostlých chaluh se dnes nejčastěji provádí ručně. Proces sklizně řas je proto náročný na pracovní sílu. Ekonomicky náročné je pěstování mořských řas především při zakládání nové farmy (Carlsson, et al., 2007). Jednotlivé typy kultivací zobrazuje obrázek 6.3.



Obrázek 6.3. Vícenásobné použití pobřežních větrných farem pro kultivaci řas (Carlsson, a další, 2007).

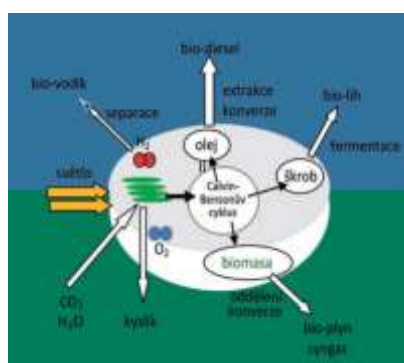
## 7 Biopaliva z vodních řas

Jak ve slaných tak ve sladkých vodách se vyskytuje mnoho druhů makro i mikrořas. V závislosti na druhu se řasy využívají jako potraviny, palivo, surovina pro výrobu vodíku, methanu a dokonce i biopaliv (ČAPPO, 2018).

Tato komerční produkce řas započala v 50. letech 20. století. Až v průběhu 80. let zahájily americké úřady (ministerstvo energetiky (DOE) a Ústav pro výzkum sluneční energie (SERI)) jako první program pro vodní druhy. Jejich zájem se omezil výhradně na analýzu mikrořas. Cílem programu bylo vyvinout konkurence schopná biopaliva. Díky neočekávaným poklesům ceny ropy byl projekt ukončen v roce 1995 (Isla, et al., 2017).

Poslední desetiletí jsou věnována intenzivnímu výzkumu problematiky biopaliv z mikrořas na řadě výzkumných pracovišť po celém světě. Zájem o produkci biopaliv z vodních řas vyvolala především snaha nahradit biopaliva I. generace a ubývající množství fosilních paliv. Přejít na taková paliva by měl za následek zvýšení udržitelnosti životního prostředí a zároveň potravinářského průmyslu (Kopecký, et al., 2016). Vědecké týmy zjistily, že prokaryotické sinice produkují řádově větší množství biomasy, kterou lze přetransformovat na biopalivo, než v případě eukaryotických nebo dokonce mnohobuněčných eukaryotických organismů. Zajímavostí je, že i převažující teorie biogenního původu předpokládají, že většina současných zásob ropy vznikla právě ze sinic, procesem popsáním v podkapitole Ropa (ČAPPO, 2018).

Biomasu získanou z řas je možné (jako i biomasu biopaliv I. a II. generace) konvertovat na biodiesel, bioolej, nebo bioethanol. Mezi další úpravy se řadí fermentace na bioplyn, či přímé spálení k výrobě elektřiny a tepla. Termochemickými metodami lze biomasu zpracovat na olej nebo syngas (směs plynů, především CO a H<sub>2</sub>), který je zcela zásadní surovinou pro následné využití v rafinériích. Při správné kultivaci produkují mikrořasy i biovodík. Ovšem mezi nejběžnější a nejúspěšnější biopaliva patří bionafta a bioethanol. Cílem těchto dvou biopaliv je nahradit konvenční kapalná paliva, jako je nafta a benzín (John, et al., 2010). Veškeré tyto děje i s primárními látkami jsou znázorněny na obrázku 7.1.



**Obrázek 7.1. Buňka mikrořasy jako fotosyntetická „buněčná továrna“ pro produkci biopaliv (Kopecký, et al., 2016).**

Největším záporem dosavadní produkce biomasy z řas jsou vysoké produkční náklady. Tato vysoká cena je způsobena několika faktory. Jedná se především o nízkou produktivitu, nedostatečnou technickou vyspělost kultivačních zařízení, vysoké provozní náklady (energie na provoz – elektřina, teplo) a cenu vstupních surovin (voda, CO<sub>2</sub> jako zdroj uhlíku, živiny –

fosfáty, dusičnany, železnaté soli a další). Z těchto důvodů je energie získaná konvenčními zdroji stále o několik řádů levnější.

Cílem řady společností a státních agentur po celém světě (Exxon Mobil, Solix, GreenFuel Technologies, BioFuel Systems, Solazyme, AlgaeLink, aj.) je hlavně snížení těchto vysokých nákladů na produkci biomasy. Řešením, ke kterému se dnešní společnost kloní, je především využívání rychle rostoucích kmenů mikrořas s využitím „odpadní“ energie některých průmyslových zařízení (elektrárny, spalovny, bioplynové stanice, akvakultury). Tato průmyslová zařízení mohou poskytovat potřebné zdroje odpadního CO<sub>2</sub> či nutrientů (dusičnany, fosfáty aj.).

Oproti ostatním zdrojům biomasy pro I. a II. generaci biopaliv mají mikrořasy výrazně vyšší potenciál. Například řasy druhu *Nannochloropsis* nebo *Chlorella* jsou schopné za určitých kultivačních podmínek akumulovat až 60 % zásobních látek (lipidy nebo polysacharidy). Nevýhodou takto přizpůsobených druhů řas je jejich pomalý růst. Pomalý růst je způsoben vázáním velké části energie získané fotosyntézou do tvorby zásobních látek a nikoliv do růstu. Růst je také výrazně zpomalen nutným zásahem do kultivačního procesu („zhoršení“ kultivačních podmínek, např. nutričním stresem), který zapříčiní hromadění energeticky bohatých látek (Kopecký, et al., 2016).

Vědeckými pokusy bylo zjištěno, že řasy přeměňují CO<sub>2</sub> na tuky obdobným způsobem, jako lidské tělo převádí cukry na tuky. Dalším výzkumem se podařilo geneticky modifikovat jedince tak, aby dokázali přeměnit na tuky více než 40 % CO<sub>2</sub> oproti původním 15 % (Havlová, 2018).

Zpracování pomocí termochemického zkapalňování umožňuje využít biomasu s obsahem vody vyšším než 60 % a nevyžaduje její sušení. Z těchto důvodů má zkapalňování jasnou výhodu oproti pyrolýze (viz. kapitola zplynování). Výsledný produkt z termického zkapalnění je kapalná bezvodá frakce obsahující bioolej a dehet. Bioolej vzniká z organických látek v buňce (lipidů, proteinů, vlákniny, sacharidů). Z těchto důvodů dává bioolej vyšší energetický výtěžek než pouze samotné lipidy.

Jak již bylo řečeno tak některé druhy řas (např. *Chlamydomonas*) dokáží za správných kultivačních podmínek produkovat biovodík. Již několik desetiletí se považuje tento proces za velmi elegantní řešení získávání biovodíku. Naneštěstí je biologická produkce vodíku velice složitý proces. Jeho složitost spočívá v principu fotosyntetického štěpení vody na kyslík a proton vodíku. Některé mikrořasy jsou schopné při nedostatku síry a za anaerobních podmínek tento proces přepnout z produkce kyslíku na vývoj vodíku. Je tak učiněno z důvodu potlačení citlivosti enzymů hydrogenáz ke kyslíku. Bohužel rentabilita tohoto procesu je v dnešní době nulová a tak je budoucnost této cesty k obnovitelným zdrojům biopaliv nejistá (Kopecký, et al., 2016).

Velkým kladem paliv III. generace je prostorová úspora pro získání základní biomasy. Biopaliva dnešní doby jsou vyráběna převážně z plodin, které zabírají zemědělskou půdu a vodu potřebnou pro obživu narůstající populace planety. Naproti tomu řasy mohou být pěstovány ve vyprahlých oblastech, v betonových nádržích se slanou vodou o vysoké koncentraci požadované biomasy (Havlová, 2018).

Biomasa z řas využitá jako zdroj alternativního paliva má nesporný velký potenciál. Ten je bohužel stále potlačován existencí mnoha problémů. Tyto problémy jsou příčinou, proč



zatím neproběhl masový rozvoj řasové biotechnologie pro komerční využití. Pro rozšíření biopaliv III. generace musí být do budoucna splněno několik úkolů:

- a) zajištění vyhovujících kmenů s vyšším obsahem vhodných výchozích látek;
- b) zdokonalení produkčních systémů pro dosažení vyšší fotosyntetické účinnosti;
- c) propracování pěstebních postupů pro vybrané kmeny mikrořas;
- d) snížení nákladů na kultivaci řas, tj. spotřeby energií, živin a vody (Kopecký, et al., 2016).

V současné době se produkcí paliv III. generace zabývá celosvětově jediný podnik PetroSun. Jeho roční produkce činí 4,4 miliónů galonů oleje z vodních řas. Prozatím nezajímavá produkce a výroba se neustále rozšiřuje a roste. Vodní řasy jako zdroj biopaliv by mohly vyřešit mnoho stávajících problémů v oborech energetického, potravinářského a dopravního průmyslu (ČAPPO, 2018).

