

Ministerstvo zemědělství České republiky (MZe ČR)
Těšnov 17, 117 05 Praha 1

Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i. (VÚZT, v.v.i.)
Drnovská 507, P.O.Box 54, 161 01 Praha 6 - Ruzyně



ANALÝZA MOŽNOSTÍ A NÁVRH STRATEGIE PRO ROZŠÍŘENÉ A KOMERČNÍ VYUŽITÍ MODERNÍCH BIOPALIV S OHLEDEM NA EMISE SKLENÍKOVÝCH PLYNŮ A NEPŘÍMÉ ZMĚNY VE VYUŽÍVÁNÍ PŮDY

Smluvní výzkumná zpráva č. 513-2013-17253-VÚZT/493/2013

- Objednatel: **MZe ČR** – zastoupené **Ing. Petrem Jílkem**, Vrchním ředitelem a ředitelem odboru, Sekce zemědělských komodit, Odbor environmentální a ekologického zemědělství
Odpovědný pracovník za MZe ČR: **Ing. Tereza Musilová**, vedoucí oddělení OZE a environmentálních strategií
Pracovník oddělení OZE a environmentálních strategií odpovědný za biopaliva: **Ing. Karel Trapl, Ph.D.**
- Zhotovitel: **VÚZT, v.v.i. Praha**
- Autoři zprávy: Ing. Petr Jevič, CSc., prof. h.c.
Ing. Zdeňka Šedivá
- Schvaluje: **Ing. Marek Světlík, Ph.D. - ředitel VÚZT, v.v.i.**

Praha, 2013

Anotace

Analýza možností a návrh strategie pro rozšíření a komerční využití moderních biopaliv s ohledem na emise skleníkových plynů a nepřímé změny ve využívání půdy

Práce analyzuje současný stav vývoje a možností uplatnění moderních biopaliv v dopravě. Popisuje aktuální požadavky na úsporu emisí skleníkových plynů (GHG) a uvádí možnosti zlepšení účinnosti technologických postupů jejich výroby. Do roku 2020 je vedle bionafty a hydrogenované bionafty uskutečnitelná dále výroba bioethanolu z lignocelulózových a biomethanu z biologicky rozložitelných zbytků a odpadů. Kapacity významné z hlediska trhu je v případě konverze zbytkové, odpadní a energetické biomasy a řas na syntetická biopaliva BtL možné očekávat spíše několik let po roce 2020. V současné době až do konce roku 2016 je zákonem o ovzduší požadováno snížení emisí GHG z pohonných hmot o 2 %. Těto hodnoty je možné dosáhnout při současném stavu využívání certifikovaných biopaliv ovšem jen za předpokladu, že vykazují hodnotu úspor emisí GHG alespoň 47 % oproti nařízení vlády o kritériích udržitelnosti biopaliv, které musí činit 35 % do konce roku 2016. Od 1.1.2017 je povinnost snížit emise GHG z pohonných hmot o 4 % a požadavek na úsporu emisí GHG u biopaliv je 50 %. Proto se v tomto období až do konce roku 2019 musí zvýšit výroba biopaliv z 4,22 % e.o. na 7,27 % e.o. při průměrné úspoře emisí GHG u biopaliv 55 %. Protože od 1.1.2020 je požadavek na 6% snížení emisí GHG z pohonných hmot, budou jejich distributoři tlačit na co nejvyšší úsporu emisí GHG u nakupovaných biopaliv. Při 75% úspoře emisí GHG to znamená 8% e.o. podíl biopaliv. V té době by se měl projevit dopad používání zbytkové a odpadní biomasy a stabilizace ploch zemědělské půdy pro účely výroby biopaliv. Nutnou podmínkou splnění této hodnoty je nezbytná legislativní a ekonomická stimulace výzkumu a vývoje moderních biopaliv.

Klíčová slova

udržitelná biopaliva pro dopravu, konvenční biopaliva, moderní biopaliva, energetická biomasa, zbytková biomasa, biogenní odpady, podpora biopaliv, daňové zvýhodnění udržitelných biopaliv

Summary

Analysis of Possibilities and Draft Strategy for Widespread and Commercial Use of Advanced Biofuels with Respect to Emissions of Greenhouse Gases and Indirect Land Use Change

This work analyses the current state of development and possibilities of advanced biofuels application in transport. It describes the current requirements for saving of greenhouse gas (GHG) emissions and mentions the improvement possibilities of effectiveness of technological processes their production. Up to 2020 there is feasible, in addition to the production of biodiesel and hydrogenated biodiesel, the production of bioethanol from lignocellulosic biologically degradable residues and wastes and biomethane from this type of residues and wastes. Significant capacities in terms of the market can be expected in case of conversion of the residual, waste and energy biomass and algae on synthetic fuels BtL rather several years after 2020. Currently, up to 2016, the Act on Clean Air Protection requires reduction in GHG emissions from fuel by 2%. This value can be achieved at the current state of certified biofuels use only provided that it is proved the value of GHG emissions savings 47% at least compared to government regulation on biofuel sustainability criteria, which must be 35% by the end of 2016. Since January 1, 2017 there will be an obligation to reduce the GHG emissions from fuels by 4% and the requirement for GHG emission saving at biofuels is 50%.

Therefore, the biofuel production must be increased in this period and up to the end of 2019 from 4.22% e.o. to 7.27% e.o. at the average saving of GHG emissions in case of biofuels 55%. Because there will be since January 1, 2020 the requirement for the reduction GHG emissions from fuels by 6%, the distributors of these fuels will seek for as high as possible saving of GHG emissions at purchased biofuels. At 75% saving in GHG emissions it means 8% e.o. share of biofuels. At that time, the impact of the use of residual and waste biomass and stabilization of agricultural land for biofuel production should become evident. A necessary condition for the fulfillment of this value is necessary legislative and economic incentive in research and development of advanced biofuels.

Keywords

sustainable biofuels for transport, conventional biofuels, advanced biofuels, energy biomass, residual biomass, biogenic waste, promotion of biofuels, tax preferences of sustainable biofuels

OBSAH

1. Úvod.....	5
2. Cíl a metodický postup	6
3. Specifikace terminologie a definice pro výchozí suroviny	6
4. Současný stav legislativy a kam EU směřuje	8
4.1 Suroviny pro výrobu moderních biopaliv a energetické nosiče odpovídající násobkům	9
4.2 Nepřímé změny ve využívání půdy a perspektiva využití rostlinné a zbytkové biomasy	11
5. Současný stav možností výroby biopaliv ze zbytků biomasy a biogenních odpadů klasifikovaných podle novelizace směrnice RED jako moderní	13
5.1 Směry technologického vývoje biopaliv.....	16
5.2 Produkce kapalných syntetických uhlovodíků BtL - parafinické motorové složky motorové nafty	27
5.3 Bioplyn jako stlačený zemní plyn - biomethan	31
5.3.1 <i>Technologie úpravy bioplynu na biomethan</i>	31
6. Snižování emisí skleníkových plynů v celém řetězci výroby FAME - MEŘO.....	38
6.1 Směry technologického vývoje biopaliv a zlepšování jejich kvality	54
7. Nákladovost a strategie pro rozšíření moderních biopaliv.....	56
7.1 Nákladovost moderních biopaliv.....	56
7.2 Strategie pro rozšíření moderních biopaliv.....	59
8. Závěry	60
Seznam použité literatury.....	61

1. Úvod

Ve směrnici 2009/28/ES o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů (dále jen směrnice RED) byly stanoveny závazné cíle, jichž má být dosaženo do roku 2020, v podobě 20% podílu energie z obnovitelných zdrojů na celkové spotřebě energie v EU a 10% podílu energie z obnovitelných zdrojů v odvětví dopravy. Novelou směrnice 98/70/ES o jakosti paliv (dále jen směrnice FQD) byl zároveň zaveden závazný cíl snížit do roku 2020 o 6% intenzitu skleníkových plynů z paliv používaných v silniční dopravě a nesilničních pojízdných strojích. Očekává se, že k dosažení těchto cílů značně přispějí biopaliva. I když obě směrnice obsahují kritéria udržitelnosti včetně minimálních prahových hodnot úspor emisí skleníkových plynů (dále GHG), je nutné brát zřetel na emise GHG spojené se změnami zásob uhlíku způsobenými nepřímými změnami ve využívání půdy (ILUC). Vědecké práce ukazují, že emise vyplývající z ILUC se mohou podstatně lišit v návaznosti na vstupních surovinách a mohou negovat některé nebo veškeré úspory GHG jednotlivých biopaliv oproti fosilním palivům, jež nahrazují. Cílem návrhu novelizace směrnic RED a FQD, který Evropská komise přeložila 17.10.2012, je zahájit přechod na biopaliva, která zajišťují podstatné úspory GHG i tehdy, pokud by se započítávaly odhadované emise vyplývající z ILUC. Z tohoto důvodu se Evropská komise rozhodla zvláště podpořit ve směrnících RED a FQD využívání odpadů a zbytků biologického původu ze zemědělství, lesnictví, souvisejících průmyslových odvětví, jakož i biologicky rozložitelnou část průmyslových a komunálních odpadů, stabilizovat přiměřenou výrobu konvenčních biopaliv a podpořit větší pronikání moderních biopaliv na trh.

V zásadě je nezbytné dlouhodobé sladění rámcových politických podmínek s podporou využívání zbytků a odpadů, zejména při výrobě biopaliv. Pro důkladné zhodnocení důsledku tohoto návrhu je to nezbytné vzít v úvahu následující aspekty:

- disponibilní potenciál výchozích surovin a biopaliv v celém zásobovacím řetězci moderních biopaliv,
- motivační působení v odvětví odpadů a kontrolní mechanismy zabraňující zneužití,
- spolehlivost politických rámcových podmínek a jistota investic pro současná i budoucí výrobní zařízení,
- změna systému pěstování a popřípadě snížení vedlejších produktů.

Do roku 2020 je vedle bionafty a hydrogenované bionafty uskutečnitelná dále výroba bioethanolu a biomethanu z biologicky rozložitelných zbytků a odpadů. Kapacity, významné z hlediska trhu, je v případě konverze zbytkové, odpadní a energetické biomasy a řas na syntetická biopaliva BtL možné očekávat spíše několik let po roce 2020. A to i přes dlouhou řadu let trvající výzkum a vývoj, nedávné investice do několika zkušebních, pilotních a demonstračních zařízení v USA, EU i jinde. Dokonce i s pomocí vysokých státních dotací jsou komerční rizika stále značná, zvláště vezmeme-li v úvahu velké výkyvy cen ropy, dopady celosvětové krize na finančních trzích a s tím související nejistotu investic.

Jaký druh a množství moderních biopaliv dostane na trhu přednost, to bude vedle úspory emisí GHG, potvrzené certifikátem, ovlivněno především ekonomickými aspekty. S tím jsou současně s disponibilitou výchozích surovin ještě spojeny:

- náklady na sběr a dopravu,
- růst cen výchozích surovin podmíněný poptávkou
- investiční náklady na konverzní technologie - úpravy nebo rozšíření současných zařízení nebo nová zařízení,
- vhodnost paliva pro používaná vozidla.

Disponibilní potenciál vhodných surovin je ostatně omezen ještě dalšími možnostmi využití. Například se na národní úrovni podporuje v rámci zákona o obnovitelných energiích využití odpadů a zbytků rovněž k výrobě elektřiny a tepla. Kromě toho představují tyto

suroviny, vedle biomasy obsahující lignocelulózu, v rámci „Cestovní mapy biorafinérie“ významnou surovinovou základnu k produkci různých látek pro energetické využití.

Zpráva je zaměřena na analýzu možností uplatnění moderních biopaliv v dopravě s ohledem na emise GHG a nepřímé změny ve využívání půdy a návrh způsobů zlepšení účinnosti postupu jejich výroby.

2. Cíl a metodický postup

Cílem je vypracovat analýzu možností uplatnění moderních biopaliv v dopravě (tzv. biopaliv 2. generace) s ohledem na emise GHG a nepřímé změny ve využívání půdy (ILUC) a navrhnout způsoby zlepšení účinnosti postupů výroby těchto moderních biopaliv.

Metodický postup je v návaznosti na „Návrh víceletého programu podpory dalšího uplatnění udržitelných biopaliv v dopravě na období 2015 - 2020“ zpracovaný do smluvní výzkumné zprávy č. 514-2013-17253-VÚZT/492/2013 ve VÚZT, v.v.i. pro Ministerstvo zemědělství následující:

- specifikovat názvosloví pro výchozí suroviny moderních biopaliv,
- zhodnotit současný stav legislativy a kam EU směřuje v politice biopaliv,
- popsat výrobní řetězec biopaliv a konverzní cesty pro jejich produkci s uvedením možností a způsobů jejich zlepšení,
- provést hodnocení životního cyklu pro FAME a bioplyn a jeho úpravu na plynné palivo - biomethan,
- specifikovat možnosti snížení emisí GHG v celém řetězci biopaliv,
- popsat předpoklady úspěšného vývoje biopaliv a strategii pro rozšíření moderních biopaliv.

3. Specifikace terminologie a definice pro výchozí suroviny

Mezinárodní norma EN ISO 16559 „Tuhá biopaliva - Terminologie, definice a popis“ z července 2013, zpracovaná do české verze ve VÚZT, v.v.i. definuje primární biomasu (primary biomass), sekundární biomasu (secondary biomass) a terciální biomasu (tertiary biomass). Je zde zahrnuta surovina a zpracovaný materiál pocházející z

- lesního hospodářství a pěstování stromů,
- zemědělství a zahradnictví,
- akvakultury.

Surovina a zpracovaný materiál zahrnují lesnatou, bylinnou, ovocnou a vodní biomasu ze skupin uvedených výše.

Primární biomasa je biomasa vyrobená přímo fotosyntézou a sklizená nebo sebraná z pole nebo lesa, kde je vypěstována. Sekundární biomasa je tvořena zbytky a toky vedlejšího produktu z potravin, krmiv, vláken, dřeva a látek zpracovávajících rostliny (jako jsou piliny, černý louh a syrovátka) a hnůj z krmení zvířat. Mezi terciální biomasu patří spotřebitelské zbytky a odpady, jako jsou tuky, oleje a dřevní zbytky ze staveb a demolic, jiné odpadní dřevo z městského prostředí a rovněž obalové odpady, komunální tuhé odpady a skládkové plyny. Rozhodovací schéma, sloužící k rozlišení mezi odpadem, zbytkem a druhotným produktem v souladu s ČSN EN 16214-1 „Kritéria udržitelnosti pro výrobu biopaliv a biokapalin pro energetické využití - Zásady, kritéria, ukazatele a ověřovatelé - Část 1: Terminologie“ ukazuje obr. 1. Tato norma rovněž definuje:

odpad: látky nebo předměty, kterých se vlastník zbavuje nebo má v úmyslu se zbavit nebo se od něho požaduje, aby se jich zbavil

zbytek: látka nebo předmět buď přímo vyprodukovaný zemědělstvím, rybolovem, akvakulturou a lesnictvím, nebo vycházející z výrobního procesu a není odpadem, a pro který musí být zároveň splněny následující podmínky:

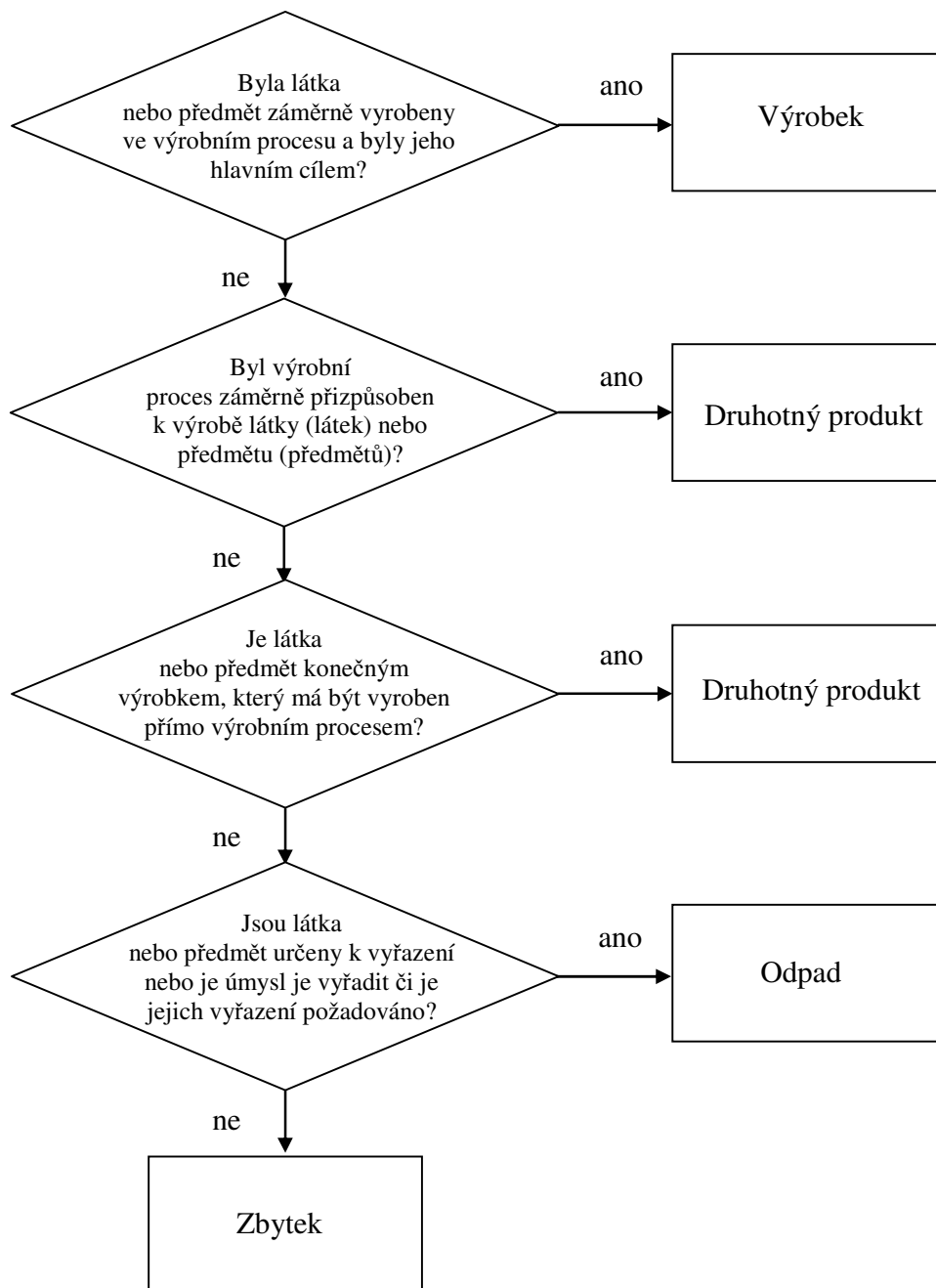
a) látka nebo předmět nebyly vyrobeny záměrně; a

b) výrobní proces nebyl záměrně upraven k produkci látky nebo předmětu; a

c) látka nebo předmět nejsou konečným produktem, jenž má výrobní proces za cíl vytvořit.

Spojení procesů sklizně, separace nebo dalších souvisejících procesů (např. sušení, plnění atd.) nezbytných k produkci zbytků připravených k dalšímu použití nepředstavuje záměrnou úpravu výrobního procesu.

druhotný produkt: látka nebo předmět vzniklé při výrobním procesu, nikoliv produkt, zbytek nebo odpad.



Obr. 1: Rozhodovací schéma sloužící k rozlišení mezi odpadem, zbytkem a druhotným produktem podle ČSN EN 16214-1

Nejčastěji uváděným termínem hlavního produktu rychlého termického rozkladu biomasy je bio-olej. V současné době se v související legislativě na úrovni EU především směrnice RED uvádějí odkazy na biopaliva a biokapaliny. Směrnice FQD uvádí pouze odkazy na biopaliva. Směrnice RED definuje v čl. 2 biokapalinu jako palivo používané pro energetické účely jiné než dopravu, včetně výroby elektřiny, vytápění a chlazení, vyráběné z biomasy. Biopalivo je v této směrnici definováno jako kapalné nebo plynné palivo používané pro dopravu vyráběné z biomasy. Avšak v žádném z odstavců, článků, kapitol, tabulek ani poznámek uvedených ve směrnicích RED a FQD není možné najít termín „pyrolýza“, „pyrolýzní olej“ nebo „bio-olej“ nebo „pyrolytické oleje“. Důvodem je skutečnost, že technologie pro výrobu pyrolytických olejů pro energetické účely se teprve nedávno dostaly do fáze, kdy jsou natolik připravené a spolehlivé, že mohou být postupně uvedeny na trh. V době navrhování směrnic RED a FQD nebyly ještě žádné pyrolýzní oleje používány v provozu, a proto bylo k dispozici jen málo informací o jejich kvalitě.

Na konci roku 2013 bylo v Evropě založeno konsorcium zabývající se výrobou bio-oleje rychlou pyrolýzou v rámci REACH (Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals - Registrace, hodnocení, povolování a omezování chemických látek) a stanovilo následující definici pro proces výroby bio-oleje rychlou pyrolýzou (FPBO - Fast Pyrolysis Bio-Oil): „Kapalný kondenzát získaný tepelným zpracováním ligno-celulózové biomasy během krátké doby zdržení horké páry (obvykle méně než 10 sekund) typicky při teplotách 450 - 600 °C za přibližně stejného tlaku jako je tlak vzduchu, nebo za nižšího a za nepřítomnosti kyslíku“. Toto konsorcium je řízeno společností Linnunmaa Oy a hlavním žadatelem o registraci je finská firma Fortum podnikající v oblasti energetiky. Vlastnosti a složení FPBO zároveň s dalšími podrobnými údaji o konsorciu FPBO REACH byly zveřejněny ve zpravodaji PYNE Newsletter 34 vydaný IEA (International Energy Agency - Mezinárodní Agentura pro Energii), pracovní skupina 34.

4. Současný stav legislativy a kam EU směřuje

V polovině října 2012 předložila Evropská komise své návrhy na změnu směrnic RED a rovněž FQD. Podle očekávání vedly tyto návrhy Evropskou komisi k prudkým diskusím a reakcím na všech stupních výrobního řetězce biopaliv. Navržené změny směrnic prošly konzultacemi a schvalovacím řízením v Evropském parlamentu, Evropské radě a Evropské komisi. To znamená, že také Evropský parlament musí o této záležitosti spolurozhodovat. Pro Evropský parlament je kompetentním orgánem Výbor pro životní prostředí. Irské předsednictví v Radě oznámilo hned v lednu 2013, že je třeba pečlivě zorganizovat jednání v této záležitosti tak, aby ke konečnému schválení Evropským parlamentem mohlo dojít za litevského předsednictví na konci roku 2013. Poslední irský návrh byl projednáván až za litevského předsednictví. Na jednání většina delegací zmínila obavu o splnitelnosti 10% cíle. Na základě připomínek jednotlivých delegací zvýšilo litevské předsednictví maximální příspěvek biopaliv vyrobených z potravinářské biomasy na 7 % a snížilo minimální podíl moderních biopaliv na 1 %. Do 1% cíle by se nezapočítávala obnovitelná energie spotřebovaná v elektromobilech. Na jednání Evropského parlamentu dne 12.12.2013 nenašly členské země shodu v otázce omezení výroby konvenčních biopaliv a podpory přechodu k využívání moderních biopaliv podle litevského návrhu, který ČR podpořila. Konečné rozhodnutí tedy dále spočívá na Evropském parlamentu zvoleném v květnu 2014.

Návrh revize obou směrnic rozděluje biopaliva na konvenční a moderní. Konvenční biopaliva jsou paliva vyrobená z biomasy s rizikem emisí vyplývajících z nepřímých změn ve využívání půdy (ILUC), především z potravinářských plodin. Moderní biopaliva nemají žádný nebo jen malý faktor ILUC, tedy jsou vyrobena zejména ze zbytkové biomasy a biogenních odpadů a energetických rostlin. V souladu se směrnicí o obnovitelných energiích

pro účely prokazování splnění vnitrostátních povinností využívat energii z obnovitelných zdrojů uložených provozovatelům a cíle ohledně využívání energie z obnovitelných zdrojů ve všech druzích dopravy se podíl biopaliv vyrobených z odpadů, zbytků, nepotravinářských celulóзовých a lignocelulóзовých vláknovin považuje za dvojnásobný oproti ostatním biopalivům, tzv. double counting. Počínaje 1.1.2013 pro biopaliva vyrobená z odpadů a zbytků certifikovaných podle jiného schématu než uznaného (ISCC DE a ISCC EU) není možné v Německu použít double counting. Celý řetězec zde musí být certifikován v ISCC DE. Živočišné tuky a oleje nesplňují kritéria udržitelnosti a nemohou být v Německu použity k výrobě bionafty.

4.1 Suroviny pro výrobu moderních biopaliv a energetické nosiče odpovídající násobkům

Evropská komise definovala v příloze IX návrhu suroviny pro výrobu biopaliv, jejichž příspěvek k 10% cíli se započítává čtyřnásobně (část A), popřípadě dvojnásobně (část B), vztaženo na prodané energetické množství. Z toho vyplývá skutečný podíl 1,25 % - 2,5 %. A dále čtyřnásobně se budou započítávat biopaliva z obnovitelných zdrojů, avšak ne biologického původu. Elektřina z obnovitelných zdrojů energie se může jako dosud započítávat 2,5 násobně. V současném návrhu Evropské komise se toto nepřijímá, avšak je třeba vycházet z toho, že proud z obnovitelných zdrojů energie se započítá rovněž mimo 5% cíl pro konvenční biopaliva. V tab. 1 jsou uvedeny násobky různých paliv, popřípadě energetických nosičů a rovněž surovin použitých k jejich výrobě.

Tabulka 1: Suroviny pro výrobu biopaliv a energetické nosiče odpovídající násobkům

Násobek	Surovina pro výrobu biopaliva/nosiče energie
1x	<ul style="list-style-type: none"> • pěstovaná biomasa (cukernatá, škrobnatá nebo olejnatá) • elektřina z obnovitelných zdrojů v nesilniční (železniční) dopravě
2x	<ul style="list-style-type: none"> • použitý kuchyňský olej, živočišné tuky kategorií I a II • nepotravinářská celulóзовá vláknina, lignocelulóзовá vláknina kromě pilářského a dýhařského dřeva
4x	<ul style="list-style-type: none"> • řasy • podíl biomasy ve směsném komunálním a průmyslovém odpadu • sláma, hnůj a kal z čistíren odpadních vod, odpad z palmového oleje a palmových plodů • dehet z tálového oleje, surový glycerín, bagasa • matoliny a vinné kaly, ořechové skořápky, plevy, kukuřičné klasy • kůra, větve, listí, piliny a třísky • obnovitelná kapalná nebo plynná paliva nebiologického původu
2,5x	<ul style="list-style-type: none"> • elektřina z obnovitelných energetických zdrojů použitá v silniční dopravě u vozidel s elektrickým pohonem

Převážná část dvojnásobně a čtyřnásobně započítávaných látek uvedených v tab. 1 patří ke zbytkům popř. odpadům, které mají v návrhu Evropské komise zvláštní hodnotu. Není jasně patrné, na jakém základě staví Evropská komise dvojnásobné, popřípadě čtyřnásobné započítávání určitých surovin a jak jsou vytvářeny zvolené faktory. Zbytky ze zemědělské výroby (např. sláma) představují významný faktor pro udržení půdní úrodnosti. Při takto silné stimulaci pro energetické využití vyvstává proto otázka potřeby zavedení dodatečných kritérií udržitelnosti.

