

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra chemie



Biopaliva – trendy a vyhlídky

Bakalářská práce

Autor práce: Jaroslav Kolář

Obor studia: Živočišná produkce

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

© 2017 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Biopaliva – trendy a vyhlídky" jsem vypracoval 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 uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 21. dubna 2017 _____

Poděkování

Tímto děkuji vedoucímu mé bakalářské práce p. doc. Ing. Vladimíru Hönigovi, Ph.D za cenné informace, poskytnutou odbornou literaturu a vedení mé práce. Dále děkuji mé rodině za trpělivost a pevné nervy při mé výchově.

Biopaliva – trendy a vyhlídky

Souhrn

Bakalářská práce je zpracována formou literární rešerše na základě dostupných literárních zdrojů a internetových pramenů. Pojednává o ropě a pohonných produktech vyrobených z ní. Následně charakterizuje strategie Evropské unie v oblasti biopaliv a základní legislativní normy, jimiž se musí producenti při výrobě biopaliv řídit. V práci jsou shrnuty kritéria udržitelnosti biopaliv popisující vztah k legislativní stránce, dále produkci skleníkových plynů a následkům pro půdu.

V hlavní části jsou vymezeny používané formy kapalných biopaliv, jejich rozdělení a stručný popis hlavních přínosů, které jejich produkce přináší. Dále jsou zde popsány výrobní generace biopaliv, které jsou v současné době již do produkce buď zapojeny, nebo jsou ve fázi zavádění do produkčních provozů. Další kapitoly se věnují výrobě biopaliv druhé generace z odpadních surovin, ve kterých je charakterizován vstupní materiál, technologický proces výroby, hlavní ekologické přínosy a shrnutí možného vývoje tohoto odvětví do budoucnosti.

Závěr práce se zabývá následky používání dnešních forem biopaliv v krátkodobém i dlouhodobém horizontu. Hlavní nevýhody dnes produkovaných biopaliv a jejich ekologický přínos pro snižování emisí skleníkových plynů a ekonomickou návratnost produkce biomasy.

Klíčová slova: biopalivo, bionafta, bioethanol, nafta, benzin

Biofuels – trends and prospects

Summary

Bachelor thesis is processed through a literature review on basis of available literature sources and internet sources. It deals with oil and fuel products manufactured therefrom. It subsequently characterizes the European Union strategy for the field of biofuels and basic legal standards, which must be followed by producers during production of biofuels. The paper summarizes the sustainability criteria of biofuels describing the relationship with the legislation, as well as greenhouse gas emissions and the consequences for soil.

The main part defines used forms of liquid biofuels, their division and a brief description of the main benefits that brings their production. There are also described generations of biofuels that are currently already either involved in production or are being introduced into the production plants. Other chapters are devoted to the production of second-generation biofuels from waste materials, in which input material, technological production process, major environmental benefits and summary of the possible development of this sector in the future are characterized

Thesis conclusion deals with the consequences of today's use of biofuels in the short and long term. The main disadvantages of currently produced biofuel and their environmental benefits for reducing greenhouse gas emissions and economic returns of biomass production.

Keywords: biofuel, biodiesel, bioethanol, diesel, petrol

Obsah

1. Úvod	1
2. Cíl práce	2
3. Současný stav řešené problematiky	3
3.1 Ropa a ropná paliva	3
3.2 Strategie Evropské unie	4
3.2.1 Kjótský protokol	5
3.2.2 Zelené knihy	5
3.2.3 Bílé knihy	6
3.2.4 Legislativa v České republice	6
3.3 Kritéria udržitelnosti	6
3.4 Alternativní paliva	7
3.5 Rozdělení alternativních zdrojů	8
3.5.1 Rozdělení podle požadavků na paliva:	8
3.5.2 Za biopaliva jsou považovány tyto produkty:	9
3.6 Výhody a nevýhody využívání biopaliv	10
3.7 Biopaliva	11
3.7.1 Transformace rostlinných olejů	13
3.7.2 Bionafta	14
3.7.3 Hydrogenovaný rostlinný olej	18
3.7.4 Bioethanol.....	21
3.7.5 Dimethyléter (DME)	24
3.7.6 Diethyléter	25
3.8 Výroba bionafty z odpadních tuků	25
3.8.1 Výroba methylesterů z živočišných tuků	26
3.8.2 Technologie výroby	26
3.9 Biopaliva druhé generace	27
3.9.1 Bioethanol druhé generace	28
3.9.2 Bionafta druhé generace	30
3.9.3 Biopaliva třetí generace	31
4. Predikce budoucího vývoje	33
4.1 Metody produkce biopaliv	33
4.2 Biopaliva první a druhé generace	33
4.3 Biopaliva třetí generace	34
4.4 Vymezení pojmu odpad	34
4.4.1 Odpadní suroviny z živočišné produkce.....	35
4.4.2 Odpadní suroviny z rostlinné produkce.....	35
4.4.3 Lignocelulosový odpad pro energetické účely	35

4.5 Pěstování energetických plodin.....	36
4.5.1 Organická hmota	38
4.5.2 Širokořádkové plodiny	38
5. Závěr	39
5. Seznam použité literatury.....	41
6. Seznam zkratk	46

1. Úvod

Tato práce se zabývá trendy a vyhlídkami biopaliv. Biopaliva jsou látky, které jsou lidstvu dostupné v podobě biomasy, která se v řádu nejvýše několika desítek let opakovaně obnovuje. Jde tedy o téměř nevyčerpatelný zdroj energie, který je nám volně k dispozici. Přitom vykazuje minimální dopad na životní prostředí, jejich zdroje jsou mnohdy velmi koncentrované a pro člověka snadno dostupné. Potenciálem této suroviny se evropské společenství, potažmo celý svět, začíná intenzivně zabývat přibližně posledních třicet let. Dnes se s biopalivy můžeme setkat ve čtyřech generacích, přičemž platí, že čím vyšší generace, tím sofistikovanější palivo.

Dnes jsou nejvíce produkována a využívána paliva první generace. Jedná se o biomasu, která byla pro energetické využití záměrně pěstovaná. Dochází zde tedy k jisté úspoře emisí a zásob ropy. Ale jelikož je její energetická návratnost malá a přínos pro ekologii jen omezený, je nutné zavést do oběhu vhodnější alternativu biopaliva, které bude vykazovat lepších výsledků. Těmi jsou biopaliva druhé generace. Jde o produkci biopaliv, v největší míře bionafty a bioethanolu, které byly syntetizovány z celulosových a tukových zbytků či vedlejších produktů ze zemědělského nebo lesnického sektoru. Zde tedy není nutné biomasu vypěstovat, ale pouze soustředit tuto hmotu v provozu, který je schopen speciálními reakcemi z něj vyrábět biopalivo. V současné době jsou biopaliva druhé generace, přesněji řečeno technologické a chemické reakce k jejich produkci, předmětem výzkumu.

Biopaliva třetí generace jsou paliva produkována z mořských řas, jejichž sekundárním metabolitem je olej. Přičemž k tomu dochází jen s malými nároky na prostor a živiny. Biopaliva čtvrté generace jsou paliva, při jejichž výrobě je upoutáno více CO₂, než je při jeho spálení vypuštěno do ovzduší. Ovšem poslední dvě zmiňované generace jsou v současné době realizovány především v laboratořích a jejich nasazení do energetického koloběhu bude předcházet řada výzkumů a zdokonalování výrobních postupů.

2. Cíl práce

Cílem práce je popis a sledování technologických trendů výroby biopaliv a jejich predikce s ohledem na stav prodeje v České republice. Dále charakterizovat základní legislativní normy, jimiž se produkce biopaliv v České republice musí řídit. Vymežit kritéria udržitelnosti a popsat alternativní paliva s perspektivními vyhlídkami do budoucna. Dílčím cílem je shrnutí výroby biopaliv ve všech současných výrobních generacích a dále vyhodnotit pozitivní i negativní dopady ve vztahu k půdě a produkci skleníkových plynů. Vyústění práce spočívá v predikci budoucího vývoje biopaliv ve vztahu k současným ekologickým i ekonomickým podmínkám.

3. Současný stav řešené problematiky

V současné době je v největší míře realizována produkce pohonných hmot z ropy, ze které se pomocí rafinace získávají různé frakce, z nichž jsou následně získávány konkrétní chemické látky. Tyto látky se mj. používají jako pohonné hmoty do zážehových či vznětových spalovacích motorů.

3.1 Ropa a ropná paliva

Ropa je černě zbarvená olejovitá tekutina, jejíž hustota je menší než vody. Nachází se ve svrchních vrstvách zemské kůry, většinou ve formě nerovnoměrně vydatných ložisek. Petrografie řadí ropu, společně s uhlím a zemním plynem, mezi kaustobiolity, toto je označení pro hořlavé organogenní sedimenty (Djebbar et al., 2012).

Ropa je směs bohatá na kapalné uhlovodíky různých struktur, ve kterých jsou rozpuštěny tuhé i plynné uhlovodíky a také organické sloučeniny, jež mají v uhlíkovém skeletu jeden nebo více heteroatomů (kyslík, síra, dusík). V podílech ropy s největší hustotou jsou pak obsaženy i vysokomolekulární sloučeniny (pryskyřice, asfalteny) a organokovové sloučeniny s obsahem niklu a vanadu. Elementární složení běžné ropy (v % hm.) se pohybuje v rozmezí 84–87 % uhlíku, 11–14 % vodíku, až 4 % síry a až 1 % dusíku (nebo kyslíku). Ostatní prvky jsou zastoupeny v menší míře (Djebbar et al., 2012).

Ropa, která se těží a využívá v současnosti, vznikla v přírodě v minulých geologických érách. Výchozím materiálem pro tvorbu ropy byly vrstvy odumřelých převážně drobných mořských organismů (planktonu), které byly na dně mělkých moří překryty nánosy jílu, písku a bahna. Již po krátké době se tlející organická hmota uložená v geologickém podloží rozložila z větší části účinkem bakterií. Odolnější složky organické hmoty, které byly bohaté na uhlík, zůstaly zachovány a při následném pomalém procesu poklesu sedimentu do stále větší hloubky mohlo dojít k dlouhodobým procesům fosilizace. Následnému milionu let trvajícimu působení teploty a vysokého tlaku nadloží se organická hmota dispergovaná v sedimentární hornině složitým procesem postupně přeměnila na kapalnou ropu a zemní plyn. Ropa takto vznikala již v prvohorách. Hlavní ložiska ropy se však nacházejí v geologických útvarech z terciéru a druhohorní křídly (Matějovský, 2005).

Mimo tradiční známé druhy fosilních paliv, s kterými se běžně můžeme dostat do kontaktu v distribuční síti pohonných hmot, existují také méně rozšířené chemické látky. Takové se používají jako palivo pro automobilové spalovací motory, nebo se můžeme setkat

s látkami používanými jako zdroje energie ve spalovacích člancích elektromotorů (Djebbar et al., 2012).

Paliva můžeme rozdělit do těchto skupin:

1. motorová nafta,
2. automobilové benzíny,
3. zemní plyn, stlačený CNG, zkapalněný LNG,
4. alkoholy, ethanol, methanol,
5. petrolej,
6. zkapalněné ropné plyny,
7. methylestery mastných kyselin (kyselin řepkového oleje) a jejich směsi s motorovou naftou (směsná motorová nafta),
8. HVO (hydrogenovaný rostlinný olej),
9. bioplyn,
10. vodík,
11. dimethylether,
12. diethylether,
13. netradiční paliva, například amoniak.

(Matějovský, 2005)

Uhlovodíková paliva pocházejí z fosilních zdrojů, nebo z biomasy. Trendem poslední doby je hledání dlouhodobě udržitelných zdrojů a zavádění alternativních paliv. Mezi alternativní paliva také řadíme biopaliva. V návaznosti na mezinárodní dohody, jež se týkají snižování emisí oxidu uhličitého vznikl program zavádění paliv pocházející z obnovitelných zdrojů, tedy tzv. biopaliv. Hlavními představiteli této skupiny jsou estery mastných kyselin rostlinných olejů, kvasný líh, methanol, vodík a další kapalná paliva z biomasy (Shubert et al., 2009).

3.2 Strategie Evropské unie

Dne 1. května 2004 vstoupila Česká republika do Evropské unie, a proto je její legislativa ovlivňována evropským společenstvím. Evropské dění okolo alternativních paliv a redukování emisí skleníkových plynů se začalo odvíjet v roce 1997 po přijetí tzv. Kjótského protokolu. V EU existují také různé formy publikací, které se občanům členských států snaží přiblížit aktuální trendy a vyhlídky, které se projednávají, a je s nimi počítáno do budoucna.

V těchto publikacích se lidé mohou svobodně vyjádřit k daným tématům a potencionálně tak ovlivnit jejich další směřování (Svítil a Polák, 2005).

3.2.1 Kjótský protokol

V japonském městě Kjót byl v prosinci roku 1997 u příležitosti Třetí konference smluvních stran přijat tzv. Kjótský protokol k Rámcové smlouvě OSN zabývající se změnou klimatu, ovšem v platnost vstoupil až o 7 let později. Tento protokol se zabývá problematikou redukci emisí smluvních států a možnými způsoby jejich dosažení. V úmluvě jsou zaznamenány země, které se zavázaly snížit emise skleníkových plynů oproti roku 1990 o minimálně 5,2 %, a to do konce kontrolního období, které probíhalo v letech 2008–2012. Týkalo se to především snižování emisí oxidu uhličitého (CO₂), oxidu dusného (N₂O), methanu (CH₄) a dalších nebezpečných plynů, které vznikají při spalování paliv v energetickém a dopravním odvětví, nebo v různých oborech, ve kterých se užívá rozpouštědel a jiných produktů.

Dle vyplývajících závazků z Kjótského protokolu má redukce emisí probíhat na ploše příslušného státu. Ovšem tento protokol také připouští možnost snížení emisí na území jiného státu. Také připouští možnost zakoupení práva na vypouštění skleníkových plynů (Svítil a Polák, 2005).

Kjótský protokol vymezuje tři typy těchto povolených mechanismů:

1. obchodování s emisemi skleníkových plynů,
2. mechanismus čistého rozvoje
3. společně zaváděná opatření pro redukci skleníkových plynů.

Ovšem tyto způsoby nejsou určeny, aby snižovaly emise jako takové, slouží spíše k doplnění vnitrostátních opatření. Kjótský protokol byl podepsán Českou republikou 23. listopadu 1998. Tím se zavázala ke snižování emisí o 8 % (Svítil a Polák, 2005).