Výrazný nárůst pozornosti si v posledních letech vyžádaly mikrořasy, jakožto surovina pro bionaftu. Tento zájem vznikl z několika důvodů, mezi něž patří i neexistence konkurence s potravinovými plodinami o půdu. Prognostická data založená na spotřebě paliv v roce 2007 říkají, že k nahrazení veškerých paliv v USA za bionaftu, by bylo zapotřebí vyrobit 0,53 miliardy metrů krychlových bionafty ročně. Pro Evropský kontinent by požadovanému množství odpovídalo 0,4 miliard metrů krychlových bionafty ročně. Pro úplné nahrazení fosilních paliv pouze biopalivy III. generace, dodávanými prostřednictvím mikrořas s produktivitou 400 000 litrů na hektar, by evropský trh spotřeboval 9,25 milionů hektarů půdy. Oproti tomu kukuřičný, sójový, či řepkový olej pro takovou kultivaci vyžadují nerealizovatelná procenta stávajících ploch. Palma olejná je plodina s nejvyšší produkcí oleje ( $5950 \text{ l ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$ ), avšak stále by její pěstování vyžadovalo jednu čtvrtinu celosvětové zemědělské plochy pro poloviční splnění požadavků na pohonné hmoty.

Mikrořasy obsahují 30 % až 70 % látek přeměnitelných na oleje. Pro takovéto organismy by procentuální podíl z celkové zemědělsky obdělávané půdy potřebný na celkovou náhradu fosilních paliv představoval 2,5 %, respektive 1,1 % (Isla, et al., 2017).

## 7.1 Bionafta

Bionafta je alternativou motorové nafty. Jedná se o nažloutlou kapalinu získávanou z rostlinných olejů, živočišných tuků, řasových lipidů nebo odpadních tuků. Z chemického hlediska se jedná o mono-alkylestery mastných kyselin. Specifické vlastnosti záleží na struktuře lipidů, ale plátí že bionafta vykazuje specifickou hmotnost 0,873 – 0,884, kinematičká viskozita se pohybuje mezi 3,8 – 4,8  $\text{mm s}^{-2}$ , cetanové číslo má rozmezí 50 - 62, bod zákalu je od (-4) - 14°C a bod vzplanutí 110 °C – 190°C. Energie získaná při spalování se pohybuje mezi 38 – 45  $\text{MJ kg}^{-1}$  (Guo, et al., 2014). Tato výhřevnost odpovídá přibližně 90 % výhřevnosti motorové nafty (Yanqun , et al., 2008).

Rostlinné oleje se pro výrobu bionafty začaly využívat až ve 30. letech 20. století. Německý inženýr Rudolf Diesel vynalezl v roce 1893 vznětový motor s kompresí. Tento technický pokrok mu vnukl myšlenku na čistý rostlinný olej pohánějící zemědělské stroje. Na světovém veletrhu v Paříži byl v roce 1900 předveden francouzské společnosti Ottův diesellový motor poháněný arašídovým olejem. Tento boom pro vývoj paliv na bázi rostlinných olejů utišila v minulosti zvýšená dostupnost a nízká cena motorové nafty. V dnešní době dochází ke snižování ropných zásob i k neustálému nárůstu cen ropy.

V důsledku těchto skutečností se společnost opět k bionaftě navrácí a snaží se zdokonalit její produkci (Guo, et al., 2014).

Výroba bionafty probíhá monoalkoholickým transesterifikačním procesem. Během tohoto procesu triglyceridy reagují s monoalkoholem (převážně methanolem nebo ethanolem) z přítomnosti katalyzátoru. Tímto katalyzátorem jsou alkálie, kyseliny nebo enzymy (Yanqun, et al., 2008). Vysušený rostlinný olej se v uzavřeném reaktoru přehřívá na 50 °C – 60 °C. Po dosažení požadované teploty se přidá „methoxidová“ směs methanolu (odopídá 20 % objemu oleje) a hydroxidu sodného (5 g l<sup>-1</sup> oleje), aby se zahájila transesterifikace. Samotná transesterifikace probíhá dvě hodiny při 50 °C – 60 °C a za mechanického míchání. Po procesu se 2 - 12 hodin směs usazuje při pokojové teplotě. Usazenina (surový glycerin) se od surové bionafty oddělí za pomoci nálevky. Surová bionafta obsahuje malá množství methanolu, mýdla a mono / di / triglyceridů. Tyto nečistoty je třeba před použitím bionafty odstranit. Čištění surové bionafty od methanolu, mýdla a mono / di / triglyceridů se provádí promýváním nebo membránovou rafinací. Výtěžek bionafty odpovídá objemu zpracovávaného oleje (Guo, et al., 2014).

Při laboratorních pokusech se během optimalizace transesterifikačního procesu učinily významné technické pokroky. Kanadští vědci z katedry chemického inženýrství na univerzitě v Ottawě vyvinuli nový dvoufázový membránový reaktor. Tento reaktor využívá nemísitelnosti řepkového oleje s methanolem a odděluje tak reakční produkty (bionafta / glycerol) od zbytkového řepkového oleje (Yanqun, et al., 2008). Belgický vědec George Chavanne si v roce 1937 nechal patentovat „Postup pro transformaci rostlinných olejů pro jejich použití jako paliva“. Tento patent obsahoval již výše zmíněnou metodu transesterifikace. Ovšem první průmyslový proces výroby bionafty vyvinul brazilský vědec Expedito Parente v roce 1977.

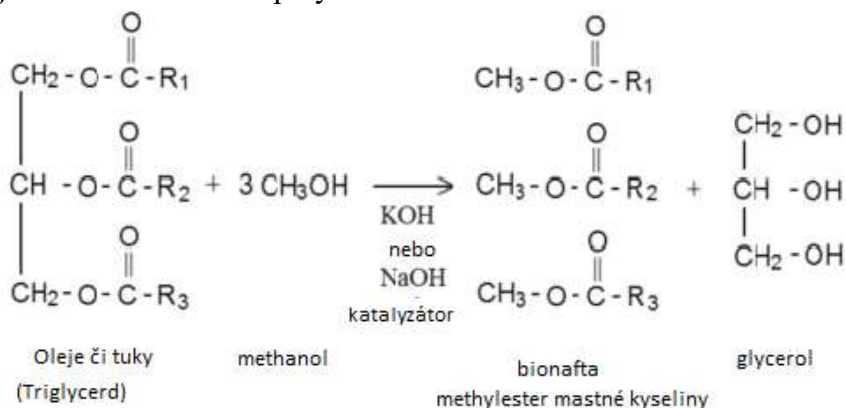
Historický nárůst ceny ropy po roce 2001 si vyžádal zvýšený zájem o bionaftu. Již v roce 2013 dosáhla světová produkce bionafty 6 289 milionů galonů.

Zdrojem olejů pro výrobu bionafty jsou, jak již bylo řečeno, rostlinné oleje (camelinový, řepkový, ricinový, kokosový, palmový, arašídový, sójový, slunečnicový a tungový), řasové tuky, živočišné tuky (hovězí lůj, vepřové sádlo, kuřecí tuk atd.) a žlutý tuk (použitý rostlinný olej). Průměrná produkce oleje z jednoho hektaru je 194 gal. Nejlepší produktivitu vykazuje řepka olejka. Její výnos oleje z hektaru odpovídá 350 gal.

K nejnověji zkoumaným zdrojům bionafty patří různé druhy mikrořas. Jedná se o kmeny s obsahem oleje nad 20 % v sušině, především o *Chaetoceros calcitrans*, *Skeletonema costatum*, *Phaeodactylum tricornerutum*, *Chlamydomonas reinhardtii*, *Calluna vulgaris*, *Dunaliella Salina*, *Dunaliella teriolecta*, *Scenedesmus obliquus* a *Neochloris oleabundans* (Guo, et al., 2014).

Oleje z mikrořas se od olejů z vyšších rostlin liší bohatostí na polynenasycené mastné kyseliny se čtyřmi nebo více dvojnými vazbami. V běžném řasovém oleji se vyskytuje kyselina eikosapentaenová (C20:5 n - 3; pět dvojných vazeb) a kyselina dokosahexaenová (C22:6 n - 3; šest dvojných vazeb). Během skladování oleje jsou mastné kyseliny a methylestery mastných kyselin (FAME) se 4 a více dvojnými vazbami citlivé na oxidaci. Zmíněná vlastnost snižuje využitelnost těchto kyselin pro použití v bionaftě. Stejný problém mají i rostlinné oleje z vyšších rostlin. Rostlinné oleje obsahují velké množství kyseliny linolové (C18:2 n - 6; dvě dvojně vazby) a kyseliny linolenové (C18:3 n - 3; tři dvojně

vazby), které mají ale významně vyšší oxidační stabilitu ve srovnání s EPA a DHA (Chisti, 2007). Schématický proces tvorby bionafty je zobrazen na obrázku 7.2, kde R1, R2 a R3 jsou rozdílné nebo stejné uhlovodíkové skupiny.