Schopnost uvolňovat energii je u vícenásobně započítávaných biopaliv vyrobených ze surovin uvedených v tab. 1 omezena v celém dodavatelském řetězci mnoha faktory. Základem je potenciál samotné suroviny, který se již na této úrovni z teoretického přes technický a udržitelný potenciál zužuje na využitelný hospodářský potenciál. Například pro slámu v Německu je toto stanoveno v rámci výzkumného projektu „Zbytky ze zemědělské výroby k výrobě bioenergie“. Dvojnásobné a čtyřnásobné započítání představují silnou pobídku k využívání těchto druhů surovin.

V další fázi mají regionální distribuce příslušných surovin, jakož i význam jejich dopravy (např. pokud jde o hustotu energie), rozhodující význam. Některé ze surovin pocházejí výhradně ze zemí mimo Evropskou unii a jsou využitelné ve střednědobém měřítku pouze s pomocí bioplynové technologie. Využití těchto odpadních látek, popřípadě z nich vyrobeného biometanu ve střednědobém měřítku, se proto ukazuje v rámci EU jako spíše nepravděpodobné, pokud nebude vytvořena právní možnost, jak započítat mimo EU vyrobený a využitý biometan do splnění cíle.

Disponibilní potenciál vhodných surovin je ostatně omezen ještě dalšími možnostmi využití. Například se na národní úrovni podporuje v rámci zákona o obnovitelných energiích využití odpadů a zbytků rovněž k výrobě elektřiny a tepla. Kromě toho představují tyto suroviny, vedle biomasy obsahující lignocelulózu, v rámci „Cestovní mapy biorafinérie“ významnou surovinovou základnu k produkci různých látek a pro energetické využití. Nástroje, jako je čtyřnásobné započítávání u biopaliv, mohou mít velmi silný dopad na stále rostoucí toky látek.

Protože použitím faktorů započítání klesá reálné množství biopaliv, je třeba odpovídající větší množství nafty, aby byla pokryta skutečná fyzická spotřeba. Především při použití čtyřnásobného započítání biopaliv vzrůstá s nimi také celkové množství emisí ve srovnání s konvenční bionaftou zde vyrobenou z řepky. Na základě typických hodnot pro emise skleníkových plynů u biopaliv odpovídá tomuto litru uvedenému v příkladu zvýšení celkových emisí přibližně o 20 %. Vícenásobným započítáním určitých biopaliv na cíl představovaný 10% podílem obnovitelné energie v odvětví dopravy v roce 2020 se stala z reálně dosažitelného podílu smyšlená (fiktivní) veličina. Oproti současným pravidlům by byla vyšší jak potřeba fosilních paliv, tak i celkové emise skleníkových plynů. Bylo by proto třeba zkoumat, zda a za jakých podmínek by ještě bylo možné dosáhnout požadavku uvedeného ve směrnici o kvalitě paliv (FQD), to znamená úspory emisí skleníkových plynů v odvětví dopravy o 6 %, s vyšším podílem fosilních paliv. Proto se v kompromisním návrhu úpravy směrnice RED a FQD navrhuje pouze dvojnásobné započítávání všech druhů moderních biopaliv. Souvisí to se snížením tlaku na podvody při vykazování množství moderních biopaliv. Pokyny a pravidla k úpravě politiky v oblasti biopaliv po roce 2020 návrh neobsahuje. Je v něm ovšem uvedeno jako cíl po roce 2020 už nepodporovat žádná biopaliva, která mají vysoký ILUC efekt, popřípadě nízký potenciál úspor emisí skleníkových plynů. K tomu má zpráva Evropské komise k 31.12.2017 zhodnotit stimulační účinek opatření k využívání biopaliv ze surovin, které nemají žádné požadavky na plochu a rovněž „nepotravinářských plodin“. S tím je spojen legislativní návrh na přijetí ILUC faktorů do kritérií udržitelnosti od 1. ledna 2021. Tímto návrhem se velmi podstatně zpochybňují ustanovení obsažená ve směrnici o podpoře obnovitelných energií (RED) již po 3 letech. Politické rámcové podmínky na trhu s biopalivy se tak opět mění již po relativně krátké době. V této souvislosti se nabízí otázka, zda může tato změna zároveň s chybějící perspektivou týkající se rámcových podmínek po roce 2020 nabídnout požadovaný stimul pro nové a drahé technologie.

Při výrobě konvenčních biopaliv, jako jsou bionafta (především z řepkového oleje) a bioethanol (z obilí), vznikají velká množství vedlejších produktů. V Evropské unii je to přes 3 miliony tun obilných peletovaných výpalků s rozpustným podílem (DDGS) a rovněž

přes 12 milionů tun řepkového extrahovaného šrotu. Oba tyto vedlejší produkty, které vznikají při výrobě biopaliv, jsou cenná krmiva. Soběstačnost Evropské unie se, pokud jde o bílkovinná krmiva, pohybuje kolem 30 %. Výpadek výroby biopaliv, například těch, která jsou vyráběna z řepky, by mohl mít na jedné straně za následek pokles cen a tím i odpovídající pokles v pěstování řepky v EU, a na druhé straně by zároveň vedl k rostoucí potřebě dovozu sóji. Je proto třeba doporučit odhad dopadů možného poklesu výroby vedlejších produktů vznikajících při výrobě konvenčních biopaliv.

4.2 Nepřímé změny ve využívání půdy a perspektiva využití rostlinné a zbytkové biomasy

V rámci tzv. tripartity, tj. schvalovacího řízení mezi Evropskou komisí, Radou ministrů a Evropským parlamentem, bylo počátkem roku 2009 dosaženo kompromisu v otázce zohlednění změn ve využívání půdy, které souvisely s rostoucí poptávkou po surovinách pro výrobu biopaliv. V zásadě se jednalo o otázku, zda EU svou politikou v oblasti biopaliv získá další plochy okamžitým zabráním chráněných přírodních ploch (například mýcení deštných pralesů = přímá změna ve využívání půdy), nebo zda využití současných zemědělských ploch pro produkci surovin pro výrobu biopaliv povede v EU k tomu, že k pěstování plodin pro potravinářské účely budou muset být využity plochy pod ochranou přírody (nepřímá změna ve využívání půdy ILUC). Tato změna ve využívání půdy by mohla vést nejen ke ztrátě chráněných ploch, nýbrž také rozkladem humusu ke ztrátám uhlíku v půdě ve formě CO_{2eq}. Nařízení pro ochranu investic zahrnují v sobě i produkci suroviny. Stanovené lhůty tím poskytují časový prostor k optimalizaci redukce emisí skleníkových plynů ve všech fázích procesu počínaje produkcí biomasy až po výrobu biopaliv.

Pokud jde o dodatečnou potřebu ploch, vede se také veřejná kritická diskuze mezi politiky, Komisí, svazy činnými v oblastech zemědělství a výroby biopaliv na jedné straně a organizacemi na ochranu přírody na straně druhé. Organizace na ochranu přírody se obávají, že plochy s vysokou biologickou rozmanitostí (deštné pralesy, pastviny v Jižní Americe atd.) nakonec padnou za oběť cílům stanoveným ve výrobě biopaliv v Evropské unii. S tím souvisí i požadavek veřejné diskuze ekologických a církevních organizací na téma „Nádrž nebo talíř“. Naproti tomu jsou podle názoru organizací výrobců biopaliv i v Evropě k dispozici dosud nevyužité plochy a výnosový potenciál, které by bylo možné ještě využít.

V odpovídající lhůtě, tedy do konce prosince 2010, předložila Evropská komise svou zprávu o změnách v ILUC v souvislosti s biopalivy. V této zprávě EK především uvádí, že „odhadované“ změny v ILUC nemohou být nikdy prokázány, neboť se jedná o fenomén, který nemůže být přímo pozorován, ani změřen. Základem pro výpočet množství emisí skleníkových plynů podmíněných těmito změnami (ILUC) jsou proto modely, o které se opírají studie, které byly zadány generálním ředitelstvím. S tímto tématem se intenzivně zabýval Evropský svaz zemědělských a družstevních organizací COPA-COGECA (zastřešující sdružení nevládních zemědělských organizací EU 27) a po konzultacích k tomu vydal tento svaz své stanovisko, zda-li modelové hypotézy mohou být základem pro stanovení hodnot emisí CO_{2eq}, které pak zatěžují výrobu paliv v EU, ačkoliv zemědělci plní požadavky kontrol podmíněnosti (cross-compliance) a z nich vyplývající podmínky hospodaření a ochrany životního prostředí. Evropská komise musí prokázat, že ILUC faktory zdůvodňované těmito modely jsou nezvratné. Z pohledu evropských zemědělských svazů se v této souvislosti naprosto nedostatečně zohledňuje přínos produkce biopaliv vyrobených ze surovin pocházejících z EU. Tím je myšlena zvláště produkce bílkovinných krmiv při výrobě bioethanolu a při zpracování olejnin, které vedou ke značnému snížení dováženého množství sóji a tím i potřeby ploch na její pěstování.

Pro další hodnocení ILUC využívá Evropská komise studii a model Mezinárodního ústavu pro výzkum potravinové politiky (IFPRI, Washington). Za diskutabilní se u této studie považuje:

- Vysoce sporné míry náhrady rostlinných olejů: studie zahrnuje vliv oblasti rašelinných půd v Indonésii, zatímco palmový olej je ve výrobě bionafty uvedený pouze okrajově. Studie předpokládá silné zastoupení mezi rostlinnými oleji, což neodpovídá skutečnosti a není podloženo empirickými údaji. Také není brána v úvahu reálná situace na evropském trhu s bionaftou, pokud jde o technická omezení při použití palmového oleje pro výrobu bionafty v zemích severní Evropy;
- Podhodnocení ploch půdy, která je k dispozici: nebere se v úvahu 500 milionů hektarů půdy dočasně využívané k produkci krmiv a ladem ležící půdy;
- Nadhodnocení množství půdy přeměněné pro pěstování krmných plodin: předpokládá změny ve stejných poměrech pro pastvinu a obhospodařovaný les. Ve skutečnosti na základě údajů je přeměna pastviny 20 - 30x pravděpodobnější než přeměna lesa;
- Velmi špatné modelování procesu drcení olejnatých semen, ale také posouzení používání rostlinných bílkovin v krmivech pro hospodářská zvířata není přizpůsobeno situaci v Evropě;
- Velmi opatrné odhady výnosů: předpokládané vysoké ceny povedou velmi pravděpodobně k vyššímu nárůstu výnosů než v předchozích dekádách;
- Nepřesvědčivé předpoklady týkající se množství emisí CO_{2eq} uvolněného druhem půdy přeměněné na ornou půdu;
- Nadhodnocení vlivu palmového oleje: palmové plantáže byly modelovány jako jednoleté rostliny (s mnohem nižším ukládáním uhlíku, než je tomu u víceletých rostlin, jako jsou palmy pěstované na plantážích). Studie odhaduje, že jedna třetina budoucích palmových plantáží bude založena na rašeliništích (zatímco nejnovější studie vypracované pro americké ministerstvo zemědělství - USDA - uvádí 11 %);
- Naprostý nedostatek ověření ekonometrického modelování, které je založeno pouze na teoretické případové studii a nikdy nebylo prokázáno na skutečných obchodních tocích;
- Základem pro výpočet emisí CO_{2eq} podle směrnice o obnovitelné energii je atributivní posuzování životního cyklu (LCA), zatímco číselné hodnoty ILUC se získávají s použitím konsekventního přístupu a takto získané výsledky jsou z metodického hlediska neslučitelné s těmi, které byly získány s použitím atributivního posuzování životního cyklu (LCA). To znamená, že výsledky z konsekventního a atributivního posuzování životního cyklu nemohou být navzájem spojovány.

Prof. Dr. M. Finkbeiner z TU Berlín zpracoval studii „Nepřímé změny využívání půdy v ekologické bilanci - možnosti vědeckého ověření a shoda s mezinárodními standardy“. Fakta obsažená v této studii musejí být zohledněna dříve, než budou faktory ILUC integrovány do ekologických bilancí nebo do bilancí GHG (Carbon Footprints), nebo budou dokonce použita pro reálné rozhodovací procesy. Osoby s rozhodovacími pravomocemi v soukromém i veřejném sektoru si musejí být vědomi využití a výhod metody ekologické bilance. Pro vědecky ověřitelné, trvalé a věrohodné použití ekologické bilance ale také platí zabránit „nadinterpretaci“ výsledků při zanedbání mezer a mezí. V normě ISO 14040 je jasně stanoveno, že ekologická bilance není úplnou analýzou všech ekologických aspektů zkoumaného systému výrobků. Ekologická bilance se pak přesto nemine cílem, i když nedokáže zachytit nepřímé vlivy, jako je ILUC, pokud je toto omezení transparentně dokumentováno. Ekologická bilance je chybná a škodí své důvěryhodnosti, integritě a spolehlivosti, pokud chce tyto vlastnosti dokázat prostým přičtením spekulativních faktorů ILUC špatné kvality k jinak vědecky ověřitelným výsledkům ekologické bilance. Z důvodu různosti ILUC na jedné straně a tokům materiálu a energie analyzovaným v rámci ekologické bilance na straně druhé musí být ILUC sledováno samostatně mimo ekologickou bilanci,

minimálně po určitou dobu. Priority a využití prostředků k ILUC musejí být využity o mnoho intenzivněji na proaktivní reálná opatření ke zmírnění problému, místo využití reaktivních faktorů ILUC. Ekologické bilance podporují ekologickou politiku tím, že dodávají podklady k rozhodování na fázi faktů. K intenzivnějšímu využití ekologických bilancí jako základu pro politické rozhodování v oblasti ekologie existuje celá řada slibných a vědecky ověřitelných možností. A ty musejí být využívány pro lepší politiku v oblasti ochrany životního prostředí a pro lepší ekologickou bilanci.

Obecně je proto nutné podporovat kroky přispívající k mezinárodním ujednáním na ochranu půd s velkou zásobou uhlíku. Zemědělská půda je neobnovitelným zdrojem a tvoří jednu z hlavních součástí životního prostředí. Na tuto skutečnost je třeba brát zřetel i v případě zajišťování obnovitelných zdrojů energie. Nadměrná poptávka po biopalivech vyvolá, převážně ve třetích zemích, tlak na zvýšení rozlohy zemědělské půdy, což povede k nepřímému zvýšení emisí kvůli změnám ve využívání půdy. Na druhou stranu by neměla být znevýhodňována biopaliva, kde je riziko nepřímé změny minimální. S tím souvisí podpora toho, aby byl ILUC faktor u plodin, které jsou pěstovány v oblastech, kde je zaručeno, že nemůže dojít ke změně ve využívání půdy, stanoven jako nulový.

5. Současný stav možností výroby biopaliv ze zbytků biomasy a biogenních odpadů klasifikovaných podle novelizace směrnice RED jako moderní

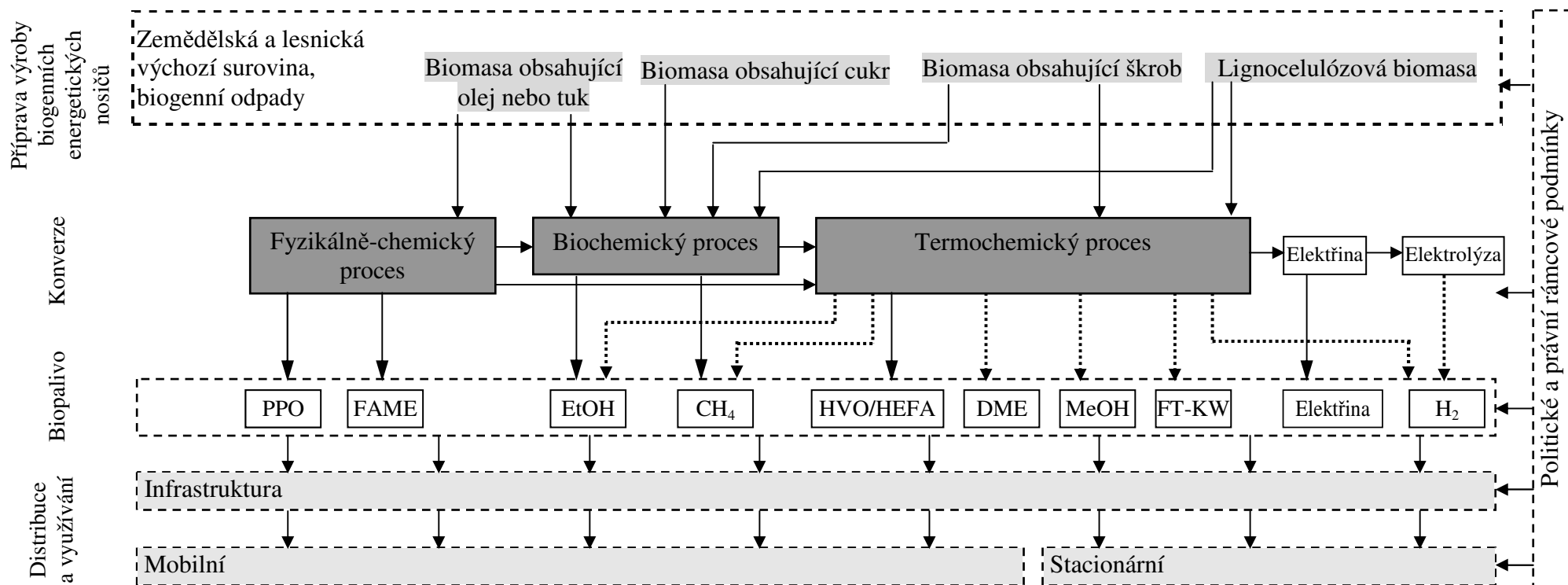
Produkce biopaliv z lignocelulózy biomasy je možná prostřednictvím:

- fyzikálně-chemického procesu,
- biochemického procesu,
- tepelně (termicky) -chemického procesu,
- další i s kombinací předešlých, mezi které patří např. zušlechťování biosuroviny parním reformingem, elektrolýza obnovitelnou energií na vodík H_2 , methanizace CO_2 a H_2 na methan CH_4 tzv. energie na plyn - PtG (Power to Gas).

Výrobní řetězec biopaliv je znázorněn na obr. 2. Na obr. 3 jsou uvedeny konverzní cesty produkce konvenčních a moderních biopaliv. Patří sem extrakce, transesterifikace, anaerobní zkvašení, hydrolýza, enzymatický rozklad, alkoholové zkvašení, hydrogenační rafinace, hydrotermální zpracování, zplyňování, rychlá pyrolýza, karbonizace - torefikace s využitím katalytických postupů nebo bez nich. Vedle kombinace těchto procesů je i možnost využití rafinérských jednotek hydrogenace středních ropných frakcí.

Moderní biopaliva se v současnosti označují:

- HVO (Hydrotreated Vegetable Oil and fat) - hydrogenačně rafinované rostlinné oleje a tuky,
- UCOME (Used Cooking Oil Methyl Ester) - methylestery mastných kyselin kuchyňských olejů,
- TME (animal Fat Methyl Ester) - methylestery mastných kyselin živočišných tuků,
- HWVO (Hydrotreated Waste Vegetable or animal Oil) - hydrogenační rafinace rostlinných nebo živočišných olejů, resp. tuků,
- HEFA (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids) - hydrozpracované estery a mastné kyseliny.



Obr. 2: Výrobní řetězec biopaliv (zdroj: DBFZ, 2013)

PPO = Pure plant Oil (reines Pflanzenöl) - Čistý rostlinný olej (čistý rostlinný olej)

FAME = Fatty Acid Methyl Ester (Biodiesel) - Methyl ester mastných kyselin (bionafta)

HVO = Hydrotreated Vegetable Oil - Hydrogenovaný rostlinný olej

HEFA = Hydroprocessed Esters and Fatty Acids - Hydrozpracované estery a mastné kyseliny,

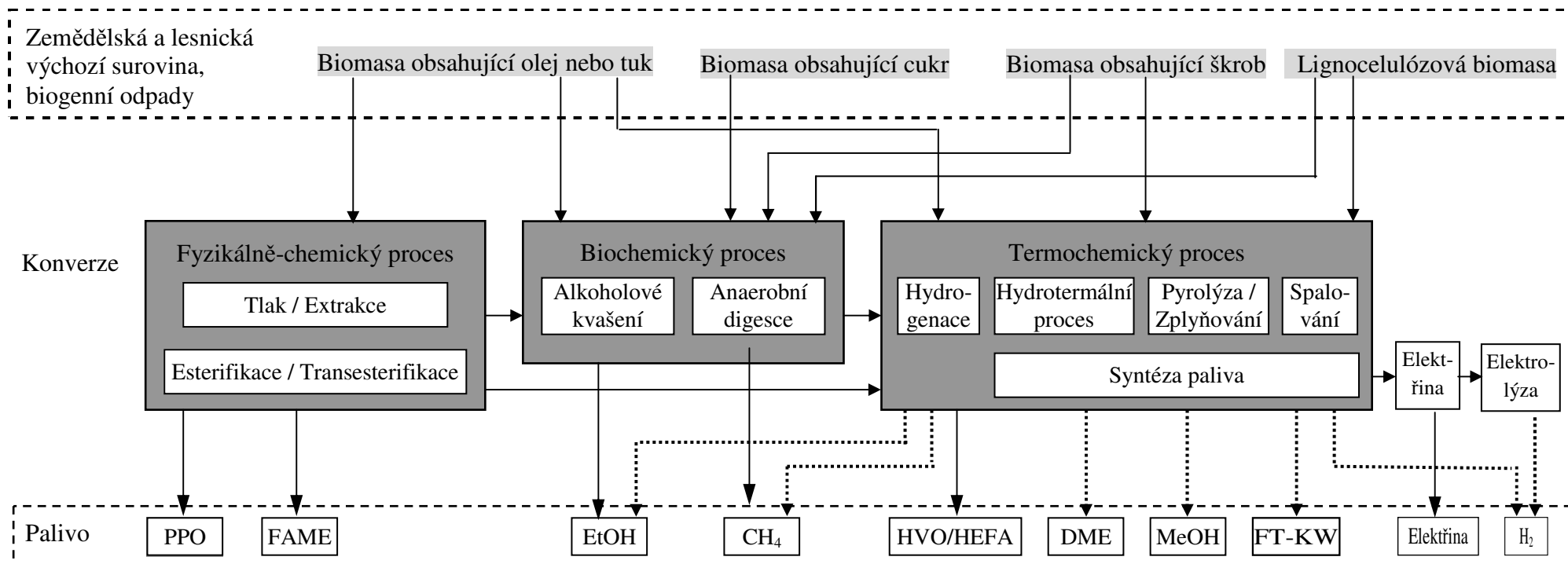
EtOH = Ethanol, CH₄ = Methan, DME = Dimethylether, MeOH = Methanol

FT-KW = Fischer-Tropsch-Kohlenwasserstoff – Fischer-Tropsch-uhlovodík

H₂ = Wasserstoff - vodík

—► Současný vývoj / technologie

.....► Budoucí vývoj / technologie



Obr. 3: Konverzní cesty pro produkci biopaliv (zdroj: DBFZ, 2013)

—> *Současný vývoj / technologie*
> *Budoucí vývoj / technologie*

5.1 Směry technologického vývoje biopaliv

Zplyňování a pyrolýza tuhých fosilních paliv jsou dlouhodobě užívanými, ověřenými a dále zdokonalovanými technologiemi. Jsou již také delší dobu považovány za velmi perspektivní i v oblasti výroby moderních biopaliv s malými faktory ILUC. Zplyňování a pyrolýza, zahrnující modifikaci rychlou pyrolýzu a karbonizaci metodou torrefakce, představují tepelný rozklad, prováděný při nedokonalé oxidaci omezením přístupu kyslíku nebo vzduchu. Pyrolýza je rovněž prvním krokem při spalování a zplyňování, ale v těchto procesech po ní následuje celková nebo částečná oxidace primárních produktů. Tyto procesy vždy produkují plyn, definovaný jako energo plyn, generátorový plyn nebo syntézní plyn, dále kapalinu a uhel, někdy nazývaný polokoks. Hlavním produktem rychlé pyrolýzy je biokapalina, tzv. bioolej s typickým výnosem 75 % hmotnostních (m/m) při zpracování dřeva.

Zplyňovací reakce, probíhající nejčastěji při teplotách 600 - 1200 °C, jsou exotermické i endotermické. Uvolňovaná energie může být použita k ohřátí přiváděného paliva. Výhodou tohoto procesu je převedení tuhého paliva s velkým měrným objemem na plynné palivo mající širší možnosti využití - buď pro následné přímé spalování nebo jako surovina pro výrobu různých materiálově dále využitelných produktů (např. H₂, CO, hnojiv a dalších chemikálií) anebo produkci motorových kapalných a plynných paliv. Syntézní plyn je ve skutečnosti směs různých plynů látek, jež jsou buď hořlavé (H₂, CO, CH₄ a další minoritní sloučeniny) nebo mají ředící účinek (CO₂, N₂), a nebo se jedná o znečišťující složky (dehet, prach a další). Jejich konkrétní zastoupení záleží na použitém palivu, zplyňovacím médiu, technologii a podmínkách procesu (zplyňovací poměr, teplota, tlak, materiál fluidního lože). Zplyňovacím médiem bývá nejčastěji vzduch, může jím být ale i pára, čistý kyslík či oxid uhličitý. Ke zplyňování biomasy jsou v současné době používány dva základní technologické způsoby:

- zplyňování v generátorech s posuvným ložem,
- zplyňování v generátorech s fluidním ložem.

První z obou metod je jednodušší, méně investičně náročná, v praxi však nachází použití jen pro malé a střední tepelné výkony (max. 8 - 10 MW). Vzduch jako okysličovací médium proudí buď v souproudu (směrem dolů - Downdraft Fixed Bed Gasifier - DFBG) nebo v protiproudu (směrem nahoru - Updraft Fixed Bed Gasifier - UFBG) vzhledem k postupnému pohybu zplyňovaného biopaliva, případně jejich kombinace (Twin-fire Fixed Bed Gasifier - TFBG). Popelové zbytky se odvádějí ze spodní části reaktoru. Nevýhodou těchto typů reaktoru je nutnost používat jen palivo o parametrech, na které byl reaktor zkonstruován a často nehomogenní složení plynu způsobené především klenbováním paliva v reaktoru. U druhé metody probíhá zplyňovací proces ve fluidním loži tvořeném inertním materiálem, jako je např. písek, keramzit, popel. Z hlediska hydrodynamického režimu v reaktoru se uplatňují systémy se stabilním, cirkulujícím a transportním fluidním ložem. Tato technologie umožňuje použití širšího rozsahu paliva, včetně odpadů s velkým obsahem popele a nevyžaduje zvláštní opatření k zabránění spékání paliva díky nízké reakční teplotě, která je nižší než teplota měknutí paliva. Dále umožňuje dosáhnout velkého výkonu, aniž by ovlivňoval kvalitu produkovaného plynu a vyrobit plyn s nízkým obsahem dehtů. Vyžaduje ovšem náročnější opatření k odlučování prachu a k dosažení vysokého stupně konverze uhlíku.

Vývoj se však rovněž zaměřuje i na tlakové zplyňování. Teplo může být do procesu dodáváno buď částečným spálením suroviny přímo v reaktoru (autotermní - přímé zplyňování) anebo musí být zajištěn jeho přísun zvenku (alotermní - nepřímé zplyňování). Zatímco při přímém zplyňování dosahuje výhřevnost vyrobeného plynu relativně nízkých hodnot (typicky v rozmezí 5 - 10 MJ/m³), u nepřímého zplyňování je energetický obsah

generátorového plynu mnohem vyšší (12 - 15 MJ/m³). Zplyňovací reaktory využívají třech následujících procesů:

- částečné oxidace vzduchem;
- částečné oxidace kyslíkem;
- zplyňování pomocí páry.