3.2.2 Zelené knihy

Zelené knihy, které byly poprvé publikovány v roce 1985, existují dodnes. Jedná se o dokumenty Evropské komise, které mají za úkol vyvolat veřejnou diskuzi k popsání problematice a úmyslech Evropské komise předtím, než vstoupí v platnost dané zákony či směrnice. Do diskuzí může přispívat téměř kdokoliv. Diskuze se uskutečňuje v určitých časových obdobích (Adámková, 2008).

3.2.3 Bílé knihy

Adámková (2008) uvádí, že Bílé knihy jsou dokumenty Evropské komise, jejichž obsah zahrnuje návrhy na práci společenství určité oblasti. Vydání Bílé knihy většinou navazuje na publikaci Zelené knihy, cílem Bílé knihy je začít konzultace o daném tématu na úrovni evropského společenství. Poté, co Bílou knihu rada schválí, je možno s daným tématem počítat jako základ akčního programu. Tento dokument není závazný, má pouze doporučující charakter (Adámková, 2008).

3.2.4 Legislativa v České republice

Jelikož spotřeba paliv neustále stoupá, je i v České republice snaha je částečně nahradit biopalivy a tak se zbavit z části na dovážené ropě. Asi nejvíce ovlivňující je zákon č. 180/2007 Sb., který doplňuje zákon týkající se ochrany ovzduší č. 86/2002 Sb. Těmito zákony jsou povinni se řídit výrobci motorových paliv, rafinérie a dále dovozci paliv. Prakticky všechny subjekty, které do oběhu uvádějí motorová paliva schválená pro provoz. Na základě těchto zákonů se začalo s mísením biopaliv do fosilních paliv v určitém poměru k 1. září 2007. Od počátku roku 2012 nastává pro subjekty, jež se zapojují do výroby a uvádění na trh povinnost prokazovat shodu s tzv. kritérii udržitelnosti (Hykyšová, 2012).

3.3 Kritéria udržitelnosti

Kritéria udržitelnosti biopaliv upravují příslušné zákony a jejich novely. Jsou stanovena ve vztahu k půdě a CO₂. Pro kontrolu dodržování těchto kritérií jsou státem zřízeny kontrolní orgány, které kontrolují potřebné dokumenty, vázající se na kontrolované palivo. Kritéria udržitelnosti biopaliv ovlivňuje a určuje novela zákona č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší.

Stanovené cíle novely zákona:

1. transpozice kritérií udržitelnosti obsažených ve směrnících 2009/30/ES a dále 2009/28/ES,
2. dohled nad výkonem státní správy v oblasti realizace transponovaných směrnic,
3. z dodaných pohonných hmot snaha o snížení emisí skleníkových plynů o minimálně 6 % do roku 2020 ve srovnání s rokem 2010,
4. dohled nad akreditací, certifikací a autorizovaném ověřování výkazů o plnění kritérií udržitelnosti.

(Hykyšová, 2012)

Biopaliva, která plní kritéria udržitelnosti, je možno zohledňovat dodavatelům pohonných hmot do plnění povinnosti mísení minimálního podílu biopaliv. Jen tato biopaliva je možné započítávat k finanční podpoře a mohou být započítávána dodavatelům pohonných hmot do plnění povinností uplatnění.

Kritéria udržitelnosti omezující pěstování biopaliv ve vztahují k půdě, na travné porosty s vysokou biologickou diverzifikací, lesy, zalesněné plochy, kde žijí původní druhy a na kterých nejsou patrné žádné známky lidské činnosti. Taktéž zahrnují plochy chráněné zákonem, mokřady, rašeliniště a plochy s rozlohou přesahující jeden hektar se stromy vyššími než pět metrů a porostem koruny přesahující více než 30 % objemu (Hykyšová, 2012).

Ve vztahu k CO₂ musejí do konce roku 2016 biopaliva uspořit během celého životního cyklu nejméně 35 % emisí skleníkových plynů ve srovnání s fosilní alternativou a od začátku roku 2017 již musí být úspora nejméně 50 %. Dále od začátku roku 2018 musí při používání biopaliv vzniklých v zařízeních, která jsou v provozu od 1.1.2017 nebo později, být úspora minimálně 60 % (Hykyšová, 2012).

Kontrola plnění kritérií je opatřena směnicí, která požaduje, aby informace o palivu byly podrobeny nezávislému auditu. Autorizovaná osoba bude oprávněna vydávat certifikáty, která bude provádět v horizontu jednoho roku kontrolu jednotlivých osob a pěstitelům biomasy pak bude postačit místo certifikace vydávat samostatné prohlášení o shodě s kritérii udržitelnosti. Kontrolována pak budou minimálně 3 % pěstitelů (Hykyšová, 2012).

Kontrolní orgány

Celní úřady dohlížejí nad povinností dodavatele pohonných hmot snížení emisí skleníkových plynů a platností a kompletností dokladů v případě dovozu biopaliva. Ministerstvo zemědělství dohlíží nad správností dílčích prohlášení a prohlášeních pěstitelů biomasy. Inspekce životního prostředí dále dohlíží nad správností a úplností údajů uváděných v prohlášení o shodě s kritérii udržitelnosti a je oprávněna udělovat případné pokuty za porušení povinností při vydávání prohlášení. Při dodržení všech těchto kroků je tedy biopalivo možno označovat jako biopalivo (Hykyšová, 2012).

3.4 Alternativní paliva

Pojmem alternativní palivo často vzbuzuje dojem, že jde o látky vyrobené výhradně z obnovitelných zdrojů. Avšak tento termín zahrnuje i paliva, která jsou alternativní k fosilním palivům, motorové naftě a benzinu. Tyto paliva můžeme rozdělit na dvě základní

skupiny, a to na plynná a kapalná. Jsou vyráběna z uhlí, ropy, biomasy a vody. Mohou být pouze těžena a upravována, jelikož se nacházejí v přírodě, například zemní plyn nebo vznikají například syntetickou činností bakterií vyrábějících metan. Při spalování paliv dochází k úniku oxidu uhličitého do ovzduší a to může mít za následek změny klimatických podmínek (Vlk, 2004).

Weger (2009) uvádí, že až osmdesáti procenty se podílí automobilová doprava na celkové produkci oxidu uhličitého. Následkem toho je kladen stále větší důraz na hledání alternativ k těmto stávajícím zdrojům, které by současně při spalování produkovaly méně oxidu uhličitého. Většina těchto paliv vychází ze zdrojů, jakými jsou například biomasa (Benda a kol., 2012).

Energie uvolněná z biomasy je dále transformována do plynné nebo kapalné formy a je uváděna pod pojmem biopalivo. Následkem regulace emisí v automobilové dopravě vznikl roku 1992 program s názvem European Programme on Emissions, Fuels and Engines (Vlk, 2004). Tento program měl navrhnout emisní limity pro motorová vozidla a tím také upravit parametry pro kapalná motorová paliva. Smyslem tohoto programu bylo zpřísnit požadavky na kvalitu motorových paliv a klást větší důraz na využití biopaliv, která by omezila produkci oxidu uhličitého. V roce 1995 přijala Česká republika evropské normy, které byly výsledkem emisního programu z roku 1992. Evropská unie vytvořila směrnici 2003/ 30/ EC, která nařizuje, aby od roku 2005 bylo zastoupení biopaliv okolo 2 %, v roce 2010 má tento podíl dosáhnout až 5,75 % a v roce 2020 by mělo pocházet minimálně 20 % z celkové spotřebované energie z alternativních zdrojů. Z tab. 1. vychází, že by se v roce 2020 mělo nahradit 8 % z klasických motorových paliv. V této době asi jen 4,3 % energie pochází z obnovitelných zdrojů. Obnovitelná paliva nemusejí do budoucna být využívána pouze v dopravě, je možno je využít i k produkci tepla či elektrické energie (Weger, 2009).

3.5 Rozdělení alternativních zdrojů

Alternativní zdroje se rozdělují na biomasu, která slouží primárně k jejich tvorbě a na výslednou látku, která je nadále používaná jako pohonná hmota.

3.5.1 Rozdělení podle požadavků na paliva:

1. Spolehlivé pokrytí dodávek,
2. ekonomicky únosné,
3. přihlédnutí k požadavkům na ochranu životního prostředí.

(Weger, 2009)

V současné legislativě jsou ukotveny tyto pojmy a náležití definice:

1. Biopalivo: palivo plynné nebo kapalné určené pro dopravu, které je vyrobeno z biomasy,
2. biomasa: jedná se o biologicky odbouratelnou část produktů, odpadu a zbytků z lesnictví, zemědělství a ostatních příbuzných průmyslových odvětví,
3. ostatní obnovitelná paliva jsou paliva jiná než biopaliva, které vznikají z obnovitelných zdrojů energie a jsou využívány pro účely dopravy,
4. obsah energie je výhřevnost paliva. Její vyjádření je v jednotkách tuna ropného ekvivalentu označovaných jako toe, kde 1 toe se rovná 11.63 MW.h⁻¹.

(Pastorek a kol., 2004)

3.5.2 Za biopaliva jsou považovány tyto produkty:

1. Bionafta - palivo vyráběné esterifikací nebo hydrogenací rostlinného nebo živočišného oleje,
2. bioethanol – palivo vyráběné z biomasy nebo ekologicky odbouratelné části odpadu,
3. bioplyn – plyn syntetizovaný z biomasy nebo ekologicky odbouratelné části odpadu využívaný jako palivo nebo dřevní plyn,
4. biomethanol – alkoholový produkt získávaný z biomasy využívaný jako palivo,
5. biovodík – plyn syntetizovaný z biomasy sloužící jako palivo,
6. čistý rostlinný olej – olej získaný lisováním, extrakcí nebo srovnatelnými postupy získávaný z olejových plodin. Nezpracovaný nebo rafinovaný, chemicky však nezměněný,
7. biodimethyléter – plyn vyráběný z biomasy využívaný jako palivo,
8. syntetická biopaliva – syntetické uhlovodany, nebo směsi uhlovodanů získané z biomasy,
9. ethyl(terc-butyl)ether – látka vyráběná na bázi methanolu,
10. metyl(terc-butyl)ether – látka podobná té předchozí, palivo vyráběné na bázi methanolu.

(Vikash et al., 2014)

3.6 Výhody a nevýhody využívání biopaliv

Murtinger et Beranovský (2006) popisují výhody produkce a využívání biopaliv související s jejich dostupností, v užším slova smyslu je dle popisu biomasa surovina s energetickým potenciálem, jež je člověku volně k dispozici a je obnovována v pravidelných intervalech v horizontu maximálně několika desítek let. Samozřejmě časová obnova bude záviset na druhu používané suroviny. Plošné používání biopaliv je například jeden z prostředků, jímž se může částečně stát osamostatnit od závislosti na dovážené ropě a tím může sám do jisté míry ovlivňovat svůj trh s pohonnými hmotami, může tak předejít i výpadkům dovážené ropy a tím zajistit energetickou nezávislost a zabezpečení na svém území (Trnka, 2008).

Biopaliva snižují produkci skleníkových plynů, především CO₂, u těch dosahují nejnižších hodnot biopaliva třetí generace. Tato skutečnost vychází z faktu, že při spalování paliva z obnovitelného zdroje se do atmosféry uvolní maximálně takové množství emisí CO₂, jaké předtím bylo díky fotosyntéze ze vzduchu odebráno. Bohužel současné technologické postupy výroby biopaliv vykazují značnou energetickou náročnost, je tedy nutné pro objektivní posouzení skutečně vypuštěných skleníkových plynů stanovit její produkci v celém životním cyklu biopaliva, to znamená zahrnout nejen samotné spálení v motorovém prostoru, ale je nutné brát v potaz i CO₂, jež bylo vypuštěno při technologické realizaci pěstování energetické plodiny (Murtinger et Beranovský, 2006).

Dalším potenciálem, jež pěstování biopaliv přináší je nové využití zemědělské půdy a především nová pracovní místa, která by se vytvořila v odvětví lesnickém a zemědělském (Trnka, 2008). Principem dalšího používání biopaliv je nutnost udržitelnosti vůči životnímu prostředí. S tím souvisejí negativa v produkci a používání biopaliv, nejčastěji se do nich zahrnují právě vysoká energetická náročnost produkce těchto paliv, při které je do ovzduší vypouštěno značné množství CO₂. Nejhorší je bilance u biopaliv první generace (dále 1. gen.), tedy záměrně pěstovaných energetických plodin, zde je při jejich zpracování vypuštěno až 50 i více procent z uspořené produkce CO₂.

Biopaliva druhé generace (dále 2. gen.) jsou na tom o poznání lépe. Často zmiňovaným negativem biopaliv 1. gen. je nutnost velkých zemědělských ploch nutných pro pěstování energetických plodin, tato problematika souvisí například s kácením pralesů pro získávání stále nových osevních ploch, nebo nárůstu cen potravin, jelikož potraviny se budou pěstovat na menší ploše a tím bude produkce menší a ceny vyšší. Též technologické problémy palivové soustavy spalovacích motorů nelze opomenout, tyto problémy jsou dány nejčastěji

špatným skladováním a manipulací s palivem. Téměř veškeré motory je nutné optimalizovat pro chod na biopaliva (Trnka, 2008).

3.7 Biopaliva

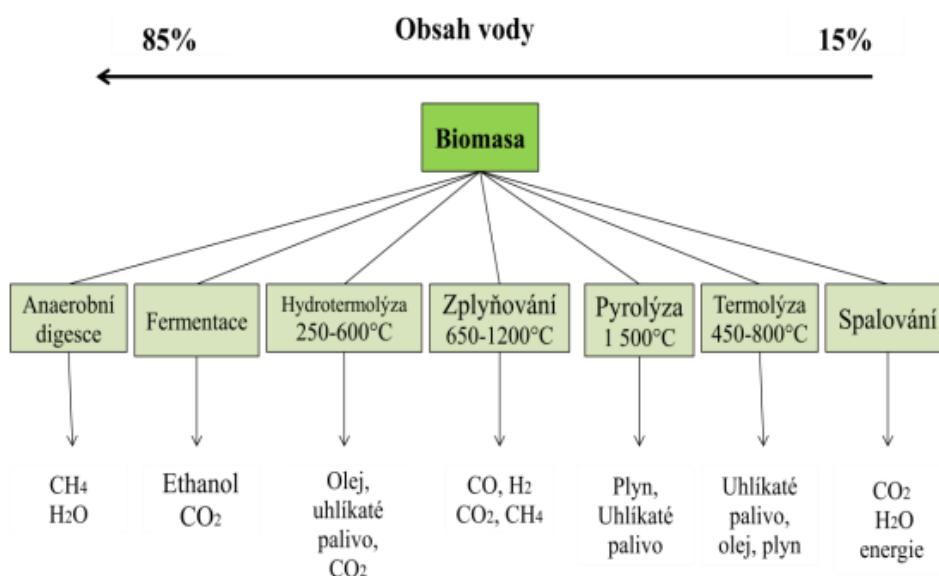
Globální změnou klimatu vyústilo více než sto let trvajícím využíváním fosilních zdrojů paliv, které se nejvíce projevilo na zvýšení obsahu oxidu uhličitého v atmosféře. Mezi doposud nalezenými obnovitelnými zdroji má biomasa stále jedinečné postavení. Pod pojem biomasa zahrnujeme organickou hmotu, jež vznikla jako produkt zpracování zemědělských plodin.