**Obrázek 7.2. Zjednodušená rovnice výroby bionafty (Guo, et al., 2014).**

Ovšem největší výzvou při výrobě bionafty je vysoká cena suroviny. V současnosti je bionafta vyráběna převážně z živočišných tuků a rostlinných olejů. Odhady říkají, že na výrobu 1,72 % spotřeby nafty EU25 v roce 2003 by bylo zapotřebí 9,3 Mha půdy pro pěstování řepky. Takováto plocha odpovídá 150 % současné půdy využívané touto plodinou. Oproti takto velkým plochám je tu možnost využití některých druhů mikroalgalů. Mikrořasy akumulují významnou část své biomasy do podoby lipidů (30 % – 50 % na bázi suché hmotnosti), což slouží jako slibný alternativní zdroj lipidů pro výrobu bionafty (Yanqun , a další, 2008).

Evropská unie pomocí norem EN 14214 a EN 14213 vyžaduje, aby hodnota jódu v bionaftě nepřekročila 120, respektive 130 g jódu / 100 g bionafty (Chisti, 2007). Množství povoleného jódu představuje Jodové číslo. Je to množství jodu, které může být přidáno ke vzorku za přesně daných podmínek. Jodovým číslem se stanovuje množství nežádoucích dvojitých vazeb ve vzorku (Metrohm, 2019). Pro bionaftu používanou jako topný olej neexistují žádná další omezení ohledně obsahu látek. Naproti tomu evropská norma EN 14214 omezuje obsah methylesteru kyseliny linolenové na 12 % pro bionaftu určenou pro pohon motorových vozidel. Výše zmíněné normy také vyžadují omezení obsahu FAME se čtyřmi a více dvojnými vazbami na maximálně 1 % v bionaftě distribuované na evropský trh. Těchto požadavků lze dosáhnout u většiny mikroalgalických olejů částečnou katalytickou hydrogenací oleje. Tato technologie je stejná jako při výrobě margarínu z rostlinných olejů (Chisti, 2007).

## 7.2 Bioethanol

Dnes je celosvětově nejvíce využívaným biopalivem ethanol. Předpokládá se, že se stane nejpoužívanější pohonnou hmotou na světě. Roční světová produkce ethanolu činí 8 miliard galonů (Gray, et al., 2006).

Bioethanol je též nazýván ethanol, ethylalkohol, či obilný alkohol. Z chemického hlediska se jedná o dvou uhlíkatý alkohol ( $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$  nebo ETOH). Jedná se o kapalinu, kterou lze vyrábět z několika různých surovin a pomocí různých technologií přeměny biomasy (Balat, et al., 2008).

Jako hlavní zdroj ethanolu je ve Spojených státech používáno kukuřičné zrno, jehož zásobní látkou je škrob. Ovšem pro další zvýšení produkce bioethanolu bude zapotřebí jiných surovin než zrn kukuřice, která soupeří o pěstební plochy s plodinami určenými pro obživu narůstající populace. Další možné zdroje biomasy pro výrobu ethanolu zahrnují zemědělské zbytky, dřevo, tuhý komunální odpad a vyhrazené energetické plodiny. Oproti kukuřici, u které je hlavním sacharidem škrob, jsou výše jmenované zdroje složeny z celulózy (40 % - 50 %), hemicelulózy (25 % – 35 %) a ligninu (15 % – 20 %).

Škrobový řetězec je tvořen z glukózy vázané prostřednictvím  $\alpha$ -1,4 a  $\alpha$ -1,6 glykosidických vazeb (amylóza a amylopektin). Oproti tomu celulóza je strukturální sloučenina tvořená z glukózy vázané prostřednictvím  $\beta$ -1,4 glykosidických vazeb. Díky této vazbě je celulóza velmi odolnou vůči biologickému napadení. Složitý řetězec hemicelulózy je složen z řetězce xylanu a řetězce (vazby  $\beta$ -1,4) s různými větvemi manózy, arabinózy, galaktózy, kyseliny glukuronové atd. Složitost větvení a typy jednotlivých vedlejších řetězců se liší v závislosti na typu rostliny (Gray, et al., 2006).

Bioethanol má oproti benzínu mnoho výhod ale i nevýhod. Mezi nejpodstatnější plusy patří z fyzikálního hlediska vyšší oktanové číslo, širší limity hořlavosti, vyšší rychlosti plamene a vyšší výparnost. Díky těmto vlastnostem může mít bioethanol větší kompresní poměr, kratší dobu hoření a vhodný pro benzínové spalovací motory. Nevýhody bioethanolu představují žíravost, nízká svítivost plamene, nižší tlak par (ztěžování startů studených motorů), mísitelnost s vodou, toxicita a jeho nižší energetická hustota. Spálením bioethanolu získáme pouze 66 % energie oproti spálení stejného množství benzínu (Balat, et al., 2008).

Technologický proces získávání bioethanolu ze škrobu využívá enzymatického zkapalnění a sacharifikaci, která produkuje relativně čistý proud glukózy. Ta je následně fermentována za pomoci kvasinek rodu *Saccharomyces* na bioethanol.

Kompaktní složení lignocelulózy má za následek mnohem obtížnější enzymatickou degradovatelnost na fermentovatelné cukry než v případě škrobu. Z těchto důvodů jsou náklady na výrobu galonu ethanolu z celulózy vyšší než ze škrobu. Proces přeměny lignocelulóзовých materiálů na ethanol metodou enzymatického zkapalnění zahrnuje tři hlavní kroky. První je termochemická předúprava. Biomasa je předpracována, čímž se zlepšuje přístup enzymů k celulóze. Druhý krok zahrnuje enzymatickou sacharizaci. Lignocelulóзовé materiály jsou zpracovány pomocí celuláz a při některých příležitostech hemiceluláz. Poslední krok představuje fermentaci uvolněných cukrů specializovanými organismy (Gray, et al., 2006).

Přítomnost kyslíku v bioethanolu zlepšuje jeho spalování. Lepším spalováním se snižují emise uhlovodíků, oxidu uhličitého a emise částic. Naneštěstí oksyločená paliva mají tendenci zvyšovat emise oxidů dusíku. Z těchto důvodů je vhodné používat bioethanol ve směsích s benzínem (Balat, et al., 2008).

Celosvětová poptávka po alternativních udržitelných palivech stále stoupá. Problémem dosavadních zdrojů biomasy pro výrobu bioethanolu je jejich konkurence s potravinovými zdroji. Možným řešením tohoto problému mohou být makro i mikrořasy poskytující zdroj biopaliv s vysokým výnosem bez ohrožení zásob potravin, deštných pralesů nebo orné půdy.

U mikrořas i makrořas je velkou výhodou jejich rychlý růst (např. doba zdvojení některých druhů *Chlamydomonas* je kratší než 6 h) a produkce obrovského množství biomasy. Vysoké výnosy jsou způsobeny skutečností, že řasy vynakládají menší množství

energie pro produkci podpůrné tkáně než vyšší rostliny a mají schopnost přijímat živiny po celém svém povrchu.

Absolutní nebo téměř úplná absence ligninu u některých rodů makrořas usnadňuje enzymatickou hydrolýzu řasové celulózy. Ze skupiny hnědých řas se jedná především o rody *Laminaria*, *Saccorhiza* a *Alaria*. K červeným řasám složeným především z celulózy, glukanu a galaktanu patří například *Gelidium amansii*.

Je známo, že druhy mikrořas jako *Chlamydomonas*, *Scenedesmus* či *Spirulina* obsahují velké množství škrobu a glykogenu, i více než 50 % na hmotnost sušiny. Tyto látky jsou užitečné jako suroviny pro výrobu ethanolu. K dalším látkám, které mikrořasy asimilují, patří celulóza, která lze využít také jako zdroj bioethanolu. Většina uvažovaných mikrořas jsou jednobuněčné organismy s vysokou produktivitou organické hmoty.

Pro získání bioethanolu z řas existují tři možné metody. První ze způsobů předpokládá, že řasy asimilují značné množství biomasy ve formě škrobu nebo celulózy. Tyto cukerné složky jsou následně fermentovány na bioethanol. Druhý způsob je založený na funkci některých řas, kdy fungují jako malá továrna vyrábějící ethanol během temnostní fáze kvašení. Třetí metoda představuje genetické pokusy vytvořit mikrořasy s přímou produkcí ethanolu (John, et al., 2010).

## 8 Potenciál biopaliv z vodních řas

K uplatnění alternativních zdrojů paliv na mezinárodním trhu je potřeba, aby jejich výroba byla ekonomicky rentabilní. Pro biopaliva platí, že by získání potřebné biomasy a její zpracování nemělo být dražší než těžba a zpracování surové ropy.

### 8.1 Potenciální výnos

Mikrořasy mohou být zdrojem několika různých typů obnovitelných biopaliv. Jedná se převážně o metan produkovaný anaerobní digescí biomasy řas, bionaftu pocházející z mikroalgalického oleje a fotobiologicky produkovaný biohydrogen (Chisti, 2007).