Částečná oxidace vzduchem produkuje plyn, který je zředěný atmosférickým dusíkem a má nízkou výhřevnost v rozmezí 4 - 10 MJ/m³. V minulosti byla tato energetická hodnota příliš nízká pro efektivní využití v plynových turbínách. Společnost Alstom nyní předvedla a dále vyvíjí novou generaci plynových turbín pro účinné spalování syntézního plynu s nízkou výhřevností. Částečná oxidace kyslíkem produkuje syntézní plyn, který neobsahuje dusík, výhřevnost v rozmezí 8 - 14 MJ/m³. Je ale obtížné odůvodnit dodatečné náklady na výrobu kyslíku pro reakci zvýšenou hodnotou paliva. Proces zplyňování pomocí páry vyrábí plyn, který neobsahuje dusík a může mít výhřevnost v rozmezí 14 - 20 MJ/m³.

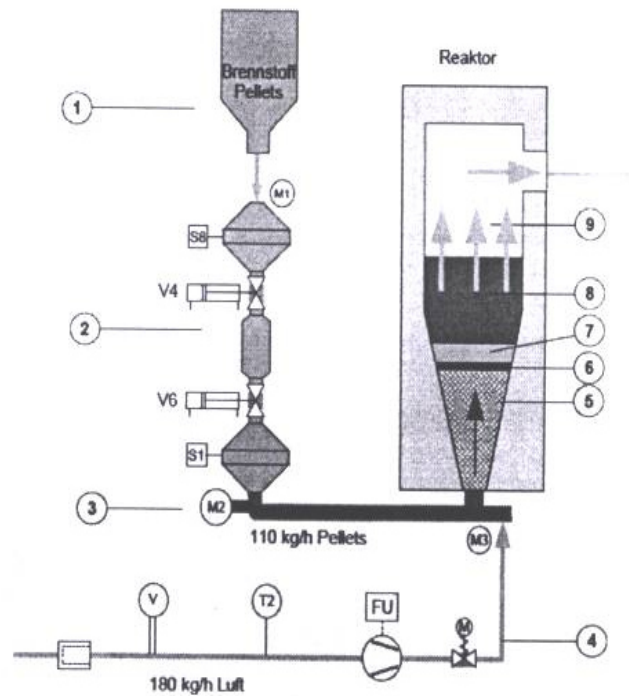
Přeměna primární energie v palivu do syntézního plynu závisí značnou měrou na jeho kvalitě a konkrétní technologii zplyňování. U velmi dobře řízených procesů je možné do plynné podoby převést až 95 % výchozí energie ve vstupním palivu. Je-li výsledným produktem Combined Heat and Power (CHP), skutečná účinnost se pohybuje u zařízení s autotermními zplyňovacími reaktory na úrovni kolem 70 %, s alotermními reaktory pak okolo 80 %. Z toho cca jedna třetina představuje elektrickou energii a zbytek je tepelná energie.

Přestože je výzkum v této oblasti předmětem širokého zájmu prakticky na celém světě a technologický vývoj značně pokročil, podle v současnosti dostupných informací jen velmi málo technologických zařízení v komplexním systému, od zajištění a logistiky vstupní suroviny, přes tepelný rozklad, až po využití všech výstupů, překročilo fázi demonstračního provozu a přiblížilo se stavu efektivního průmyslově komerčního zařízení.

Příkladem komerčního uplatnění zplyňovacího zařízení standardizovaných tuhých biopaliv (ČSN EN 14961-1) je provozní jednotka vyráběná společností Burkhardt Energie- und Gebäudetechnik v Drechslerei Spiegelhauer Pfaffroda-Hallbach (Německo) pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla (KVET) viz obr. 4. Výchozím materiálem jsou dřevěné pelety s kvalitou ČSN EN 14961-2. Elektrický výkon je 180 kW, tepelný výkon 250 kW zajišťuje 6-válcový vznětový motor 12,4 l MAN D 2G. Účinnost elektrického zařízení min. představuje 30 %, celková účinnost cca 75 %. Kvalita syntézního plynu - CO: 25 - 27 % V/V, H₂: 18 - 20 % V/V, CO₂: 10 - 11 % V/V, CH₄: cca 2 %, průměrné spalné teplo 6,2 - 9,3 MJ/mN³. Z hlediska hospodárnosti je provozovaná linka při využití vyrobeného tepla 7500 h/rok, výkupních cenách elektrické energie v Německu a při ceně dřevěných pilin 180 EUR/t vysoce efektivní. Jde o proces inovace zařízení se stabilním výkonem, vysokou provozní bezpečností a podstatně jednodušším dávkovacím zařízením peletovaného paliva. Uplatňuje se čištění syntézního plynu za sucha a on-line analýza jeho kvality a výhřevnosti.

Instalovaná jednotka vyráběná společností ZERO POINT Gasifier v Newry (Severní Irsko) viz obr. 5 a 6., je charakteristická reaktorem se sesuvným ložem. Vzduch jako okysličovací medium proudí v souproudu (downdraft gasifier) a uplatňuje se mokré čištění syntézního plynu. Spotřeba dřevěné štěpky podle EN 14961-4 velikost P31 - P45 je 1175 kg/h při provozu 7500 h/rok, tj. 8813 t s obsahem vody do 20 % m/m. Výstupem je syntézní plyn v množství 3125 m³N/h. Kvalita syntézního plynu - CO: 22 % V/V, H₂: 16 % V/V, CO₂: 9 % V/V, CH₄: 2,5 %, vlhkost 3,5 % V/V, průměrné spalné teplo 6 MJ/mN³, elektrický výkon 1,8 MW, tepelný výkon 2,5 MW. Produkce biouhlí se pohybuje kolem 170 t/7500 h. Jeho kvalita v původním stavu je následující: voda 3,8 % m/m, obsah popela 20,3 % m/m, uhlík 64,13 % m/m, vodík 0,27 % m/m, dusík 0,27 % m/m, kyslík 3,63 % m/m, výhřevnost 24,6 MJ/kg.

S ohledem na výše uvedené se řešení projektu zaměřuje především na další výraznou inovaci procesu tepelného rozkladu zplyňováním zbytkové a odpadní biomasy. Předpokládá široký rozsah granulometrie standardizované biomasy od typu palivového jemného prášku, přes typ pilin, hoblin, až po pelety do průměru 8 mm. Důraz bude kladen na co nejvyšší kvalitu syntézního plynu, stabilní výkon zařízení s vysokou provozní bezpečností dopravních dávkovacích zařízení a vlastního reaktoru se speciálním vytápěním pro vstupní suroviny s uvedenou granulometrií. Preferováno bude suché čištění syntézního plynu s on-line analýzou jeho kvality a spalného tepla. Z důvodu palivového uplatnění syntézního plynu a zvýšení účinnosti samotného procesu zplyňování a následné technologie bude snaha produkovat plyn s co největším spalným teplem.



Obr. 4. Schéma zplyňovacího reaktoru pro dřevěné pelety Burkhardt ECO 180 HV (zdroj: Weichselbaum, 2012)



Obr. 5: Zařízení pro zplyňování biomasy ZERO POINT Clean Tech - souproudý generátor (zdroj: ZERO POINT Clean Tech)

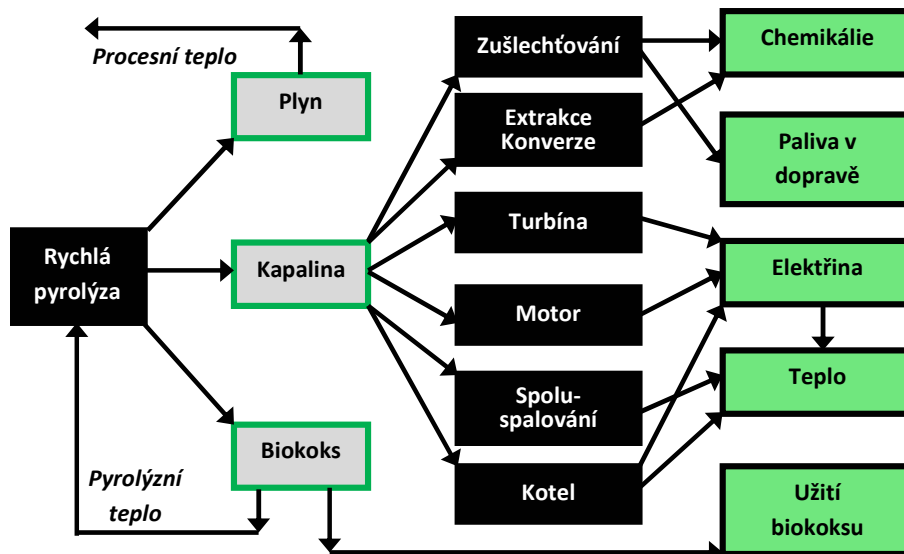


Obr. 6: Zařízení pro zplyňování biomasy ZERO POINT Clean Tech - výměník pro chlazení surového syntézního plynu (zdroj: ZERO POINT Clean Tech)

Z důvodu rozmanitosti výchozí biomasy se technologický výzkum, vývoj a ověřování zaměřují na způsoby výroby homogenního produktu z velmi heterogenních druhů zemědělské biomasy. V centru pozornosti je technologie torefikace a hydrotermální karbonizace. Torefikace, jinak karbonizace, pražení (carbonized, torrefaction) představuje jemnou pyrolýzu v bezkyslíkatém prostředí s teplotou max. 350 °C a s kratší dobou zdržení v reaktoru <3 h. Postup zajišťuje vyšší hustotu energie, spalné teplo, výhřevnost a zlepšení spalovacích charakteristik u takto získaného biouhlí oproti vstupní biomase. Hydrotermální karbonizace (hydrothermal carbonised) je procesem katalytické reakce (kyseliny, alkálie, Fe³⁺) v tlakové horké (kapalné) vodě při teplotě 160 - 250 °C, tlaku 6 - 40 barů s dobou zdržení 4 - 24 hod., zajišťující přeměnu vodnaté suspenze biomasy asi na 70 - 85 % zuhelnatělou tuhou hmotu, 5 - 6 % plynu a 10 - 25 % odpadní vody podle rovnice $C_6H_{12}O_6 \rightarrow C_6H_2O + 5 H_2O$. Výhřevnost sušiny tuhého zbytku se pohybuje kolem 20 MJ/kg a lze ho využít pro výrobu syntetických paliv.

V centru zájmu je také rychlá pyrolýza biomasy. Pyrolýza je tepelný rozklad biomasy, ke kterému dochází za nepřítomnosti kyslíku. Je to rovněž prvním krokem při spalování a zplyňování, ale v těchto procesech po ní následuje celková nebo částečná oxidace primárních produktů. Nižší provozní teploty a delší doby pobytu páry jsou vhodné pro výrobu dřevěného uhlí. Vysoké teploty a delší doby pobytu páry zvyšují přeměnu biomasy na plyn a nižší teploty a kratší doba pobytu páry jsou optimální pro výrobu kapalin. Rychlou pyrolýzu lze zařadit mezi efektivní konverze biomasy s vysokým výtěžkem kapalného produktu, definovaného jako biokapalinu 70 - 80 % m/m s typickou hodnotou 75 % m/m. Užití biooleje je patrné z obr. 7.

Pyrolýzní oleje jsou naprosto odlišné od konvenčních kapalných paliv. Tyto vysoce polární pyrolýzní oleje mají přibližně poloviční výhřevnost ve srovnání s minerálním olejem, obsahují značné množství vody, mají vyšší hustotu a viskozitu, nízké pH a horší skladovatelnost. Informace o vhodných třídách kvality a technických podmínkách použití by podpořily zavedení olejů vyráběných rychlou pyrolýzou na trh s palivy. Proto jsou technické normy nezbytné k usnadnění cesty pyrolýzních olejů na trh, a to buď pro použití k produkci elektřiny a/nebo tepla, nebo po zlepšení jejich kvality jako paliva v dopravě. První část technických předpisů pro palivo byla schválena Americkou společností pro testování a materiály jako technická norma ASTM D7544. Avšak tato norma je považována za velmi omezenou, protože se zabývá pouze jednou z možností použití pyrolýzních olejů.



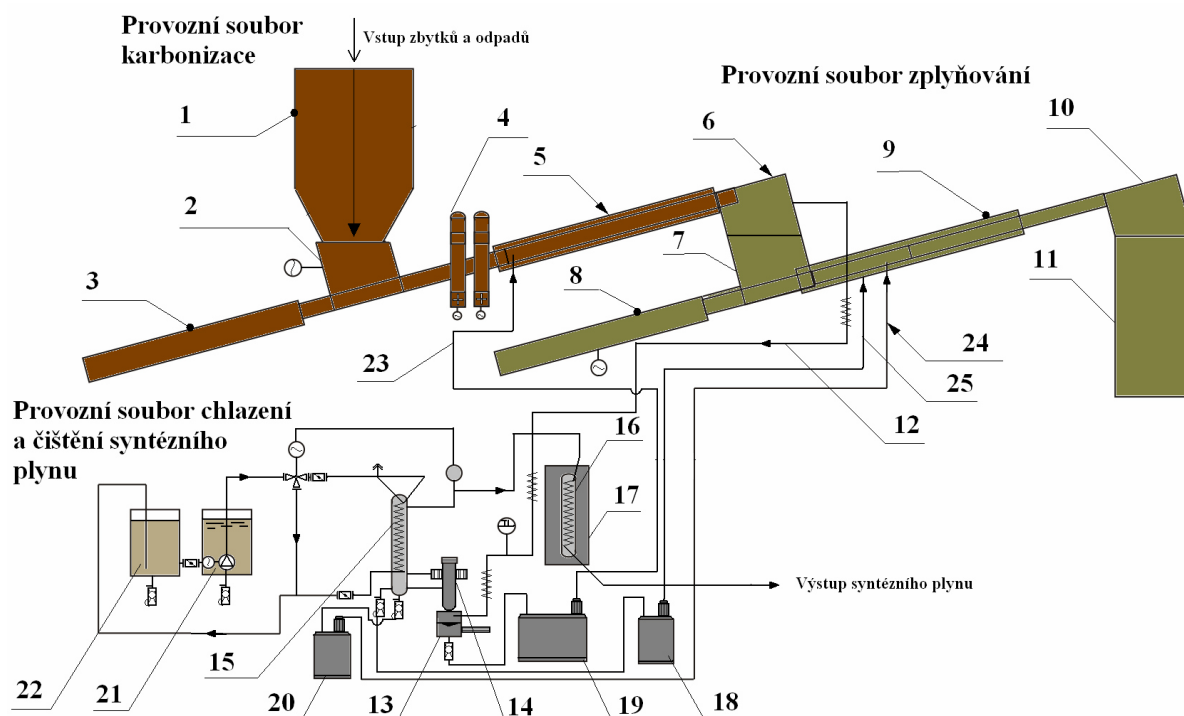
Obr. 7: Možné využití pyrolýzního oleje z biomasy

Získané výsledky jsou proto určeny pro následnou technickou standardizaci pyrolýzních olejů jako náhrady topného oleje v kotlích, stacionárních spalovacích motorů, pro zplyňování, k výrobě syntézního plynu a syntetických biopaliv a pro kozpracování v rafinériích ropy. Chemikálie jsou rovněž velice významnou alternativou a to vede k tzv. koncepci biorafinérií, jejímž výsledkem jsou optimální kombinace paliv a chemikálií.

Realizovanou linku pro zpracování směsi, obsahující převážně plasty s celulózu, dále biomasu a spalitelné bezpečné odpady, tvoří vstupní zásobník, dávkovací zařízení, karbonizační válcový vstupní zásobník, dávkovací zařízení, karbonizační válcový reaktor s vnějším ohřevem na teplotu až 700 °C, mezizásobník tuhého produktu pro karbonizaci, válcový reaktor s vnějším ohřevem na teplotu až 1000 °C pro jeho zplyňování. Na výstupu ze zplyňovacího reaktoru je napojen dvoustupňový odlučovač. Zde dochází jednak k praní surového syntézního plynu v lehkých uhlovodících a rovněž společně s vodními parami k jejich chlazení a kondenzaci. Vyčištěný syntézní energetický plyn, upravený pro pohon spalovacích motorů a turbín, výrobu tepla a elektrické energie, je hlavním výstupním produktem. Odloučené podíly kalu a úsad jsou dávkovány do karbonizačního reaktoru a karbonizační voda do zplyňovacího reaktoru. Ohřev reaktoru zajišťuje část vyrobeného energoplynu. Zkušební linka umožňuje kombinovat procesy pyrolýzy, karbonizace a zplyňování v závislosti na způsobech zpracování vstupních surovin. Schéma linky je uvedeno na obr. 8. Kontejnerové řešení realizované společně s PolyComp, a.s. Poděbrady ukazuje obr. 9. Na obr. 10 jsou znázorněny nádrže provozních kapalin a kondenzovaných kapalných odpadů a kolona pro vypírání surového syntézního plynu.

V rámci řešení projektu TA ČR TA01021213 „Proces velmi rychlého termického rozkladu biomasy“ byla realizována zkušební linka pro rychlou pyrolýzu (obr. 11).

Podrobněji byly prováděny analýzy bio-oleje získané z rychlé pyrolýzy pšeničné slámy po granulaci na síť \varnothing 3 a 2 mm v realizované pyrolýzní jednotce s ablativním kuželovým reaktorem s vysokou rychlostí dopadu částice slámy na jeho horkou plochu při teplotě 400 - 425 °C a 450 - 475 °C.



Obr. 8: Schéma technologického postupu VÚZT, v.v.i. termolýzního zpracování zbytků biomasy a biogenních odpadů s provozními soubory karbonizace, zplyňování, chlazení a čištění syntézního plynu s možností zkoušek pyrolýzy a karbonizace

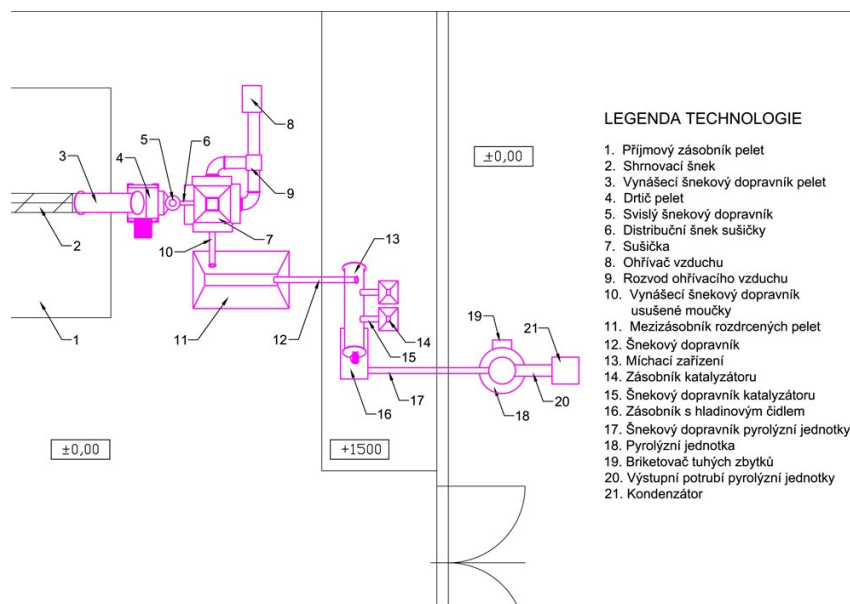
1 - zásobník upravené zbytkové biomasy a biogen. odpadů, 2 - vzduchotěsný uzávěr, 3 - hydraulický pohon dávkovače karbonizačního reaktoru, 4 - nádrže hydraulické kapaliny, 5 - karbonizační reaktor s topnými sekcemi, 6 - uzávěr násypky zplyňovacího reaktoru, 7 - násypka zplyňovacího reaktoru, 8 - hydraulický pohon zplyňovacího reaktoru, 9 - zplyňovací reaktor, 10 - uzávěr výsypky, 11 - kontejner popele ev. polokoksu, 12 - ohřívání potrubí surového syntézního plynu, 13 - varná nádoba, 14 - prací kolona, 15 - první stupeň vypírky surového syntézního plynu, 16 - kondenzace lehkých uhlovodíků a vodní páry, 17 - chlazení, 18 - kontejner odkalu a varné kapaliny, 19 - kontejner karbonizační vody, 20 - kontejner varné kapaliny, 21 - nádrž chladicí vody, 22 - nádrž ohřáté vody, 23 - dávkování karbonizační vody, 24 - dávkování ohřáté vody, 25 - dávkování lehkých uhlovodíků



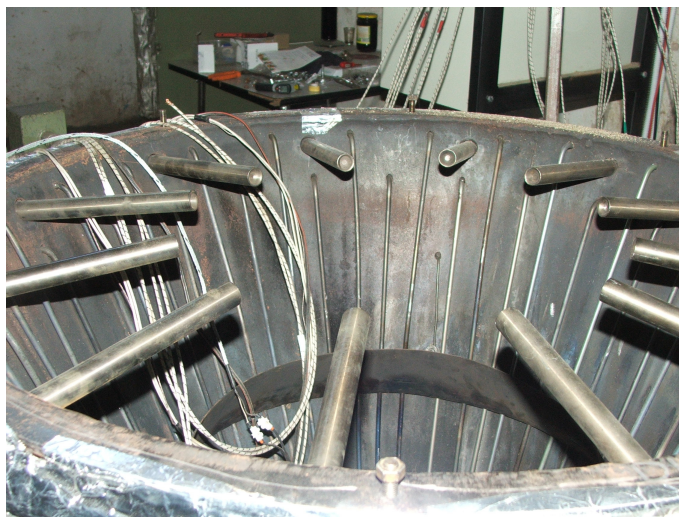
Obr. 9: Kontejnerové umístění vývojové a zkušební technologické linky VÚZT, v.v.i. Praha - PolyComp, a.s. Poděbrady pro karbonizaci a zplyňování zbytků a odpadů s výkonností 20 kg/h vstupní suroviny



Obr. 10: Pohled na část provozního souboru chlazení a čištění syntézního plynu linky VÚZT, v.v.i. Praha - PolyComp, a.s. Poděbrady s nádržemi provozních kapalin a kondenzačních odpadů a prací kolonou surového syntézního plynu



Půdorysné umístění komplexní linky



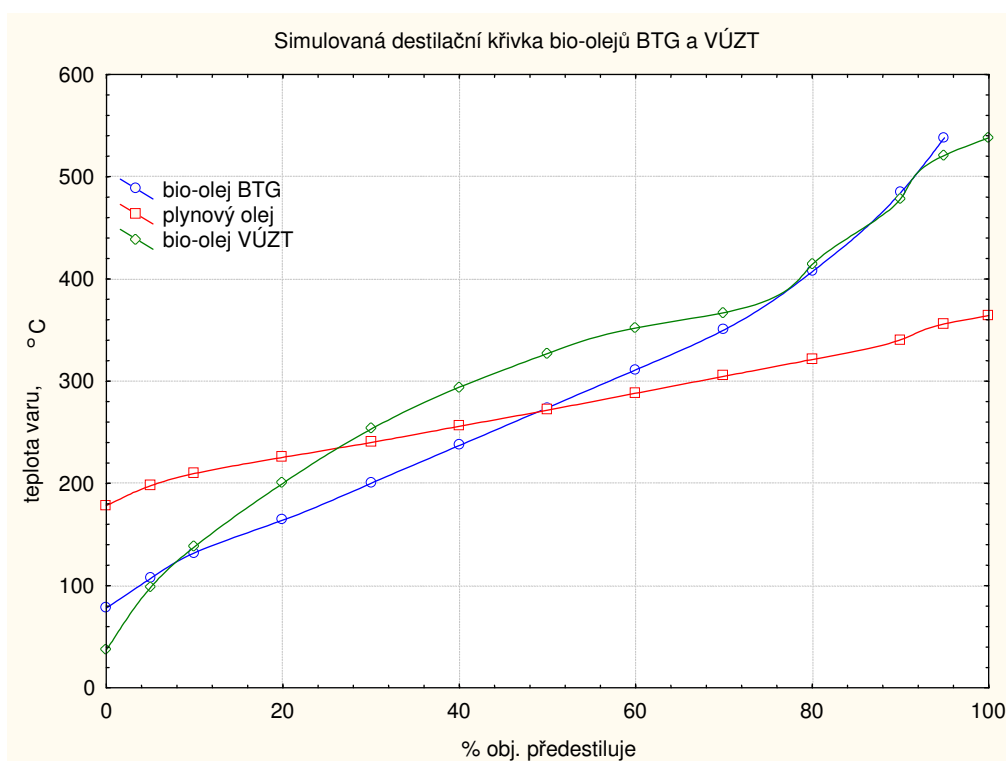
Obr. 11: Funkční vzorek VÚZT, v.v.i. „Zařízení pro velmi rychlý termický rozklad biomasy“

Bio-olej získaný z rychlé pyrolýzy pšeničné slámy po granulaci na síť \varnothing 3 mm se porovnal s bio-olejem získaným technologií založenou na rotujícím kuželovém reaktoru, kde probíhá mechanické míchání horkého písku s biomasou a byl dodaný firmou BTG Bioliquids, Enschede v Holandsku. Výrobce deklaroval borovici jako vstupní surovinu, průměrnou velikost částic 3 mm, průměrnou teplotu v reaktoru 510 °C, dobu pobytu plynu méně než 2 s, kondenzační teplotu 40 °C a uplatnění jednostupňové kondenzace. U těchto bio-olejů byly provedeny analýzy C, H, N, O, S, stanoveno číslo kyselosti, obsah vody, hustota, viskozita, částice a pH. Dále se provedlo frakční složení bio-olejů a porovnání destilačních křivek. Analýza vzorku bio-oleje VÚZT byla provedena i metodou GC-MS. Analýzu obou olejů provedl VÚRUP, a.s., odbor skúšobných laboratórií, Bratislava.

V tab. 2 je uvedeno porovnání frakčního složení obou bio-olejů, na obr. 12 je grafické znázornění simulované destilační křivky bio-olejů VÚZT, BTG a plynových olejů. V tab. 3 se porovnávají fyzikálně-chemické parametry bio-olejů VÚZT a BTG s technickou normou ASTM D7544-12 „Specifikace pyrolýzního kapalného biopaliva“.

Tabulka 2: Porovnání frakčního složení bio-olejů VÚZT Praha a BTG Enschede

	Bio-olej VÚZT	Bio-olej BTG	Metoda
	sláma	borovice	
Simulovaná destilace			
% m/m	°C	°C	ČSN EN 15 199-2
IPB - začátek destilace	<37	78	
5	98	107	
10	138	132	
20	200	164	
30	253	200	
40	294	237	
50	327	274	
60	352	311	
70	367	350	
80	414	407	
90	478	484	
95	521	>538	
FPB - konec destilace	>538		



Obr. 12: Simulovaná destilační křivka bio-olejů VÚZT, BTG a plynového oleje

Tabulka 3: Porovnání fyzikálně-chemických parametrů bio-olejů VÚZT a BTG se specifikací podle ASTM D7544-12

	Jednotka	Bio-olej VÚZT teplota v reaktoru 400 - 425 °C	Bio-olej BTG teplota v reaktoru 510 °C	Metoda	Specifikace podle ASTM D7544	
					stupeň G	stupeň D
CHNS analýza:						
Obsah uhlíku (C)	% m/m	38,4	40,05	FLASH 2000 Organic elemental analyzer, Fischer		
Obsah vodíku (H)	% m/m	9,1	7,87			
Obsah dusíku (N)	% m/m	1,64	0,0485			
Obsah kyslíku (O)	% m/m	50,77	52,02			
Obsah síry (S)	mg/kg	925	45,6	ČSN EN ISO 20846	max. 500	max. 500
Obsah celkového organického uhlíku - TOC	% m/m	32,52	43,3			
Číslo kyselosti	mg KOH/g	47,3	100,2			
Obsah vody	% m/m	32,95	27,9	ČSN 65 0330	max. 30	max. 30
Hustota 15 °C (ASTM 20 °C)	kg/m ³	1050,5	1205	ČSN EN ISO 12 185	1100 - 1300	1100 - 1300
Viskozita při 40 °C	mm ² /s	12,6	16,9		max. 125	max. 125
Částice >0,4 μm	g/l	1,63	NA	Filtrace na filtru 0,4 μm		
Částice >0,4 μm	% m/m	0,17	NA			
pH		4,6	2,4		zpráva	zpráva
Spalné teplo	MJ/kg	15,05	16,52		min. 15	min. 15
Spalné teplo z CHNS analýzy	MJ/kg	14,22	15,30	Friedl, A. et al. 2005		
Obsah popela	% m/m	NA	NA		max. 0,25	max. 0,15
Bod vzplanutí (flash point)	°C	NA	NA		min. 45	min. 45
Bod tekutosti (pour point)	°C	NA	NA		max. -9	max. -9

NA - neanalyzováno

Analýza vzorků bio-olejů je komplikována přítomností vody ve vzorku. Pro konkrétní analýzu je potřebné použít homogenní vzorek. V případě vzorku bio-oleje BTG bylo nutné vzorek rozpustit v ethanolu, protože byl velmi viskózní. Vzorek bio-oleje z pšeničné slámy byl sice méně viskózní, ale stopově se v něm objevovaly kapky vody. Homogenizace pomocí ethanolu i methanolu nebyla úplná a vzorek se zhomogenizoval mechanicky. Vzniká otázka, zda-li je při nástřiku mg vzorku tato homogenita dostatečná.