Dle obsahu vody můžeme biomasu rozdělit do následujících skupin (Obr. 3.1):

1. mokrá: kukuřičné siláže, kejda (využití především v bioplynových stanicích),
2. suchá: sláma, odpady při dřevozpracujícím průmyslu (po vysušení lze spalovat)
3. speciální biomasa: řepka, obilí (nejčastěji k výrobě bionafty či lihu).

(Weger, 2009)

Obr. 3. 1 Zpracovávání biomasy dle obsahu vody



Zdroj: Vlastní

Třetí skupina představuje nejvíce akumulovanou sluneční energii, tím je pro potřeby biopaliv nejvíce zajímavá. Obnovitelná paliva mají v dopravě obrovský potenciál jako zdroj energie, jehož význam se pravděpodobně postupem času bude stále zvyšovat. Biopaliva jsou dnes představována jako zdroj energie produkující méně škodlivin. Mezi hlavní pozitiva patří

menší procento produkce oxidu uhličitého (Weger, 2009). V dnešní době se nejčastěji setkáme s biopalivy 1. gen., jejichž hlavními zástupci jsou bionafta, tedy methylestery vyšších mastných kyselin, olej získaný nejčastěji z řepky olejky (*Brassica napus*), v menší míře též ze slunečnicového, sójového či palmového oleje, který je pak rafinován až do podoby bionafty (Mousedale, 2008).

Druhým zástupcem je bioethanol, alkohol vyrobený alkoholovým kvašením biomasy, nejčastěji škrobnatých plodin. Pěstování řepkového oleje má velice příznivou energetickou bilanci. Vstup pro pěstování řepky i s agrotechnickými aspekty a následné zpracování oleje činí $17,6 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, avšak energetický výstup z jednoho hektaru činí $46,6 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, to je více než 2,5 násobný energetický přínos (Pastorek a kol., 2004).

Pokud do této bilance zahrneme i získání vedlejších produktů, stoupne nám energetický zisk až na šestnásobek původního vstupu.

Produkce biopaliv v České republice sahá až k létům po první světové válce, kdy se začaly produkovat směsi lihu a benzínu pod obchodním označením Dynakol, ve Francii se tato látka prodávala pod názvem Carburant national a v Německu Reichskraftstoff (Diviš, 2017).

Od roku 1926 vešlo v platnost povinné míchání 20 % lihu s benzínem. Počátkem padesátých let u nás pomalu zaniklo používání lihobenzínových směsí. K používání biopaliv jsme se vrátili až okolo roku 1992, kdy byl vytvořen takzvaný Olejový program, který byl dotován státem. Smyslem tohoto programu byla větší podpora produkce a využití methylesterů řepkových olejů s cíleným osazováním polí řepkou olejkou. Počátkem roku 1997 se pro výrobu směsné nafty začalo přidávat minimálně 30 % methylester řepkového oleje (MEŘO) k fosilní naftě (Diviš, 2017).

Diviš (2017) popisuje další posun, který nastal v roce 1999, kdy se podařilo produkovat v ČR okolo 170 až 260 tis. tun ročně směsné motorové nafty, což byl podíl téměř 1,4 % na všech spotřebovaných pohonných hmotách. Směsnou motorovou naftu distribuovaly čerpací stanice v české republice zhruba na 500 místech a díky ceně, která byla přibližně o 2 Kč levnější oproti klasické naftě, se její spotřeba se rychle zvýšila. To bylo způsobeno především nízkou sazbou DPH, tedy 5% sazbou na ní, ovšem poté, co tato situace skončila, a DPH se dostalo na obvyklých 19 %, tak její cena vzrostla a zájem o tuto pohonnou hmotu pomalu utichl. Poté, co Česká republika v květnu 2004 vstoupila do Evropské unie, byly zrušeny dotace na produkci MEŘO. Díky těmto opatřením se pro produkci a následnou

distribuci MEŘO zhoršily podmínky, a proto od května roku 2004 dočasně zmizela směsná nafta z českých čerpacích stanic (Diviš, 2017).

3.7.1 Transformace rostlinných olejů

Olejnata semena se v dnešní době zpracovávají nejen v průmyslových olejárnách, ale také v decentralizovaných provozních střediscích. V mlýnech, zabývajících se rafinací oleje jsou semena, která mají obsah oleje více než 20 % lisována šnekovými lisami, tomuto procesu předchází jejich zahřátí, tedy kondicionování na teplotu 80-90 °C. Z takto upravených semen je možné získat až 50 % obsahu oleje. Pokud by nedošlo k předešlému kondicionování, proces by nebyl tak efektivní především díky horší mechanické separaci oleje, přítomnosti některých enzymů a nebyl by přítomen optimální obsah vlhkosti (Pastorek a kol., 2004).

Výsledné výlisky, tzv. pokrutiny jsou po extrakci v lisu drceny a poté postupují do extraktoru, kde se za pomoci technický rozpouštědel protiprouděně extrahují. Jako rozpouštědlo se nejčastěji používá hexan. Z výsledného extraktu, miscel, je nutné destilací odstranit

rozpouštědlo, které je nadále používáno k opětovné extrakci oleje. Následně je nutné z vyextrahovaného produktu odstranit i zbytky rozpouštědla vodní parou a po ochlazení a vysušení se získá šrot s obsahem 1,5 až 2 % oleje. Výsledným produktem je surový olej, který je tvořen olejem z extrakce a olejem z lisování (Tab. 3.2).

Tímto postupem je možné dosáhnout účinnosti lisování 76,5 %, kdy je minimum 65,7 % a maximum 85,3 %. Nejlepších výsledků u lisování se dosahuje u lisů s ohřevem semene, u kterých zbytkový obsah tuku činí průměrně 14,5 % s minimem 9,5 % a maximem 20,7 %. Průměrné množství energie vynaložené na jednu tunu olejních semen tak činí 0.40 GJ.t⁻¹ (Pastorek a kol., 2004).

Jelikož použití čistého, nijak neupraveného řepkového oleje jako paliva do vznětových motorů sebou přináší několik rizikových faktorů, je nezbytné navrhnout modifikovaná řešení:

1. přizpůsobení řepkového oleje motoru – předně esterifikace a následná reesterifikace na methyl estery mastných kyselin,
2. přizpůsobení součástí motoru na chod s řepkovým olejem – začínající nárůst firem, které předělávají dopravní a vstřikovací zařízení motoru pro provoz na čistý rostlinný olej je slibným předpokladem, že se toto odvětví bude v následujících letech dynamicky rozvíjet, problematika dále zkoumat a uvádět na trh optimální řešení tohoto okruhu paliv.

Tab. 3. 1 Porovnání parametrů řepkového oleje a fosilní nafty

Parametr	Methylester*	Řepkový olej	Nafta
Výhřevnost hmotnostní (MJ.kg ⁻¹)	37,1-47	36	42,5
Výhřevnost objemová (MJ.l ⁻¹)	32,7	34,4	35,2
Hustota při 15 °C (kg/m ³)	870	915	830
Teplota vzplanutí (°C)	130	246	55
Kin. Viskozita při 40 °C (mm ² .s ⁻¹)	14	35	3
Cetanové číslo	54-55	38	51
Spalné teplo (MJ.kg ⁻¹)	39,1- 42,9	39,6	45,3
Molekulová hmotnost	850-900	300	200

Zdroj: Laurin, 2009

*methylester řepkového oleje

Výrobci automobilů přišli s dvojicí řešení, jež každá používá jiný princip úpravy vozu, aby bylo dosaženo co nejmenší poruchovosti při používání rostlinného oleje. První řešení je automobil s oddělenou nádrží na naftu a na rostlinný olej. Na klasickou naftu se vozidlo startuje a je provozováno do doby, kdy motor a nádrž s rostlinným olejem dosáhnou optimální teploty a teprve poté začne dopravní čerpadlo do vstřikovacího systému dopravovat rostlinný olej. Toto řešení se snaží optimalizovat problematiku vyšší kinematické viskozity a vyššího bodu vzplanutí, než má klasická nafta (Pastorek a kol., 2004).

U druhého řešení, tedy automobilu s jednou nádrží se praktikují různá řešení, například elektrický přehřev paliva v nádrží a též elektricky přehříváné dopravní cesty paliva, nebo použití upravených dopravních cest a elektrických čerpadel palivové soustavy.

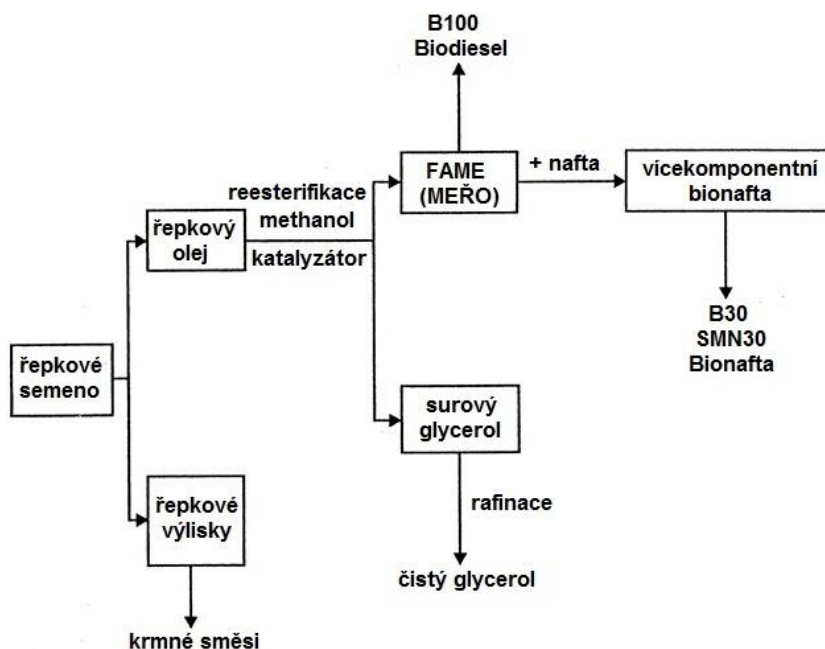
3.7.2 Bionafta

Pod pojmem bionafta se skrývá poměrně složitá, technologicky náročná úprava rostlinného oleje. Díky této úpravě získáme z rostlinného oleje biopalivo, které je pro většinu dnešních vznětových motorů nezávadné a plně použitelné při dodržení technologického postupu výroby a správných podmínek skladování (Pastorek a kol., 2004).

Methylestery řepkového oleje jsou označovány jako obnovitelný zdroj energie. Mezi jejich hlavní přínosy při používání patří skutečnost, že jsou na rozdíl od fosilní nafty biologicky odbouratelné, nejsou toxické a neobsahují žádné těžké kovy (Mousedale, 2008).

Dnes je MEŘO nazýváno bionafta 1. generace. Má konzistenci kapaliny, je čirá, mírně nažloutlá. Mezi její hlavní zápory patří její agresivita vůči pryžím, ze kterých je vyrobena většina těsnících vložek (Vlk, 2006).

Obr. 3. 2 Blokové schéma výroby bionafty



Zdroj: Vlastní

Výroba methylesterů mastných kyselin, tedy MEŘO z triglyceridů, jež jsou zastoupeny v rostlinných a živočišných olejích přibližně 98 %, zbylá 2 % představují di a monoglyceridy, lipidy a také volné mastné kyseliny, spočívá v katalyzované esterifikaci a následné reesterifikaci olejů za pomoci alkoholu (Obr. 3.2), především methanolu (Murtinger a kol., 2006).

Při výrobě MEŘO se jako vstupní surovina používá řepkový olej a menší množství methanolu. Celý proces se skládá z lisování oleje, filtrování a následné chemické reakce oleje, metanolu a katalyzátoru na metylester a glycerin (Pastorek a kol., 2004).

Postupy výrobního procesu jsou:

1. transesterifikace – reakce, při které spolu chemicky reagují řepkový olej s methanolem za vzniku esteru a glycerolu (Obr. 3.3). Není nutné používat pouze methanol, je možné též použít ethanol.
2. neutralizace – reakce, při níž mastné kyseliny a katalyzátor spolu vytvoří mýdlo a vodu (Tab. 3.2).

3. zmýdelnění – nežádoucí reakce, při které vzniká glycerol a mýdlo.
(Pastorek a kol., 2004)

Tab. 3. 2 Složení methylesterů řepkového oleje

Chemické látky	Procentické zastoupení
Methylestery mastných kyselin	98 %
Směsi mono-, di- a triglyceridů	do 1 %
Volné mastné kyseliny	do 0,3 %
Methanol	do 0,3 %
Volný glycerol	do 0,02 %
Nezmýdelnitelné látky	Stopové množství

Zdroj: Vlk, 2006

MEŘO, z rostlinného oleje jsou si strukturálně s motorovou naftou dosti podobné. Polární skupina esterů se dále podílí na zlepšení mazací schopnosti pohonné hmoty. V České republice se především prosadili technologické postupy ATEKO, RPN a CHemmal. Pro tyto výrobní procesy je charakteristické:

1. bazicky katalyzovaná reesterifikace řepkového oleje methanolem,
2. šaržová nebo kontinuální reesterifikace, která probíhá v míchaných nebo průtočných reaktorech,
3. intermediální vícestupňové oddělování glycerinové fáze,
4. procesy probíhající při teplotách v rozmezí 60–75 °C,
5. je vhodná úprava odkyselením a odsazením oleje, pro znemožnění tvorby mýdel.