Podstata tvorby biopaliv pro spalovací motory z biomasy je založena na transformaci olejů rostlinného, či živočišného původu na jednotlivé pohonné hmoty (Zhiyou , et al., 2019). Zdroje biopaliv založené na bázi řas jsou zcela biologicky rozložitelné a prakticky bez obsahu síry. Z těchto důvodů je kvalita řasového oleje lepší, než kvalita olejů vyprodukovaných z biomasy určené pro biopaliva I. a II. generace (Anto, et al., 2019).

Není možné, aby dnes vyprodukované olejnaté plodiny, odpadní olej z vaření a živočišný tuk uspokojili světovou poptávku po palivech. Výměna veškerého paliva spotřebovaného jen ve Spojených státech při současné míře spotřeby za bionaftu, bude vyžadovat 0,53 miliardy m<sup>3</sup> bionafty ročně (Chisti, 2007). Tabulka 8.1. uvádí potenciální výtěžky oleje produkovaného nejvyužívanějšími plodinami v průmyslovém odvětví alternativních paliv. Pro porovnání jsou v tabulce uvedeny i výtěžky oleje z otevřených kultivací mikrořas.

**Tabulka 8.1. Výtěžnost oleje podle typu plodiny (Zhiyou , et al., 2019).**

Plodina	Výtěžek oleje (galony / akr)
Sójové boby	48
Canola	127
Jatropha	202
Kokosový ořech	287
Palmový olej	636
Mikrořasy	6283-1464

Mnohá omezení, jako jsou nízká návratnost investic či technická sofistikovanost výroby biopaliv I. a II. generace, jsou dalšími důvody, kvůli kterým začali vědci uvažovat o biopalivech III. generace. Výhody řas jako suroviny pro biopaliva jsou mnohonásobné. Nízké požadavky na plochu a tolerance řas vůči drsným podmínkám, schopnost využití emisí CO<sub>2</sub>, atd. V závislosti na obsahu oleje je rychlost růstu řas přibližně 20 – 30krát rychlejší než

u zemědělských plodin. Obsah oleje v řasách je přibližně 30krát vyšší než u konvenčních zásob krmiv sloužících jako biomasa pro biopaliva I. a II. generace. (Anto, et al., 2019).

Ovšem obsah oleje a výnosnost biomasy z vodních řas závisí na použitém kultivačním systému. V otevřených systémech (rybnících) je výtěžnost chápána jako množství biomasy na jednotku plochy povrchu. Oproti tomu v uzavřených kultivacích je množství biomasy vztahováno na jednotku objemu reaktoru.

Nejjednodušší otevřené systémy mohou produkovat z jednoho metru čtverečního 5 až 10 g biomasy v sušině za den. Toto množství odpovídá 7,4 až 14,8 tun suché biomasy na akr za rok. V laboratorním prostředí dosáhli někteří vědci výnosu biomasy až 50 g m<sup>-2</sup> za den. Pokud převedeme toto množství na sušinu z metru čtverečního za rok, tak získáme 75 tun biomasy.

Jak již bylo řečeno, tak u uzavřených fotobioreaktorů uvádíme množství biomasy vztahované na objem. Výtěžek může činit od 2 do 3 g l<sup>-1</sup> za den. Za rok tedy z jednoho metru krychlového vody získáme 0,73 až 1,05 tuny suché biomasy

Obsah oleje v sušině biomasy z řas je závislý na konkrétním druhu. Mikrořasy s nejperspektivnějším potenciálem na výrobu biopaliv jsou uvedeny v tabulce 8.2.

**Tabulka 8.2. Obsah oleje v mikrořasách (Zhiyou , et al., 2019).**

Microalga	Obsah oleje (% v sušině)
<i>Botryococcus braunii</i>	25-75
<i>Chlorella sp.</i>	28-32
<i>Cryptocodinium cohnii</i>	20
<i>Cylindrotheca sp.</i>	16-37
<i>Nitzschia sp.</i>	45-47
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	20-30
<i>Schizochytrium sp.</i>	50-77
<i>Tetraselmis suecia</i>	15-23

Důležité je také si uvědomit, jaké jsou potenciální náklady na získání oleje z řas. Vědci tato čísla vypočítali pro modelový fotobioreaktor a otevřený rybník. Fotobioreaktor složený z 6 jednotek (132 parelních trubek) s obsazenou plochou 5681 m<sup>2</sup> vyprodukoval 0,048 kg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> biomasy. Náklady na biomasu z tohoto zdroje činily 2,95 \$/kg. Výdaje na vylisování jednoho litru oleje z tohoto zdroje činily 1,40 \$ / l. Otevřený rybník o obsazené ploše 7828 m<sup>2</sup> denně vyprodukoval 0,035 kg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> řas. Náklady jsou v tomto případě 3,80 \$/kg a vylisování jednoho litru oleje má režii 1,40 \$ / l (Anto, et al., 2019).

Zda budou biopaliva z vodních řas v budoucnu vhodnou náhradou fosilních paliv, záleží i na ekonomických parametrech. Každé alternativní palivo je porovnáváno s cenou

ropy. Odhad potenciální ekonomické konkurence řasového oleje vůči naftě lze zjistit pomocí rovnice:

$$C_{\text{řas olej}} = 25,9 \times 10^{-3} C_{\text{ropné}}$$

$C_{\text{řas olej}}$  je cena mikroalgalského oleje v \$ / galon

$C_{\text{ropné}}$  je cena ropy v \$ / barel (Chisti, 2007).

Pro základní výpočty v této rovnici se předpokládá, že řasový olej má zhruba 80 % kalorické energetické hodnoty ropy. Kdybychom uvažovali základní cenu ropy 100 USD / barel, tak by řasový olej neměl stát více než 2,59 \$ / galon, aby byl konkurenceschopný s ropou (Zhiyou, et al., 2019).

Do zisku získaného z výnosu kultivace mikrořas lze započítat i zbytky řas po extrakci oleje. Tyto zbytky lze použít jako hnojiva nebo jako krmivo pro ryby na farmách s rybami a ústřicemi (Anto, et al., 2019).

## 8.2 Energetická bilance kultivací mikrořas

Aby byl olej získaný z mikrořas životaschopnou surovinou pro výrobu biopaliv, musí být získaná energetická hodnota vyšší než energie vydaná na jeho získání. Pro energetickou bilanci je využíván nejčastěji mechanismus LCA (hodnocení životního cyklu). Z důvodů doposud neexistujícího procesu výroby biopaliv z řas v průmyslovém měřítku, byla potřebná data vždy extrapolována z laboratorního prostředí, či z komerčních systémů a produkce potravinových zdrojů.

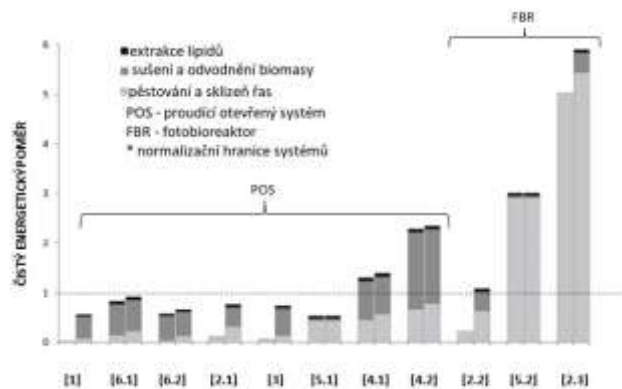
V tabulce 8.3. je představeno sedm nedávných studií LCA, v nichž bylo provedeno celkem jedenáct výrobních konceptů. Pro porovnání dat získaných z nejednotných metod byl vyvinut jednoduchý meta-model. Za pomoci modelu byla jednotlivá data jednotkově standardizována a rozdělena do jednotných fází kultivace, sklizně a extrakce oleje.