Elementární složení obou bio-olejů je velmi rozdílné. Může to být způsobeno vyšším stupněm deoxygenace vstupní biomasy a rozdílnou teplotou v reaktoru. Důkazem je vyšší obsah vody ve vzorku bio-oleje VÚZT. Kontrolní analýza celkového organického uhlíku prokázala, že analýza obsahu vody je správná. Při analýze CHN mohla hrát určitou roli i homogenita. Kontrola obsahu uhlíku ve formě částic větších jako 0,4 μm ukázala jen jejich velmi nízkou koncentraci (0,17 % m/m).

Rozdílné složení vstupní biomasy je hlavním důvodem rozdílných fyzikálně-chemických vlastností posuzovaných bio-olejů. Bio-olej z pšeničné slámy obsahuje více vody a ve vodě rozpustných organických sloučenin, vzhledem ke svému složení má nižší hustotu, nižší hodnotu pH. Vyšší je i obsah dusíku a síry, vázaných na obsah bílkovin ve slámě. Výpočet spalného tepla HHV z elementárního složení byl vypočítán podle rovnice odvozené z literatury (Friedl, et al, 2005):

$$HHV = 1,87 \times C^2 - 144 \times C - 2820 \times H + 63,8 \times C \times H + 129 \times N + 20147 \quad [\text{kJ/kg}] \quad (1)$$

kde

C , H , N jsou obsahy uhlíku, vodíku a dusíku v % m/m.

Pro bio-olej z pšeničné slámy je vypočtené spalné teplo HHV 14,22 MJ/kg a pro bio-olej BTG 15,31 MJ/kg. Na nižší obsah kyslíku ve vzorku bio-oleje z pšeničné slámy poukazuje i rozpustnost vzorku v n-C₁₂.

Distribuce podle bodu varu (simulovaná destilace) se stanovila na přístroji Network GC Systém 6890N od firmy Agilent Technologies vybaveným autosamplerem, on-column injektorem a FID detektorem a separační kolonou: RMX1 15m x 0,53 mm x 2,65 μm . Křivky charakterizující frakce složení poukazují na podobný charakter, zejména vyšší vroucí složky jsou skoro identické. Začátek destilační křivky je rozdílný zejména proto, že lehké podíly ze vzorku BTG částečně vyprchaly (doprava).

Analýza vzorků bio-oleje VÚZT byla provedena také metodou gas chromatography and mass spectrometry (GC-MS). Tato metoda umožňuje rozdělit látky přítomné v kapalinách, určit jejich množství a jejich identifikaci z GC-MS porovnáním naměřených hmotnostních spekter s databází hmotnostních spekter v knihovně NIST.

Analýza byla provedena na přístroji GC 6890N ve spojení s hmotnostním detektorem 5973 Network od firmy Agilent Technologies. Vzorky bio-oleje (1 μL) se dávkovaly přímo do plynového chromatografu a byly separovány na koloně s nepolární stacionární fází DB-5MS s rozměry 30 m x 0,25 mm x 0,25 μm při programování teploty chromatografické pece od 50 °C do 300 °C s teplotním stoupáním 15 °C/min. Hmotnostní detektor pracoval v Full-scan módu a skenoval v rozsahu 18 – 450 amu s ionizační energií 70 eV.

Jednotlivé separované složky se integrovaly a získané hmotnostní spektra jednotlivých složek se porovnávaly s databází hmotnostních spekter z knihovny NIST a Wiley. Výsledky analýzy jsou uvedeny v tab. 4. Identifikované byly jen sloučeniny s vyšší koncentrací. Hodnoty v procentech neodpovídají obsahu, protože na to musí být provedena kalibrace na standardy a to si vyžaduje čas a další prostředky.

Tabulka 4: Procentuální zastoupení majoritních složek

Ret čas (min)	Složka	%
1.906	voda	32,95
1.961	ethanol	2,76
1.98	N,N-dimetyl-metylamin	1,13
2.015	aceton	2,52
2.075	methylester kys. octové	0,66
2.413	kys. octová	31,01
2.593	hydroxy propan-2-on	0,36
2.789	kys. propionová	0,86
3.153	pyridin	0,44
3.57	acetamid	0,58
3.84	2-metyl pyridin	0,37
4.119	2-furanmetanol	1,26
4.41	N,N-dimetyl-acetamid	0,13
4.829	?	0,85
5.479	2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl-	0,24
6.241	1,2-Cyclopentanedione, 3-methyl-	0,61
6.939	Guaiacol (2-metoxyfenol)	0,59
7.149	?	0,87
7.631	?	2,39
7.806	?	0,47
8.213	?	0,44
8.511	1,4:3,6-Dianhydro-. α .-d-glucopyranose	0,59
9.424	2,6-dimetoxyphenol	1,04
9.833	?	0,75
15.22	levoglucosan	1,13

Další bio-olej z ověřovacích zkoušek byl získán při nekatalyzované a katalyzované rychlé pyrolýze usušené pšeničné slámy po granulaci na síť \varnothing 2 mm (viz komplexní řešení linky pro velmi rychlý termický rozklad biomasy). Jako katalyzátory byly použity Zeocem ECO 50 slovenského výrobce Zeocem, a.s. a ZSM 5 (CBV 28014) výrobce Zeolyst Int z USA. V tab. 5 jsou porovnány výsledky CHNS analýzy vzorků těchto bioolejů.

Tabulka 5: Základní fyzikálně-chemické parametry bio-olejů VÚZT z pšeničné slámy při teplotě 450 - 475 °C bez katalyzátoru a s katalyzátorem

	Jednotka	Nekatalytická pyrolýza	Katalytická pyrolýza	
			Zeocem ECO 50	ZSM 5 (CBV 28014)
CHNS analýza:				
Obsah uhlíku (C)	% m/m	39,38	42,81	44,46
Obsah vodíku (H)	% m/m	9,65	10,79	11,15
Obsah dusíku (N)	% m/m	1,24	0,43	0,41
Obsah kyslíku (O)	% m/m	49,72	45,96	43,97
Obsah síry (S)	% m/m	<0,1	<0,1	<0,1
Obsah vody	% m/m	24,25	24,10	23,95
Hustota 15 °C	kg/m ³	1104,4	1106,8	1107,9
Spalné teplo	MJ/kg	15,34	17,35	18,23
Spalné teplo z CHNS analýzy	MJ/kg	14,41	16,51	17,68

Výtěžnosti bio-oleje se pohybovaly kolem 560 - 700 g z 1000 g z pšeničné slámy, zuhelnatělé tuhé částice (polokoks) tvořily 150 - 170 g a zbytek pyrolýzní plyn.

Toxikologické zhodnocení a stanovení kontaminantů, které jsou v kapalných palivech sledovány jako rizikové (především chlor, PCB, aromatické uhlovodíky), nebylo předmětem tohoto řešení. O jejich významu však nelze pochybovat.

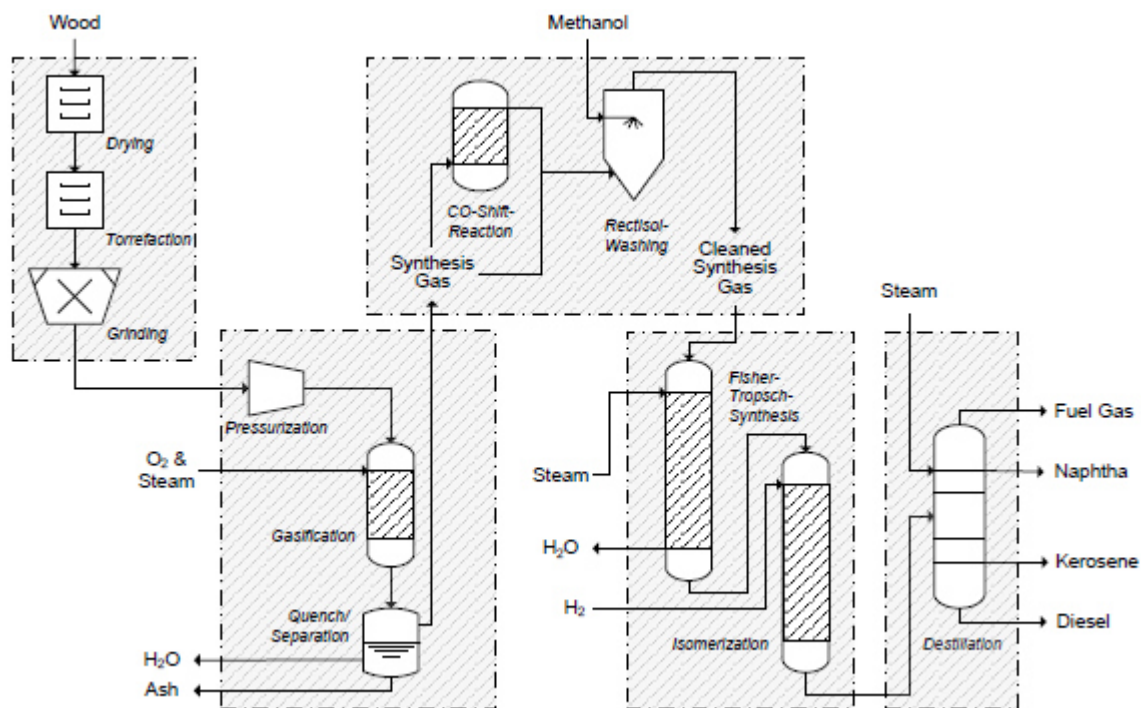
Využití bio-olejů je spojené s jejich stabilizací pro zamezení polymerizace a standardizaci do podoby technických norem, nezbytných k usnadnění jejich cesty na trh.

Hlavním produktem velmi rychlého termického rozkladu biomasy je bio-olej. Navržená, realizovaná a ověřená kompletní linka s ablativním kuželovým reaktorem umožňuje získat 56 - 70 % m/m bio-oleje z pšeničné slámy s průměrným spalným teplem kolem 16 - 17,5 MJ/kg a základní parametry, jako je obsah vody, hustota, viskozita, odpovídají specifikaci ASTM D 7544-12 „Standard specification for pyrolysis liquid biofuel“. Využití bio-oleje je ovšem spojeno s jejich stabilizací, protože vlivem jejich vysoké kyselosti a přítomnosti vinylových skupin postupně polymerizují. Dalším krokem je jejich stabilizace. Technické normy jsou nezbytné k usnadnění cesty bio-olejů na trh, a to buď pro použití k produkci elektřiny, tepla nebo pro zlepšení jejich kvality jako palivo v dopravě. S tím souvisí i registrace bio-oleje v rámci REACH (registrace, hodnocení, povolování a omezování chemických látek). Realizovaný ablativní reaktor kovový i grafitový je charakterizován vysokou rychlostí dopadu částice na horkou stěnu reaktoru, což je dosaženo pomocí odstředivé síly rozmetacího talíře upravené biomasy. Vysokého relativního pohybu je dosaženo mezi částicemi a stěnou reaktoru, která má teplotu obvykle nižší než 600 °C. Tento systém je intenzivnější a s mechanickým pohonem, takže reaktor je komplexnější. Takto koncipovaný reaktor pro ablativní pyrolýzu má značnou výhodu oproti konvenčním reaktorům s fluidním ložem. Biomasa může mít variabilnější granulometrii, protože částice jsou rozkládány teplem při přímém kontaktu; s horkým povrchem. Tento reaktor má kompaktní provedení umožňující dobrý přenos tepla s vysokými měrnými spotřebami tepla při poměrně malé styčné (dotykové) ploše. S tím souvisí i vysoká energetická účinnost a je úsporný z hlediska nákladů, protože není zapotřebí žádné ohřívání ani chlazení fluidních plynů. Tento typ reaktorů umožňuje použití kondenzačních jednotek s malým objemem, které vyžadují méně prostoru při nižších nákladech.

5.2 Produkce kapalných syntetických uhlovodíků BtL - parafinické motorové složky motorové nafty

V současnosti je ověřována výroba kapalných syntetických uhlovodíků pouze v pilotních zařízeních s kapacitou cca 33 tis. t/rok. Technologické schéma s případovou studií DBFZ ukazuje obr. 13.

Konverze rostlinných olejů i živočišných tuků na uhlovodíkovou bionaftu se může provádět katalytickou hydrorafinací při teplotě 230 - 360 °C, tlaku 2 - 6 MPa na různých katalyzátorech (často Ni-Mo/Al₂O₃, Pt/nosič Pd/nosič apod.). Při hydrorafinaci olejů dochází k řadě reakcí za vzniku nerozvětvených a rozvětvených alkanů, propanu, vody, oxidu uhelnatého a oxidu uhličitého. Výrobu uhlovodíkové bionafty lze provádět buď na jednotkách zpracovávajících pouze rostlinné a živočišné oleje, nebo společnou hydrogenací těchto olejů se středními ropnými destiláty. Výhodou samostatného zpracování rostlinných olejů je možnost optimalizace reakčních podmínek jen s ohledem na zpracovávané oleje, nevýhodou je pak nutnost výstavby nových velkokapacitních jednotek hydrogenace rostlinných olejů, a také nezbytných jednotek výroby vodíku. Při společném zpracování rostlinných olejů a ropných surovin na motorovou naftu je možno často jen navýšit výrobní kapacitu stávajících jednotek hydrorafinace středních destilátů a výroby vodíku, a upravit zpracování vznikajících plyných produktů.



Předúprava

Zplyňování

Zpracování plynu

Výroba paliva

**Produkt
Separace**

Kapacita zařízení (petrolej, nafta a diesel): 192 000 t/rok, celková investice: 690 – 760 mil. USD, vstupní surovina: topol SRC D), eukalypt (BR), provozní hodiny: 8000 h/rok, režim výroby: samostatný, počet osob: 60 zaměstnanců

Obr. 13: Technologické schéma výroby syntetického paliva BtL ze zbytků a odpadů (zdroj: DBFZ, 2013)

V současné době provozuje finská firma NESTE OIL, podnikající v oblasti olejů (kotovaná na Helsinské burze), technologii NExBtL, uplatňující vysokotlakou hydrogenaci mastných kyselin (HEFA). Technologické schéma s případovou studií podle DBFZ uvádí obr. 14. V tab. 6 je provedeno srovnání procesů a stavu techniky obnovitelných kapalných paliv s fosilními palivy se zřetelem na NExBtL. Z obr. 15 je patrná hmotnostní bilance pro řepkový a jatrophový olej před a po hydrogenaci. Rovněž NESTE OIL klade důraz na zavádění dalších vhodných biosurovin, zvláště nejedlých olejnin jako je např. olej z Jatrophy Curacas, řas, mikroorganismů obsahujících tuk. Vhodné jsou také oleje s vysokou teplotou filtrovatelnosti.

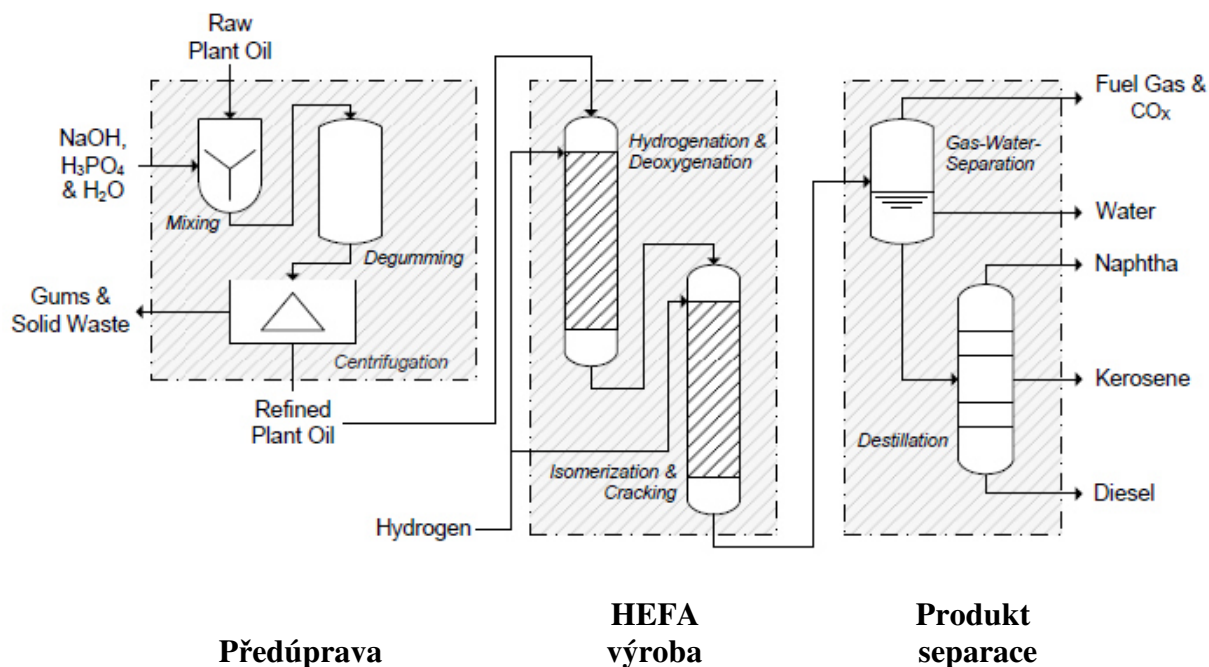
Firma NESTE OIL Technology Centre Porvoo poskytla v únoru 2012 VÚZT, v.v.i. Praha na základě dohody o důvěrnosti 20 l paliva HEFA pro palivářské zkoušky směsných motorových naft, obsahující toto biopalivo nové generace.

Tabulka 6: Porovnání procesů a stavu techniky obnovitelných pohonných hmot s fosilními palivy se zřetelem na NExBtL

Vstup	Ropa	Uhlí	Zemní plyn, biomethan	Rostlinné oleje, živočišné tuky		Suchá biomasa, biogenní odpady
Proces	Rafinace	Vysokotlaká katalytická hydrogenace Berginace Fischer-	Hydrotermál. zpracování Parní reforming Fischer-	Trans-esterifikace	Hydro-zpracování Vysokotlaká katalytická hydrogenace	Zplyňování Pyrolýza Tepelná depolymerizace Fischer-

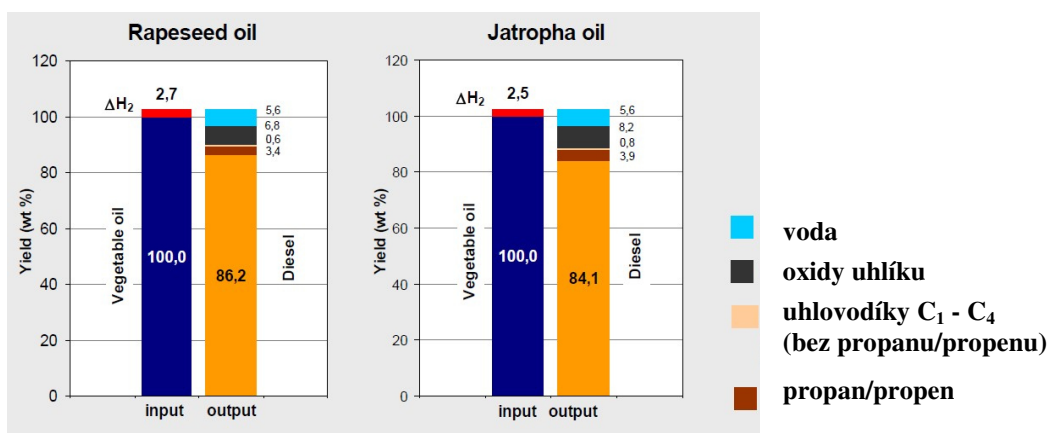
		Tropschova syntéza	Tropschova syntéza			Tropschova syntéza
Výstup	Benzin Letecký petrolej (Jet) Motor. nafta (diesel) C_nH_{2n+2} C_nH_{2n} Parafiny Aromáty Polyaromáty	Benzin Letecký petrolej Motorová nafta (diesel) C_nH_{2n+2} Parafiny	Mono-alkyl estery (FAME, MEŘO, FAEE) $\begin{matrix} O \\ \\ CH_3-O-C-R \end{matrix}$		BtL (HVO) Benzin Letecký petrolej (Jet)	Benzin Letecký petrolej (Jet) Motorová nafta (diesel)
Stav techniky	Komerční	Komerčně dostupný	Komerční	Komerční	Komerční (od r. 2007)	^{*)} Zkušební fáze

^{*)} Zkušební, pilotní a demonstrační provoz



Kapacita zařízení (petrolej, nafta a diesel): 800 000 t/rok, celková investice: 700 – 860 mil. USD, vstupní surovina: *Jatropha* olej, provozní hodiny: 8200 h/rok, režim výroby: samostatný, počet osob: 150 zaměstnanců, produkce H_2 : zemní plyn (pára), H_2 / rafinovaný rostlinný olej: 3,5 %
Obr. 14: Technologický proces výroby HEFA (zdroj: DBFZ, 2013)

Požadavky a naměřené hodnoty poskytnutého HEFA ukazuje tab. 7. Obdobné parametry (tj. hodnoty cetanového čísla, hustoty, polycyklických aromatických uhlovodíků, bodu vzplanutí, oxidační stability, viskozity a filtrovatelnosti CFPP) se stanovily pro směsné palivo 90 % V/V motorové nafty, 6,5 % V/V methylesterů mastných kyselin (FAME) a 3,5 % V/V HEFA (viz tab. 8), dále pak u směsného paliva 70 % V/V motorové nafty, 20 % V/V FAME a 10 % V/V HEFA (viz tab. 9). Tyto parametry jsou porovnány s mezními hodnotami technických norem ČSN EN 590+A1 a Draft prEN 590 pro motorové nafty a ČSN 65 6508 pro směsné motorové nafty. Naměřené hodnoty ukázaly vysokou kvalitu těchto směsných paliv pro vznětové motory.



Obr. 15: Hmotnostní bilance řepkového a jatrophového oleje před a po hydrogenaci (zdroj: Kuchling, 2010)

(*Rapeseed oil* - řepkový olej, *Jatropha oil* - jatrophový olej, *Yield* - výtěžnost % (m/m), *Vegetable oil* - rostlinný olej, *Diesel* - motorová nafta, *Input* - vstup, *Output* - výstup)

Tabulka 7: Požadavky podle CWA¹⁾ 15940 „Motorová paliva - Parafinovaná nafta ze syntézy nebo hydrotermální úpravy - Technické požadavky a metody zkoušení (Automotive fuels - Paraffinic diesel from synthesis or hydrotreatment - Requirements and test methods)“ (2012) a zjištěné hodnoty pro HEFA

Vlastnost	Jednotka	Mezní hodnoty podle CWA 15940		Naměřené hodnoty ²⁾
		min.	max.	
Cetanové číslo	-	70,0	-	75,6
Hustota (15 °C)	kg/m ³	770	800	779,1
Polycyklické aromatické uhlovodíky	% m/m	-	0,1	<0,1
Bod vzplanutí	°C	>55		77
Obsah vody	mg/kg	-	200	18
Oxidační stabilita	g/m ³	-	25	<1
	h	20	-	-
Viskozita při 40 °C	mm ² /s	2,00	4,5	2,941
Filtrovatelnost CFPP, mírné klima	°C		-20	-22,5

¹⁾ CWA - pracovní dohoda Evropského výboru pro standardizaci (CEN)

²⁾ Analýzy zajistil VÚZT, v.v.i. Praha v březnu 2012.

Tabulka 8: Požadavky podle ČSN EN 590+A1 „Motorová paliva - Motorové nafty - Technické požadavky a metody zkoušení (Automotive fuels - Diesel - Requirements and test methods)“ (2010) a zjištěné hodnoty pro směs 90 % V/V motorové nafty, 6,5 % MEŘO a 3,5 % HEFA

Vlastnost	Jednotka	Mezní hodnoty podle ČSN EN 590+A1		Naměřené hodnoty
		min.	max.	
Obsah FAME	% V/V	-	7,0	6,7
Cetanové číslo	-	51,0	-	54,5
Hustota (15 °C)	kg/m ³	820	845	833,0
Polycyklické aromatické uhlovodíky	% m/m	-	8,0	2,4
Bod vzplanutí	°C	nad 55		65

Obsah vody	mg/kg	-	200	61,3
Oxidační stabilita	g/m ³ h	-	25	-
		20	-	36,52
Číslo kyselosti	mg KOH/g	-	-	0,28
Filtrovatelnost CFPP, mírné klima třída F	°C		-20	-30

Tabulka 9: Požadavky podle ČSN 65 6508 „Motorová paliva - Směsné motorové nafty obsahující methylestery mastných kyselin (FAME) - Technické požadavky a metody zkoušení“ (2009) a zjištěné hodnoty pro směs 70 % V/V motorové nafty, 20 % FAME a 10 % HEFA

Vlastnost	Jednotka	Mezní hodnoty podle ČSN 65 6508		Naměřené hodnoty
		min.	max.	
Obsah FAME	% V/V	30,0	-	18,79
Cetanové číslo	-	51,0	-	55,1
Hustota (15 °C)	kg/m ³	820	860	836,0
Polycyklické aromatické uhlovodíky	% m/m	-	8,0	1,9
Bod vzplanutí	°C	> 55		67
Obsah vody	mg/kg	-	300	87,90
Oxidační stabilita	g/m ³ h	-	25	-
		16	-	25,76
Číslo kyselosti	mg KOH/g	-	0,20	0,30
Filtrovatelnost CFPP, mírné klima	°C	-	-20	-28

5.3 Bioplyn jako stlačený zemní plyn - biomethan

V současnosti se u nás bioplyn používá jako obnovitelné palivo pro výrobu elektřiny a tepla v kogeneračních jednotkách umístěných v blízkosti bioplynových stanic. Důvodem je primárně zavedená veřejná podpora instalacím využívajícím obnovitelné zdroje energie pro výrobu elektřiny formou garantovaných výkupních cen respektive „zelených „bonusů majících charakter příplatku za environmentálně šetrnou výrobu elektrické energie.