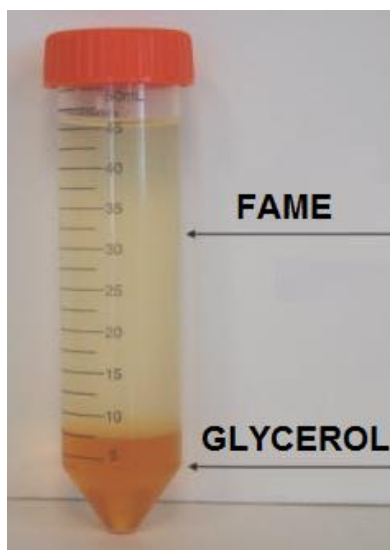
(Pastorek a kol., 2004)

Takto získané MEŘO je vhodné použít do valné většiny dnes vyráběných vznětových motorů automobilů, či motorů, jež se používají v elektrárnách na výrobu elektrické energie. Mezi hlavní přínosy MEŘO bez pochyby patří snížení emisí nespálených uhlovodíků, palivo získává daleko lepší mazivou schopnost oproti nerafinovanému rostlinnému oleji a CO₂, které se vypustí po spálení v motorovém prostoru do vzduchu je částečně vázáno zpět do přírodního procesu díky velkým plochám osázených rostlinami, které produkují rostlinné oleje (Pastorek a kol., 2004). Tyto rostliny si na základě fotosyntézy odebírají CO₂ ze vzduchu a přeměňují je na složité cukry svých těl. Bohužel toto palivo má také své stinné stránky, mezi tu nejdiskutovanější patří nižší výhřevnost při spalování oproti klasické naftě. Je to přibližně 37,5 MJ MEŘO oproti 42,5 MJ, které produkuje fosilní nafta. Proto motor, který spaluje

MEŘO bude mít nižší výkon než motor spalující klasickou naftu a to bude mít za následek vyšší spotřebu paliva.

Samozřejmě u tohoto druhu paliva vznikla otázka, zda je výhodné toto palivo, především rostliny, které dávají vzniknout tomuto palivu produkovat. Musíme spočítat vynaloženou energii na osetí plochy, vyprodukování rostlinného materiálu, sklizení plochy, následný transport a zpracování materiálu k získané energii. Množství získané energie z 1 ha se samozřejmě liší klimatickými podmínkami, pěstebnou technologií, ale především rostlinami, kterými je pěstebná plocha oseta. Když vezmeme příklad 1 ha oseté plochy řepkou olejkou (*Brassica napus*), získáme pro výrobu MEŘO poměr přibližně 1:1,4, to znamená, že z jednoho litru paliva, který jsme do produkce MEŘO vložili, získáme 1,4 l produktu. Pokud do bilance zahrneme též zpracování vedlejších produktů, při produkci MEŘO, tak poměr vzroste na téměř 1:4, což je podstatně příznivější bilance (Vlk, 2006) Mezi další výhody můžeme nastínit například téměř shodné cetanové číslo, jaké má i klasická nafta, to je veličina, která udává vznětovou charakteristiku paliva. Proto je možné MEŘO použít do motorů, aniž je nutné nějak zasahovat do jejich vstřikovacích mechanismů (Pastorek a kol., 2004).

Obr. 3. 3 Obsah zkumavky po transesterifikaci rostlinného



Zdroj: Vlastní

Státní norma bionafty

V České republice se kvalitativními požadavky zabývá norma ČSN 65 6508. Určuje kvalitativní požadavky a metody zkoušení pro směsné motorové nafty, které obsahují MEŘO.

Zahrnuje tuzemskou výrobu, dovoz, expedici i prodej. Dle této normy se směsné motorové nafty vyrábějí pouhým smísením motorové nafty pro mírné klima dle ČSN EN 590 a MEŘO dle normy ČSN EN 14 214. Dle legislativy je pojem bionafta vyhrazen pouze pro čistý methylester řepkového oleje, tedy nikoliv pro směsnou motorovou naftu, jak se mnohdy zákazníci domnívají.

Produkce MEŘO v České republice

V současné době je na trhu okolo čtrnácti subjektů, zabývajících se produkcí MEŘO. Tyto podniky jsou schopny potenciálně vyrábět až 150 tis. tun MEŘO ročně, reálná produkce však činí až o třetinu menší hodnotu. Největší producenti jsou tři výrobní závody (Vlk, 2006):

1. AGROPODNIK, a.s. Jihlava – Dobronín s roční produkcí 55 tis tun,
2. SETUZA, a.s. závod Olomouc, roční produkce se pohybuje okolo 42 tis. tun,
3. SETUZA, a.s. závod Mydlovary, s roční produkcí 15 tis. tun.

(Vlk, 2004)

Kontrola kvality v České republice

Bionafta prochází pravidelnou kontrolou od České obchodní inspekce dle ČSN 656508. Kontrolu kvality MEŘA má na starosti poskytovatel podpory SZIF, který se řídí Českou Státní Normou 656507/Z1.

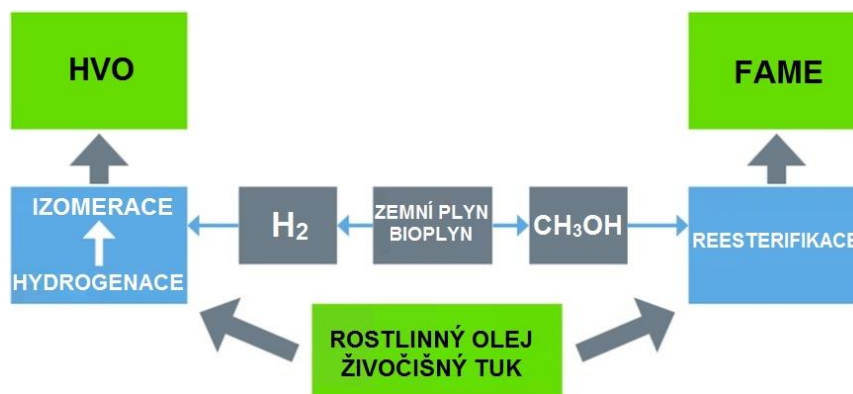
3.7.3 Hydrogenovaný rostlinný olej

Předchozí kapitola byla věnovaná jedné z možností přeměny rostlinného oleje na palivo. V současné době je vyvinut také jiný způsob, který se co do kvality produktu vyrovná esterifikací. Je jím hydrogenace. Tímto postupem je možno získat produkt, který disponuje několika výhodami oproti bionaftě vyráběnou transesterifikačními reakcemi. Pomocí hydrogenace získáme bezkyslíkaté produkty, které zastupují v největší míře alkany. Jejich výhody spočívají v lepší oxidační stabilitě a vyššímu cetanovému číslu. Nevýhoda tohoto produktu spočívá v horších nízkoteplotních vlastnostech, ovšem již byla vyvinuta metoda, která tyto vlastnosti zlepšuje k příznivějším hodnotám, je jí hydroizomerace. Patrně největším přínosem hydrogenovaného rostlinného oleje spočívá v možnosti jej přimíchávat do motorové nafty ve velkém procentuálním zastoupení (Plitz, 2013).

Výroba

Rostlinné oleje, jež je možné přeměnit na kapalné alkany, jsou vhodnou surovinou pro produkci paliva spalovaného v dieselových motorech, které bylo vyrobeno procesem hydrogenace (Obr. 3.4). Tento způsob přeměny olejů má určité výhody oproti transesterifikaci. Jednou z hlavních výhod je flexibilita surovin, stejné nároky na zařízení v ropných rafineriích a především kompatibilitu produktu se vstřikovacími zařízeními spalovacích motorů díky přítomnosti strukturálně podobných sloučenin těm, které se vyskytují v běžné fosilní naftě. Dle některých studií vychází dokonce hydrogenace olejů levněji než proces esterifikace (Triantafyllidis, 2013).

Obr. 3. 4 Schéma technologických postupů při produkci bionafty



Zdroj: Vlastní

Určitou ekologickou nevýhodou zpracování olejů pomocí hydrogenace je spotřeba vodíku, protože při jeho výrobě jsou produkovány emise oxidu uhličitého. Ovšem produkt získaný touto cestou má mnoho výhod a podařilo se mu odstranit některé nevýhody klasické bionafty (Plitz, 2013).

Především jeho kompatibilita se vstřikovacími jednotkami uzpůsobenými na klasickou fosilní naftu, pro kterou je toto zařízení konstruováno. Zde se proto nabízí možnost daleko většího podílu biosložky v klasické naftě. Taktéž má vysoké cetanové číslo, což je jednotka, která udává kvalitu motorové nafty z hlediska její vznětové charakteristiky (Stunborg et al., 1996).

Prozatím ve stádiu výzkumu je možnost využití rafinérských technologií pro současnou produkci HVO a fosilní nafty. Zatím nejvíce perspektivní se zdá být přidavek

roslinného oleje do suroviny pro hydorafinaci ropných destilátů (Papayannakos et al., 2009).

Při produkci HVO se setkáme s těmito pěti základními kroky:

1. Hydrogenace dvojných vazeb přítomných v nenasycených řetězcích acylů,
2. přeměna triacylglycerolů na monoacylglyceroly, diacylglyceroly, propan a mastné kyseliny, z těch vznikají odpovídající alkoholy,
3. hydrodeoxygenace esterů a mastných kyselin,
4. hydrodekarbonylace, při které dochází k odejmutí karbonyloví skupiny ve formě oxidu uhelnatého a vzniku n-alkanů s lichým počtem atomů uhlíku,
5. hydrodekarboxylace, při níž dochází k odstranění karboxylové skupiny ve formě oxidu uhličitého a vzniku n-alkanů s lichým počtem atomů uhlíku.

(Handbook Neste Corporation, 2016)

Během hydrogenace běžně používaných rostlinných olejů jako je řepkový, sójový, slunečnicový a palmový vznikají produkty, v nichž převládají C_{15} - C_{18} n-alkany (Papayannakos et al., 2009). Vedlejšími produkty jsou oxid uhličitý, oxid uhelnatý, propan a voda. Chemické látky n-alkany mohou být podstoupeny i dalším reakcím, jakou je například hydroizomerace, která produkuje rozvětvené uhlovodíky, ty mají nižší bod tuhnutí, což je žádoucí především u zimních druhů motorových naft. Při tomto druhu reakce je většinou použito kyselých katalyzátorů (Handbook Neste Corporation, 2016).

Obr. 3. 5 Hydrogenovaného rostlinného oleje vlevo, methylesteru řepkového oleje vpravo



Zdroj: Handbook Neste Corporation, 2016

Uplatnění na trhu

V několika zemích na světě již byla započata komerční výroba HVO v podnicích zabývajících se výrobou paliv v klasických rafinériích. Jedním z průkopníků průmyslového zpracování HVO je finská společnost Neste Oil, která provozuje několik jednotek na zpracování rostlinných olejů pomocí hydrogenace. Další firmy zabývající se hydrogenací jsou Diamond green diesel, ENI nebo UPM Biofuels. Produkty těchto firem vykazují velmi vysokou kvalitu, stabilní vlastnosti podobné těm, jaké má nafta vyrobená z ropy a díky moderním provozům i nízký obsah síry (Obr 3.5). Tento druh paliva se dnes také začíná využívat pro leteckou dopravu. ASTM (American Society for Testing and Materials) vydala směrnici, kterým umožňuje míchání až 50 % objemu klasického tryskového paliva a biopaliva, vyrobeného destilací, pro potřeby vojenských letadel, ale i komerčních letů.

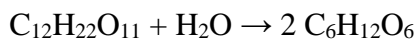
Budoucnost vývoje a produkce tohoto typu paliva je pravděpodobná, protože vykazuje některé příznivé vlastnosti, které bionafta vyráběná dnes nejčastější technologií, tedy transesterifikací, nevykazuje. Především se jedná o absenci kyslíkatých produktů při vzniku HVO, což vede ke zlepšení její oxidační stability a také není agresivní vůči konstrukčním materiálům. Další výhodou je možnost produkovat tuto látku v zpracovatelských zařízeních používaných pro zpracování ropných produktů. V blízké budoucnosti se také uvažuje o produkci HVO z odpadních tuků, kafilerních tuků a také olejů z řas (Handbook Neste Corporation, 2016).

3.7.4 Bioethanol

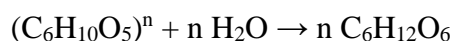
Výroba bioethanolu, obecněji výroba alkoholu ze škrobu a cukru, je již dlouho známá. S moderními postupy jsme schopni produkovat velké množství ethanolu výborné jakosti a je tedy také považováno za palivo budoucnosti. Jelikož jednotlivé výrobní procesy jsou na vysoké úrovni vývoje, tak další vývoj se jeví jako omezený. Přesto existuje značný optimalizační potenciál v dílčích oblastech produkce ethanolu. Zejména v oblasti, kde dochází k fermentaci, je nutný další výzkum, aby zde došlo k vylepšení výtěžnosti, procesní kontroly a také zužitkování a upotřebení zde vznikajícího CO₂ (Pastorek a kol., 2004).

Další klíčovou oblastí je čištění plynu při sušení odpadů. Přední oblastí výzkumu této problematiky nyní spočívá na vývoji způsobu výroby bioethanolu z produktů obsahující lignocelulosu. Produkce ethanolu z celulózy se těší velkému očekávání v nalezení energeticky příznivého postupu. Současný výnos závisí na použitém technologickém procesu a na kvalitě suroviny (Pastorek a kol., 2004). Pro produkci bioethanolu se v české republice nejčastěji

používají škrobnaté suroviny, nejvíce zrniny, především technická pšenice a okopaniny (Tab 3.3). Přeměna složitých cukrů na biopalivo zahrnuje následující kroky. Přeměnou sacharózy z cukrové řepy v souladu s rovnicí vznikají jednoduché cukry:



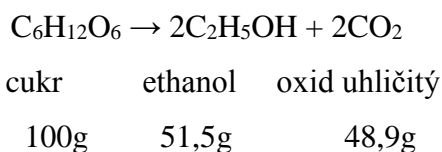
Při používání škrobnatých surovin, nejčastěji zrnin a brambor, je nutné škrob nejdříve zmazovatět a poté chemickou reakcí za přítomnosti enzymů ho rozštěpit na molekuly glukózy:



Pro výrobu alkoholu z glukózy vypadá chemická rovnice takto:



Gay Lussacova rovnice tvorby ethanolu:



Zdroj: Triantafyllidis et Lappas, 2013

Výroba bioethanolu se liší přípravou vstupního materiálu, pokud budeme používat obiloviny, je nutná úprava zrna mletím nebo drcením. Tímto krokem se škrob obsažený v obilce zpřístupní působením enzymů, které jej budou rozkládat na jednoduché cukry, jež mohou kvasinky přeměňovat na alkohol (Murtinger et al., 2006). Odpadem jsou otruby zrn. V dalším kroku je nutné škrob zmazovatět, to se děje při procesu zvaný zápar. Poté je škrob převáděn působením enzymů nebo též kyselou hydrolyzou na zkvasitelný sacharid, tedy glukózu. Surovina je dále převedena do fermentoru, kde probíhá kvašení za pomoci alkoholových kvasinek, které konvertují vzniklé sacharidy na ethanol a oxid uhličitý. Pro zdárný průběh kvašení je nezbytné udržení vhodného pH, které se pohybuje v rozmezí 4-6. Teplota tekutiny by se měla udržet přibližně mezi 27-32 °C. Optimální obsah ethanolu ve fermentované směsi je považována hodnota 12-13 % (Pastorek a kol., 2004).