**Tabulka 8.3. Studie posuzování životního cyklu paliv získaných z řas (Slade, et al., 2013).**

Ref.	Hlavní autor	Popis
1	Kadam	Porovná konvenční uhelnou elektrárnu s elektrárnou, ve které je uhlí spalováno společně s řasami pěstovanými pomocí recyklovaného kouřového plynu jako zdroje CO <sub>2</sub> . Systém se nachází v jižních USA, kde je vysoký výskyt slunečního záření
2	Jorquera	Porovná energetickou rovnováhu produkce mikro řas bohatých na ropu. Jsou popsány tři systémy: jezírka oběžných drah, trubkové horizontální PBR a ploché desky PBR. Nebyla předpokládána žádná konkrétní poloha. Studie zvažuje pouze fázi kultivace a energetickou rovnováhu systému
3	Campbell	Zkoumá dopady rostoucích řas v rybnících s drahami využívajícími mořskou vodu na životní prostředí. Lipidy se extrahují pomocí hexanu a potom se transesterifikují. Studie je umístěna v Austrálii, která má vysoký dopad sluneční energie, ale omezený přívod čerstvé vody
4	Sander	Studie s dobrým čerpáním, jejímž cílem bylo zjistit celkovou udržitelnost bionafty z řas a identifikovat energetická a emisní překážka. Primárním zdrojem vody byla vyčištěná odpadní voda a předpokládalo se, že obsahuje všechny potřebné živiny kromě oxidu uhličitého. Pro sklizeň byla porovnána filtrace a centrifugace. Lipidy byly extrahovány pomocí hexanu a poté transesterifikovány
5	Stephenson	Analýza mezi čerpadlem, včetně analýzy citlivosti na různé provozní parametry. Byly zváženy dva systémy, rybník závodní dráhy a trubková PBR s pneumatickým zvedáním. Místo studie je ve Velké Británii, která má nižší sluneční záření než ostatní studie
6	Lardone	Považuje hypotetický systém skládající se z otevřené vodní plochy rybníka o rozloze 100 ha a kultivace <i>Chlorella vulgaris</i> . Jsou zvažovány dva provozní režimy: i) normální úroveň hnojení dusíkem; ii) hnojení s nízkým obsahem dusíku. Uvedeným cílem bylo identifikovat překážky a omezení vyžadující další výzkum
7	Clarens	Porovná kultivaci řas s kukuřicí, přepínanou trávou a řepkou (řepkové semeno). Studie byla umístěna ve Virginii, Iowě a Kalifornii, z nichž každá má různé úrovně slunečního záření a dostupnosti vody. Uvažovalo se pět kategorií dopadů: spotřeba energie (MJ), využití vody (m <sup>3</sup> ), emise skleníkových plynů (ekvivalent ekvivalentu CO <sub>2</sub> ), využití půdy (ha) a eutrofizace (kg PO <sub>4</sub> )

Výsledná data z jednotlivých kultivací byla porovnána z hlediska poměru čisté energie (NER). Tato Energie je definována jako podíl všech energií použitých na získání biomasy (energie využitá na kultivaci, sklizeň a sušení) a energetického podílu suché biomasy. Výhodný je jen kultivační systém, jehož NER je menší než jedna, což znamená, že vyprodukuje více energie, než sám spotřebuje. Výsledné porovnání uvádí obrázek 8.1.



**Obrázek 8.1. Čistý energetický poměr pro produkci biomasy mikrořas: srovnání publikovaných hodnot s normalizovanými hodnotami ([1] Kadarn; [2.1] Jorquera; [2.2.] Jorquera-disk; [2.3] Jorquera- trubka; [3] Campbell; [4.1] Sander-filtrační lis; [4.2] Sander- odstředivka; [5] Stephenson; [5] Stephenson – trubka; [6] Lardone) (Slade, et al., 2013).**

Z grafu na obrázku 8.1 je zřejmé, že kladnou energetickou bilanci má pouze 6 rybníčních kultivací (kultivace z pokusu: Kadam, Lardon s vysokým obsahem dusíku, Lardon s nízkým obsahem dusíku, Jorquera, Cambell a Stephenson). Z testovaných kultivací v uzavřených systémech není energeticky výhodná ani jedna z výše zmiňovaných a testovaných možností (Slade, et al., 2013).

## 9 Predikce budoucího vývoje

Biopaliva jsou v dnešní době velké téma. Většinou jsou spojována s problematikou globálního oteplování, skleníkových plynů, docházejících zásob ropy a ekofašismu. Snad každý stát se do této problematiky snaží zapojit po svém a vyniknout se svým řešením jako nejlepší. Většinou to není ani tak z důvodu šetrného smýšlení o přírodě jako spíše o tom, získat kontrolu nad ostatními a získat co největší ekonomický profit.

Česká republika patří ke státům, které mají povinnost uvádět na trh určité množství biopaliv. V dnešní době by se mohlo zdát, že tak činí z nátlaku Evropské unie a částečně je to i pravda. ČR musí stejně jako všechny další země splnit závazek snížit do roku 2020 množství emisí v dopravě o 6 %. Tento závazek by bylo možné splnit jakoukoli technologií vedoucí k poklesu emisí v dopravě. Z důvodu nepodporování rozvoje těchto technologií minulými vládami ani současnou vládní reprezentací, jsou biopaliva jedinou možnou formou, jak výše zmíněný závazek splnit. Převážná většina biopaliv, která se dostanou na trh, jsou bohužel paliva I. generace. Jak už jsem několikrát zmiňoval, tak biomasa potřebná pro výrobu těchto paliv konkuruje potravinářskému průmyslu. Změnit tuto zápornou vlastnost biopaliv by mohla postupně se rozvíjející biopaliva II. generace. Bohužel v naší zemi zatím neexistuje žádný průmyslový výrobce těchto paliv. Po celé Evropě je využívání biopaliv II. generace spíše ve stadiu zkušebních provozů.

V České republice se diskutuje o tom, že biopaliva II. generace produkuje společnost Oleo Chemical, a to z odpadních rostlinných a živočišných tuků. Problém je v tom, že tyto suroviny nelze považovat za biomasu pro biopaliva II. generace. Primární surovinou je i v tomto případě surovina běžně používaná k výrobě potravin – ať již je to živočišný tuk z hospodářských zvířat nebo odpadní oleje – například řepkový a palmový (Havel, 2015).

Další alternativou jak nahradit docházející a nevhodná fosilní paliva a biopaliva I. generace jsou zatím pouze laboratorně zkoumaná biopaliva III. generace. Tato biopaliva by byla vhodnou alternativou, která by mohla České republice zajistit nezávislost na dovozu pohonných hmot. Jedná se o paliva vyráběná z biomasy řas.

I když se jedná zatím pouze o biopaliva zkoumaná v laboratorních podmínkách, kalifornská společnost Exxon Mobil vyšla v červnu roku 2018 s prohlášením, že do roku 2025 bude schopna produkovat 10 000 barelů biopaliv pocházejících z biomasy řas za den. Řasy jsou dobrým zdrojem pro obnovitelnou energii a současně absorbují oxid uhličitý. Společnost Exxon se snaží z této energie vytvořit biopaliva srovnatelná s palivy na bázi konvenční surové ropy. Výzkumem řas a tvorbou látek potřebných pro výrobu biopaliv III. generace se pro Exxon zabývá společnost Craig Venter, pionýr v oblasti výzkumu lidského genomu (Peters, 2018).

Další společnost zabývající se biopalivy z řas je Du Pont a Bio Architecture Lab of Seattle. Jejím cílem je vyrábět z řas biobuthanol. Je potřeba vyvinout organismy, které vyprodukují velké množství celulózy. Biobuthanol má větší energetickou hustotu než bioethanol. Z tohoto důvodu je předpoklad jeho přidávání do benzínu ve větší koncentraci, než je možné při přidávání bioethanolu. Pokud by se podařilo takovéto organismy vyvinout, mohlo by pěstování řasy na 12,5 % pobřeží USA vyprodukovat ročně množství biobuthanolu, které by nahradilo 26 miliard litrů benzínu. Získávání biopaliv z vodních řas je do budoucna lukrativnější i kvůli velikosti výnosů biomasy z jednoho hektaru půdy, než mají v dnešní době

průmyslově využívané rostliny, jako jsou: sojové boby – 470 l/ha a řepka olejka – 1 200 l/ha. Velikost výnosu u řas činí 66 000 až 94 000 l/ha (Vaněk, 2012).

Současný stav technologií produkujících biomasu z řas je pro Českou republiku brzdícím faktorem ve využívání biopaliv III. generace. Česká republika bohužel nemá moře a tak by se musela veškerá kultivační zařízení za vysoké náklady postavit. Vysoká pořizovací cena a narůstající potřeba alternativních paliv vede k výraznému zrychlení výzkumu v řasových biotechnologiích. V horizontu 10 let se očekává velký boom těchto biopaliv i na území České republiky. Vhodné řešení na území našeho státu představuje umístění kultivačních zařízení v blízkosti průmyslových nebo chemických areálů, které mají přebytek odpadního tepla, CO<sub>2</sub> a zdroje odpadních dusičnanů a fosfátů. V mírném podnebí republiky s menší intenzitou slunečního svitu by se pomocí skleníkové konstrukce produkční sezóna prodloužila na celý rok. Narostlá biomasa by se hned na místě zpracovávala na biopaliva, či chemické suroviny. Díky správnému umístění kultivačních nádrží by odpadla složitá logistika dopravy surovin a produktů. Odstranění náročné dopravy a zpětné využití průmyslových odpadů by vedlo k zásadnímu snížení nákladů a z biopaliv III. generace by se stal ziskový podnik. Další výhodou takto situovaných kultivací by bylo snížení ekologické zátěže prostředí (snížení emise CO<sub>2</sub> a snížení uvolňování dusičnanů a fosfátů do povrchových vod) (Kopecký, et al., 2016).