Nevýhodou takových to instalací je nedostatečné využití tepla z kogenerace, zvláště v letním období. V zahraničí se proto v poslední době objevuje řada instalací s úpravou bioplynu na biomethan, který je pal plnohodnotnou náhradou zemního plynu využitelného mj. i jako motorové palivo v dopravě. A to buď přímým zásobováním blízko ležících plnicích stanic na stlačený (zemní) plyn - CNG (Compressed Natural Gas), nebo vtláčením do distribuční sítě zemního plynu, jejímž prostřednictvím lze pak biomethan dodávat (virtuálně) mnohem širšímu okruhu dalších možných zájemců.

5.3.1 Technologie úpravy bioplynu na biomethan

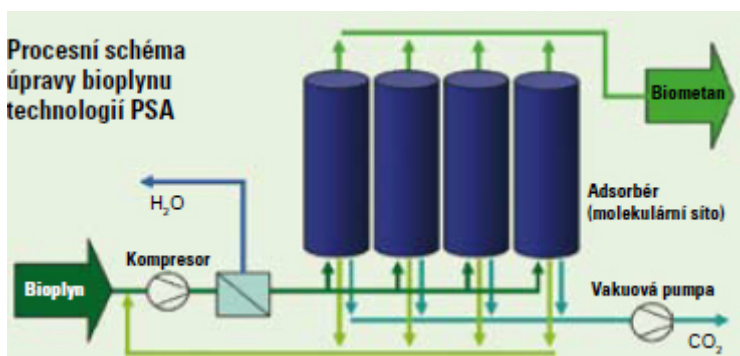
Existuje celá řada technologií umožňujících zvýšit v produkovaném bioplynu podíl energeticky hodnotného methanu, tj. oddělit z něj nežádoucí příměsi. Zejména se jedná o odstranění oxidu uhličitého, tj. CO₂ (v bioplynu je zastoupen v rozmezí 25 - 55 %), a dále vodní páry (H₂O), sulfanu (H₂S), čpavku (NH₃), vodíku a vzduchu (tj. dusíku, kyslíku), které jsou v bioplynu obsaženy v malých množstvích. U kalového nebo skládkového plynu se pak rovněž vyskytují nežádoucí příměsi na bázi halogenovaných sloučenin nebo organických sloučenin křemíku.

Jednotlivé technologie se liší v principu separace, komplexnosti (nějaké odstraňují jen některé nežádoucí složky v bioplynu) a robustnosti (kapacitních schopnostech). Před vlastním oddělováním CO_2 obvykle předchází vyčištění surového bioplynu od stopových látek, především síry, která by negativně ovlivňovala další proces obohacování.

Postupy oddělování methanu a oxidu uhličitého (a příp. dalších nežádoucích složek) lze rozdělit do čtyř hlavních skupin, jež se liší principem činnosti a de facto i technologickým řešením:

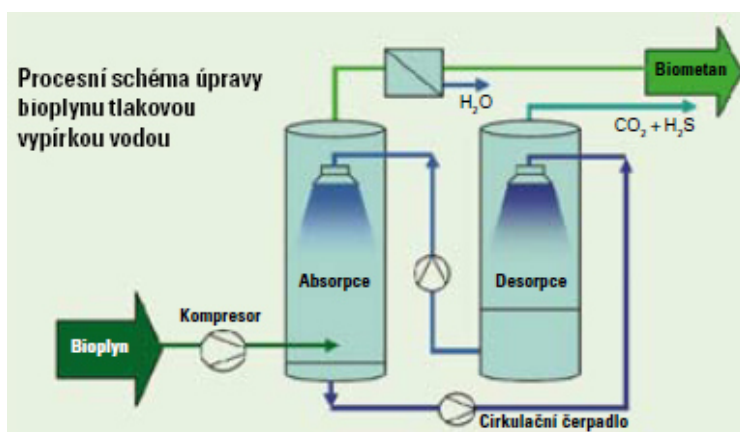
- adsorpce - technologie PSA (viz obr. 16),
- absorpce - fyzikální (tlaková) vypírka (viz obr. 17), chemická vypírka
- membránová separace (viz obr. 18),
- nízkoteplotní rektifikace - kryotechnologie.

Největšího uplatnění v reálném provozu doposud doznaly s jistými modifikacemi v zásadě dvě technologie: proces tlakové adsorpce označovaný jako PSA (Pressure Swing Adsorption) a fyzikální (scrubing) nebo jiným roztokem (washing). Slibnou technologií z pohledu energetických i prostorových nároků je pak i membránová separace, která má již první komerční nasazení. Za podobně perspektivní je považováno i využití kryogenní metody separace, její praktické uplatnění pro úpravu bioplynu je však zatím ve stádiu vývoje a ověřování.



Obr. 16: Procesní schéma úpravy bioplynu technologií PSA (zdroj: SEeVEn)

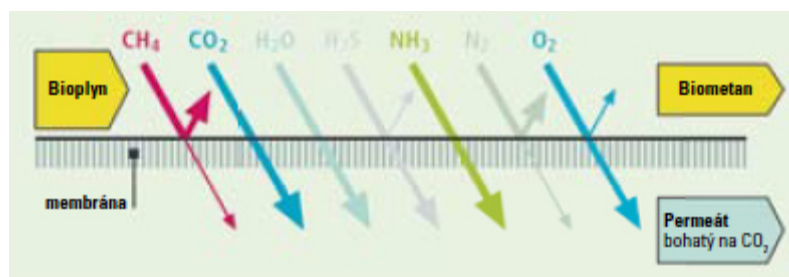
V klasickém uspořádání procesu PSA zajišťuje střídání sad filtrů řídicí jednotka pomocí elektromagnetických ventilů (např. zařízení společnosti CarboTech Engineering GmbH nebo Cirmac International BV). Jinou alternativou je přepínání jednotlivých cyklů pomocí systému rotujících ventilů, díky čemuž je doba cyklů kratší a zařízení kompaktnější (technologie vyvinula společnost QuestAir Technologies Inc., nyní součástí skupiny XEBEC Inc.).



Obr. 17: Procesní schéma úpravy bioplynu tlakovou vypírkou vodou (zdroj: SEVEn)

Absorpční technologii k obohacování bioplynu nabízí řada firem. Tlakovou vypírku vodou např. společnosti Malmberg Water AB a Flotech Group, na bázi organického rozpouštědla Genosorb např. společnost Haase Energietechnik AG. Absorpci chemickou cestou pak využívá řešení firmy MT-Biomethan GmbH nebo Cirmac International BV.

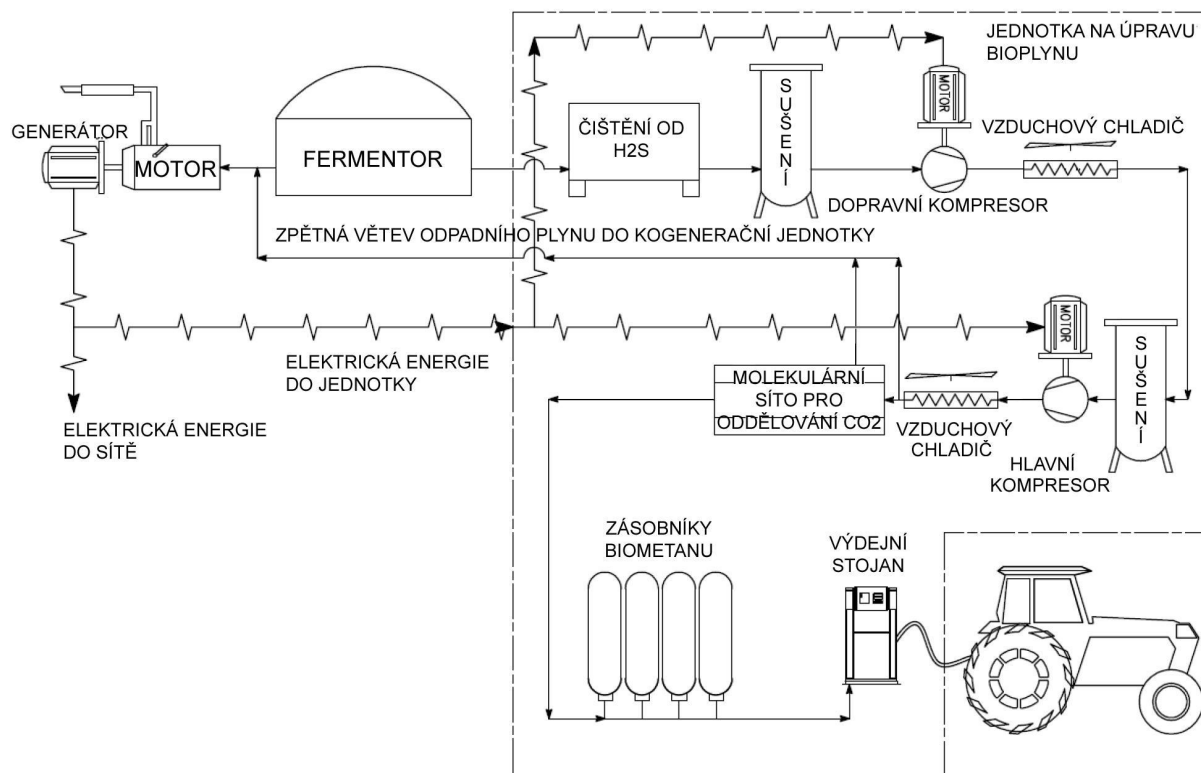
Membránová separace využívá rozdílné průchodnosti jednotlivých složek ve směsi bioplynu tenkou membránou. Materiálem pro konstrukci membránových sít jsou nejčastěji polymery. Skrze membránu prochází snáze CO_2 (a též zbytkový obsah H_2S a vodní páry) jako tzv. permeát, zatímco většina methanu zůstává před membránou a odchází na tlakové straně jako tzv. retenát. Podíl methanu v retenátu závisí na použitém materiálu membrány, jejím stáří a také tlakové úrovni. Za optimálních podmínek proces čištění probíhá při tlaku 0,7 - 0,9 MPa a docílí se až 97 - 99 % obsahu CH_4 ve výsledném plynu. Vyšší míry vyčištění (a menších ztrát methanu) umožňuje dvoustupňová separace. Membránovou technologii nabízí např. opět firma Cirmac International BV a také Axiom Angewandte Processtechnik GmbH.



Obr. 18: Membránová separace (zdroj. SEVEN)

Oxid uhličitý a methan mají dosti rozdílné body varu ($\text{CO}_2 = 78\text{ }^\circ\text{C}$, $\text{CH}_4 = 161\text{ }^\circ\text{C}$). Těto skutečnosti lze tak využít kryogenní cestou, tj. ochlazením bioplynu na velmi nízkou teplotu (min. $-80\text{ }^\circ\text{C}$), oddělit CO_2 a příp. další nežádoucí složky od methanu jejich zkapalněním, příp. rovnou desublimací. Výhodou tohoto postupu je velmi vysoká čistota výsledného plynu (více než 99 % CH_4) a také možnost dále zhodnotit zkapalněný CO_2 . Při ještě nižších teplotách pak může být zkapalněn i biomethan, čímž se pak může stát náhradou za LNG. Zatím však uplatnění této technologie nedoznalo v této oblasti komerčního uplatnění, zejména z důvodu vysoké kapitálové a energetické náročnosti.

Navrhovaný kombinovaný systém kompresorové jednotky pro úpravu bioplynu VÚZT, v.v.i. Praha a EKOSS - CNGS - ČR, spol. s r.o. Brno je určen k instalaci u stávajících bioplynových stanic a má pracovat paralelně s kogenerační jednotkou. Základní schéma jednotky je na obr. 19. Surový bioplyn z fermentoru se odsítí, vysuší a stlačí. Po prvním stupni komprese se plyn ochladí a znovu vysušuje. Mezi výstupem 1. stupně a vstupem do 2. stupně kompresoru probíhá vlastní odlučování CO_2 , za tlaku do 20 bar pomocí membrán. K hlavnímu čištění bioplynu byla použita molekulová síta, oxid uhličitý je pak odveden z membránového systému. Po třetím nebo čtvrtém stupni kompresoru je za mezichladičem při tlaku 200 až 250 bar odveden zbytek CO_2 . Poté, co jsme se zbavili CO_2 , je biomethan připraven pro použití, nebo uložen pod tlakem až do 250 bar. Po odstranění všech nečistot odpovídá získaný biomethan kvalitativně zemnímu plynu a lze jej použít pro tankování motorových vozidel, nebo vtlačit do potrubní sítě zemního plynu a využít v domácnostech nebo k průmyslovým účelům.



Obr. 19: Schéma kompresní jednotky na úpravu bioplynu

Celé zařízení je umístěno v kontejneru, čímž umožňuje snadnou výrobu a jednoduchou montáž u uživatele. Navrhovaná kompresorová jednotka je určena k úpravě bioplynu na kvalitu zemního plynu o vstupní kapacitě asi 200 m³/h surového bioplynu. Zatím se tento produkt anaerobní digesce používá pro kogenerační výrobu elektrické energie a tepla v kogeneračních jednotkách. Pro účely úpravy bioplynu pro pohon motorových vozidel musí být nejprve z bioplynu odstraněn sulfan (dříve sirovodík), aby se zabránilo korozi kompresoru. Bioplyn prochází první dehydratací v nádrži bezvodé soli a pak vstupuje do systému komprese. Bioplyn se pak ochladí a v prvních stupních hlavního kompresoru opět výrazně stlačí cca až na 20 barů. Po první fázi úpravy se bioplyn ochlazuje a suší, pak vstupuje na membránové separátory, které odstraňují další CO₂, čímž se vytvoří téměř čistý metan. V tomto místě zařízení je úprava bioplynu na biomethan hotová a téměř čistý biomethan se tlakuje do zásobníku na 250 bar pro tankování vozidel. Zbytek odpadního plynu po odvedení z membrán stále obsahuje mimo CO₂ malé množství metanu, proto doporučujeme aplikovat zbytky plynu do proudu bioplynu vedeného ke spálení v kogenerační jednotce. Tímto způsobem je možné získat dostatek energie pro napájení všech elektrických zařízení na kompresorové jednotce pro úpravu bioplynu. Všechny hlavní technické údaje jsou shrnuty v tab. 10.

Tab. 11 uvádí požadavky na užité vlastnosti plynu po úpravě v zařízení.

Tabulka 10: Hlavní technická data kompresorové jednotky pro úpravu bioplynu na kvalitu zemní plynu

Parametr	Hodnota	Jednotka
Vstupní tlak	0	bar
Vstupní teplota plynu	55	°C
Skladovací tlak	250	bar
TLAK pro tankování vozidel	220	bar
Počet kompresorů	2	ks
Vstupní průtok bioplynu	200	m ³ .h ⁻¹
Výstupní průtok biomethanu (CNG)	100-120	m ³ .h ⁻¹
Maximální vstupní koncentrace H ₂ S	10	ppm
Maximální vstupní koncentrace CO ₂	50	obj. %
Plánovaná výstupní koncentrace CO ₂	2,5	obj. %
Vstupní vlhkost bioplynu	100	Φ, %
Výstupní vlhkost biomethanu	30	Φ, %
Instalovaný výkon hlavního kompresoru	110	kW
Instalovaný výkon pomocného kompresoru	10	kW
Pracovní rozsah okolních teplot	-10/ +40	°C

Tabulka 11: Požadavky na užité vlastnosti plynu po úpravě v zařízení

Obsah/vlastnost	Kvalita stanovená pro použití v kompresorové jednotce	Před úpravou	Po úpravě pro pohon zážehových motorů	
			min.	max.
		Skutečné hodnoty dle průzkumů	Požadované hodnoty po úpravě dle ČSN 65 6514 (Typ H)	
CH ₄	60 %	55 (40) %	min. 95 %	
CO ₂	30 %	33 (55) %	2,50%	
H ₂ S		1500 až 3000 mg/m ³	10 mg/m ³	
Vodní pára	5 %	7 (10) %	32 mg vody/m ³ *	
N ₂ (NH ₃)		0,85 (1,8) %	max. (20 mg/kg)	
O ₂		0,30%	max. 1 %	
CO ₂ + N ₂ + O ₂	5 %		max. 5 %	
			min.	max.
Wobbeho číslo			43,9 MJ/m ³	47,3 MJ/m ³
			95 % (V/V)	99 % (V/V)
Oktanové číslo			130	

Popis hlavních provozních souborů

- Odsíření

Sulfan musí být odstraněn před vstupem do systému komprese, až na mezní hodnotu 10 ppm.

- Sušičky a odlučovače

Dva velké reaktory s chemickou výplní a nízkou tlakovou ztrátou se používají pro sušení před a po průchodu bioplynu pomocným kompresorem, před vstupem do hlavního kompresoru. Další menší výplňový reaktor se používá pro sušení plynu před vstupem

do membrány. Při opuštění jednotky se očekává relativní vlhkost plynu 30 % při tlaku 250 bar.

- Kompresor

Jako hlavní plynový kompresor je použit čtyřstupňový kompresor typu. Pohon hlavního čtyřstupňového kompresoru je zajištěn 110 kW motorem. Mimo vlastního kompresoru zahrnuje pohon expanzního chladiče, ventilátoru chladiče a pohon olejového čerpadla.

- Membránový odlučovač (molekulové síto)

Membránové odlučovače - oddělovače se používají k oddělení složek bioplynu CO₂ a CH₄. Úsek membránové separace zahrnuje všechny filtry a regulátory nezbytné pro nerušený provoz membrány. Dvoustupňový kompresně-membránový systém byl navržen z důvodu očekávané vyšší účinnosti separace složek bioplynu. Očekává se, že zbytkový methan bude z membránového odlučovače odveden spolu s oxidem uhličitým. Pokud bude u bioplynové stanice k dispozici kogenerační jednotka, bude vhodné zbytkovou energii methanu využít pro pohon kogenerační jednotky. Tato energie by měla být dostatečná pro provoz celého zařízení. Vyčištěný plyn by neměl obsahovat více než 2,5 % obj. oxidu uhličitého.

- Analyzátor plynu, měření a regulace

Analyzátor plynů průběžně sleduje kvalitu plynu po průchodu membránovým úsekem. Je to nutné za účelem kontroly, že složení plynu splňuje očekávané normované požadavky. Pokud by došlo k jakékoli poruše s vlivem na kvalitu produkovaného biomethanu, dojde k zastavení jednotky. Analyzátor plynů sleduje objemová procenta těchto plynů: CO₂, CH₄, H₂S a O₂. Havarijní detektory plynu uvnitř kontejneru spouští proces zastavení jednotky, kdykoli jsou zjištěny ztráty methanu.

- Skladování biomethanu

Skladovací úsek má kapacitu 4 800 litrů vodního objemu, vysoký skladovací tlak je zárukou minimálního provoz kompresoru během časového úseku 1 hodiny.

- Kontrolní panel měření a regulace

Počítačová řídicí jednotka zajišťuje ovládání a provoz systému kompresorové odlučovací jednotky. Všechny hlavní parametry procesu a alarmy lze nastavit v požadovaných mezích a všechny hlavní parametry procesu mohou být vizualizovány na lokálním displeji, přičemž je samozřejmě možné i napojení na centrální řídicí jednotku bioplynové stanice s centrální vizualizací procesů, která monitoruje činnost kompresorové jednotky pro úpravu bioplynu.

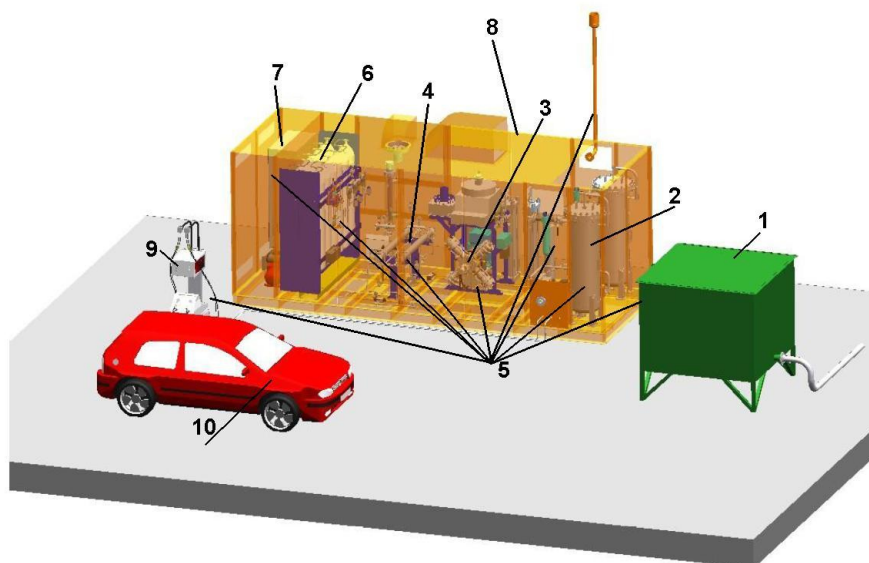
- Kontejner

Celé zařízení, mimo odsíření a výdejního stojanu, je umístěno v jednom kontejneru, který zaručuje snadnou instalaci a ochranu před klimatickými vlivy pro všechny stroje, přístroje a zařízení.

- Výdejní stojan

Výdejní stojan je navržen pro připojení vozidel. Výdejní stojan je vybaven měřením hmotnostního průtoku, součtovým počítadlem a řídicí jednotkou pro dvoustupňovou kontrolu tankování.

Na obr. 20 je znázorněné schéma kompresorové jednotky pro úpravu bioplynu na kvalitu zemního plynu.



Obr. 20: Schéma kompresorové jednotky pro úpravu bioplynu na kvalitu zemního plynu

Legenda: 1 – odsíření, 2 – sušičky a odlučovače, 3 – hlavní čtyřstupňový kompresor, 4 – membránové odlučovače (molekulová síta), 5 – čidla analyzátoru plynu, čidla měření a regulace, 6 – akumulční zásobník sestavený z tlakových lahví, 7 – kontrolní panel měření a regulace, 8 – kontejner, 9 – výdejní stojan, 10 – automobil s palivovou soustavou upravenou na provoz v systému CNG

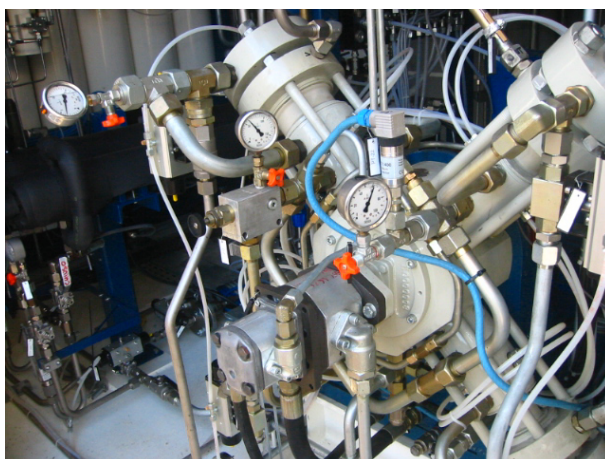
Rozbor vyčištěného bioplynu měřený nezávislou laboratoří Studio Alfa je uveden v tab. 12.

Tabulka 12: Složení vyčištěného biomethanu

Složka	Jednotka	Hodnota
Sulfan	mg.Nm ⁻³	2,66
Methan	%	98,9
Kyslík	%	0,03
Oxid uhličitý	%	0,19
Dusík	%	0,22
Merkaptany	%	0,006
Siloxany	%	0,006
Ostatní uhlovodíky	%	0,65



Obr. 21: Umístění kompresorové jednotky pro úpravu bioplynu v kontejneru na bioplynové stanici



Obr. 22: Kompresorový úsek s kompresorem a skladovací úsek s tlakovými lahvemi

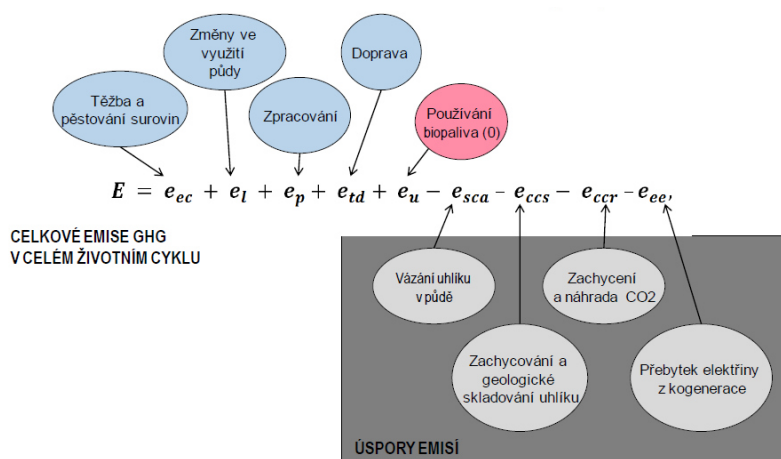
6. Snižování emisí skleníkových plynů v celém řetězci výroby FAME - MEŘO

Vzhledem ke stanoveným podmínkám úspor emisí skleníkových plynů (GHG) konvenčních a moderních paliv je nutné hledat různé možnosti zlepšení a optimalizace jejich bilance. Dosavadní výsledky potvrzují, že mezi druhy dusíkatých hnojiv používaných v současnosti jsou značné rozdíly, pokud jde o množství energie potřebné k jejich výrobě. Alternativu představuje, pokud je to možné, využití organických hnojiv (např. kejda), které jsou také zároveň hnojivem dodávajícím více živin. Obtížný úkol představuje snížení emisí plynů (N_2O), které vznikají při hnojení dusíkem. Je totiž třeba snížit emise rajskeho plynu (N_2O), které se z dusíkatých hnojiv uvolňují. Výpočet je založen na uvolnění 1 % N_2O z aplikovaného množství dusíkatého hnojiva (podle IPCC). Na každý 1 kg dusíkatého hnojiva to představuje 0,0157 kg N_2O nebo ekvivalentně 4,65 kg CO_2 . U N_2O je použit emisní faktor 296.

Při výpočtu je vhodné kombinovat použití hodnot emisí GHG v rámci výrobního řetězce. Je možné:

- použít celkové standardní hodnoty,
- použít dílčí standardní hodnoty nebo v případě pěstování hodnoty pro NUTS 2 regiony,
- použít skutečné hodnoty na základě výpočtu,
- kombinovat použití dílčích standardních hodnot a skutečných hodnot.

Z obr. 23 je patrný výpočet emisí GHG v souladu se směrnicí RED Příloha V (C).



Obr. 23: Znázornění výpočtu emisí GHG v souladu s přílohou V směrnice RED

Úspory E emisí GHG dosažené použitím biopaliva/biokapaliny se vypočítají podle vztahu:

$$\text{úspora} = \frac{E_F - E_B}{E_F} \quad (2)$$

kde:

E_B celkové emise ekvivalentu CO₂ během životního cyklu biopaliva,

E_F jsou celkové emise ekvivalentu CO₂ během životního cyklu referenčního fosilního paliva.

Pro účely výpočtu hodnoty E_F se používá poslední známá hodnota průměrných emisí z fosilní části benzínu nebo motorové nafty spotřebované ve Společenství. Pokud tato hodnota není k dispozici, použije se v případě biopaliv a biokapalin hodnota uvedená v souladu s RED a FQD v tab. 13.

Tabulka 13: Hodnoty E_F pro účely výpočtu podle vzorce (2) (zdroj: RED, FQD)

Hodnota E_F	Použití
83,8 g CO _{2eq} /MJ	pro biopaliva (emisní faktor motorové nafty a motorových benzinů)
91,0 g CO _{2eq} /MJ	pro biokapaliny používané k výrobě elektřiny
77,0 g CO _{2eq} /MJ	pro biokapaliny používané k výrobě tepla
85,0 g CO _{2eq} /MJ	pro biokapaliny používané ke kombinované výrobě elektřiny a tepla

Přehled minimálních úspor emisí CO_{2eq} ukazuje tab. 14.