Dalším krokem je destilace, při které je destilát, v tomto případě ethanol, oddělen od destilačního zbytku. Poté je rafinací ethanol očištěn od vedlejších produktů fermentace, které

mohou způsobit problémy u palivového systému motoru. Výslednou rafinací je rafinovaný bioethanol, který je tvořen max. 95,5 % ethanolem a zbytek je voda (Murtinger et al., 2006). Nižší hladiny vody nelze dosáhnout, jelikož ethanol s vodou tvoří azeotropní směs, jež nelze destilací oddělit.

Jelikož je ale obsah vody jedním ze základních kvalitativních znaků bioethanolu, je zde kladen velký důraz na dodatečné odstranění vody. Proto se při technologickém procesu používají následující metody k odstranění vody. Odvodňování tuhými látkami. Tato metoda patří mezi nejstarší, její použití je vhodné pouze u výroby menšího množství paliva. Jako odvodňovací látka se používá například pálené vápno, chlorid vápenatý, sádra či octan sodno-draselný. Další možností je odvodňování pomocí kapalin, zde se jedná především o metodu azeotropické destilace. Principem metody je vytvoření termální směsi voda-ethanol-třetí složka, u které nastává destilační teplota nižší, než je bod varu ethanolu. Celkový obsah vody je vázán v termálu. Ethanol zůstává na dně destilační kolony. Po ochlazení vznikají v termální soustavě dvě omezeně mísitelné fáze, ty se následně rozdělí a tu fázi, ve které je obsah třetí složky vyšší vrátíme zpět. Po této metodě je obsah vody v ethanolu jen několik desetin procenta (Pastorek a kol., 2004). Třetí metodou je extraktivní destilace. Při tomto způsobu odvodnění se používají hygroskopické kapaliny (vázajících molekuly vody), například glycerol a ethylenglykol. Ty na sebe navážou vodu po přidání do destilační kolony a alkohol destiluje při svém bodu varu 78,4 °C. Po dokončené destilaci ethanolu se zvýší teplota a voda se odpaří, čímž zbyde opět čistý glycerol. Mezi aktuálně nejpoužívanější metodu patří molekulární síta, tzv. zeolity (Pastorek a kol., 2004).

Tab. 3. 3 Průměrná výtěžnost bioethanolu z vhodných komodit pro ethanolové zpracování

Biomasa	*na 100 l bioethanolu	Biomasa	*na 100 l bioethanolu
syrovátka	4 000 l	melasa	360 kg
cukrová třtina	1 181 kg	pšenice	260 kg
cukrová řepa	932 kg	kukuřice	268 kg mokrý způsob 258 kg suchý způsob
brambory	1211 kg	žito	241 kg
dřevo	385 kg	triticale	251 kg

Zdroj: Pastorek a kol., 2004

*průměrná spotřeba vstupní suroviny na výrobu 100 l bioethanolu

3.7.5 Dimethyléter (DME)

Dimethyléter je uhlovodíkové palivo se značným budoucím potenciálem, které se vyznačuje především nízkými emisemi při spalování. Je to plynná látka, která čpí chloroformovým zápachem. Pro člověka není přímo jedovatý, ovšem dráždí dýchací cesty a při delším pobytu v místnosti s vysokým obsahem DME může působit až narkoticky. Tento plyn lze získávat z rozličných surovin. Pro jeho výrobu je možno použít zemního plynu anebo biomasy. Pokud budeme brát v potaz výrobu z biomasy, tak na výroby jedné tuny DME je zhruba potřeba tří tun dřeva. Při spalování plamen slabě luminiskuje. Tento druh paliva se vyznačuje vysokým cetanovým číslem a je tedy vhodný pro spalování ve vysokokompresních motorech, tedy především ve vznětových (Laurin, 2007). Na rozdíl od nafty se ale DME vyznačuje rozdílnými fyzikálními hodnotami:

1. díky vysokému cetanovému číslu je vysoká vznětlivost (50–60),
2. nižší bod varu (-24,8 °C),
3. agresivní vůči plastům a pryžím,
4. velmi vysoká korelace mezi měrnou hmotností a teplotou,
5. vysoké nároky na těsnost palivové soustavy zapříčiněné až 30X nižší viskozitou,
6. vysoká stlačitelnost,
7. výhřevnost je pouze poloviční,
8. nízké mazací schopnosti,
9. nižší teplota vzplanutí.

(Laurin, 2007)

Současné používání DME je jako samostatné palivo především pro vznětové motory anebo je užívám pro zlepšení spalování methyl alkoholových paliv v procentuálním zastoupení okolo 15 %. V horizontu následujících let je snaha o větší nasazení DME jako paliva pro spalovací motory.

Jeho uplatnění by mělo zahrnovat:

1. alternativu za LPG, díky podobným vlastnostem,
2. náhradu za motorovou naftu (pro nízké emise vyhoví i emisním požadavkům),
3. uplatnění v petrochemickém oboru jako látka určená pro další syntézy.

(Laurin, 2007)

3.7.6 Diethyléter

Diethyléter je čirá, bezbarvá, velice hořlavá kapalina, která se vyznačuje typickou nasládlou vůní. Používá se jako rozpouštědlo, dříve též jako anestetikum a také jako biopalivo. Vstupní surovina je shodná jako u DME, liší se od něj pouze některými fyzikálními vlastnostmi (Tab. 3.4). V následující tabulce jsou uvedeny základní fyzikální hodnoty pro diethyléter, naftu a bionaftu.

Tab. 3. 4 Fyzikální hodnoty diethyléteru, nafty a bionafty

Parametr	Nafta	Bionafta	Diethylether
Hustota (g.ml ⁻¹)	0,84	0,87	0,715
Skupenské teplo odpařování (kJ.kg ⁻¹)	250	200	350
Výhřevnost (kJ.kg ⁻¹)	42500	38812	36840
Bod vzplanutí (°C)	78	166	-40
Bod varu (°C)	180-330	330	34,6
Teplota samovznícení (°C)	250	363	380
Obsah kyslíku (% hm)	0	10	21,6
Obsah vodíku (% hm)	13	12	13,5
Molekulová hmotnost	170	296	74,12

Zdroj: Qi et al, 2010

3.8 Výroba bionafty z odpadních tuků

Nevšední surovinou pro výrobu bionafty jsou použité stolní oleje, neředlé či odpadní tuky získané v kafilérenských podnicích. Bionafta získaná z živočišných tuků a lojů nese označení AFME – animal fats methylesters. Toto palivo zaujímá v současné době jen velice malou část balancující na hraně dvou procent. Jelikož je to palivo, které je nejvíce ovlivněno cenou a dostupností těchto tuků, tak snahou výrobců je používat i levnější suroviny, převážně odpadní či neředlé oleje a tuky. Provozovny specializující se na tuto problematiku jsou v současné době dva v tuzemsku, jedná se o kafilerie, které zpracovávají vedlejší živočišné produkty. Tuky a loje získávají převážně ze zvířat hovězích a vepřových, dále pak z drůbeže a ryb. Do kafilerii jsou navážena uhynulá zvířata a tyto instituce se zabývají bezpečnou likvidací jejich těl. Proto jsou vedlejší živočišné produkty nejprve nadrceny, podrobeny tepelně tlakové sterilizaci, následně jsou zpracovány při teplotě 133 °C a tlaku 0,3 MPa, tento proces trvá dvacet minut. Materiál, který je takto upravený, by neměl obsahovat patogeny různých nemocí a měl by být nezávadný. Poté přichází na řadu zbavení materiálu vody, vznikne tzv. masokostní kaše. Ta je následně rozdělena na tuk a živočišnou moučku. Získaný tuk se poté čistí od nečistot a zbytkové vody na tzv. dekantérech (Pastorek a kol., 2004).

3.8.1 Výroba methylesterů z živočišných tuků

Odpadní živočišné tuky obsahují na rozdíl od rostlinných olejů velký podíl volných mastných kyselin (VMK). Dále obsahují aminokyseliny, steroly a jiné biogenní látky (Tab. 3.5).

V následující tabulce je znázorněna koncentrace volných mastných kyselin v tucích a olejích.

Tab. 3. 5 Koncentrace VMK v tucích a olejích

Druh oleje/tuku	Koncentrace volných mastných kyselin
Surový rostlinný olej	0,3–0,7 %
Rafinovaný rostlinný olej	0,05 %
Odpadní živočišný tuk	5–30 %
Použitý fritovací olej	2–7 %

Zdroj: Punsuvon et al., 2015

Než proběhne katalyzovaná transesterifikace tuků, je nejprve nutné snížit obsah VMK na minimum. Pokud bychom tento proces neprovedli, vznikaly by ve směsi mýdla, které by komplikovaly výtěžnost methylesterů, dělení fází a zvyšovaly spotřebu katalyzátoru. Tyto mýdla jsou produktem VMK s alkalickými katalyzátory.

3.8.2 Technologie výroby

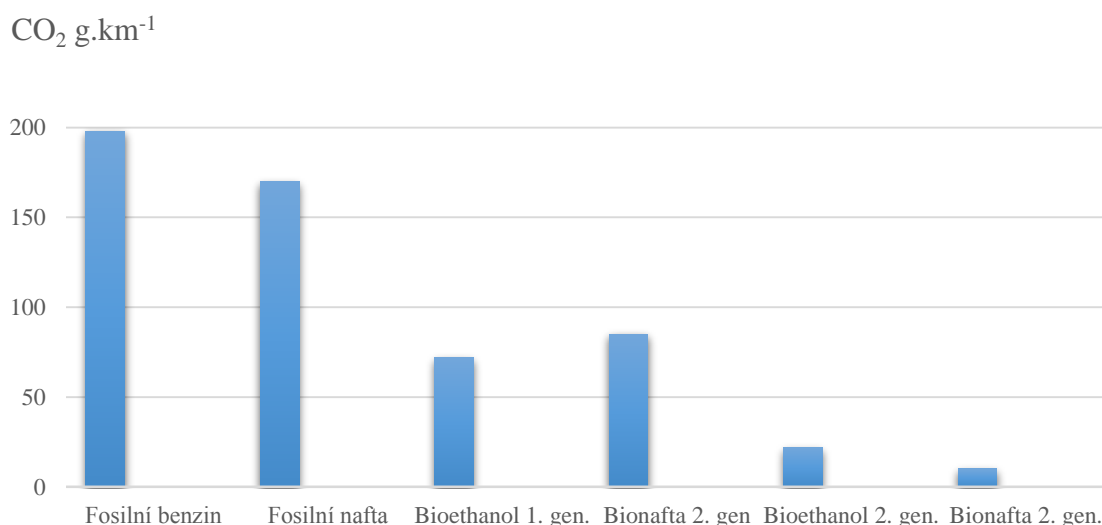
Nejprve se VMK v tuku obsažené podrobují kyselé katalyzované esterifikaci methanolem za vzniku příslušných methylesterů a vody. Je možné použít i ethanol, ale používá se pouze zřídka kvůli vyšší ceně. Jako katalyzátory jsou použity silné minerální kyseliny, například kyselina sírová (H_2SO_4). Následně je reakční směs rozdělena na dvě fáze. Spodní, organická fáze, ve které je obsažena směs methylesterů a tuků, se následně podrobí alkalicky katalyzované transesterifikaci, při které vznikne směs methylesterů a glycerolu. Druhá horní fáze obsahuje aciditu a vodu, z té se reesterifikací zpět získá suchý methanol. Obě heterogenní reakce jsou vedeny za teplot blížících se bodu varu methanolu, tedy 64 °C. Získaný surový methylester se skládá z rozpuštěného methanolu, katalyzátoru, volného glycerolu a zbytků mýdel. Proto je v dalším kroku promýván teplou, velice zředěnou kyselinou. Ta dá vzniku emulzi, a tu rozdělujeme v gravitačních separátorech nebo v odstředivých dekantérech, ten má vysoký separační účinek. Methylester s obsahem vody je nutno dokonale vysušit například adiabatickou expanzí vody a methanolu a poslední krok je za sníženého tlaku methylester destilovat ve filmových odparkách se stíraným nebo padajícím filtrem. Teplota, limitní pro

tento proces je dána hodnotě, při které dochází k degradaci methylesterů. Jelikož je tato metoda produkce biopaliva dosti náročná a nákladná, jsou v současné době vyvíjeny stále nové, progresivní metody. Jednou z těch potencionálně nejvíce úspěšných je metoda založená na výrobě methylesterů při použití pevných katalyzátorů. Ty jsou potom separovány v průtočném reaktoru a nedochází k jejich rozpuštění do reakční směsi. Tak je zjednodušeno konečné čištění methylesteru a rafinace glycerolu (Pastorek a kol., 2004).

3.9 Biopaliva druhé generace

Biopaliva první a druhé generace se od sebe odlišují svým vlivem na životní prostředí a především druhem použité biomasy jako vstupní suroviny pro jejich produkci. Biopaliva 1. gen. za sebou zanechávají nízké hodnoty CO₂ během své působnosti jako palivo, o tom pojednává například analýza Life Cycle Assessment a tato paliva jsou produkována především z tzv. potravinářské biomasy, tedy biomasy, která je záměrně pěstovaná na polích. Biopaliva 2. gen. vykazují též významný pozitivní podíl na zanechaném CO₂ a jsou vyráběna především z odpadních komodit, které vznikají například při zpracování zemědělských plodin. Nejčastěji jsou produkována z lignocelulózové biomasy, jež je například sláma, seno, těžební zbytky, rostlinné odpady atd. Díky této skutečnosti mají biopaliva 2. gen. potenciál až 90 % snížení emisí CO₂ v měřítku se svou fosilní alternativou. Na následujícím obrázku je znázorněn potenciál snížení emisí CO₂ ve vztahu k biopalivům první generace a fosilním palivům (Obr. 3.6). K biopalivům 2. gen. řadíme bioethanol, jehož výroba pochází z lignocelulózové biomasy, biomethanol, jako produkt katalytické konverze syntézního plynu, syntetická motorová nafta, vzniklá z Fischer-Tropschovy syntézy, nebo například biovodík, tedy produkt katalytické konverze syntézního plynu. Aktuálně se začínají uplatňovat bioethanol a syntetická motorová nafta (Vikash et al., 2014). Zbylé látky jsou prozatím ve stádiu výzkumu.