## 10 Závěr

Nárůst lidské populace a související rozvoj průmyslu a dopravy má za příčinu neustálé zvyšování poptávky po levnějších a efektivnějších zdrojích energie. Ve 20. století byla tímto dokonalým zdrojem energie ropa. Ta se využívala jako základní pohonná hmota pro spalovací motory, ale i k výrobě plastů. Ač jsou i dnes stále nalézány velké zásoby této suroviny, zájem o ní mezi lidmi postupně klesá. Příčinou tohoto poklesu je ekologie. Nová věda, která vznikla až v druhé polovině 20. století a jejímž zlatým věkem je 21. století. Díky snaze stále větší masy lidí žít „ekologicky“ a takzvané „eco-friendly“ byly vlády celého světa donuceny hledat nové, šetrnější zdroje energie jako je solární, či větrná energie, biopaliva I. i II. generace atd. Ovšem každý z těchto zdrojů má určité nevýhody. Umístit solární elektrárnu do míst, kde je vysoký průměr dnů bez slunečního svitu je neekonomické, stejně jako postavit větrnou elektrárnu do míst, kde nefouká. Biopaliva I. generace zabírají pro narůstající populaci tak potřebnou zemědělskou půdu. Naproti tomu pojmem biopaliva II. generace označujeme organickou hmotu odebíranou převážně ze zemědělských sekundárních produktů a tím je nepřímo ochuzována zemědělská půda o živiny potřebné k růstu rostlin. Z těchto důvodů se v poslední době začalo mluvit o biopalivech vytvářených z biomasy řas.

Tato bakalářská práce má za cíl seznámit s problematikou tohoto zdroje energie označovaného jako biopaliva III. generace. Je zde uveden způsob, jakým by se řasy mohly kultivovat. V dnešní době se k nejefektivnějším metodám řadí převážně otevřené systémy, ale bylo by dobré zefektivnit kultivaci v uzavřených fotobioreaktorech. Tyto kultivační modul lze postavit kupříkladu u továrny, jejíž emise mohou být využívány jako zdroj uhlíku pro růst řas. Pod označení řasy patří mnoho rozličných kmenů, avšak za nejefektivnější zdroj biomasy pro biopaliva III. generace jsou dnes považovány kmeny patřící pod označení mikrořasy.

Postupné omezování fosilních paliv a jejich nahrazování biopalivy je zakotveno i ve sbírce zákonů České republiky. Celosvětově se touto problematikou zabývá OSN, která vytváří různé rámcové smlouvy zavazující členy k využívání biopaliv. Zákony České republiky o biopalivech ovlivňuje i politika Evropské unie. Ta se pomocí svých nařízení specializuje hlavně na pohonné hmoty tvořené z biopaliv. Bohužel, česká ani světová legislativa nerozlišuje jednotlivé generace biopaliv. Z těchto důvodů nejsou zástupci jednotlivých států nuceni vyvíjet tlak na výzkum biopaliv III. generace.

Ač se biopaliva III. generace zdají jako optimální alternativa, dnes je jejich výroba stále neekonomická. Jedním z důvodů nerentability je globalizace světa a ovlivňování ekonomiky mocnými státy, jenž drží velká naleziště ropy. I tento důvod má za příčinu jen pomalý výzkum. Avšak jsou tu společnosti, jako například Exxon Mobil, které již dnes mají velký úspěch s laboratorně testovanými biopalivy III. generace. Díky těmto průkopnickým společnostem a stále narůstajícímu „eco-friendly“ přístupu lidí, převážně z vyspělých evropských a severoamerických zemí, je toto téma do budoucna velice lukrativní.

## 11 Literatura

**Andersen, Robert A. and Lewin, Ralph A. . 2007.** Phycophyta, algas, alga. *BritannicaACADEMIC*. [Online] 20 12 2007. <https://academic-eb-com.ezproxy.techlib.cz/levels/collegiate/article/algae/106080>.

**Anto, Susaimanickam, et al. 2019.** Algae as green energy reserve: Technological outlook on biofuel production. *ScienceDirect*. [Online] 14 10 2019. [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653519323185?casa\\_token=fjce9umgCVIAAAAA:UYzF3CNbWJCvIehJHWnX\\_w5IJc2a9vF9IeTrJ9J8jSQnQ3AvL8UEq5AB3egW5Q4AZkSAJEX487o.0045-6535](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653519323185?casa_token=fjce9umgCVIAAAAA:UYzF3CNbWJCvIehJHWnX_w5IJc2a9vF9IeTrJ9J8jSQnQ3AvL8UEq5AB3egW5Q4AZkSAJEX487o.0045-6535).

**Balat, Mustafa, Balat, Havva and Öz, Cahide. 2008.** Progress in bioethanol processing. *ScienceDirect*. [Online] 28 01 2008. <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.techlib.cz/science/article/pii/S0360128507000706.0360-1285>.

**Barsanti, Laura and Gualtieri, Paolo. 2014.** Algae; Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology, Second Edition. *Taylor & Francis Group*. [Online] 05 03 2014. <https://www-taylorfrancis-com.ezproxy.techlib.cz/books/9780429107184.9780429107184>.

**Biom.cz. 2006.** Analýza: Biopaliva zažívají mocný růst. *Biom.cz*. [Online] 14 06 2006. <https://biom.cz/prevzate.stm?x=1906310.1801-2655>.

**Boer, Yvo de. 2008.** Kyoto Protocol Reference Manual on Accounting of Emissions and Assigned Amounts. *United Nations Climate Change*. [Online] 11 2008. [https://unfccc.int/resource/docs/publications/08\\_unfccc\\_kp\\_ref\\_manual.pdf](https://unfccc.int/resource/docs/publications/08_unfccc_kp_ref_manual.pdf). ISBN 92-9219-055-5.

**Bruton, Tom , et al. 2009.** Review of the Potential of Marine Algae as a Source of Biofuel in Ireland. *FAO*. [Online] 02 2009. [http://www.fao.org/uploads/media/0902\\_SEI\\_-\\_A\\_Review\\_of\\_the\\_Potential\\_of\\_Marine\\_Algae.pdf](http://www.fao.org/uploads/media/0902_SEI_-_A_Review_of_the_Potential_of_Marine_Algae.pdf).

**Carlsson, Anders S., et al. 2007.** MICRO- AND MACRO-ALGAE: UTILITY FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS. *ETIP Bioenergy*. [Online] 09 2007. [https://www.etipbioenergy.eu/images/epobio\\_aquatic\\_report.pdf](https://www.etipbioenergy.eu/images/epobio_aquatic_report.pdf). 978-1-872691-29-9.

**Cléménçon, Raymond. 2016.** The Two Sides of the Paris Climate Agreement: Dismal Failure or Historic Breakthrough? *The Journal of Environment & Development*. [Online] SAGE journals, 10. 02 2016. <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1070496516631362>. ISSN: 1070-4965.

**ČAPPO. 2018.** BIOPALIVA TŘETÍ GENERACE. *ROPA.cz*. [Online] 24. 05 2018. <https://www.ropa.cz/zpravy/biopaliva-treti-generace-2/?fbclid=IwAR2LI7rlsPnMwloLTdGnUyPMT9dUN43YQ0zrVL2D1kyBkcZ-NfEODA7Ztfw>.

- Douglas C., Elliott. 2008.** Catalytic hydrothermal gasification of biomass. *Wiley Online Library*. [Online] 14. 04 2008. <https://onlinelibrary-wiley-com.ezproxy.techlib.cz/doi/epdf/10.1002/bbb.74>. 2:254–265.
- EBB. 2003.** Report for the European Commission on the implementation of European... *European Biodiesel Board*. [Online] 08. 05 2003. [https://www.ebb-eu.org/legis/MS\\_1stReport2004/Czech%201st%20report%20Dir%202003%2030.pdf](https://www.ebb-eu.org/legis/MS_1stReport2004/Czech%201st%20report%20Dir%202003%2030.pdf).
- EU. 2003.** Smernice o kvalitě paliva. *EUR-Lex*. [Online] 03. 03 2003. 20. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003L0017&from=cs> .
- EU, Parlament. 2009.** SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2009/28/ES. *EUR-Lex*. [Online] 23. 04 2009. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=CS>.
- **2018.** SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2018/2001 . *EUR-Lex*. [Online] 11. 12 2018. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&qid=1569020191052&from=CS>.
- **2003.** SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2003/30/ES. *EUR-Lex*. [Online] 08. 05 2003. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003L0030&from=EN>.
- Evropská komise. 2011.** BÍLÁ KNIHA; Plán jednotného evropského dopravního prostoru – vytvoření konkurenceschopného. *EUROSKOP.CZ*. [Online] 28. 03 2011. [https://www.euroskop.cz/gallery/96/29006-evropsky\\_dopravni\\_prostor.pdf](https://www.euroskop.cz/gallery/96/29006-evropsky_dopravni_prostor.pdf).
- G.Speight, James. 2019.** Gasoline. *Access Science; The Science Authority*. [Online] 05 2019. <https://www-accessscience-com.ezproxy.techlib.cz/content/281900>.
- Gandalovič, Petr, et al. 2009.** *BIOPALIVA Pomoc přírodě, nebo zločin proti lidskosti?* 1. Praha : CEP, 2009. Vol. č. 74/2008. 978-80-86547-73-2.
- Gray, Kevin A., Zhao, Lishan and Emptage, Mark. 2006.** Bioethanol. *ScienceDirect*. [Online] 07 03 2006. <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.techlib.cz/science/article/pii/S1367593106000378>. 1367-5931.
- Guo, Mingxin, Songb, Weiping and Buhainc, Jeremy. 2014.** Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective. *ScienceDirect*. [Online] 11 11 2014. <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.techlib.cz/science/article/pii/S1364032114008302>. 1364-0321.
- Havel, Petr. 2015.** Biopaliva – má pravdu Babiš nebo Kalousek? (A v čem lze Jurečkovo ministerstvo). *HP*. [Online] 23. 05 2015. <https://hlidacipes.org/biopaliva-ma-pravdu-babis-nebo-kalousek-a-v-cem-lze-jureckovo-ministerstvo/>.
- Havlová, Nina. 2018.** Biopaliva nové generace se blíží. Řasy jsou sedmkrát účinnější než etanol z kukuřice. *NAŠE VODA informační portál o vodě*. [Online] 16. 03 2018.