Tabulka 14: Přehled minimálních úspor emisí skleníkových plynů (zdroj: RED)

Platnost od	Minimální úspora
1.1.2011	35 %
1.1.2017	50 %
1.1.2018 ^{*)}	60 %

^{*) Platí pouze pro výrobní zařízení uvedená do provozu od 1. ledna 2017.}

Emise CO_{2eq} se v souladu s RED a FQD vypočítají:

$$E_B = e_{ec} + e_l + e_p + e_{id} + e_u + e_{sca} - e_{ccs} - e_{ccr} - e_{ee} \quad (3)$$

kde:

e_{ec} emise původem z pěstování biomasy; zahrnují emise pocházející ze samotného procesu pěstování, získávání (sklizení) biomasy, emise z odpadu a úniků a z výroby chemických látek nebo produktů použitých při pěstování. Zachycování emisí CO₂ při pěstování biomasy není zahrnuto. Emise z pěstování jsou ovlivněny zejména druhem osiva, množstvím a druhem použitých hnojiv a pesticidů, spotřebou pohonných hmot, výnosem plodiny a emisí N₂O pocházejících z pole;

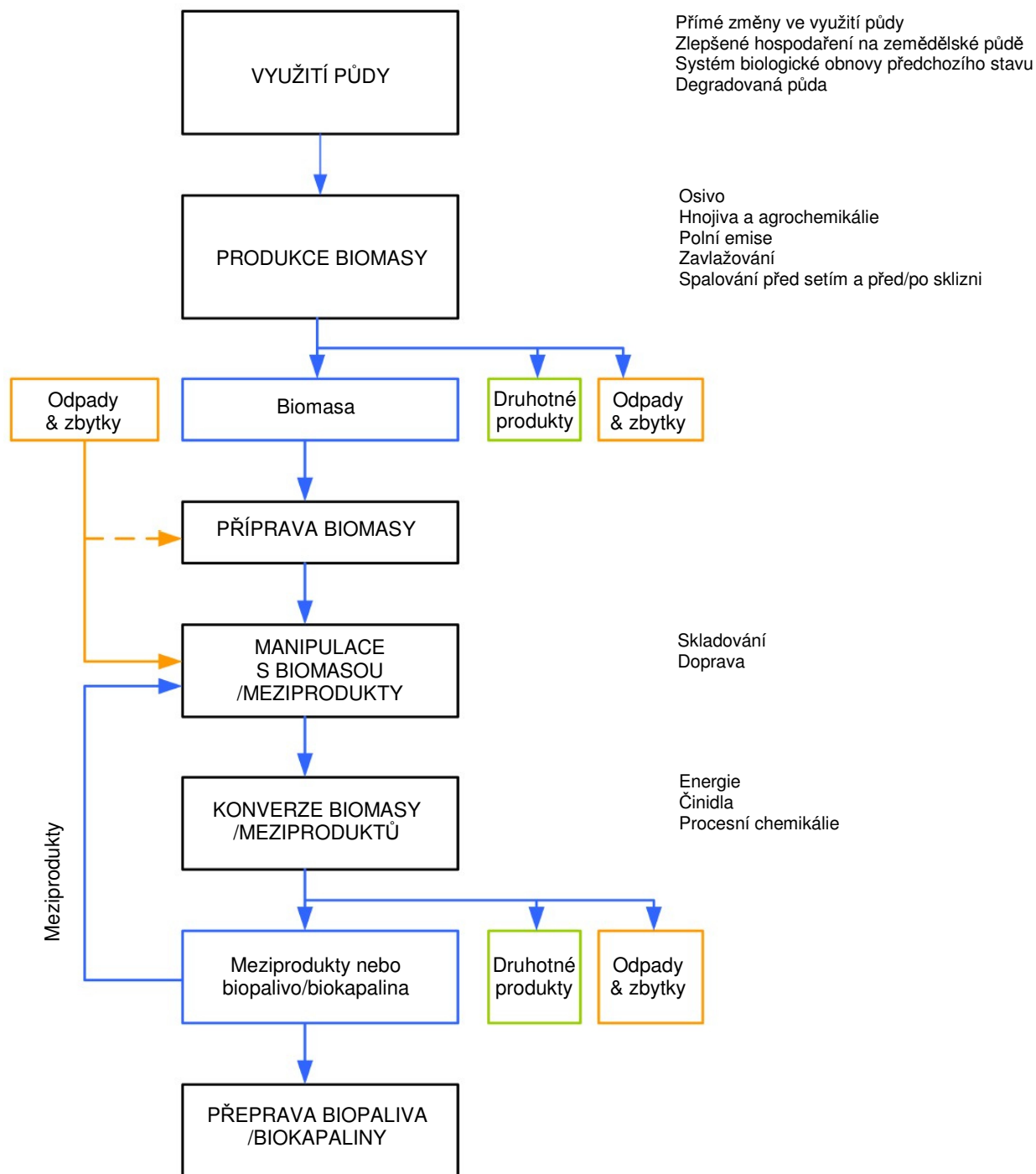
e_l roční hodnoty emisí ze změn v zásobě uhlíku vyvolaných změnou využití půdy, vypočítají se rozdělením celkových emisí rovnoměrně na dvacet let;

e_p emise původem ze zpracování; zahrnují emise z vlastního procesu zpracování, z odpadu a úniků a z výroby chemických látek nebo produktů použitých při zpracování. Při zohlednění spotřeby elektřiny, která není generována přímo v zařízení vyrábějícím příslušné palivo, se předpokládá, že intenzita emisí GHG z její výroby a distribuce se rovná průměrné intenzitě emisí GHG při výrobě a distribuci elektřiny v dané oblasti. Existují i výjimky z tohoto pravidla, specifikované v metodice směrnice;

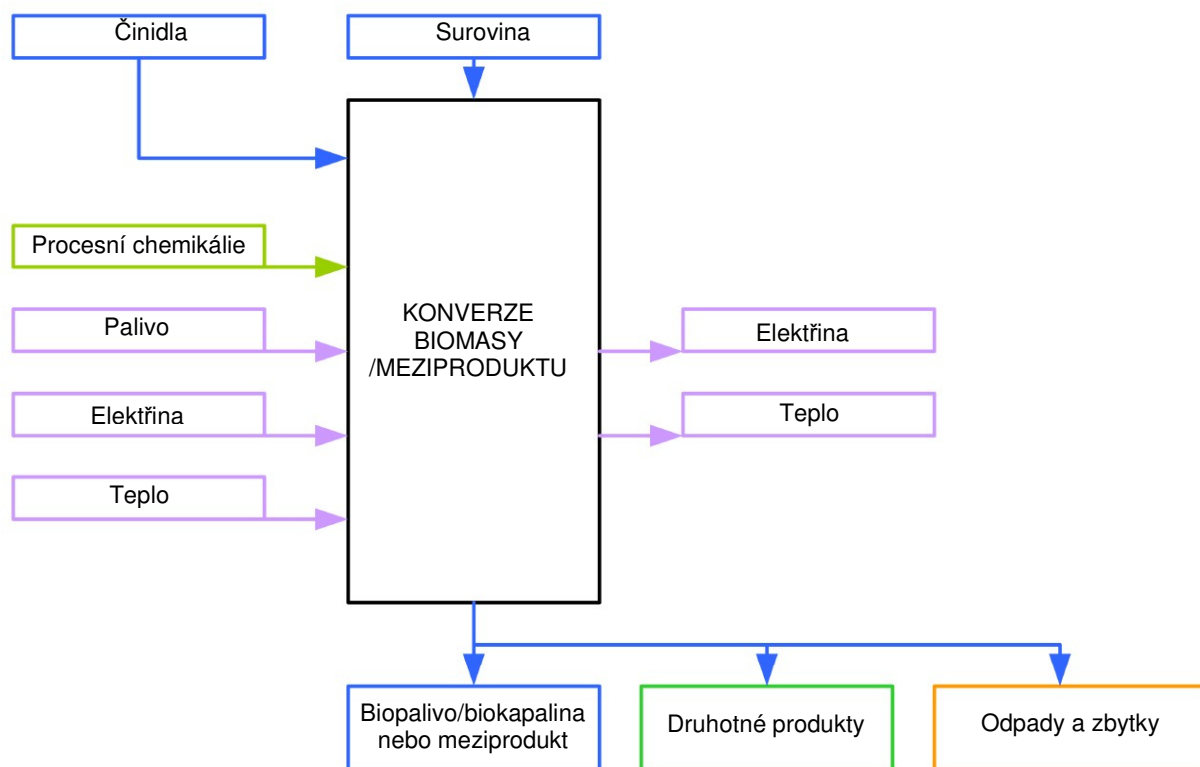
e_{id} emise původem z dopravy, skladování, distribuce polotovarů a konečného výrobku;

- e_u emise původem z používání daného paliva; u biopaliv a jiných biokapalin rovné nule;
- e_{sca} úspory emisí vyvolané nahromaděním uhlíku v půdě díky zdokonaleným zemědělským postupům;
- e_{ccs} úspory emisí vyvolané zachycením, sekvestrací a geologickým ukládáním uhlíku; omezují se na emise, ke kterým nedošlo v důsledku zachycení a sekvestrace emitovaného CO₂ v přímé souvislosti se získáváním, přepravou, zpracováním a distribucí paliva;
- e_{ccr} úspory emisí vyvolané zachycením a náhradou uhlíku; omezují se na emise, ke kterým nedošlo v důsledku zachycení CO₂, jehož uhlík pochází z biomasy a používá se k náhradě CO₂ z fosilních paliv používaného v souvislosti s komerčními výrobky a službami;
- e_{ee} úspory emisí v důsledku přebytečné elektřiny z kombinované výroby tepla a elektřiny; úspory emisí GHG související s touto přebytečnou elektřinou se pokládají za rovné množství skleníkových plynů, které by byly emitovány při výrobě stejného množství elektřiny v elektrárně s využitím stejného paliva, jaké se používá v kogenerační jednotce.

Všeobecný výrobní řetězec biopaliv/biokapalin ukazuje obr. 24. Vstupy a výstupy typického konverzního závodu zobrazuje obr. 25.

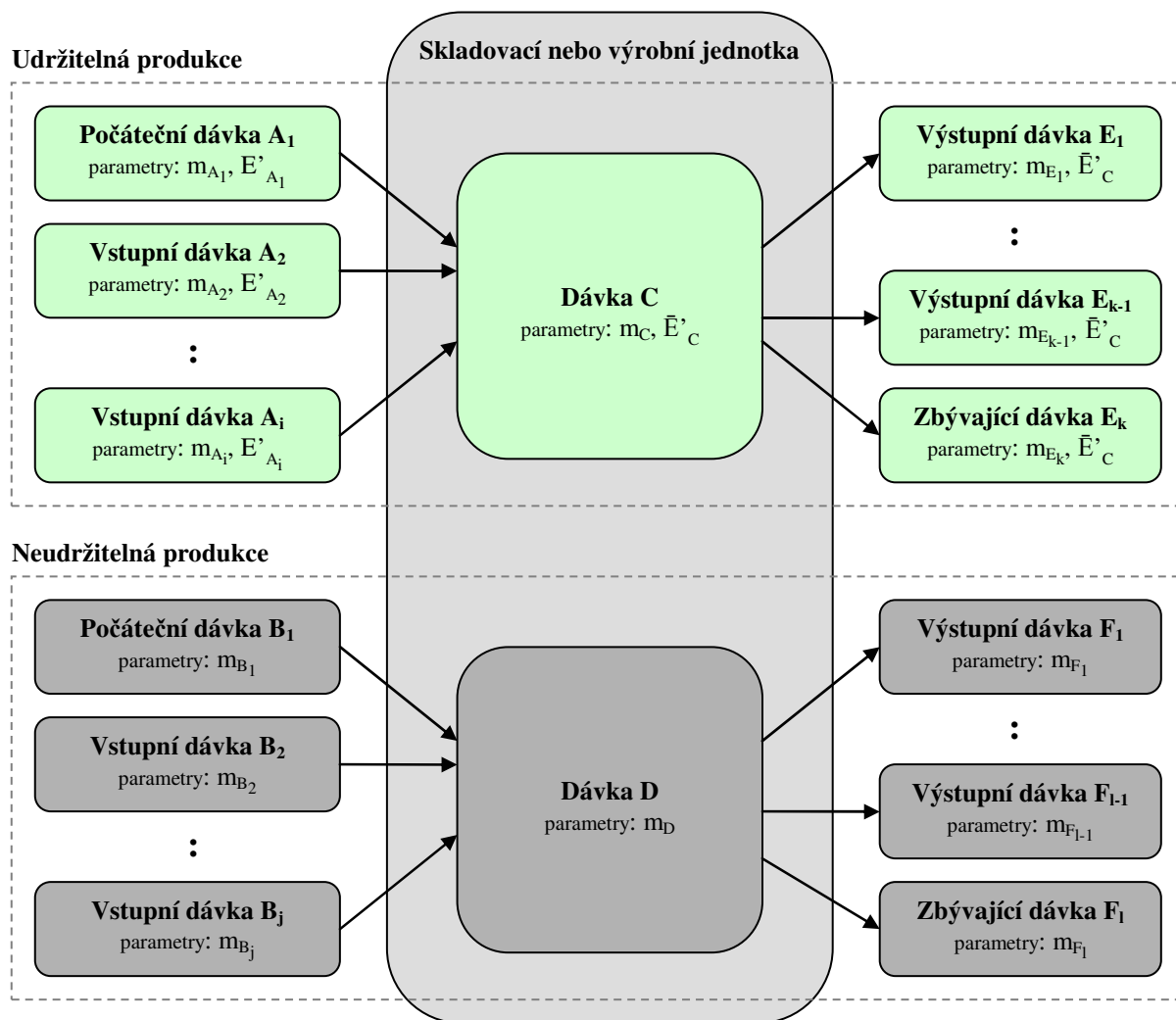


Obr. 24: Všeobecný výrobní řetězec biopaliv/biokapalin



Obr. 25: Obecné konverzní zařízení

Systém hmotnostní bilance se využívá při míchání dodávek s odlišnými parametry z hlediska kritérií udržitelnosti biopaliv, od různých subdodavatelů a z různých zemědělských lokalit. Principem je možnost fyzického smísení jednotlivých dodávek s různými parametry do jedné směsi na vstupu skladovací nebo výrobní jednotky. Pro tuto směs jsou stanoveny průměrné emise skleníkových plynů pomocí váženého průměru emisí jednotlivých dodávek. Na výstupu z jednotky jsou postupně odebírány dodávky s hmotností nezávislou na hmotnostech vstupních dodávek, přičemž celková hmotnost odebraných dodávek nesmí překročit hmotnost dodávek dodaných na vstupu do jednotky za dobu trvání časového rámce a hmotnost počáteční dodávky v jednotce na začátku časového rámce. Dodávky surovin nesplňující kritéria udržitelnosti jsou evidovány odděleně. Časový rámec pro účely této metodiky je aplikován na časový úsek platnosti certifikátu, tj. 12 měsíců. Schématické zobrazení systému hmotnostní bilance je uvedeno na obr. 26.



Obr. 26: Systém hmotnostní bilance v průběhu časového rámce v souladu s RED a Draft prEN 16214-2 „Conformity assessment including chain of custody and mass balance (December 2010)“

Výpočet vážených průměrných emisí skleníkových plynů se provádí podle vzorce (4):

$$\bar{E}' = \frac{\sum_i (m_i \times E'_i)}{\sum_i m_i} \quad (4)$$

kde:

- E'_i dílčí emise GHG z dosavadního životního cyklu produktu, respektive suroviny před vstupem do skladovací nebo výrobní jednotky (zahrnují např. emise původem z pěstování surovin, emise z dopravy suroviny apod.) připadající na tunu suroviny, vypočtené pro i -tou dodávku suroviny [$\text{g CO}_{2\text{eq}} \cdot \text{t}^{-1}$],
- m_i hmotnost i -té dodávky suroviny.

Dílčí emise GHG jsou dokládány na výstupu jednotlivých článků zpracovatelského řetězce. Emisní příspěvek následujících článků k dokladovaným dílčím emisím GHG je přehledně zobrazen v tab. 15.

Tabulka 15: Součásti dílčích výpočtů emisí

Příspěvek do dílčích emisí z používání daného paliva (E'_i)	e_{ec}	e_l	e_p	e_{td}	e_u	e_{sca}	e_{ccs}	e_{ccr}	e_{ee}
Pěstitel suroviny	●	○		○		○			
Obchodník, velkosklad				●					
Výrobce biopaliva			●	○			○	○	○
Distributor paliv				●					

- Započítány vždy.
- Započítány v závislosti na tom, zda jsou v daném článku produktového řetězce emise produkovány, příp. uspořeny.

Standardní hodnoty emisních faktorů původem z těžby nebo pěstování surovin pro Českou republiku jsou uvedeny v tab. 16. V případě vlastního výpočtu emisních faktorů je potřeba doložit kompletní postup výpočtu s uvedením použitých datových zdrojů.

Tabulka 16: Emisní faktory pro výpočet emisí původem z těžby nebo pěstování surovin

Emisní faktor	Hodnota	Jednotka	Zdroj
<i>Hnojiva</i>			
DAM, minerální půda	4590109	g CO _{2eq} .t ⁻¹	Projekt SPII4i1/33/07
LAV/LAD, minerální půda	4432170	g CO _{2eq} .t ⁻¹	Projekt SPII4i1/33/07
DASA, minerální půda	3967754	g CO _{2eq} .t ⁻¹	Projekt SPII4i1/33/07
NPK, minerální půda	2661706	g CO _{2eq} .t ⁻¹	Projekt SPII4i1/33/07
N-hnojivo	5880600	g CO _{2eq} .t ⁻¹	Projekt IEE/09/736/SI2.558249
P ₂ O ₅ -hnojivo	1010700	g CO _{2eq} .t ⁻¹	Projekt IEE/09/736/SI2.558249
K ₂ O-hnojivo	576100	g CO _{2eq} .t ⁻¹	Projekt IEE/09/736/SI2.558249
CaO-hnojivo	129500	g CO _{2eq} .t ⁻¹	Projekt IEE/09/736/SI2.558249
<i>Pesticidy</i>			
Bez rozlišení	10971300	g CO _{2eq} .t ⁻¹	Projekt IEE/09/736/SI2.558249
<i>Energetické zdroje</i>			
Nafta	2964,39	g CO _{2eq} .l ⁻¹	Projekt SPII4i1/33/07
MEŘO	1627,05	g CO _{2eq} .l ⁻¹	Projekt SPII4i1/33/07
Elektrická energie EU mix nízkonapěťový (2010)	129,19	g CO _{2eq} .MJ ⁻¹	Projekt IEE/09/736/SI2.558249
Elektrická energie EU mix středněnapěťový (2010)	127,65	g CO _{2eq} .MJ ⁻¹	Projekt IEE/09/736/SI2.558249

Standardní hodnoty emisních faktorů pro výpočet emisí původem ze zpracování pro Českou republiku jsou uvedeny v tab. 17. V případě vlastního výpočtu emisních faktorů je potřeba doložit kompletní postup výpočtu s uvedením použitých datových zdrojů.

Tabulka 17: Emisní faktory pro výpočet emisí původem ze zpracování

Emisní faktor	Hodnota	Jednotka	Zdroj
<i>Energetické zdroje</i>			
Elektrická energie EU mix nízkonapěťový (2010)	129,19	g CO _{2eq} .MJ ⁻¹	Projekt IEE/09/736/SI2.558249
Elektrická energie EU mix středněnapěťový (2010)	127,65	g CO _{2eq} .MJ ⁻¹	Projekt IEE/09/736/SI2.558249
Topný olej	84,98	g CO _{2eq} .MJ ⁻¹	Projekt IEE/09/736/SI2.558249
Zemní plyn (EU mix, 4000 km)	67,58	g CO _{2eq} .MJ ⁻¹	Projekt IEE/09/736/SI2.558249

Emisní faktor	Hodnota	Jednotka	Zdroj
Hnědé uhlí	116,99	g CO _{2eq} .MJ ⁻¹	Projekt IEE/09/736/SI2.558249
Černé uhlí	111,28	g CO _{2eq} .MJ ⁻¹	Projekt IEE/09/736/SI2.558249
Pšeničná sláma	1,81	g CO _{2eq} .MJ ⁻¹	Projekt IEE/09/736/SI2.558249
<i>Provozní materiály</i>			
Methanol	1981443	g CO _{2eq} .t ⁻¹	Projekt IEE/09/736/SI2.558249
HCl	750900	g CO _{2eq} .t ⁻¹	Projekt IEE/09/736/SI2.558249
NaOH	469300	g CO _{2eq} .t ⁻¹	Projekt IEE/09/736/SI2.558249
Na ₂ CO ₃	1190200	g CO _{2eq} .t ⁻¹	Projekt IEE/09/736/SI2.558249
H ₂ SO ₄	207700	g CO _{2eq} .t ⁻¹	Projekt IEE/09/736/SI2.558249
H ₃ PO ₄	3011700	g CO _{2eq} .t ⁻¹	Projekt IEE/09/736/SI2.558249
n-hexan	3630550	g CO _{2eq} .t ⁻¹	Projekt IEE/09/736/SI2.558249

V tab. 18 je bilance výtěžnosti a hodnotová alokace bioplynu na biomethan.

Tabulka 18: Bilance výtěžnosti a hodnotová alokace bioplynu na biomethan

Plodina	Produkce		Výtěžnost biopaliv	Alokační poměr pro úpravu bioplynu na biomethan
Siláž kukuřice	Bioplyn	52 %	198 - 206 m ³ bioplynu na 1 t siláže, průměr: 202 m ³	54,3 % ¹⁾
	Digestát	CH ₄		
Siláž žita	Bioplyn	52 %	159 - 167 m ³ bioplynu na 1 t siláže, průměr: 163 m ³	54,3 % ¹⁾
	Digestát	CH ₄		
Senáž TTP	Bioplyn	54 %	169 - 175 m ³ bioplynu na 1 t senáže, průměr: 172 m ³	56,1 % ²⁾
	Digestát	CH ₄		

¹⁾ Úprava surového bioplynu na biomethan: spalné teplo bioplynu 52 % CH₄ je cca 5,7 kWh/Nm³ při normálních referenčních podmínkách (0 °C; 1,013 bar). Spalné teplo biomethanu je cca 10,5 kWh/Nm³ při standardních referenčních podmínkách (15 °C; 1,13 bar)

²⁾ Úprava surového bioplynu na biomethan: spalné teplo bioplynu 54 % CH₄ je cca 5,9 kWh/Nm³ při normálních referenčních podmínkách (0 °C; 1,013 bar)

Výpočet emisní zátěže CO_{2eq} v g CO_{2eq}/kWh_{BP} původem z pěstování e_{ec} je členěn do následujících kroků:

- e_{ec1} Spotřeba fosilní energie v podobě PHM a s tím spojené přímé emisí CO₂ pro veškeré agrotechnické postupy potřebné na obdělávání zemědělské půdy, na níž budou pěstovány potřebné vstupy, vč. dopravy surovin do místa BPS a vykonávané strojní mechanizací (traktor, nákladní automobil, kolový nakladač apod. s dieselovým pohonem).
- e_{ec2} Nepřímá spotřeba fosilní energie na výrobu minerálních hnojiv potřebných pro pěstování předpokládaných vstupů a tím spojené emise CO_{2eq}.
- e_{ec3} Přímé i nepřímé emisí N₂O vznikající z rozkladu posklizňových zbytků a z aplikace minerálních i organických hnojiv na půdu a vyčíslení jejich skleníkového efektu v CO_{2eq}.

Pro výpočet množství emisí oxidu uhličitého, k němuž bude docházet v důsledku spotřeby pohonných hmot fosilního původu (v zásadě motorové nafty) strojovou technikou zajišťující potřebné suroviny pro výrobu bioplynu, resp. biomethanu, byly sestaveny měrné spotřeby energetické náročnosti pro jednotlivé agrotechnické úkony (viz tab. 19). Zahrnuje veškeré úkony vyžadující mechanizaci - od prvotní přípravy půdy až po uskladnění sklizně (silážování či senážování) a její postupné dávkování do fermentorů. Výsledné hodnoty absolutní spotřeby nafty v litrech v přepočtu na hektar té dané plodiny (substrátu) a rok uvádí

tab. 19. Nejvyšší hodnoty podle očekávání připadají na zajištění kukuřičné siláže - více než 170 litrů/ha.rok, nejméně naopak v případě travní senáže - cca 65 litrů/ha.rok. Situace se však mění po přepočtu těchto spotřeb do energetických jednotek - emisí CO_{2eq} a jejich vyjádření v přepočtu na kilowatthodinu vyrobeného bioplynu, jak uvádí tab. 20. Vážený průměr emisního faktoru této fáze e_{ec1} podle procentuálního zastoupení jednotlivých substrátů na celkové výrobě bioplynu činí 18,4 g CO_{2eq}/kWh_{BP}.

Tabulka 19: Spotřeba PHM (nafty) u mechanizace zajišťující potřebné úkony spojené se zabezpečením potřebných surovin pro výrobu bioplynu/biomethanu [l/ha.rok]

	Kukuřičná siláž	Travní senáž	Žito na GPS
Doprava a rozmetání hnojiv ¹⁾	15	7,8	15
Orba a úprava půdy na setí	32,7	-	32,7
Setí (u TTP údržba a doplň. zatravnění)	9,4	2,5	9,4
Odplevelení	3	0,275	3
Sklizeň	27,5	22	25
Doprava sklizně z pole do BPS ²⁾	28	7,7	14
Silážování	5,6	4,5	5,6
Dávkování do fermentoru	20	20	20
Doprava digestátu z BPS na pole ³⁾	31	-	31
Celkem	172	65	156

¹⁾ Zahrnuje dopravu organického či minerálního hnojiva po poli v délce 2 kg.

²⁾ Zahrnuje dopravu sklizně z pole do silážního žlabu v areálu BPS nákladním vozem o ložném objemu cca 50 m³, užité přepážkové hmotnosti 10 tun a měrné spotřeby motorové nafty 50 l/100 km v délce 15 km, vč. zpáteční cesty.

³⁾ Zahrnuje dodatečnou dopravu digestátu z BPS k aplikaci na pole cisternovým vozem o objemu 18 m³ v délce 15 km, vč. zpáteční cesty.

Zdroj: Internetový expertní systém „Technologie a ekonomika pěstování plodin, VÚZT, v.v.i.

Tabulka 20: Emisní faktor CO_{2eq} bioplynu vycházejícího ze spotřeby PHM (nafty) strojovou technikou na zajištění potřebných surovin - pěstované biomasy

	Jednotka	Kukuřičná siláž	Travní senáž	Žito na GPS
Ekvivalent spotřeby nafty	kWh/ha.rok	1707	642	1544
S tím spojené emise CO _{2eq}	kg CO _{2eq} /ha.rok	529	199	479
Emisní faktor CO _{2eq} vyrobeného bioplynu e _{ec1}	g CO _{2eq} /kWh _{BP}	13,3	20,7	27,8
Vážený průměr e_{ec1}	g CO_{2eq}/kWh_{BP}	18,4		

Každá ze zemědělských ploch využívaných pro pěstování uvedených surovin si bude vyžadovat jisté množství hnojiv (pro dodávku potřebného dusíku, fosforu, draslíku a dalších minerálních látek) a příp. prostředků na ochranu porostu (pesticidy, herbicidy).