Obř. 3. 6 Produkce CO₂ rozdílnými palivy



Zdroj: Vlř, 2009

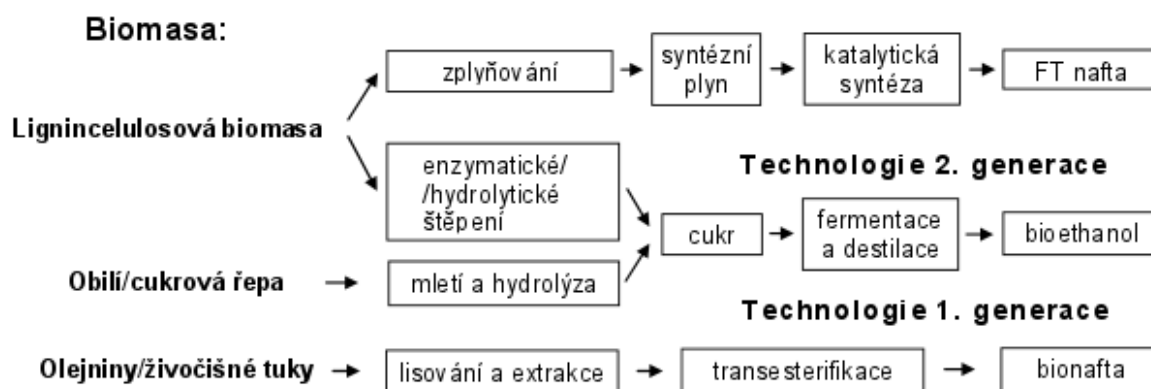
3.9.1 Bioethanol druhé generace

Výroba bioethanolu

Hromádřko (2010) popisuje produkci ethanolu z biomasy na bázi dřevnatých a lignocelulózových surovin. K produkci těchto surovin přispívá významně oblast produkování rychle rostoucích dřevin a energetických plodin, zbytky ze zemědělské produkce, například sláma, otruby a zbytky z dřevozpracujícího průmyslu, tedy piliny, odřezky větví aj.

Používaná technologie pro výrobu bioethanolu z těchto surovin je dosti komplikovaná. Jelikož se jedná o palivo, kterému je připisován do budoucna vysoký potenciál, je tato technologie předmětem soustavného výzkumu, plošnější využití se odhaduje v horizontu několika let. Toto palivo je zajímavé z hlediska relativní dostupnosti a především nízké ceny vstupní suroviny, jelikož je k dispozici ve velkém množství a pro podniky, jež tuto surovinu produkují, je vlastně odpadním materiálem (Vikash et al., 2014).

Obr. 3.7 Technologie produkce bioethanolu první a druhé generace



Zdroj: Umlauf, 2015

Metoda konverze lignocelulózy na bioethanol je v největší míře realizován pomocí hydrolýzy lignocelulózy na jednoduché fermentovatelné cukry (Murtinger et al., 2006). Tato metoda je mnohem obtížnější než rozklad škrobu u produkce paliv 1. generace (Obr. 3.7). Lignocelulóza má 40 až 60 % podíl celulózy a hemicelulózy. Tu lze již bez větších obtíží převést na fermentovatelné cukry.

Bylo vyvinuto několik technologických postupů pro konverzi fermentovatelných frakcí celulózy a hemicelulózy. Patrně jedním z nejúčinnějších postupů je technologie švédské firmy Sekab. Vstupní surovina, například sláma nebo dřevo je rozdrobeno či rozemleto na menší kusy. Ty se následně podrobí termochemické předúpravě. Následně proběhne z celulózy a hemicelulózy konverze na jednoduché cukry. Nejvíce využívaný způsob konverze představuje kyselá hydrolýza (Pastorek a kol., 2004). Další možností převedení na jednoduché cukry je použití enzymů celulózy, jež mají schopnost tento materiál rozložit. Tato metoda je nejúčinnější.

V následujících krocích bude vysvětlena výroba bioethanolu druhé generace. Od producenta je biomasa převzata do skladu. Do továrny je vstupní biomasa dopravena v kontejnerech, z nich je rozebrána a roztríděna, nadměrné kusy jsou odděleny. Následuje drcení a mletí, kde je biomasa rozmělněna na malé části za účelem narušení struktury celulózy a hemicelulózy a lepšímu přístupu štěpicích enzymů či reakci kyseliny. Poté následuje napařování, tato metoda odstraní vázaný vzduch v surovině a také slouží jako její předehřev. Dalším krokem je takzvaná předsacharizace, tedy metoda, při níž je celulóza spolu s přídáním kyseliny vylouhována ze suroviny při teplotě pohybující se okolo 170-200 °C. V tomto

procesu dochází za přítomnosti kyselin k rozštěpení vodíkové vazby mezi jednotlivými řetězci celulózy a tím je narušená polymerní struktura materiálu. Teplota při tomto procesu je 200-300 °C (Pastorek a kol., 2004). Celulóza je tedy rozložena na cukry, které jsou rozpustné ve vodě, převážně na glukosu a tu již lze fermentovat na bioethanol způsobem, jež je běžně využíván u biopaliv první generace. V procesu konverze celulózy dochází k separaci ligninu, který je nutno v této části výroby produktu filtrovat membránovým filtračním lisem, do dalšího výrobního procesu již nezasahuje. Lignin je v této části procesu odvážen mimo další výrobní proces. Jeho další využití je převážně pro energetické účely. Přefiltrovaný roztok glukosy je dále zbaven příměsí, které by mohly narušovat další fermentaci. Následuje samotná fermentace glukosy, ta je dopravována do speciálních nádrží a za přítomnosti kvasnic při teplotě 35 °C probíhá fermentace. Přidané kvasnice je v dalším kroku nutné separovat z fermentační tekutiny. Pak přichází na řadu destilace, po jejím ukončení zůstávají lihové výpalky, které obsahují pevnou a kapalnou složku, bioethanol je po kondenzaci uchováván v nádržích. Lihové výpalky je možné vysušit a spálit, nebo je konvertovat na bioplyn (Murtinger a kol., 2006).

Výhody – nevýhody bioethanolu druhé generace

Ve srovnání s bioethanolem první generace je cena bioethanolu druhé generace vyšší, je tomu tak z následujících důvodů:

1. technologicky nákladné zpracování celulosové hmoty,
2. menší výtěžnost cílové suroviny,
3. časová náročnost zpracování pomocí fermentativní hydrolýzy.

Vikash et al., 2014

3.9.2 Bionafta druhé generace

Výroba bionafty 2. gen. se realizuje pomocí tzv. Fischer-Tropschovy (TS) metody. Počátek vývoje této metody zasahuje až do 30. let minulého století, kdy se němečtí chemici snažili vyrobit alternativu ke klasické motorové naftě. Jako surovina její výrobu posloužila uhelná masa. Nejlepších výsledků bylo dosaženo s černým uhlím co možná nejvyšší jakosti (Vikash et al., 2014).

Aktuálně se syntetická motorová nafta vyrábí ze syntézního plynu, ten je vyroben ze zemního plynu, alternativou je zplynování biomasy (Vikash et al., 2014). Výroba tohoto syntetického paliva, respektive technologický postup nese označení GTL (Gas to Liquids). Již

dnes je přidávanou složkou GTL do některých nadstandardních paliv, ta má za úkol zvýšit jejich kvalitu. Zkratkou BTL (Biomass to Liquid) označujeme palivo, které vzniklo také FT syntézou, ale jako surovina byla použita biomasa. Biomasu je tedy možné zpracovávat i FT syntézou, tato metoda je považována do budoucna za velice perspektivní a je nadále cílem vědeckého zkoumání. Pro FT syntézu je nezbytný syntézní plyn, ten je nejčastěji získáván zplynováním biomasy (Pastorek a kol., 2004).

FT syntéza je exemplářem heterogenně katalyzované reakce. Vhodné katalyzátory těchto reakcí jsou kovy, které jsou schopné za určitých podmínek štěpit vazbu mezi atomy kyslíku a uhlíku. FT syntéza je příkladem heterogenně katalyzované reakce. Jako katalyzátory se používají kovy, schopné při vhodných podmínkách štěpit vazbu mezi atomy uhlíku a kyslíku. Na povrchu katalyzátorů na bázi železa a kobaltu dochází k disociativní adsorpci molekul CO. Kovy reagují s CO při vyšším tlaku a teplotě za vzniku odpovídajícího karbonylu $\text{Fe}(\text{CO})_5$, případně $\text{Co}(\text{CO})_4$. Teplota, která je nutná ke vzniku karbonylu je nižší než hranice teploty, při které probíhá FT syntéza. Použité katalyzátory pro FT syntézu jsou velice citlivé na otravu sírou, na kterou se kobalt silně chemicky váže (Pastorek a kol., 2004). Při FT syntéze vzniká velké množství tepla, které je nutné odvádět. Mimo uhlovodíků vznikají dále kyslíkaté sloučeniny. Mezi nasycenými uhlovodíky převládají n-alkany společně s rozvětvenými 2-methylalkany, mezi alkeny pak převládají alkeny s dvojnou vazbou v poloze alfa. Popsané výrobní procesy stále procházejí stádiem vývoje a optimalizace (Pastorek a kol., 2004).

3.9.3 Biopaliva třetí generace

Plitz (2013) popisuje biopalivo 3. generace je produkt, kterému jako vstupní surovina posloužila hmota z vodních řas (Obr. 3.8). Řasy jsou organismy schopné fotosyntézy, které se vyskytují ve vodním prostředí slaných či sladkých vod, nebo na souši, především v příznivém vlhkém a teplém prostředí. Žijí buď samostatně, nebo v symbióze s některými druhy hub v podobě lišejníků (Weiss a Svobodová, 2014).

Rozdělení dle skladby:

1. jednobuněčné,
2. vícebuněčné.

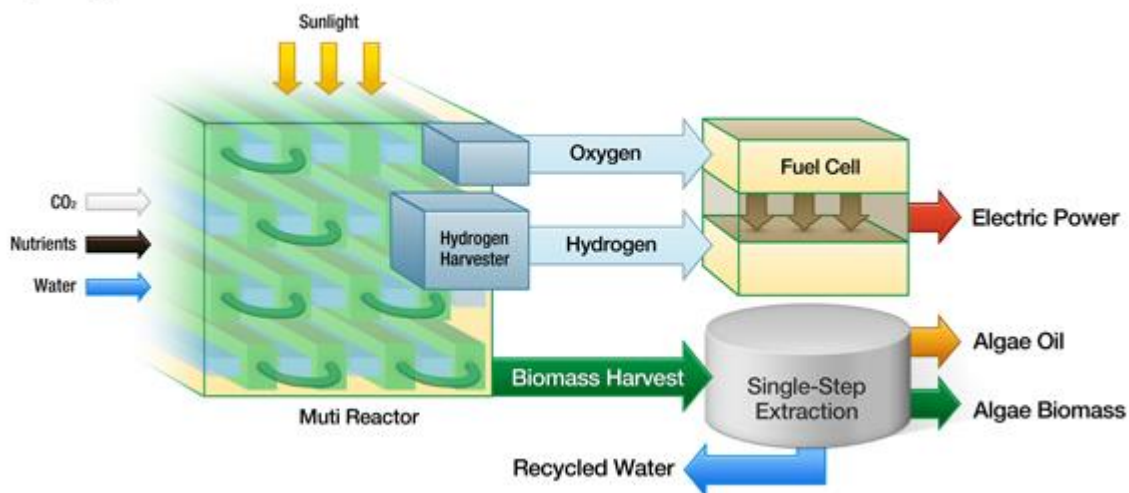
Rozdělení podle obsahu fotosyntetických barviv:

1. hnědé,
2. zelené,

3. červené.

Obr. 3. 8 Produkce biopaliva z řas

Hydrogen Harvester



Zdroj: Williams, 2010

Mezi hlavní výhody tohoto druhu biomasy patří rychlý růst hmoty, není potřeba používat zemědělskou půdu pro produkci, těžba probíhá celoročně, nejsou zde proto sezónní výkyvy v dodávkách. Řasy žijí ve vodě, nepotřebují tedy podpurná pletiva, kůru ani kořeny a proto neobsahují lignin ani celulosu. Jako další pozitivum lze vyzdvihnout nízkou potřebu vody při vztahu k vyprodukované organické hmotě v poměru například s biopalivy 1. generace. Též jsou uzpůsobeny pro zpracovávání organických a anorganických odpadů obsažených ve vodě. Některé druhy řas jsou složeny až ze 40 % z oleje (Plitz, 2013).

Nicméně produkce řas je velmi citlivá na podmínky prostředí a při snaze o maximální produkci je nutno striktně dodržovat pracovní postupy. V současné době nejsou biopaliva 3. gen. prozatím produkována. Avšak studie zabývající se budoucím vývojem biopaliv přiřazují biopalivům 3. gen. slibnou budoucnost. V následující tabulce jsou zaznamenány údaje o bionaftě původem z mikrořas v porovnání s její fosilní alternativou (Tab. 3.6). (Plitz, 2013).

Tab. 3. 6 Porovnání vlastností bionafty z mikrořas s fosilní naftou

Vlastnosti	Fosilní nafta	Bionafta z mikrořas
Hustota v kg m ³ (15°C)	838	864
Bod vzplanutí (°C)	75	65
Bod tuhnutí (°C)	-50 - 10	-12
Filtrovatelnost max. (°C)	-6,7	-11
Výhřevnost (MJ.kg ⁻¹)	40-45	41
Číslo kyselosti (mg KOH.g ⁻¹)	0,5	0,374

Zdroj: Mousedale, 2008

4. Predikce budoucího vývoje

Pro budoucí perspektivní rozvoj odvětví biopaliv je zapotřebí odstranit nedostatky, které současné formy mají (Schubert, 2009). V závěru práce jsou shrnuta možná rizika a negativní dopady, které produkce a používání biopaliv v současných formách hrozí.