<https://www.nase-voda.cz/biopaliva-nove-generace-se-blizi-rasy-jsou-sedmkrat-ucinnejsi-nez-etanol-kukurice/?fbclid=IwAR0WdazfxHiLITayMFS9pizG7qQR179hX0YUnhR-c6npseX6Z1LJUd2iTNM>.

**Hromádko, Jan and Hönig, Vladimír. 2010.** Ekonomická analýza využití bioetanolu v zážehových motorech. *BIOM.cz*. [Online] 01 03 2010. <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/ekonomicka-analyza-vyuziti-bioetanolu-v-zazehovych-motorech>. 1210-3306.

**Hromádko, Jan , et al. 2010.** Výroba bioetanolu. *LISTY CUKROVARNICKÉ A ŘEPAŘSKÉ*. [Online] ČZU; MŽP; TÜV SUD AutoCZ s.r.o, 07. - 08. 2010. [http://www.cukr-listy.cz/on\\_line/2010/PDF/267-271.PDF](http://www.cukr-listy.cz/on_line/2010/PDF/267-271.PDF).

**Hromádko, Jan, et al. 2009.** TECHNOLOGIE VÝROBY BIOPALIV DRUHÉ GENERACE. *BIOM.cz*. [Online] 21 12 2009. [https://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/technologie\\_vyroby\\_biopaliv\\_druhe\\_generace.pdf](https://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/technologie_vyroby_biopaliv_druhe_generace.pdf). 784-790.

**Cheng, Jay. 2018.** *Biomass to Renewable Energy processes*. New York : Taylor & Francis Group, 2018. 978-1498778794.

**Chisti, Yusuf. 2007.** Biodiesel from microalgae. *ScienceDirect*. [Online] 13. 02 2007. <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.techlib.cz/science/article/pii/S0734975007000262>. 0734-9750.

**Isla, Muhammad Aminul , Heimann, Kirsten and Brown, Richard J. 2017.** Microalgae biodiesel: Current status and future needs for engine performance and emissions. *ScienceDirect*. [Online] 26 05 2017. <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.techlib.cz/science/article/pii/S1364032117306767>. 1364-0321.

**John, Rojan P., et al. 2010.** Micro and macroalgal biomass: A renewable source for bioethanol. *ScienceDirect*. [Online] 10 07 2010. <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.techlib.cz/science/article/pii/S0960852410011429>. 0960-8524.

**Kadrmaz, J. 1940.** *Motorová vozidla část IV. Automobilní pohonné hmoty a pryžovné obruče*. Praha : Ústav pro učební pomůcky průmyslových a odborných škol, 1940.

**Kalina, Tomáš and Váňa, Jíří. 2005.** *SINICE, ŘASY, HOUBY, MECHOROSTY a podobné organismy v současné biologii*. Praha : Karolinum, 2005. 80-246-1036-1.

**Karim, G.A. 2012.** *Fuels, Energy and the Environment*. New York : Taylor & Francis , 2012.

**Kizlink, Juraj. 2009.** Biopaliva pro motorová vozidla: produkce, cena, legislativa. *BIOM.cz*. [Online] 22. 06 2009. <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/biopaliva-pro-motorova-vozidla-produkce-cena-legislativa>. 1801-2655.



- KOMISE EVROPSKÝCH SPOLEČENSTVÍ. 2009.** BÍLÁ KNIHA; Přizpůsobení se změně klimatu: směřování k evropskému akčnímu rámci . *EUROSKOP.CZ*. [Online] 01. 04 2009. [https://www.euroskop.cz/gallery/96/29010-prizpusobeni\\_se\\_klimatu.pdf](https://www.euroskop.cz/gallery/96/29010-prizpusobeni_se_klimatu.pdf).
- . **2006.** ZELENÁ KNIHA ;Evropská strategie pro udržitelnou, konkurenceschopnou a bezpečnou energii . *Eur-Lex*. [Online] 08. 03 2006. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0105:FIN:CS:PDF>.
- . **2008.** ZELENÁ KNIHA ;o nakládání s biologickým odpadem v Evropské unii. *EUR-Lex*. [Online] 03. 12 2008. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0811:FIN:CS:PDF>.
- Konzultační centrum biomasa. 2009-2011.** Biomasa. *Podpora lokálního vytápění biomasou*. [Online] Program cezhraničnej spoluprace SR,ČR, 2009-2011. <http://www.biomasa-info.cz/cs/biovlastnosti.htm>.
- Kopecký, Jiří and Prášil, Ondřej . 2016.** Mikrořasy – solární továrna v jedné buňce. *ALGATECH*. [Online] 2016. [https://www.alga.cz/UserFiles/mstefanova/files/Mikro%20řasy\\_sol%20a%20jedna%20bu%20ce.pdf](https://www.alga.cz/UserFiles/mstefanova/files/Mikro%20řasy_sol%20a%20jedna%20bu%20ce.pdf). 2464-6245.
- Larsdotter, Karin. 2006.** Wastewater treatment with microalgae –a literature review. *Föreningen Vatten*. [Online] 2006. [https://www.tidskriftenvatten.se/wp-content/uploads/2017/04/48\\_article\\_2125.pdf](https://www.tidskriftenvatten.se/wp-content/uploads/2017/04/48_article_2125.pdf).
- Lin, Yan and Tanaka, Shuzo. 2006.** Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects. *SprongerLink*. [Online] 01 02 2006. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-005-0229-x>. 627–642.
- Maritzová, Christine and Marčík , František. 2011.** BIOPALIVA, Paliva za jídlo? *Glopolis*. [Online] 12 2011. <http://glopolis.org/wp-content/uploads/soubory/biopaliva-paliva-za-jidlo.pdf>.
- McKendry, Peter. 2002.** Bioresource Technology; Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *ScienceDirect*. [Online] 05 2002. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852401001183>.
- Metrohm. 2019.** Biopaliva. *Metrohm*. [Online] 06 2019. [file:///C:/Users/admin/Downloads/1462661\\_AN-t109.pdf](file:///C:/Users/admin/Downloads/1462661_AN-t109.pdf).
- Michal, Petr. -.** Studie-bioplyn. *Energetická Agentura Trojzemí*. [Online] -. <http://3zemi.cz/docs/studie-bioplyn.pdf>.
- Mužik, Oldřich and Kára, Jaroslava. 2009.** Možnosti výroby a využití bioplynu v ČR. *BIOM.cz*. [Online] CZ Biom, 04 03 2009. <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznost-vyroby-a-vyuziti-bioplynu-v-cr>. 1801-2655.

**Mužik, Oldřich and Slejška, Antonín . 2003.** Možnosti využití anaerobní fermentace pro zpracování zbytkové biomasy. *BIOM.cz*. [Online] 14 07 2003. <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-vyuziti-anaerobni-fermentace-pro-zpracovani-zbytkove-biomasy>. 1801-2655.

**MŽP. 2008.** Kjótský protokol k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu. *Ministerstvo životního prostředí*. [Online] 2008. [https://www.mzp.cz/cz/kjotsky\\_protokol](https://www.mzp.cz/cz/kjotsky_protokol).

— . **2016.** Pařížská dohoda. *Ministerstvo životního prostředí*. [Online] 2016. [https://www.mzp.cz/cz/parizska\\_dohoda](https://www.mzp.cz/cz/parizska_dohoda).

— . **2008-2020.** Pařížská dohoda stručné shrnutí obsahu. *Ministerstvo životního prostředí*. [Online] 2008-2020. [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/parizska\\_dohoda/\\$FILE/OEOK-Obsah\\_Parizske\\_dohody-20160307.002.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/parizska_dohoda/$FILE/OEOK-Obsah_Parizske_dohody-20160307.002.pdf).