S ohledem na zanikající živočišnou výrobu je tak dodavatel surovin nucen většinu potřebných minerálů a dalších minerálních látek dodávat ve formě minerálních hnojiv. S jejich výrobou se však pojí nemalá spotřeba energie, respektive emise skleníkových plynů. Navržený příklad tuto skutečnost v případě realizace (z)mění a umožní nahradit jistou část dusíkatých minerálních hnojiv prostřednictvím digestátu. Předpokládá se, že digestátem se podaří krýt mezi 50 % (kukuřice) až 100 % (TTP) dusíku, který bude potřeba porostům dodávat. Díky tomu bude spotřeba minerálního dusíku v případě kukuřice jen 100 kg/ha.rok (z celkových 200 kg N), u žita 50 kg (z celkových 80 kg N) a u travních porostů nebude aplikován žádný (pouze N v digestátu v množství 50 kg/ha.rok) - viz tab. 21. Skutečnost, že

příklad umožní spotřebu minerálních hnojiv snížit, se ve výpočtu zohledňuje „emisním kreditem“ (tj. odpočtem ekvivalentního množství skleníkových emisí, které tím budou eliminovány).

Výsledné hodnoty měrných emisí CO_{2eq} z výroby minerálních hnojiv v přepočtu na kWh vyrobeného bioplynu e_{ec2} uvádí tab. 22.

Tabulka 21: Množství minerálních hnojiv aplikovaných (spolu s organickými hnojivy - digestátem) na plochy využívané pro zabezpečení potřebných vstupů [kg/ha.rok]

	Kukuřičná siláž	Travní senáž	Žito na GPS
N	100	0	50
P ₂ O ₅	50	0	0
K ₂ O	0	0	0
Prostředky proti či na odplevelení	2	0,1	0,5

Tabulka 22: Spotřeba (primární) energie a s tím spojené emise CO_{2eq} vznikající z minerálních hnojiv spotřebovávaných pro zabezpečení potřebných surovin

	Jednotka	Kukuřičná siláž	Travní senáž	Žito na GPS
Emise CO _{2eq} spojené s výrobou použitých hnojiv	kg CO _{2eq} /ha.rok	732	1	330
Emisní kredit za úsporu minerálních dusíkatých hnojiv při použití digestátu	kg CO _{2eq} /ha	-647	0	-194
Měrné emise CO _{2eq} z výroby minerálních hnojiv na kWh vyrobeného bioplynu e _{ec2}	g CO _{2eq} /kWh _{BP}	2,1	0,1	7,9
Vážený průměr e _{ec2}	g CO _{2eq} /kWh _{BP}	2,7		

V souladu s metodickými pravidly IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) pro přípravy hodnotících a inventarizačních zpráv bilancujících emise skleníkových plynů, které jsou povinny vypracovávat země přistoupivší ke Kjótskému protokolu, dochází při aplikaci minerálních i organických hnojiv obsahujících dusík na půdu a při tlení posklizňových zbytků zůstávajících na poli i v zemi ke vzniku oxidu dusného - N₂O, jenž má mnohem větší skleníkový vliv než CO₂ (v časovém období 100 let je odhadován na cca 300x oproti CO₂). I přes relativně velkou míru nejistoty v určení přesného množství oxidu dusného, které při těchto procesech vzniká (různé studie a výzkumy vedou k násobným rozdílům), je nutné tento fakt do výpočtu emisního faktoru CO_{2eq} vyráběného bioplynu resp. biomethanu zohlednit. Využita byla pro tento účel nejnovější metodika IPCC, jež sloužila pro přípravu poslední hodnotící zprávy IPCC z roku 2007 (tzv. „IPCC Forth Assessment Report“).

Při výpočtu množství posklizňových zbytků na povrchu byl zohledněn fakt, že jak u kukuřice, tak i žita bude sklízena de facto veškerá biomasa (z důvodu využití celých rostlin pro výrobu řezanky, jež bude poté uskladněna pro výrobu siláže a senáže). Podíl zbytkové hmoty tak bude velmi malý.

Jelikož k emisím N₂O by docházelo při jakémkoliv užití půdy, je zohledňována tato skutečnost ve výpočtu tak, že od výsledných vypočtených emisí oxidu dusného je odečítána referenční hodnota odpovídající extenzivně obhospodařovaným plochám (Ahlgren, S. et al., 2009) a to ve výši 0,32 N₂O-N/ha.rok (pro přepočet do emisí N₂O je nutné tuto hodnotu násobit součinitelem 44/28 v souladu s metodikou IPCC).

Finální výpočet (viz tab. 23) z emisí N₂O do jejich skleníkového dopadu vyjádřeného kg CO_{2eq} e_{ec3} pak využívá koeficient definovaný ve směrnici RED, jehož výše činí pro N₂O 296.

Tabulka 23: Kalkulace množství N₂O vzniknuvšího při aplikaci dusíkatých hnojiv na půdu využívanou pro účely výroby bioplynu/biomethanu

	Jednotka	Kukuřičná siláž	Travní senáž	Žito na GPS
Přímé a nepřímé emise N ₂ O	kg/ha.rok	3,7	1,0	1,5
Emisní kredit (odpočet) referenčního užití půdy (jako extenzivní TTP)	kg/ha.rok	-0,5	-0,5	-0,5
Čistý skleníkový účinek	kg CO _{2eq} /ha.rok	956	149	308
Měrné emise CO _{2eq} na kWh vyrobeného bioplynu e _{ec3}	g CO _{2eq} /kWh _{BP}	24,1	15,6	17,9
Vážený průměr e _{ec3}	g CO _{2eq} /kWh _{BP}	20,3		

Úplná metodika výpočtu N₂O podle dostupného kalkulátoru IPCC 2007

Společné předpoklady				
F ₂₃₅ (annual amount of synthetic fertiliser N applied to soils, kg N yr ⁻¹)		100	0	50
F ₂₃₆ (annual amount of organic fertiliser N in digestate applied to soils, kg N yr ⁻¹)		100	50	30
F ₂₃₇		0	0	0
Přímé emise N₂O:				
N FROM CROP RESIDUES AND FORAGE/PASTURE RENEWAL (TIER 1):				
N ₂ O _{Direct-N} = N ₂ O-N _{Inputs} + N ₂ O-N _{OS} + N ₂ O-N _{RP}		2,08	0,54	0,87
N ₂ O-N _{Inputs}		2,08	0,54	0,87
EF ₁		0,01	0,01	0,01
F _{CS}		7,5	4,1	7,2
A _{OWT}		1,3	0,7	1,2
Yield _{Fresh(T)}		40	11	20
DRY		0,32	0,35	0,32
Crop(T)		12,8	3,85	6,4
Slope		0,05	0,1	0,08
Intercept		0,61	0,3	0,88
R _{OWT}		98	178	188
N _{OWT}		0,006	0,006	0,006
F _{TK_{OWT}}		0	0	0
R _{OWT}		0,22	0,22	0,22
N _{OWT}		0,007	0,007	0,007
F _{OM}		0	0	0
N ₂ O-N _{OS}		0	0	0
N ₂ O-N _{RP}		0	0	0
Nepřímé emise N₂O:				
N₂O FROM ATMOSPHERIC DEPOSITION OF N VOLATILISED FROM MANAGED SOILS (TIER 1):				
N ₂ O _{atm-N}		0,3	0,1	0,11
F _{TK_{atm}}		0,1	0,1	0,1
F _{TK_{atm}}		0,2	0,2	0,2
EF ₄		0,01	0,01	0,01
Emise N₂O-N celkem				
		2,38	0,64	0,98
Emise N₂O celkem				
		3,73	1,01	1,54
Skleníkový účinek N₂O celkem				
		1105	298	457
Předpoklady:				
Emise N ₂ O-N z referenčního porostu - extenzivní ttp		0,32		
Přepočet N ₂ O-N na N ₂ O		1,57		
Emisní faktor N ₂ O		296		

Celkový emisní faktor z pěstování $e_{ec} = e_{ec1} + e_{ec2} + e_{ec3} = 18,4 + 2,7 + 20,3 = 41,4$ g $CO_{2eq}/kWh_{BP} = 11,5$ g CO_{2eq}/MJ_{BP} . Celkový emisní faktor biomethanu byl vyčíslen na 100 g CO_{2eq}/kWh_{BP} . Na výsledném emisním faktoru se pěstování biosurovin podílí 41,4 %, zpracování 38 % a doprava a distribuce biomethanu 20,6 %. To je v dobré shodě s doposud prováděnými obdobnými operacemi, kdy v části „pěstování“ obvykle vzniká 30 - 70 % celkových emisí CO_{2eq} podle způsobu pěstování, „zpracování“ je odpovědné za 25 - 60 % a zbývající emisí (často relativně malé, obvykle v rozmezí 2 - 20 %) pocházejí z „dopravy a distribuce“.

Výsledný emisní faktor biomethanu 100 g CO_{2eq}/kWh_{BP} dosahuje cca 33 % emisního faktoru motorové nafty, kterou by měl využitím v městské dopravě nahradit 100 g CO_{2eq}/kWh spalného tepla u příkladu procesu výroby biomethanu oproti 302 - 315 g CO_{2eq}/kWh energetického obsahu motorové nafty dané výhřevnosti. Úspory emisí skleníkových plynů vyvolané předpokládaným používáním biomethanu v městské dopravě by tak činily minimálně 66 %.

V tab. 24 je proveden modelový výpočet emisí GHG pro FAME z řepkového oleje, palmového oleje a použitého rostlinného a živočišného oleje v souladu se směrnicí RED a zpracovanou metodikou bez změny ve využívání půdy.

Tabulka 24: Modelový výpočet emisí GHG pro FAME z řepkového oleje (ŘO), palmového oleje (PO) a použitého rostlinného a živočišného oleje (UCO) v souladu se směrnicí RED a zpracovanou metodikou bez změny ve využívání půdy

e_{ec}: Emise z těžby nebo pěstování surovin (sur)									
	[kg CO _{2eq} /t sur]	Rozložená standardní hodnota podle RED			Typická hodnota v ČR (VÚZT, v.v.i.)				
		[g CO _{2eq} /MJ FAME]							
Řepka olejka	591,08	(29)			23,2				e _{ec}
Palma olejná	123,04	14							
UCO	0,00	0							
e_i: Anualizované emise původem ze změn v zásobě uhlíku vyvolaných změnami ve využívání půdy									
		[g CO _{2eq} /MJ FAME]							
RED, Příloha V (C) body 7 a 8					0				e _i
e_p: Emise původem ze zpracování									
Lisování řepky, extrakce a rafinace ŘO									
Spotřeba řepky olejky	[t]	12 030,7	Spotřeba páry	[MJ]	6 688 000	Spotřeba el. energie	[kWh]	466 490,8	
Produkcce ŘO	[t]	4 969,4	Produkcce šrotů (Š)	[t]	7 003,5	Spotřeba hexanu	[kg]	5 320,0	
Spotřeba H ₃ PO ₄ 85 % m/m	[kg]	13 713,2	Spotřeba el. energie na čištění odp. vody	[kWh]	8 105,3	Výstup odpadní vody	[m ³]	2 391,9	
Spotřeba NaOH 50 % m/m	[kg]	44 414,9							
Bilance									
Výtěžnost ŘO	[t ŘO/t sur]	0,4131		[MJ ŘO/MJ sur]	0,5633				
Výtěžnost Š	[t Š/t sur]	0,5821		[MJ Š/MJ sur]	0,4123				
Emise z lisování, extrakce a rafinace ŘO									
			Emisní faktor (EF)	[kg CO _{2eq} /MJ]		[kg CO _{2eq} /t ŘO]		[g CO _{2eq} /MJ FAME]	
Spotřeba páry (hnědé uhlí)	[MJ/t ŘO]	134,583	x	0,11698	=	157,43		4,24	A
Spotřeba el. energie	[MJ/t ŘO]	33,794	x	0,12919	=	43,66		1,18	B
Emise z chemických činidel a chemikálií									
			EF	[kg CO _{2eq} /kg]		[kg CO _{2eq} /t ŘO]		[g CO _{2eq} /MJ FAME]	
Hexan pro extrakci	[kg/t ŘO]	1,07	x	3,60254	=	3,86		0,10	C
H ₃ PO ₄ 85 % m/m	[kg/t ŘO]	2,76	x 0,85	3,01170	=	7,06		0,19	D
NaOH 50 % m/m	[kg/t ŘO]	8,94	x 0,50	0,46930	=	2,10		0,06	E
Emise z odpadní vody									
			EF	[kg CO _{2eq} /m ³]		[kg CO _{2eq} /t ŘO]		[g CO _{2eq} /MJ FAME]	
Odpadní voda	[m ³ /t ŘO]	0,481	x	0,1400	=	0,07		0,00	F
			EF	[kg CO _{2eq} /MJ]		[kg CO _{2eq} /t ŘO]		[g CO _{2eq} /MJ FAME]	
Spotřeba el. energie ČOV	[MJ/t ŘO]	5,87	x	0,12919	=	0,76		0,02	G

Dílčí součet				[kg CO _{2eq} /t ŘO]	[g CO _{2eq} /MJ FAME]			
Nealokované výsledky		(A + B + C + D + E + F + G)		=	214,94	5,79	H	
Alokované výsledky		(H) x Alok 1 x Alok 2		=		3,21	I	
Alokace ŘO a Š podle jejich výhřevnosti LHV								
		Výtěžnost		LHV		Alokační faktor		
		[kg/kg sur]		[MJ/kg]				
ŘO		0,4131		37,0		0,5841 (58,41 %)	Alok 1	
Š		0,5821		18,7		0,4159 (41,59 %)		
		[g CO _{2eq} /MJ FAME]		[g CO _{2eq} /MJ ŘO]		[kg CO _{2eq} /t ŘO]		
Celkové emise připadající na ŘO		29,14		30,04		1111,39		
Celkové emise připadající na PO		36,00	[g CO _{2eq} /MJ PO] - údaje dodavatele - skutečná hodnota					
Celkové emise připadající na UCO		14,00	[g CO _{2eq} /MJ UCO] - standardní hodnota - směrnice RED					
Výroba FAME reesterifikací								
Spotřeba ŘO	[t]	3 385,1	Spotřeba páry	MJ	2 211 800,0			
Spotřeba UCO	[t]	10,0	Spotřeba el. energie	kWh	36 027,7			
Spotřeba PO	[t]	21,2						
Celková spotřeba sur	[t]	3 416,3						
Celková produkce FAME	[t]	3 408,9	Spotřeba el. energie na čištění odp. vody	[kWh]	8 105,3			
Produkce surového glycerinu	[t]	433,6	Výstup odpadní vody	[m ³]	2 391,9			
Spotřeba methanolu	[kg]	314 948,3	Spotřeba methanolátu Na 30 % m/m	[kg]	59 957,4			
Spotřeba NaOH 50 % m/m	[kg]	1 553,7						
Spotřeba C ₆ H ₈ O ₇ 50 % m/m	[kg]	2 602,7						
Bilance								
Výtěžnost reesterifikace	[t FAME/t sur]	0,9978		[MJ FAME/MJ sur]	1,031			
	[t glycerinu/t sur]	0,1269						
Emise z procesu reesterifikace								
			EF	[kg CO _{2eq} /MJ]	[kg CO _{2eq} /t FAME]	[g CO _{2eq} /MJ FAME]		
Spotřeba páry (hnědé uhlí)	[MJ/t FAME]	648,82	x	0,11698	=	75,90	2,04	J
Spotřeba el. energie	[MJ/t FAME]	38,05	x	0,12919	=	4,92	0,13	K

Emise z chemických činidel a chemikálií		EF	[kg CO _{2eq} /kg]	[kg CO _{2eq} /t FAME]	[g CO _{2eq} /MJ FAME]				
Methanol	[kg/t FAME]	92,39	x	1,2500	=	115,49	3,100	L	
Spotřeba NaOH 50 % m/m	[kg/t FAME]	0,46	x 0,50	x	0,4693	=	0,11	0,003	M
Spotřeba C ₆ H ₈ O ₇ 50 % m/m	[kg/t FAME]	0,76	x 0,50	x	0,4300	=	0,16	0,004	N
Spotřeba methanolátu Na 30 % m/m	[kg/t FAME]	17,59	EF	[kg CO _{2eq} /kg]					
- Spotřeba 70 % m/m methanolu	[kg/t FAME]	12,31	x	1,2500	=	15,39	0,41	O	
- Spotřeba NaOH	[kg/t FAME]	3,91	x	0,4693	=	1,83	0,05	P	
- Spotřeba methanolu	[kg/t FAME]	3,13	x	0,2500	=	3,91	0,11	Q	
Emise z odpadní vody			EF	[kg CO _{2eq} /m ³]	[kg CO _{2eq} /t FAME]	[g CO _{2eq} /MJ FAME]			
Odpadní voda	[m ³ /t FAME]	0,70	x	0,1400	=	0,10	0,00	R	
Spotřeba el. energie ČOV	[MJ/t FAME]	8,56	EF	[kg CO _{2eq} /MJ]	[kg CO _{2eq} /t FAME]	[g CO _{2eq} /MJ FAME]			
			x	0,12919	=	1,11	0,03	S	
Dílčí součet					[kg CO _{2eq} /t FAME]	[g CO _{2eq} /MJ FAME]			
	Nealokované výsledky	(J+K+L+M+N+O+P+Q+R+S)			=	218,91	5,88	T	
	Alokované výsledky	(T) x Alok 2			=	5,58		U	
Alokace FAME a glycerinu podle jejich výhřevnosti LHV									
	Výtěžnost [kg/kg sur]			LHV [MJ/kg]			Alokační faktor		
FAME	0,9978			37			0,9479 (94,79 %)	Alok 2	
Glycerin	0,1269			16			0,0521 (5,21 %)		
e_p: Emise původem ze zpracování					[kg CO _{2eq} /t FAME]	[g CO _{2eq} /MJ FAME]			
	Nealokované výsledky	(H + T)			=	433,85	11,68		
	Alokované výsledky	(I + U)			=	325,47	8,75	e _p	
e_{td}: Emise původem z přepravy a distribuce						[g CO _{2eq} /MJ FAME]			
FAME z ŘO (MEŘO)									
	Rozložená standardní hodnota podle RED, Příloha V (C)				=		1	e _{td}	
POME z PO									
	Rozložená standardní hodnota podle RED, Příloha V (C)				=		5	e _{td}	
UCOME z UCO									
	Rozložená standardní hodnota podle RED, Příloha V (C)				=		1	e _{td}	

e_u: Emise původem z používání daného paliva							[g CO _{2eq} /MJ FAME]
Emise pocházejí z použití biopaliv a biokapalin se pokládají za nulové	0						e _u
e_{sca}: Úspora emisí vyvolané nahromaděním uhlíku v půdě díky zdokonaleným zemědělským postupům							[g CO _{2eq} /MJ FAME]
Úspora emisí akumulací uhlíku do půdy díky zdokonalením zemědělských postupů	0						e _{sca}
e_{ccs}: Úspora emisí vyvolané zachycením, sekvestrací a geologickým ukládáním uhlíku							[g CO _{2eq} /MJ FAME]
Úspora emisí vyvolané zachycením a geologickým ukládáním uhlíku	0						e _{ccs}
e_{ccr}: Úspora emisí vyvolané zachycením a náhradou uhlíku							[g CO _{2eq} /MJ FAME]
Úspora emisí vyvolané zachycením a náhradou uhlíku	0						e _{ccr}
e_{ee}: Úspora emisí v důsledku přebytečné elektřiny z kombinované výroby elektřiny a tepla (kogenerace)							[g CO _{2eq} /MJ FAME]
Úspora emisí v důsledku přebytečné elektřiny z kogenerace	0						e _{ee}
E_B: Celkové emise z biopaliv							
	Standardní hodnoty RED [g CO _{2eq} /MJ FAME]			Model [g CO _{2eq} /MJ FAME]			
	MEŘO	POME	UCOME	MEŘO	POME	UCOME	
e _{ec} :	29	14	0	23,20	36,00		
e _i :				0,00			
e _p :	22	18	13	8,79	5,58	18,58	
e _{td} :	1	5	1	1,00	1,27	1,00	
e _u :				0,00			
e _{sca} :				0,00			
e _{ccs} :				0,00			
e _{ccr} :				0,00			
e _{ee} :				0,00			
Celkem	52	37	14	32,95	42,85	19,58	E _B
Úspory emisí GHG							
	Úspory emisí GHG (%) = [(E _F - E _B) / E _F] x 100						
E _F : Celkové emise z referenčního fosilního paliva (motorová nafta)	Standardní hodnoty RED [g CO _{2eq} /MJ FAME]			Model [g CO _{2eq} /MJ FAME]			
	MEŘO	POME	UCOME	MEŘO	POME	UCOME	
E _F =	83,8	83,8	83,8	83,80	83,80	83,80	
E _B : Celkové emise z biopaliva	E _B =	52,0	37,0	14,0	32,95	42,85	19,58
ÚSPORY EMISÍ GHG		38,0 %	56,0 %	83,0 %	60,68 %	48,87 %	76,64 %

Typické emise GHG z pěstování řepky olejky, ozimé pšenice, kukuřice na zrno a technické cukrovky určených pro výrobu biopaliv v ČR byly vypočteny a uvedeny ve zprávě za tuto etapu záměru v roce 2010. Metody výpočtu bilance emisí GHG v souladu se směrnicí RED, emisní faktory hnojiv, biocidů, energetických zdrojů, chemických činidel a reagentů byly uvedeny ve zprávě za tuto etapu v roce 2011. Pravidla alokace, podle kterých se rozdělují produkty z určité fáze výrobního a dopravního řetězce na biopalivo/biokapalinu samotné nebo meziprodukty, druhotné produkty, zbytky a odpady, byla popsána ve zprávě za tuto etapu v roce 2012. Modelový propočtení (tab. 5.2), zahrnující v současnosti dosahované výtěžnosti, měrné spotřeby hnojiv, biocidů, vstupní energie, chemických činidel a reagentů, potvrzuje hodnotu úspor emisí GHG bez ILUC faktorů u FAME a MEŘO vyšší než 60 %. Od roku 2017 je požadována 50% úspora emisí GHG u biopaliv a od roku 2018 je u nových výrobních zařízení biopaliv požadavek na min. 60% úsporu GHG.

6.1 Směry technologického vývoje biopaliv a zlepšování jejich kvality

Snaha o snižování emisí se projevuje nejen tlakem na technická vylepšení vozidel, zejména v oblasti vstřiku paliva, způsobu spalování a úpravy emisí výfukových plynů, ale i tlakem na kvalitativní úpravy paliv a biopaliv. V průběhu roku 2012 a 2013 došlo ke zvýšení požadavků na jakost prakticky u všech používaných druhů paliv. Zvláště v technických normách na čistá biopaliva a vysokoprocentní směsi biopaliv s fosilními palivy se výrazně zpřísnily požadavky na oxidační stabilitu. To vyžaduje podstatně pečlivější způsob manipulace a skladování pro zamezení degradace a mikrobiální kontaminaci biopaliv a směsných paliv. Dodržování jakostních požadavků je také nutnou podmínkou podpor. V září 2013 byla schválena technická norma EN 590 „Motorová paliva - Motorové nafty - Technické požadavky a metody zkoušení“. Byly do ní zahrnuty požadavky směrnice o kvalitě paliv. Mezní hodnoty pro přidávání FAME jsou nastaveny na max. 7 % V/V. Tuto hodnotu nelze zaměnit za další obnovitelné či neobnovitelné uhlovodíky. Jde o uhlovodíky odvozené z hydrogenovaného rostlinného oleje (HVO), biomasy ke zkapalnění (BtL), plynu ke zkapalnění (GtL), protože tyto parafinické motorové komponenty jsou povoleny v jakémkoliv poměru za předpokladu, že konečná směs je v souladu s požadavky EN 590. Pro zážehové motory je určen automobilový benzin, vesměs ve dvou oktánových hladinách 95 a 98. V normě ČSN EN 228 došlo k zásadní změně. Kromě dosavadního druhu, který mohl obsahovat kyslíkaté látky až do obsahu kyslíku 2,7 % m/m, je nově možné používat i automobilový benzin s obsahem kyslíku až do 3,7 % m/m. Znamená to možnost použít přísady ethanolu až do objemu 10 % anebo étery až do množství 22 % V/V, nebo kombinaci ethanolu a éterů. Další kyslíkaté látky, tj. vyšší alkoholy, se ve větší míře nepoužívají. Automobilový benzin s obsahem kyslíku do 3,7 % m/m se musí při prodeji označit, obvykle se označuje symbolem E10. Palivo je určeno pro vozidla obvykle vyrobená po roce 2000, přesný seznam vozidel a jednotlivých typů je k dispozici u jednotlivých výrobců.

Do roku 2020, jak je patrné z tab. 25, je vedle výše zmíněné bionafty a hydrogenované bionafty uskutečnitelná dále výroba bioethanolu z lignocelulósových a biomethanu z biologicky rozložitelných zbytků a odpadů. Kapacity významné z hlediska trhu je v případě konverze zbytkové, odpadní a energetické biomasy a řas na syntetická biopaliva BtL možné očekávat spíše několik let po roce 2020. A to i přes dlouhou řadu let trvající výzkum a vývoj, nedávné investice do několika zkušebních, pilotních a demonstračních zařízení v USA, EU i jinde. Dokonce i s pomocí vysokých státních dotací jsou komerční rizika stále značná, zvláště vezmeme-li v úvahu velké výkyvy cen ropy, celosvětovou krizi na finančních trzích a s tím související nejistotu investic.

Tabulka 25: Současný stav a možnosti výroby biopaliv ze zbytků biomasy a biogenních odpadů klasifikovaných podle směrnice RED jako moderní

	Konverzní technologie	Výchozí surovina	Instalované kapacity v tržně relevantní velikosti		
			již zavedené	možné zavedení do roku 2020	očekávané zavedení po roce 2020
FAME	Transesterifikace	Odpadní rostlinné a živočišné oleje, resp. tuky kategorie I a II	ANO	ANO	ANO
HWVO, HEFA	Hydrogenační rafinace, hydrozpracování, izomerizace, metatheze	Odpadní rostlinné a živočišné oleje, resp. tuky kategorie I a II, estery, mastné kyseliny a podobné produkty	ANO (v EU)	ANO	ANO
Bioethanol	Aerobní fermentace, destilace	Sláma, lignocelulózové zbytky, celulózové podíly komunálních a průmyslových odpadů	ANO (v EU)	ANO	ANO
Biomethan	Anaerobní fermentace, úprava bioplynu na kvalitu methanu (CNG)	Kejda, hnůj, čistírenské kaly, biologicky rozložitelná část komunálních a průmyslových odpadů, technický surový glycerin, lihovarské výpalky	ANO (v EU)	ANO	ANO
Syntetická biopaliva BtL	Zplyňování, karbonizace, torrefikace, rychlá pyrolýza, hydrotermální karbonizace a jejich kombinace	Sláma, lignocelulózové zbytky a vláknina, kukuřičné klasy, plevy, biologicky rozložitelná část komunálních a průmyslových odpadů, technický surový glycerin, pryskyřice z tálového oleje	NE	NE	ANO

V současné době až do konce roku 2016 je zákonem o ovzduší požadováno snížení emisí GHG z pohonných hmot o 2 %. Těto hodnoty je možné dosáhnout při současném stavu využívání certifikovaných biopaliv ovšem jen za předpokladu, že vykazují hodnotu úspor emisí GHG alespoň 47 % oproti nařízení vlády o kritériích udržitelnosti biopaliv, které musí činit 35 % do konce roku 2016. Od 1.1.2017 je povinnost snížit emise GHG z pohonných hmot o 4 % a požadavek na úsporu emisí GHG u biopaliv je 50 %. Proto se v tomto období až do konce roku 2019 musí zvýšit výroba biopaliv z 4,22 % e.o. na 7,27 % e.o. při průměrné úspoře emisí GHG u biopaliv 55 %. Protože od 1.1.2020 je požadavek na 6% snížení emisí GHG z pohonných hmot, budou jejich distributoři tlačit na co nejvyšší úsporu emisí GHG u nakupovaných biopaliv. Například při 75% úspoře emisí GHG to znamená 8% e.o. podíl biopaliv. V té době by se měl projevit dopad používání zbytkové a odpadní biomasy a pokles nárůstu ploch zemědělské půdy pro účely výroby biopaliv. Nutnou podmínkou splnění této hodnoty je nezbytná legislativní a ekonomická stimulace výzkumu a vývoje moderních biopaliv.