4.1 Metody produkce biopaliv

Biopaliva je tedy dnes možné produkovat ve čtyřech výrobních generacích. Každá z nich s sebou nese určité výhody a rizika, je tedy nutné si předem stanovit priority, podle kterých budeme v následujících letech investovat finanční prostředky, čas a vědeckou činnost do výzkumu a optimalizace produkce těchto látek.

4.2 Biopaliva první a druhé generace

V současné době je v největší míře realizována produkce biopaliv 1. gen., tato produkce se jeví za současných podmínek jako nejsnáze dostupná s nejlepší ekonomickou bilancí. Jedná se o produkci paliva ze záměrně pěstované biomasy. Ovšem tato produkce vykazuje nejmenší úsporu skleníkových plynů, především CO₂, nejnižší energetickou výtěžnost oproti ostatním generacím a největší potřebnou jednotku plochy na její produkci (Pastorek a kol., 2004). Tato metoda produkce pomalu ustupuje, nicméně v následujících letech bude mít stále dominantní podíl na produkci biopaliv oproti ostatním generacím.

Schubert (2009) uvádí pro výše zmíněné nedostatky optimalizaci produkce biopaliv. V současné době jsou ve stadiu výzkumu a zavádění do výrobního cyklu biopaliva 2. gen., jde o paliva produkovaná z vedlejších a odpadních surovin. Toto palivo disponuje lepšími výsledky energetické návratnosti, emisí skleníkových plynů, především CO₂ a odpadá potřeba plochy pro produkci biomasy. Samozřejmě také disponuje nedostatky, tím největším se jeví

omezené množství vstupní suroviny a její přímé spojení s cenou výsledného paliva či stále značně složitý a nákladný výrobní proces. Vstupní surovina pro bioethanol a pro bionaftu je samozřejmě diametrálně rozdílná. Na produkci bionafty nám slouží odpadní oleje a tuky, které lze získávat například z kafilérenských provozů (Plitz, 2013).

Tento druh odpadu má své omezené kapacity a již dnes pomalu poptávka převyšuje nabídku. K produkci bioethanolu budeme jako vstupní surovinu používat nejčastěji lignocelulosový odpad (Pastorek a kol., 2004). Jedná se o zbytky z dřevozpracujícího průmyslu a v největší míře zbytky ze zemědělského sektoru. Zde se nejčastěji využívá slámy a jiných vedlejších surovin z rostlinné výroby. Tato hmota je po vymlácení zrna ponechána na poli, kde je s ní možno provést organické hnojení jejím zaoráním zpět do půdy, či slisováním do balíků a následným upotřebením v sektoru živočišné produkce. Třetí možností je její odvoz k energetickým účelům, zde se za současných podmínek může použít k přímému spálení v kotli a výrobě tepla a elektrické energie, nebo za pomoci speciálních technologicko-chemických operací ji přeměnit na alkoholovou látku, která je nadále využívána jako pohonná látka pro zážehové spalovací motory. Tato oblast má stále rezervy v efektivitě výroby a je pravděpodobné, že v horizontu následujících let dojde k její optimalizaci.

4.3 Biopaliva třetí generace

Pro palivo pocházející z této generace platí, že se vyznačuje velkou úsporou CO₂. Jedná se o látku vyrobenou z mořských řas, které jsou schopny na malou jednotku objemu vyprodukovat velké množství oleje. Zjednodušeně lze uvést, že pro růst řasové biomasy je zapotřebí jen mořská voda s minerálními látkami, teplo a světlo. Je velice pravděpodobné, že pokud se zajistí dostatečné prostředky pro rozvoj podniků, zabývajícím se produkcí tohoto druhu paliva, tak jej čeká slibná budoucnost (Weiss a Svobodová, 2014).

4.4 Vymezení pojmu odpad

Pojem odpad označuje odpadní suroviny, jako jsou použité stolní oleje a tuky z domácností, kafilerní tuky a jiné, jinak těžko využitelné tuky a dále pak jsou to vedlejší produkty, převážně lignocelulósového charakteru, které vznikají v zemědělském, lesnickém či jiném průmyslu.

4.4.1 Odpadní suroviny z živočišné produkce

Nejvíce je zde zastoupen kafilerní tuk, je získáván převážně z hovězího a vepřového odpadu, zastoupeny jsou také v menší míře tuky z ostatních druhů zvířat (Weiss a Svobodová, 2014). Zpracování obsahuje expanzní sušení, za vysoké teploty a tlaku separaci a na konec ochlazení. Poté je tento tuk převeden na bionaftu transesterifikační reakcí, je zde možnost provést konverzi také na hydrogenovaný olej, ale za současných podmínek je spíše preferována transesterifikace. Jedná se o účelné zpracování této odpadní suroviny. Při dnešních cenách této komodity je možno vyrobit jeden litr bionafty za přibližně stejnou cenu, za jakou je možno na benzinových stanicích koupit její fosilní alternativu.

4.4.2 Odpadní suroviny z rostlinné produkce

V rostlinné produkci dochází k tvorbě poměrně značného množství vedlejších rostlinných produktů. Nejvíce je zastoupena sláma a jiné suché zbytky rostlin, které posloužily k produkci semen a pro dnešní zemědělství, charakterizující stále snižování stavů chovaných zvířat je prakticky bezcenná. Sláma je pro potřeby živočišné produkce velice významná. Avšak dnes je její produkce nadbytečná, pro potřeby živočišného sektoru za stále častějšího používání bezstelivového systému chovu takřka nepoužitelná. Proto je potřeba jen malá část sklizené slámy pro využití v živočišném sektoru a zbytek je možno prodat či ho jinak upotřebit (Stražil, 2009). Existují proto firmy, které realizují výkup od primárních producentů za stanovené ceny a poté jí konvertují na určitou formu energie. Jednou z možností je slámu spálit v elektrárnách za zisku tepla a elektřiny. Jedním z vykupitelů je elektrárna Hodonín, která patří pod společnost ČEZ, jen tato jedna elektrárna zužitkuje ročně 240 tis. tun slámy, otrub, sena a podobných produktů. Další z možností je prodat slámu pro výrobu bioethanolu (ČEZ, 2017).

4.4.3 Lignocelulosový odpad pro energetické účely

Zda je za současných ekonomických podmínek vhodné slámu prodávat pro energetické účely je sporné. Především její výkupní cena zaznamenává sezónní výkyvy a vliv počasí na hodnotu produkce se neustále mění. Dnes se pohybuje výkupní cena slámy okolo hodnoty 350 Kč.t⁻¹. Tedy při průměrném výnosu z pšenice ozimé 4,5 t.ha⁻¹ by byl zisk okolo 1575 Kč. Pokud bude započítána cena slisování do balíků, přičemž náklady se pohybují okolo 150 Kč za balík, zjistíme, že zisk z jednotky plochy je prakticky nulový, dokonce mnohdy záporný. Domnívám se tedy, že používání slámy k energetickým účelům je pro primární

producenty jen minimálně výhodné. Jde spíše o vyřešení situace s materiálem, který se z jakéhokoliv důvodu již nehodí jako stelivo pro zvířata, či hnojivo na ornou půdu (Krejcar, 2013).

4.5 Pěstování energetických plodin

Tato podkapitola se zabývá základními agrotechnickými vstupy při realizaci produkce energetických plodin, škrobnatých či olejnatých, pro výrobu biopaliv první generace. Dále jejich výnosy vztažené na jednotku plochy a průměrný zisk biopaliva, který je za současných průměrných výnosů a technologie možné dosáhnout.

Pšenice ozimá (*Triticum aestivum*)

Teksl (1999) uvádí, že při standardních parametrech klíčivosti 97 %, čistotě 99 %, množství 4,2 milionu klíčivých semen a hmotnosti tisíce semen 52,3 g bude výsevek 229 kg. Nejpoužívanější půdní příprava je střední orba, s hloubkou okolo 22 cm, následné rozbití hrud pomocí smyků či kombinátorů. Hnojení je prováděno v největší míře dusíkem, u intenzivně obdělávaných ploch se můžeme dostat až na hodnotu 200 kg.ha⁻¹. Chemickou ochranu přistupujeme individuálně dle odrůdy a především dle ročníku. Sklízíme ve voskové zralosti od půlky července do půlky srpna. Výnosy se pohybují od 4 do 10 t.ha⁻¹. Z jednoho hektaru se stávající chemickou technologií je možno získat průměrně 1,98 t.ha⁻¹ bioethanolu.

Brukev řepka (*Brassica napus*)

Brukev řepka olejná patří mezi olejniny. Získaný olej se zpracovává na bionaftu. Patří mezi ozimé plodiny. Setí probíhá velmi brzy, okolo půlky srpna. Předseťová příprava se často skládá z bezorebného způsobu setí, většinou do ošetřené podmítky. Hnojení může probíhat organicky chlévským hnojem, dávka dusíku se pohybují okolo 100 až 150 kg.ha⁻¹. Průměrné výnosy jsou 3 t.ha⁻¹. Řepkové semeno obsahuje 35-40 % oleje (Teksl, 1999). Z jednoho hektaru je tedy možné získat okolo 1050-1200 kg oleje, které je možný pouze s nízkými ztrátami převést na MEŘO (Šařec a Šařec, 2003).

Lilek brambor (*Solanum tuberosum*)

Teksl (1999) píše, že lilek brambor se řadí mezi okopaniny, pro energetické účely se využívá jeho škrobnatých hlíz. Těmi je následným alkoholovým kvašením vyráběn ethanol. Předseťová příprava se skládá ze střední orby se zaorávkou hnoje. Sklizni předchází

mechanické, či chemické zničení natě. Průměrný výnos je zhruba 20-25 t.ha⁻¹. Při těchto výnosech se výtěžek bioethanolu z jednoho hektaru bude pohybovat okolo 2,75 t.ha⁻¹.

Cukrová řepa (*Beta vulgaris*)

Cukrová řepa má velký význam v zajišťování produkce konzumního či krmného cukru. Dále se využívá pro energetické účely jako surovina pro výrobu ethanolu. Cukrová řepa potřebuje hluboké, těžší a humózní půdy. Předset'ová příprava se skládá z podmítky, střední orby se zaorávkou chlévského hnoje a poté velmi hlubokou orbu. Hnojíme organickými hnojivy, nejlépe statkový hnůj v dávce až 40 t.ha⁻¹. Výnosy se pohybují okolo 51 t.ha⁻¹. Cukrová řepa obsahuje cukr v rozmezí 16-20 % (Teksl, 1999). Z jednoho hektaru je možno získat okolo 4,20 t.ha⁻¹ bioethanolu.

Vypěstovaná organická hmota

Vypěstovaná zemědělská plodinu o určitém výnosu semene či bulev je sklizena a odvezena k energetickému zpracování. Na poli zůstanou posklizňové zbytky, v největším zastoupení sláma. Tu je možné využít buď k přímému hnojení pomocí zaorání do půdy. Tím se do půdy dostane určité množství organické hmoty. Vhodnější variantou je slisování slámy do balíků a využití v živočišném sektoru jako stelivo, ze kterého se stane hnůj a po uzrání je rozmetáno na pole a zaoráno. Tím se do půdy dostává nejen organická hmota, ale také spousta minerálních látek. Poslední možností je její odvoz pro energetické účely. Nejčastěji jde o přímé spálení či výrobu bioethanolu. Při pěstování pšenice ozimé tedy můžeme sklídit 4–10 tun zrna z jednoho hektaru a zároveň získat přibližně 4,5 tuny slámy. Dnes se začíná prosazovat trend, že všechno, co se na poli vypěstuje a následně sklídí je odvezeno z pole pryč a je použito k jinému účelu, než k organickému hnojení. Snaha o maximální využití zemědělských plodin a jejich zbytků v energetickém sektoru je v krátkodobém hledisku po ekonomické stránce výhodnější, než organickou hmotu vrátit zpět do půdy, ale v dlouhodobém měřítku se jedná o velice sporný postup. Protože pouze pokud do půdy vrátíme část organické a minerální hmoty, tak je podporován v půdě přirozený rozvoj a udržování edafonu a tedy je z dlouhodobého hlediska možné tuto půdu využívat. Pokud se nebude aplikovat organické hnojení ve stanovených intervalech, tak se půda postupně degraduje a ztratí svoji schopnost produkce.

4.5.1 Organická hmota

Pěstování energetických plodin bude v budoucnu patřit značný podíl při zajišťování výroby paliv používaných v dopravě, či zajišťování dodávek elektrické energie. Při správném způsobu pěstování neplynou takřka žádné rizika pro půdu, přírodu ani pro člověka. Často diskutovaným tématem jsou chemické látky, které se používají při jejich produkci. Při výnosech, které v dnešní době dosahujeme, se bez chemického ošetření plodin téměř neobejdeme. Dnešní rostliny, které se neustále podrobují šlechtitelskému úsilí, které má zvýšit především jejich výnosy, jsou náchylnější na napadení různými chorobami či škůdci než původní rostliny.

Druhá stránka chemické hrozby vyplývá z používaných anorganických hnojiv (Maňásek, 2015). K zajištění maximální produkce se využívají chemická hnojiva, obsahující v největší míře dusík, fosfor, draslík aj. Zejména dusík je hrozbou pro podzemní zdroje vody, které může kontaminovat při vyplavování z půdy. Vyplavování prvků z půdy je dáno jednak nedodržením doporučené dávky pro konkrétní typ půdy, ale také stavem jejího sorpčního komplexu. Při stálém snižování stavů chovaného skotu a minimalizace produkce organické hmoty z živočišné produkce je stále větší problém zajistit odpovídající dávku organického hnojiva pro půdu. Přitom se jedná o stěžejní látku, která dodává půdě jednak minerální látky, ale také organickou hmotu, ze které je rozvíjen život půdních bakterií a celého edafonu. Tyto bakterie zušlechťují půdu, která má následně schopnost lepšího poutání vody a minerálních látek.

Pro produkci energetických plodin je tedy stěžejní do půdy ve stanovených časových intervalech, obvykle je tomu jednou za 4 roky, dodávat odpovídající dávku organického hnojiva, která se při průměrných hodnotách bude pohybovat okolo $40 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Konkrétní dávky se budou lišit v závislosti na typu půdy, pěstovaných plodinách, agrotechnických vstupech a kvalitě hnoje (Maňásek, 2015).