— . **2019.** Rámcová úmluva OSN o změně klimatu. *Ministerstvo životního prostředí*. [Online] Ministerstvo životního prostředí, 2019. [https://www.mzp.cz/cz/ramcova\\_umluva\\_osn\\_zmena\\_klimatu](https://www.mzp.cz/cz/ramcova_umluva_osn_zmena_klimatu).

**Nováček, Pavel. 2010.** *Udržitelný rozvoj*. Olomouc : Papírtisk, s. r. o, 2010.

**Ochodek, Tadeáš, Koloničný, Jan and Branc, Michal. 2007.** Metodická příručka ke studiu; Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy. *BIOM.CZ*. [Online] 2007. [https://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/metodicka\\_prirucka\\_ke\\_studii\\_techologie\\_pro\\_pripavu\\_a\\_energeticke\\_vyuziti\\_biomasy.pdf](https://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/metodicka_prirucka_ke_studii_techologie_pro_pripavu_a_energeticke_vyuziti_biomasy.pdf).

**OSN. 2015.** Historie. *Informační centrum OSN*. [Online] OSN, 2015. <https://www.osn.cz/osn/historie/>.

— . **1998.** KYOTO PROTOCOL TO THE UNITED NATIONS FRAMEWORK. *UNFCCC*. [Online] 1998. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>.

— . **2016.** PAŘÍŽSKÁ DOHODA. *EUR-Lex*. [Online] 19. 10 2016. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:22016A1019\(01\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:22016A1019(01)).

**Parlament EU. 1998.** DIRECTIVE 98/70/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL. *EUR-Lex*. [Online] 13. 10 1998. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:01998L0070-20110622&from=CS>.

**Peer, Ing. Václav and Friedel, Ing. Pavel . 2016.** Zplyňování – principy a reaktory. *tzbinfo*. [Online] 25 01 2016. <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/13729-zplynovani-principy-a-reaktory>.

**Peters, Adele . 2018.** Exxon Thinks It Can Create Biofuel From Algae At Massive Scale. *FASTCOMPANY*. [Online] 03. 06 2018. <https://www.fastcompany.com/40539606/exxon-thinks-it-can-create-biofuel-from-algae-at-massive-scale>.

- Pohořelý, Ing. Michael, et al. 2010.** Zplyňování biomasy – možnosti uplatnění. [Online] 2010. <http://files.tretiruka.cz/200001013-a770ca86ad/109.pdf>.
- Pospíšil, Lukáš. 2011.** Výzkum „suché“ anaerobní fermentace různých druhů biomasy za účelem. *Biom.cz*. [Online] 24. 10 2011. <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyzkum-suche-anaerobni-fermentace-ruznych-druhu-biomasy-za-ucelem-vyroby-bioplynu.1801-2655>.
- Raven, John A. and Giordano, Mario. 2014.** Algae. *ScienceDirect*. [Online] 07 07 2014. <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.techlib.cz/science/article/pii/S0960982214006046>.
- Riva Joseph P., McLeroy Priscilla G. , Atwater Gordon I. 2018.** ENCYKLOPAEDIA BRITANNICA. *Petroleum*. [Online] 16. 2 2018. <https://www.britannica.com/science/petroleum>.
- Roman, F. 1995.** *Pohonné hmoty a mazidla*. Praha : Naše vojsko, 1995.
- Selley C., Richard and Sonnenberg A., Stephen. 2015.** *Elements of Petroleum Geology*. 3. vydání. San Diego : Academic press, 2015. 978-0-12-386031-6.
- Singh, Ram Sarup, Pandey, Ashok and Gnansounou, Edgard . 2016.** Biofuels, Production and Future Perspectives. *Taylor & Francis Group*. [Online] 10 11 2016. <https://www-taylorfrancis-com.ezproxy.techlib.cz/books/e/9781315370743.9781315370743>.
- Skogstad , Grace and Wilder, Matt. 2019.** Strangers at the gate: the role of multidimensional ideas, policy anomalies and institutional gatekeepers in biofuel policy developments in the USA and European Union. *SpringerLink*. [Online] 13 04 2019. <https://link-springer-com.infozdroje.czu.cz/article/10.1007/s11077-019-09351-5.343-366>.
- Slade, Raphael and Bauen, Ausilio. 2013.** Micro-algae cultivation for biofuels: Cost, energy balance, environmental impacts and future prospects. *ScienceDirect*. [Online] 24 01 2013. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096195341200517X.0961-9534>.
- Spolaore, Pauline, et al. 2006.** Commercial applications of microalgae. *ScienceDirect*. [Online] 28 03 2006. <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.techlib.cz/science/article/pii/S1389172306705497>.
- Stříteský, Ing. Luboš and Hlavínek CSc., prof. Ing. Petr . 2013.** Mikrořasy jako zdroj surovin. *TZB-info*. [Online] 15 07 2013. <https://oze.tzb-info.cz/10141-mikrorasy-jako-zdroj-surovin.1801-4399>.
- Škorpík, Jiří. 2011.** FOSILNÍ PALIVA, JEJICH VYUŽITÍ V ENERGETICE A EKOLOGICKÉ DOPADY. *TRANSFORMČNÍ TECHNOLOGIE*. [Online] 04 2011. <https://www.transformacni-technologie.cz/07.html#menu>. ISSN 1804-8293.
- Tao, Bernard Y. 2014.** Biomass. *ACCESS Science; The Science Authority*. [Online] 06 2014. <https://www-accessscience-com.ezproxy.techlib.cz/content/083300>.

**UNFCCC. 2004.** Kyoto Protocol - Targets for the first commitment period. *News*. [Online] United Nations Climate Change, 02 2004. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-kyoto-protocol/what-is-the-kyoto-protocol/kyoto-protocol-targets-for-the-first-commitment-period>.

**Vaněk, Václav . 2012.** Biopaliva druhé a třetí generace. *Třípól - časopis pro studenty*. [Online] 20. 06 2012. <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/obnovitelne-zdroje/987-biopaliva-druhe-a-treti-generace>.

**Vláda České republiky. 2005-2020.** Bílé knihy. *EUROSKOP.CZ*. [Online] 2005-2020. <https://www.euroskop.cz/200/322/clanek/bile-knihy/>.

— **2005-2020.** Zelené knihy. *EUROSKOP.CZ*. [Online] 2005-2020. <https://www.euroskop.cz/8913/15871/clanek/zelene-knihy/>.

**Yanqun , Li, et al. 2008.** Biofuels from Microalgae. *AICHE*. [Online] 08 08 2008. <https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1021/bp070371k>.

**Zákonodárna moc ČR. 2012.** Zákon č. 201/2012 Sb.;Zákon o ochraně ovzduší. *ZÁKONY PRO LIDI;Sbírka zákonů*. [Online] 13. 06 2012. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201>.

— **2003.** Zákon č. 353/2003 Sb. *Zákon o spotřebních daních*. [Online] 24. 10 2003. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2003-353>.

— **2002.** Zákon č. 86/2002 Sb.;Zákon o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší). *ZÁKONY PRO LIDI; Sbírka zákonů*. [Online] 12. 03 2002. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2002-86#cast1>.

— **2004.** Zákon č. 92/2004 Sb.;Zákon, kterým se mění zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší), ve znění zákona č. 521/2002 Sb. *ZÁKONY PRO LIDI;Sbírka zákonů*. [Online] 03. 03 2004. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-92>.

**Zhiyou , Wen and Virginia , Tech. 2019.** Algae for Biofuel Production. *extension FARM ENERGY*. [Online] 03 04 2019. [https://farm-energy.extension.org/algae-for-biofuel-production/#Potential\\_yields](https://farm-energy.extension.org/algae-for-biofuel-production/#Potential_yields).

## 12 Samostatné přílohy

**Příloha 1. Přehled potenciálu biomasy pro anaerobní fermentaci v ČR (Mužík, et al., 2003).**

Potenciál využití biomasy		Živočišný odpad	Fytomasa	BRKO + BRPO	Celkem
Teoretický potenciál	materiál [tis.t]	30 000	6 000	2 806	38 806
	bioplyn [m <sup>3</sup> ]	780 000	450 000	280 600	1 510 600
	energie [PJ]	17	10	6	33
Dostupný potenciál	materiál [tis.t]	10 000	3 000	1 403	14 403
	bioplyn [m <sup>3</sup> ]	260 000	225 000	140 300	625 300
	energie [PJ]	5,7	5	3	14
Ekonomický potenciál	materiál [tis.t]	2 100	1 000	250	4 350
	bioplyn [m <sup>3</sup> ]	61 000	75 000	25 000	187 000
	energie [PJ]	1,3	1,7	0,6	4

**Příloha 2. TOP 10 výrobců ethanolu (Biom.cz, 2006).**

<b>Země</b>	<b>Objem [ mili. Galonů/ rok]</b>
Brazílie	3989
USA	3553
Čína	964
Indie	462
Francie	219
Rusko	198
Jihoafrická republika	110
Velká Británie	106
Saúdská Arábie	79
Španělsko	79