7. Nákladovost a strategie pro rozšíření moderních biopaliv

7.1 Nákladovost moderních biopaliv

Moderní biopaliva jsou obecně vyráběna z nepotravinářských surovin a bezprostředně nekonkurují potravinářskému sektoru. Vzhledem k technologické a finanční náročnosti jejich výroby nejsou v současnosti využitelné k plošnému komerčnímu využití. V blízké budoucnosti však lze očekávat jejich postupné rozšiřování, a proto je nutné zajistit, aby tato biopaliva byla co nejvíce konkurenceschopná vůči ostatním využívaným tradičním biopalivům.

V tab. 26 jsou uvedeny technicko-ekonomické parametry výrobní jednotky vycházející ze zkušební technologické linky VÚZT, v.v.i. - PolyComp, a.s. s výkonností 20 kg/hod. TAP. Bilanční údaje vycházejí z ověřování této zkušební linky. Z důvodu rezervy pro rozhodovací proces dalšího vývoje u výhřevnosti syntézního plynu a účinnosti procesu byly zvoleny podprůměrné hodnoty z celkově naměřených. Modelové ekonomické zhodnocení je provedeno pro kapacitu provozní linky 4000 t/rok TAP. Výsledky jsou určeny k další optimalizaci procesu a zejména návrhu a výroby provozních termolýzních reaktorů s výkonností 0,5 - 1 t/hod. TAP.

Tabulka 26: Bilance a základní ekonomické zhodnocení výroby syntézního plynu podle technologie VÚZT, v.v.i. Praha - PolyComp, a.s. Poděbrady z tuhého alternativního paliva (TAP) s podílem biomasy 60 % m/m

Položka	Hodnota
Zpracovávané množství TAP	4000 t/rok
Investice - kontejnerové provedení	40 mil. Kč
Bilanční vyhodnocení	
Vstupní TAP	1 kg
Tuhý termolýzní zbytek - polokoks (13 %)	0,13 kg
Syntézní plyn	1,978 kg (1,72 m ³ _N)
Dodaná energie pro termolýzu	0,7 kWh/kg TAP
Spalné teplo syntézního plynu	10,9 MJ/m ³ _N
Výhřevnost TAP	25,1 MJ/kg
Energie výstupní	18,7 MJ/kg TAP
Energie vstupní	27,6 MJ/kg TAP
Účinnost procesu	67,7 %

Ekonomické zhodnocení	
Cena TAP	0,60 Kč/kg
Cena vstupní tepelné energie	0,42 Kč/kg
Cena vstupní elektrické energie	0,77 Kč/kg
Mzdy a pojistné (4 pracovníci, 20 tis. Kč/měsíc/prac.)	0,33 Kč/kg
Režijní náklady (30 % mezd + pojištění)	0,10 Kč/kg
Údržba a opravy	0,50 Kč/kg
Odpisy pořizovacích nákladů	1,26 Kč/kg
Logistické náklady	0,50 Kč/kg
Náklady na uložení polokoksu	0,42 Kč/kg
Náklady celkem	4,90 Kč/kg TAP
Energetický zisk výstupu (18,7 MJ/kg TAP při měrné ceně zemního plynu 0,315 Kč/MJ)	5,90 Kč/kg TAP
Ekonomický výnos	1,00 Kč/kg TAP
Roční hrubý zisk	4 mil. Kč

Celkové náklady na výrobu moderních biopaliv biochemickými a termochemickými výrobními postupy zatím není možné přesně stanovit, a proto je třeba s údaji o nich zacházet z obchodního hlediska velmi opatrně. Porovnání biochemického a termochemického výrobního postupu se ukázalo být v rámci tohoto odvětví velmi problematické a při nedostatku jakýchkoliv zveřejněných skutečných údajích o nákladech představuje velmi složitý úkol.

Výrobní náklady v komerčním měřítku vztahující se k moderním biopalivům se pohybují podle odhadu Mezinárodní agentury pro energii (IEA) v případě ethanolu v rozmezí 0,80 – 1,0 USD/litr benzinového ekvivalentu (lge). Pokud jde o syntetickou naftu, jedná se nejméně o 1 USD/litr naftového ekvivalentu. Toto cenové rozmezí úzce souvisí s velkoobchodními cenami benzínu nebo nafty, jestliže se cena surové nafty pohybuje mezi 100 - 130 USD za barel. Protože ceny nafty a benzínu podléhají v současné době velkým výkyvům, představují nyní investice do moderních biopaliv při stávajících výrobních nákladech vysoce rizikové podnikání, a to zvláště za situace, kdy jiné alternativy k tradiční naftě, jako jsou nový těžký topný olej, dehtové písky, kapalné palivo z plynu a kapalné palivo z uhlí, mohou konkurovat naftě cenou kolem 65 USD za barel, přičemž se berou v úvahu požadavky na infrastrukturu, v praxi osvědčené postupy a přijatelná kapitálová návratnost, ale s vyloučením jakýchkoliv budoucích sankcí ukládaných za vyšší obsah emisí CO₂ za ujetý kilometr, jestliže se výpočet provádí na základě životního cyklu.

Hlavní důvody velkých rozdílů mezi předpokládanými náklady spočívají v měnících se prognózách nákladů za výchozí surovinu a ve stanovení doby, kdy budou k dispozici jak dodavatelský řetězec výchozích surovin, tak konverzní technologie. Přestože jsou moderní biopaliva stále ještě ve stádiu, které předchází jejich uvedení na trh, očekává se, že jejich rozšířené používání povede ke zdokonalení technologií, snížení nákladů na stavbu výrobních závodů, získání zkušeností z provozu a k aplikaci teoretických poznatků v praxi. Možnosti snižování nákladů budou pravděpodobně větší v případě ethanolu vyráběného biochemickou cestou, než u kapalných paliv vyráběných termochemicky, protože velká část technologického zařízení pro závody produkující palivo z tuhé biomasy (BTL) na bázi Fischer-Tropschovy konverze je už teď na vysoké úrovni a celý výrobní proces bude především spojovat některé již vyzkoušené součásti dohromady. To znamená, že v případě termochemicky vyráběných kapalných paliv jsou pro snižování nákladů pouze omezené možnosti.

Avšak pokud dojde k obchodnímu využití těchto biopaliv v letech 2018 až 2020 a k jejich celosvětovému rozšíření po roce 2020, potom by náklady mohly klesnout a pohybovat se v rozmezí 0,55 až 0,60 USD/lge jak pro ethanol, tak i pro syntetickou naftu. Ethanol by byl

potom konkurenceschopný přibližně při 70 USD za barel a syntetická nafta a letecké palivo přibližně při 80 USD za barel. V roce 2050 by se náklady na biopaliva mohly dále snížit a tyto by se potom staly konkurenceschopné už při ceně pod 70 USD za barel.

Úspěšný vývoj je podmíněn splněním náročných úkolů v oblastech technologie a úrovní příslušných znalostí. Úspěšné obchodní využití a rozšíření nových technologií pro výrobu biopaliv bude vyžadovat významný pokrok v mnoha oblastech, jestliže se mají překonat problémy ve výrobních postupech a v nákladech, které jsou v současnosti aktuální. Dále jsou uvedeny hlavní oblasti vyžadující pozornost:

- Větší znalost výchozích surovin a zkušeností s nimi, snížení nákladů, které se k nim vztahují a vývoj energetických plodin
 - Jsou nezbytné větší znalosti výchozích surovin, které jsou v současnosti k dispozici, jejich zeměpisné rozšíření a náklady s nimi spojené. Měly by se přebírat zkušenosti získané při produkci různých plodin použitých jako výchozí suroviny (např. prosa prutnatého, ozdobnice, topolu, eukalyptu, vrby) v různých regionech, aby se lépe porozumělo jejich výnosovým charakteristikám, způsobu pěstování a nákladům na jejich produkci.
 - Je třeba určit ideální znaky a vlastnosti jednotlivých výchozích surovin za účelem maximalizace jejich účinnosti při konverzi na moderní biopaliva a rovněž pro postupné zlepšování jich samotných. Tento proces by mohl být urychlen v maximální míře investicemi do výzkumu a vývoje.
 - Je třeba nejprve v malém měřítku vyhodnotit zavedení produkce energetických plodin, aby se zjistila velikost pěstitelské plochy potřebné k zásobování budoucího výrobního závodu. Ačkoliv je možné, že v některých oblastech bude k dispozici dostatek zbytků ze zemědělské a lesní výroby, které by mohly být dodávány do několika výrobních závodů, je pravděpodobné, že velkovýroba bude vyžadovat určité energetické plodiny, buď jako doplněk, nebo v některých regionech jako jedinou výchozí surovinu. Měla by být určena optimální velikost výrobního závodu pro různé situace při využití místních, spolehlivých a z hlediska nákladů efektivních dodávek výchozích surovin.
- Zdokonalení technologie při biochemickém způsobu produkce biopaliv, které zahrnuje předběžné zpracování, enzymy, zvýšení efektivnosti a snižování nákladů
 - Cílem vědeckého zkoumání zůstává potřeba pochopit a ovlivňovat proces tolerance k ethanolu, koncentrace cukrů a rovněž resistenci k potenciálním inhibitorům vzniklým před zcukernatěním. K řešení těchto úkolů bude rovněž potřebné omezit variabilitu mezi výchozími surovinami na bázi biomasy. Zatímco fermentace pentózy bylo dosaženo na ideálních substrátech (jako jsou laboratorní přípravky na bázi cukrů určené k simulování dokonale předběžně zpracované výchozí suroviny), zbývá ještě vyřešit problém, jak toto aplikovat na v současnosti běžné lignocelulózové výchozí suroviny.
 - Protože existuje velký počet jednotlivých procesů, které se podílí na celkové přeměně lignocelulózové biomasy na bioethanol, jsou zde značné možnosti spojit je v jeden proces. To by mohlo přinést nižší kapitálové a provozní náklady a rovněž zajistit optimální výrobu cenných druhotných produktů. Protože je vývoj stále ještě ve stádiu, kdy se nejedná o obchodní využití, je možné se soustředit na vytvoření těch nejučinnějších postupů a systémů.
- Zdokonalení technologie při termochemickém způsobu výroby biopaliv, které zahrnuje předběžné zpracování, zplyňování, zvýšení efektivnosti a snižování nákladů
 - Palivo vyrobené z tuhé biomasy musí počítat s konkurencí, kterou představuje další vývoj procesu zplyňování biomasy v komerčním měřítku vedoucí k produkci syntézního plynu, který by splňoval přísné normy používané pro celou řadu technologií v oblasti výroby biopaliv, jako je např. Fischer-Tropschova syntéza (FT). I přes trvajících úsilí v oblastech výzkumu a obchodu a navzdory pokroku, ke kterému v poslední době

došlo, stále nejsou k dispozici nákladově přijatelné a spolehlivé způsoby velkovýrobního zplyňování biomasy. Cílem by mělo být vytvoření spolehlivých technologií, které budou dostupné a budou produkovat čistý plyn, který nebude poškozovat katalyzátory Fischer-Tropschovy reakce, nebo které mohou být vyčištěny tak, aby splňovaly výše uvedené normy bez vynaložení značných dodatečných nákladů. Za předpokladu, že budou odstraněny problémy s množstvím nečistot v požadovaném syntézním plynu, se ukazuje jako nejvhodnější způsob výroby biopaliva z tuhé biomasy tzv. hořákový typ zplyňování, při kterém je tuhá látka ve formě jemných částic unášena ve zředěné formě plynem proudícím vysokou rychlostí.

- Zvýšení efektivity a snižování nákladů během procesu syntézy biopaliv patří mezi důležité cíle výzkumu a vývoje, ačkoliv k zlepšení bude pravděpodobně docházet kvůli poměrně vyspělým technologiím. Také vývoj katalyzátorů, které jsou odolnější vůči nečistotám a mají delší životnost, by mohl pomoci snížit náklady.
- Druhotné produkty a proces integrace
 - Produkce cenných druhotných produktů během výroby moderních biopaliv představuje možnost, jak zvýšit celkové výnosy z celého procesu. Optimalizace procesu konverze (přeměny) za účelem dosažení maximální hodnoty vyrobených druhotných produktů (teplo, elektřina, různé chemikálie atd.) se musí provádět u různých druhů výchozích surovin a rovněž u různých způsobů konverze. Flexibilita, pokud jde o podíly produkce druhotných produktů, bude pravděpodobně účinnou ochranou před cenovými riziky, která se k těmto produktům vztahuje.
 - Analýzy trhu s biopalivy a druhotnými produkty spojenými s jejich produkcí musí vzít v úvahu všechny nevýhody a náklady, ale současně i výhody včetně rozvoje venkova, zaměstnanosti, energetické bezpečnosti, separace uhlíku z průmyslových emisí pomocí chemické reakce (sekvestrace) atd., jestliže se má provést skutečně objektivní vyhodnocení jejich použití.

7.2 Strategie pro rozšíření moderních biopaliv

Strategie pro jejich rozšíření spadá obecně do dvou kategorií: cíle stanovené pro směšování paliv (které mohou být povinné nebo dobrovolné) a daňové kredity. Povinné cíle poskytují jistotu, pokud jde o výsledky, ale ne pokud jde o potenciální náklady, zatímco u daňových kreditů je to obráceně. Jaké metody si jednotlivé země vyberou, bude záviset na jejich strategických cílech a na tom jak vyhodnotí možná rizika.

Strategie rozšíření moderních biopaliv má zásadní význam v situaci, kdy je žádoucí rychlý rozvoj celého průmyslu, při kterém se snižují náklady spojené s nabýváním znalostí a praktických zkušeností. Jinak bude toto rozšiřování a snižování nákladů probíhat pravděpodobně pomalu, protože počáteční strategie umístování na trhu se zaměřuje na příležitosti s možným ziskem, kde náklady a rizika jsou nízké.

Pokračující podpora poskytovaná vládami na vývoj moderních biopaliv je velmi důležitá, ale neměla by být poskytována na úkor omezování v současné době realizovaných programů na rozvoj konvenčních biopaliv. K zajištění hladkého přechodu od konvenčních k moderním biopalivům by se mohla tato biopaliva vzájemně doplňovat tam, kde je to považováno za žádoucí (například kvůli úspoře nákladů, zajištění dodávek nebo snížení emisí GHG), avšak možná bude třeba uplatnit odlišné strategie kvůli rozdílům ve stupni jejich vývoje.

K dosažení pokroku v této oblasti je nezbytné zjistit a přesně popsat vztah biopaliv k životnímu prostředí. Je třeba dohodnout přístupy k tvorbě a zavádění norem a způsoby hodnocení, stejně jako optimalizace metody certifikace udržitelné biomasy. Do toho musí být zahrnuta produkce biomasy jako výchozí suroviny a možné dopady ILUC. Strategie navržené

k využití těchto opatření by mohly fungovat jako pevně stanovená pravidla mezi vládami států a výrobci, nebo by mohly být navrženy tak, aby sloužily jako tržní nástroj napojením na regionální a mezinárodní systémy obchodu s emisemi mezi členskými zeměmi Evropské unie.

Předpokládá se, že technologie určené k produkci moderních kapalných biopaliv pro sektor dopravy budou v blízké budoucnosti konkurenceschopné s ropnými produkty na trhu pouze v tom případě, že cena ropy bude podstatně vyšší než 100 USD/barel. Mělo by se vzít v úvahu dlouhodobé hledisko, a to bez zdržení investic potřebných k tomu, aby byla tato biopaliva dříve uvedena na trh. Rozhodujícím předpokladem je mezinárodní spolupráce, ačkoliv se musí také zohlednit překážky těchto investic, které představují práva na duševní vlastnictví. Spolupráce mezinárodních organizací by se měla rozšířit o veřejné i soukromé organizace, které se aktivně podílejí na vývoji a dlouhodobém využití moderních biopaliv.

8. Závěry

Produkce konvenčních biopaliv, založená převážně na tradičních plodinách pěstovaných jinak pro výrobu potravin, se během několika posledních let prudce zvýšila jako reakce na problémy související se zajištěním dodávek energie, rostoucí ceny ropy a změny klimatu. V důsledku lepšího pochopení celkových emisí GHG, které je výsledkem podrobných analýz životního cyklu a s tím souvisejících přímých a nepřímých změn ve využívání půdy, byla v nedávné době nastolena otázka přínosů těchto biopaliv pro životní prostředí.

Kde je produkce biopaliv založena na zpracování zbytků zemědělských plodin a z lesnické činnosti, nebo na vysokých výnosech nepotravinářských energetických plodin jinak pěstovaných pro krmné účely, tam mají být biopaliva vyráběna udržitelnějším způsobem, s lepšími příležitostmi pro využívání půdy, včetně možné produkce na pozemcích v okrajových oblastech.

Avšak plné uvedení na trh moderních BtL biopaliv vyrobených buď biochemickou nebo termochemickou metodou konverze je, jak se zdá, ještě vzdálené několik let. A to i přes několik desetiletí trvající výzkum a vývoj a nedávné investice do několika pilotních a experimentálních zařízení v USA, Evropě i jinde. Dokonce i s pomocí vysokých státních dotací jsou komerční rizika stále vysoká, zvláště vezmeme-li v úvahu velké výkyvy cen ropy zaznamenané v nedávné minulosti, celosvětovou krizi na finančních trzích a s tím související nejistotu investic.

Není pochyb o tom, že v průběhu poslední dekády došlo ke značnému pokroku ve výzkumu a vývoji, po kterém následovaly investice z veřejných i soukromých zdrojů. Mezi úspěchy je možné počítat vývoj zdokonalených mikroorganismů a vyhodnocení inovačních konverzních technologií s vyšší výkonností a účinností. Výrobci také lépe chápou celý zásobovací řetězec surovin, ať už se jedná o zbytky plodin nebo zbytky z lesní výroby nebo z účelově pěstovaných plodin potřebných k poskytnutí výchozí suroviny o konzistentní kvalitě a dodávané celoročně přímo do konverzního zařízení. Pozitivní vývoj byl také zaznamenán u stavby pilotních bio-rafinérií, které vyrábí i celou řadu druhotných produktů, některé o malém objemu, ale velmi hodnotné nebo jiné, jako například biopaliva, o vysokém objemu a nízké hodnotě.

Pokud nedojde k zásadnímu zdokonalení biochemické nebo termochemické metody konverze spojené s výrazným snížením výrobních nákladů a urychlením investic, potom se dá očekávat, že k úspěšnému uvedení moderních biopaliv na trh dojde pravděpodobně až v dalším desetiletí. Do té doby se budou pilotní a experimentální zařízení pro produkci moderních biopaliv nepřetržitě zdokonalovat tak, aby byly jejich výrobky konkurenceschopné s ropnými palivy a rovněž s konvenčními biopalivy. Bude nezbytné klást důraz na jejich

využití v letecké a námořní dopravě a také u těžkých nákladních vozidel. Po roce 2020, nebo přibližně v tomto období, by mohla moderní biopaliva zaujmout mnohem významnější postavení na světovém trhu s biopalivy a toto období by bylo charakteristické rovnováhou mezi technologiemi na výrobu konvenčních a moderních biopaliv.

Navržené strategie ke zlepšení vlivu biopaliv na životní prostředí a jejich udržitelnosti a rovněž k podpoře zajištění většího množství výchozích surovin z geograficky rozsáhlých oblastí by mohly vést k tomu, že moderní produkty začnou nabývat převahy nad konvenčními produkty ve střednědobém nebo dlouhodobém výhledu.

Seznam použité literatury

- Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2009/28/EC o podpoře užívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES. Štrasburk, 23.4.2009 (OR. en). 45 s.
- Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2009/30/EC o zavedení mechanismu pro sledování a snížení emisí skleníkových plynů a Směrnice Rady 1999/32/EC, pokud jde o specifikaci paliva používaného plavidly vnitrozemské plavby, a kterou se ruší směrnice 93/12/EHS. 25 s.
- Jevič, P., Šedivá, Z., Šturc, T. Návrh víceletého programu podpory dalšího uplatnění udržitelných biopaliv v dopravě na období 2015 - 2020. Výzkumná zpráva pro MZE ČR č. 514-2013-17253-A/8/13, 2013. 57 s.
- Zákon č. 201/2012 Sb. ze dne 2. května 2011, o ochraně ovzduší. Sbírka zákonů ČR, s. 2786 - 2841.
- Nařízení vlády č. 351 ze dne 3. října 2012, o kritériích udržitelnosti biopaliv. Sbírka zákonů ČR, s. 4698 - 4720.
- Proposal for a directive of the European parliament and of the council amending Directive 98/70/EC relating to the quality of petrol and diesel fuels and amending Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable. Brussels, 17.10.2012 COM(2012) 595 final, 2012/0288 (COD).
- Kind, W.D. Zertifizierung von abfall- und reststoffbasierten Biokraftstoffen -Anpassung der 36. BImSchV. In: 7. Rostocker Bioenergieforum. Universität Rostock 2013, s. 185 - 191.
- Naumann, K., Oehmichen, K., Zeymer, M. Monitoring Biokraftstoffsektors (2. Auflage). DBFZ Report Nr. 11. Leipzig 2014. ISSN 2190-7943. s. 125.
- Bridgewater, A. V. The technical and economic feasibility of biomass gasification for power generation. Fuel Vol. 74 No. 5.1995. pp. 631-653.
- Bridgewater, A. V. Thermal conversion of biomass and waste. The Status, Conference. Proceedings Gasification, Noordwijk, the Netherlands, IChemE, April 2002.
- Kára, J., Hutla, P., Pastorek, Z. Využití organických odpadů ze zemědělské výroby a venkovských sídel. Certifikovaná metodika. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i., 2008. 84 s. ISBN 978-80-86884-40-0.
- MCKAY GROUP LLC. Thermal methods of municipal waste treatment. Programme on sustainable resources use. 7803 Blue Spring Drive, Land O'Lakes, FL 34637, 2009, USA. s. 45.
- Jevič, P., Šedivá, Z., Malat'ák, J., Křížek, J. Termolýzní zpracování zbytkové biomasy, separovaných plastových a celulózových podílů tuhého komunálního odpadu pro energetické a surovinové využití. Certifikovaná metodika. Praha : Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i., 2012. 49 s. ISBN 978-86884-67-7.

- Weichselbaum, K. Vergasung von Holzpellets technische und ökonomische Aspekte, Burkhardt ECO 180 HV. IV. Energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe 2012. TU Bergakademie Freiberg, s. 155-163.
- ZEROPOINT CLEAN TECH - Technology Overview, ZeroPoint Clean Tech, Inc.
- SEVEN Energy: Využití bioplynu v dopravě, vydáno v rámci mezinárodního projektu MADEGASCAR, Praha, 2009, 4 s.
- SEVEN Energy: Ověření environmentálních přínosů pilotního projektu “Mobil mit Bioerdgas” v hl. městě Praha, duben 2011, 41 s.
- Oasmaa A., Czernik S.: Fuel Oil Quality of Biomass Pyrolysis Oils – State of the Art for the End Users. *Energy et Fuels* 13 (1999) 914-921.
- Mohan D., Pittman Ch.U., Steele P.H.: Pyrolysis of Wood/Biomass for Biooil: A Critical Review. *Energy et Fuels* 20 (2006) 848-889.
- Zhang Qi, Chang Jie, Wang Tiejun, Xu Ying: Review of biomass pyrolysis oil properties and upgrading research. *Energy Conv. Manag.* 48 (2007) 87-92.
- Bridgwater A.V.: Biomass Fast Pyrolysis. *Therm. Sci.* 8 (2004), 21-49.
- Ralph Sims, Michael Taylor: From 1st to 2nd generation biofuel Technologies: An overview of current industry and RD&D activities, Internat. Energy Agency (IEA), 124 p., Nov. 2008.
- Anselm Eisentraut: Sustainable Production of Second-Generation Biofuels: Potential and perspectives in major economies and developing countries, IEA, 221 p., Feb. 2010.
- Akhtar J., Amin N.A.S.: A review on processs conditions for optimum bio-oil yield in hzdothermal liquefaction of biomass, *Renew. Sust. Energy Rew.* 15 (2011) 1615-1624.
- Bridgwater A.V.: Review of fast pyrolysis of biomass and product upraging. *Biomass and Bioenergy* (2011)1-27.
- Ch.A. Gaertner, J.C. Serrano-Ruiz, D.J. Braden, J.A. Dumesic: Catalytic coupling of carboxylic acids by ketonization as a processing step in biomass conversion. *J. Catal.* 266 (2009) 71–78.
- E.L. Kunkes, E.I. Gürbüz, J.A. Dumesic: Vapour-phase C–C coupling reactions of biomass-derived oxygenates over Pd/CeZrOx catalysts. *J. Catal.* 266 (2009) 236–249.
- Larsen B.R., Tudos A., Slanina J., Van der Borg K., Kotzias D.: Quantification of airborne fossil and biomass carbonylic carbon by combined radiocarbon and liquid chromatography mass spectrometry, *Atmos. Environ.*, 35 (2001) 5695-5707.
- Peacock E.E., Arey J.S., DeMello J.A., McNichol A.P., Nelson R.K., Reddy C.M.: Molecular and Isotopic Analysis of Motor Oil from a Biodiesel-Driven Vehicle, *Energ. Fuel.*, 24 (2010) 1037-1042.
- Yans J., Gerards T., Gerrienne P., Spagna P., Dejax J., Schnyder J., Storme J.Y., Keppens E.: Carbon-isotope analysis of fossil wood and dispersed organic matter from the terrestrial Wealden facies of Hautrage (Mons Basin, Belgium), *Paleogeogr. Paleoclimatol.*, 291 (2010) 85-105.
- Kujawinski D.M., Stephan M., Jochmann M.A., Krajenke K., Haas J., Schmidt T.C.: Stable carbon and hydrogen isotope analysis of methyl tert-butyl ether and tert-amyl methyl ether by purge and trap-gas chromatography-isotope ratio mass spectrometry: Method evaluation and application, *J. Environ. Monitor.*, 12 (2010) 347-354.
- Waggoner C.: Biobased Determination using ASTM-D6866-08, p.3, April 3, 2009 ASTM D6866 - 08 Standard Test Methods for Determining the Biobased Content of Solid, Liquid, and Gaseous Samples Using Radiocarbon Analysis.
- Tiyapongpattana W., Wilairat P., Marriott P.J.: Characterization of biodiesel and biodiesel blends using comprehensive two-dimensional gas chromatography, *J. Sep. Sci.*, 31 (2008) 2640-2649.

- Adam F., Bertocini F., Coupard V., Charon N., Thiebaut D., Espinat D., Hennion M.C.: Using comprehensive two-dimensional gas chromatography for the analysis of oxygenates in middle distillates - I. Determination of the nature of biodiesels blend in diesel fuel, *J. Chromatogr.*, 1186 (2008) 236-244.
- Pankaj K. Kanaujia, Y.K. Sharma, M.O. Garg, Deependra Tripathi, Raghuvir Singh: Review of analytical strategies in the production and upgrading of bio-oils derived from lignocellulosic biomass, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* (October 2013) doi:10.1016/j.jaap.2013.10.004.
- Friedl, A., Padouvas, E., Rotter, H., Varmuza, K.: Prediction of heating values of biomass fuel from elemental composition, *Analytica Chimica Acta* 544 (2005) 191–198.
- Bahng, Mi-Kyung, Mukarakate, Calvin, Robichaud, David J., Nimlos, Mark R.: Current technologies for analysis of biomass thermochemical processing: A review, *Analytica Chimica Acta* 651 (2009) 117–138.