4.5.2 Širokořádkové plodiny

Teksl (1999) popisuje druhy zemědělských plodin, které se řadí mezi širokořádkové a jsou využívány pro energetické účely. Nejvíce zastoupené to jsou řepka olejka (*Brassica napus*), kukuřice setá (*Zea mays*) či slunečnice roční (*Helianthus annuus*). Širokořádkové plodiny s sebou nesou značné riziko splavování půdy a vymývání složek z ní při nesprávném agronomickém založení porostu či nevhodné lokalitě pěstování.

5. Závěr

Cílem práce bylo shrnout a stručně představit nejběžnější druhy kapalných biopaliv, které jsou, či budou v blízké budoucnosti využívány jako pohonné látky. Snažil jsem se objektivně zhodnotit tři generace biopaliv, rozdíly mezi nimi a problematiku produkce a dopady na životní prostředí. Především o emise skleníkových plynů a následky pro půdu. Ovšem rozdíly mezi palivy nejsou jen ve výrobních generacích, ale také v technologických postupech produkce uvnitř jednotlivých generací. V největší míře je zde popsán rozdíl mezi technologickým postupem výroby bionafty. Tu je možno produkovat buď esterifikací, což je postup, kterým se v současné době vyrábí největší podíl bionafty, či hydrogenací. Hydrogenace je optimalizovaný způsob výroby bionafty, který přináší zlepšení oxidační stability paliva a jeho lepší zpracování ve spalovacím motoru. Tato metoda se postupně zavádí do výrobního procesu, avšak v následujících letech bude pravděpodobně mít hlavní podíl na výrobě esterifikace. V dalších kapitolách je vysvětlena problematika biopaliv druhé generace se snahou o objektivní posouzení možností využití odpadů a vedlejších produktů produkovaných v zemědělském sektoru. Toto odvětví má potenciál se do budoucna dynamicky rozrůstat, jelikož produkce biopaliv z těchto surovin přináší klady oproti ostatním generacím. Hlavní přínosy zahrnují zlepšení ekonomické bilance dřevozpracujících a zemědělských podniků, vysoké úspory skleníkových plynů a dostatečného množství akumulované energie. Biopalivům patří prostor při realizaci budoucí energetické záchovy společnosti. Ač jim je již řadu desítek let věnována pozornost a výzkum, stále existují značné rezervy v optimalizaci jejich produkce. Je tedy nezbytné do budoucna zaměřit vědecký výzkum na optimalizaci produkce, hledání potencionálních zdrojů a řešení problematiky kompatibility vstřikovacích a mechanismů spalovacích motorů s biopalivy. Jedním z hlavních cílů, které určovaly, jaká biopaliva budou v budoucnosti produkována, byla úspora emisí CO₂. Existuje řada rozdílných biopaliv, které vznikají v několika generacích, přičemž každá z nich se vyznačuje rozdílnou měrou úspory emisí CO₂. Je tedy potřeba posoudit, která paliva poskytují největší úsporu emisí CO₂ a vykazují nejlepší energetickou rentabilitu, při zachování relativní dostupnosti a možnosti jejich produkce. Dále je nezbytné posuzovat dopady produkce biopaliv nejen k úspoře emisí skleníkových plynů, ale také ke vztahu k půdě. Energetické plodiny při správném způsobu pěstování nepředstavují pro půdu ani pro přírodu riziko. Je potřeba nahlížet na půdu jako na složitý komplex společně působících fyzikálních, chemických a biologických reakcí, které při nesprávném způsobu péče mohou být snadno poškozeny. Pouze zdravá půda je schopna produkovat maximální výnosy. Je tedy

nezbytné se při hledání energetických zdrojů a surovin pro jejich produkci neohlížet pouze na potenciální výnos energie, ale také na veškeré důsledky, které z tohoto jednání budou plynout. V krátkodobém hledisku se může jevit produkce biopaliv z vedlejších, či odpadních surovin zemědělského sektoru jako přínosná, ale při podrobnější analýze problematiky v dlouhodobém horizontu se jeví tato činnost jako sporná.

5. Seznam použité literatury

Adámková, A. Bílé knihy EU [online]. Český Rozhlas. 1. prosince 2008 [cit. 2016-04-03]. Dostupné z <http://www.rozhlas.cz/evropskaunie/informace/_zprava/520916>.

Benda, V., Doležalová, H., Dušička, P., Hanslian, D., Jevič, P., Matuška, T., Myslíl, V., Pastorek, Z., Stupovský, V., Šejvl, R., Šrefl, J., Šulek, P. 2012. Obnovitelné zdroje energie. Profi Press. Praha. s. 209. ISBN 978-8086726-48-9.

ČEZ. Elektrárny ČEZ spalující biomasu [online]. 2017 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z <<https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/biomasa/elektrarny-cez-spalujici-biomasu.html>>.

Diviš, J. Co bylo dřív - biopaliva nebo ropa? [online]. Biopaliva frčí. 2017 [cit. 2017-03-24]. Dostupné z <<http://biopalivafrci.cz/co-jsou-to-biopaliva/historie/>>.

Djebbar, T., Erle, C. D. 2012. Petrophysics Theory and Practice of measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties. Gulf Professional Publishers. Boston. p. 950. ISBN: 978-0-12-383848-3.

Evropská komise. Strategie EU pro biopaliva [online]. Biom. 2. července 2006 [cit. 2017-03-24]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/zpravy-z-tisku/strategie-eu-pro-biopaliva>>.

Hromádko, J., Hromádko J., Hönig, V., Miler, P. 2011 Spalovací motory. Grada Publishing. Praha. s. 296. ISBN 978-80-247-3475-0.

Hromádko, J., Hromádko, J., Miler, P., Hönig, V., Cindr, M. 2010. Chemické listy. 104. p.784-790.

Hromádko, J., Hromádko, J., Miler, P., Hönig, V., Štěrba, P. 2010. Výroba bioetanolu. Listy cukrovarnické a řepařské. 126 (4). s. 7-8.

Hromádko, J. Kritéria udržitelnosti biopaliv [online]. Top-expo. 2010? [cit. 2017-03-25]. Dostupné z http://www.top-expo.cz/domain/top-expo/files/3ceef2011/prednasky/hromadko_jiri.pdf.

Hykyšová, S. Kritéria udržitelnosti výroby biopaliv [online]. Biom. 20. září 2012 [cit. 2017-04-03]. Dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kriteria-udrizitelnosti-vyroby-biopaliv>.

Krejcar, D. Biomasa [online]. Krejcar. 2013 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z <http://www.krejcar.cz/sluzby/biomasa/>.

Kubička, D., Kaluža, L. 2010. Deoxygenation of vegetable oils over sulfided Ni, Mo and NiMo Catalysts. Applied Catalysis A: General. 372 (2). p. 199-208.

Küüt, A., Ritslaid, K., Olt, J. Study of potential uses for farmstead ethanol as motor fuel [online]. Agronomy. 2011. [cit. 2017-02-22]. Dostupné z <http://agronomy.emu.ee/vol09Spec1/p09s116.pdf>.

Laurin, J. Étery získávané z biomasy jako alternativní automobilová paliva [online]. Biom. 12. září 2007 [cit. 2017-03-24]. Dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/etry-ziskavane-z-biomasy-jako-alternativni-automobilova-paliva>.

Laurin, J. Rostlinné oleje jako motorová paliva [online]. Biom. 5. února 2009 [cit. 2016-09-12]. Dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/rostlinne-oleje-jako-motorova-paliva>.

Maňásek, J. Jak moc si vážíme půdy svěřené našimi dětmi? [online]. Úroda. 17. srpna 2015 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z <http://uroda.cz/jak-moc-si-vazime-pudy-sverene-nasimi-detmi>.

Matějovský, V. 2005. Automobilová paliva. Grada. Praha. s. 228. ISBN: 80-247-0350-5.

Mousdale, D. M. 2008. Biofuels: biotechnology, chemistry, and sustainable development. CRC Press. Boca Raton. p. 404. ISBN: 978-1-4200-5124-7.

Murtinger, K., Beranovský, J. 2006. Energie z biomasy. ERA. Brno. p. 94. ISBN: 80-7366-071-7.

Neste Corporation. 2016. Neste Renewable Diesel Handbook. Neste Proprietary publication. Espoo. p. 57. Dostupné z https://www.neste.com/sites/default/files/attachments/neste_renewable_diesel_handbook.pdf.

Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P. 2004. Biomasa - obnovitelný zdroj energie. FCC Public. Praha. s. 288. ISBN: 80-86534-06-5.

Plitz, J. Snižování emisí skleníkových plynů a hydrorafinace rostlinných olejů [online]. ČAPPO. 28. listopadu 2013 [cit. 2017-03-22]. Dostupné z <http://www.cappo.cz/res/data/000148.pdf>.

Punsuvon, V., Nokkaew, R., Tapanwong, M., Karnasuta, S. The Optimization of Esterification Reaction for Biodiesel Production from Animal Fat [online]. Tandfonline. 11. březen 2015. [cit. 2017-01-11]. Dostupné z <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15567036.2011.594853>.

Qi, D. H., Chen, H., Geng, L. M., Bian, Y. Z. 2011. Effect of diethyl ether and ethanol additives on the combustion and emission characteristics of biodiesel-diesel blended fuel engine. Renewable energy. 36 (4). p. 1252-1258.

Sebos, I., Matsoukas, A., Apostolopoulos, V., Papayannakos, N. 2009. Catalytic hydroprocessing of cottonseed oil in petroleum diesel mixtures for production of renewable diesel. Fuel. 88 (1). p. 145-149.

Schubert, R., Schellhuber, H. J., Buchmann, N., Epiney, A., Griebhammer, R., Kulesa, M., Messner, D., Rahmstorf, S., Schmid, J. 2009. Future bioenergy and sustainable land use. Earthscan. London. p. 365. ISBN 978-1-84407-841-7.

Stražil, Z. Využití rostlinné biomasy v energetice ČR [online]. Biom. 7. září 2009 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-rostlinne-biomasy-v-energetice-cr>>.

Stumborg, M., Wong, A., Hogan, E. 1996. Hydroprocessed vegetable oil for diesel fuel improvement. Bioresource technology. 56 (1). p. 13-18.

Svítil, R., Polák, M. Co přináší Kjótský protokol? [online]. Ekolist. 15. února 2005 [cit. 2017-04-03]. Dostupné z <<http://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/co-prinasi-kjotsky-protokol>>.

Šařec, P., Šařec, O. Různé způsoby zakládání porostů řepky ozimé ve střední Evropě [online]. Biom. 3. července 2003 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/ruzne-zpusoby-zakladani-porostu-repky-ozime-ve-stredni-evrope>>.

Teksl, M. 1999. Pěstování rostlin: učebnice pro střední zemědělské školy. Credit. Praha. s. 300. ISBN 80-902295-7-3.

Triantafyllidis, K. S., Lappas, A. 2013. The role of catalysis for the sustainable production of bio-fuels and bio chemicals. Elsevier. Boston. p. 608. ISBN: 978-0-444-56330-9.

Umlauf, P. Spor o biopaliva: Demagogie versus zdravý rozum [online]. Outsidermedia. 22. dubna 2015 [cit. 2017-04-05]. Dostupné z <<http://outsidermedia.cz/spor-o-biopaliva-demagogie-versus-zdravy-rozum/>>.

Vikash, B., Ashish, T., Girijesh, K. P. 2014. Biofuels production. Scrivener publishing. New York. p. 392. ISBN: 978-1-118- 63450-9.

Vlk, F. 2004. Alternativní pohony motorových vozidel. František Vlk. Brno. s. 234. ISBN: 80-239-1602-5.

Vlk, F. 2006. Paliva a maziva motorových vozidel. František Vlk. Brno. p. 376. ISBN: 80-239-6461-5.

Vlk, V. Obnovitelné zdroje energie [online]. Biom. 22. března 2009 [cit. 2016-10-11]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/obnovitelne-zdroje-energie>>.

Weger, J. Biomasa jako zdroj energie [online]. Biom. 27. února 2009 [cit. 2016-22-20]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-jako-zdroj-energie>>.

Weiss, V., Svobodová, J. Biopaliva – jejich výhody a nevýhody [online]. Projekt věda pro život, život pro vědu. červen 2014 [cit. 2017-04-03]. Dostupné z <http://www.csvs.cz/projekty/2014_veda_pro_zivot/KA3_prilohy/prezentace-k-prednaskam/10_Viktorie%20Weiss,%20Jaroslava%20Svobodova_Biopaliva.PDF>.

Williams, J. New development in the algae field could lead to the „holy Grail“ of hydrogen productions [online]. Algae Industry Magazine 21. července 2010 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z <<http://www.algaeindustrymagazine.com/new-development-in-the-algae-field-could-lead-to-the-holy-grail-of-hydrogen-production/>>.

Přehled tabulek a obrázků

Obr. 3. 1 Zpracovávání biomasy dle obsahu vody.....	11
Obr. 3. 2 Blokové schéma výroby bionafty	15
Obr. 3. 3 Obsah zkumavky po transesterifikaci rostlinného oleje	17
Obr. 3. 4 Schéma technologických postupů při produkci bionafty.....	19
Obr. 3. 5 Hydrogenovaného rostlinného oleje vlevo, methylesteru řepkového oleje vpravo..	20
Obr. 3. 6 Produkce CO ₂ rozdílnými palivy	28
Obr. 3. 7 Technologie produkce bioethanolu první a druhé generace	29
Obr. 3. 8 Produkce biopaliva z řas	32
Tab. 3. 1 Porovnání parametrů řepkového oleje a fosilní nafty	14
Tab. 3. 2 Složení methylesterů řepkového oleje	16
Tab. 3. 3 Průměrná výtěžnost bioethanolu z vhodných komodit pro ethanolové zpracování ..	23
Tab. 3. 4 Fyzikální hodnoty diethyléteru, nafty a bionafty	25
Tab. 3. 5 Koncentrace VMK v tucích a olejích.....	26
Tab. 3. 6 Porovnání vlastností bionafty z mikrořas s fosilní naftou	33

6. Seznam zkratek

MEŘO - methylester řepkového oleje

AFME - animal fats methylesters

FAME - fatty acid methyl ester

CNG - stlačený zemní plyn

LNG - zkapalněný zemní plyn

EU - Evropská unie

OSN - organizace spojených národů

MW - megawatt

ha - hektar

GJ - gigajoule

°C - stupeň Celsia

kg - kilogram

mm - milimetr

DME - dimethyléter

HVO - hydrogenovaný olej

LPG - liquified petroleum gas

hm - hmotnost

GTL - gas to liquid