

# Perspektivita zpracování odpadů v biorafineriích

**Lukáš Krátký, Tomáš Jirout, Andrey Kutsay**

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav procesní a zpracovatelské techniky, Technická 4, Praha 6, tel. +420 224 352 550, e-mail: Lukas.Kratky@fs.cvut.cz

## Souhrn

Vzhledem k ochraně životního prostředí a odpadové politice Evropské Unie a České republiky je legislativně požadováno maximálně snížit množství skládkovaných odpadů a využít je díky účinným technologiím recyklace k výrobě surovin, které se mohou stát alternativou zejména petrochemických a potravinářských produktů. Článek představuje zcela nový trend ve zpracování odpadů a to zpracování odpadů v konceptu biorafinerie. Definován je pojem biorafinerie, jsou uvedeny souhrnné informace o perspektivních odpadech, technologiích a typických produktech biorafinerií, jsou nastíněna bloková schémata biorafinerií v závislosti na typu odpadů. Byla provedena SWOT analýza biorafinerií, čehož vyplynulo, že díky vyšším výkupním cenám produktů a maximálnímu využití odpadní suroviny i emisních plynů lze dosáhnout energeticky přívětivého, ekonomicky výhodného a ekologicky šetrného zpracování odpadů, tj. perspektivního zpracování odpadů v biorafineriích.

**Klíčová slova:** biorafinerie, biochemikálie, biopaliva, odpady

## 1. Úvod

Jednou z největších vědecko-technických výzev jedenadvacátého století v oblasti energetiky, průmyslové sféry a infrastruktury je uspokojit rostoucí poptávku energií pro dopravu, vytápění, průmyslové procesy, a zajistit udržitelnost suroviny pro chemický průmysl. Odpadní biomasa představuje jeden z nejvíce energeticky bohatých a nevyužitých obnovitelných surovin nejen pro výrobu alternativních zdrojů energií (biometan, biovodík, bioetanol, pyrolýzní olej, syntézní plyn), ale také i pro přípravu cenných chemických látek (oligosacharidy, furany, vícesytné alkoholy, organické kyseliny, celulózová vlákna, přírodní antioxidanty, esenciální látky, oleje), které nalézají své uplatnění např. při výrobě ekoinovativních materiálů (bioplasty, kompozity s biosložkou). Jen v Evropě vzniká každý rok více než  $1,8 \cdot 10^9$  t<sub>TS</sub> odpadů, v čemž jsou zahrnuty zemědělské odpady z rostlinných a živočišných výrob, odpady z potravinářského a zpracovatelského průmyslu, komunální odpady, odpady z údržby zeleně, kaly z čistíren odpadních vod, odděleně sbíraný komunální biologicky rozložitelný odpad z domácností a zahrad, nebo o odpady z restaurací a jídelen, důlní a povrchové těžby a z výroby energie (Biom, 2015). Cílem politiky EU je zásadně zredukovat objem vznikajících odpadů a jejich škodlivost pro životní prostředí a lidské zdraví. Tříděný komunální odpad se proto také řadí mezi perspektivní obnovitelné suroviny pro výrobu paliv. V současné době končí na skládkách až 80 % biologicky rozložitelného odpadu, nicméně dle legislativy EU 99/31/ES "o skládkování odpadů" musí být do roku 2020 ukládáno o 65 % méně biologicky rozložitelných odpadů než v roce 1995.

Využitím odpadů k výrobě biopaliv a bioproduktů lze částečně omezit spalování fosilních paliv, snížit závislost na ropě, redukovat produkci oxidu uhličitého a přispět ke zmírnění globálního oteplování (Naik et al., 2010). Saini (2014) tvrdí, že upřednostněním biopaliv vůči konvenčním palivům se sníží množství produkovaných skleníkových plynů až o 30–85 %. Biopaliva a bioprodukty vyráběné z odpadní biomasy s sebou obecně přináší i velmi slibné ekonomické, environmentální a energetické benefity (Nigam a Singh, 2011; Chandra, 2012; Hughes et al., 2013).

- ekonomické benefity
  - udržitelnost výroby
  - cenová stabilita surovin a energií
  - rozmanitost produkovaného paliva
  - zvýšení pracovních příležitostí
  - lokální rozvoj průmyslu a infrastruktury

- mezinárodní konkurenceschopnost
- snížení závislosti na importu ropy a zemního plynu
- benefity z hlediska životního prostředí
  - lepší využití odpadů a minimalizace problémů s jejich ekologickou recyklací
  - snížení emisí skleníkových plynů, snížení znečištění ovzduší
  - lepší využití krajiny a vody
  - separace a efektivní využití organických odpadů
- energetické benefity
  - obnovitelný zdroj energie a chemických komodit
  - lokální dostupnost surovin a jejich konstantní lokální distribuce
  - lokální zdroj energie, lokální distribuce energií
  - snížení objemu využívaných fosilních paliv

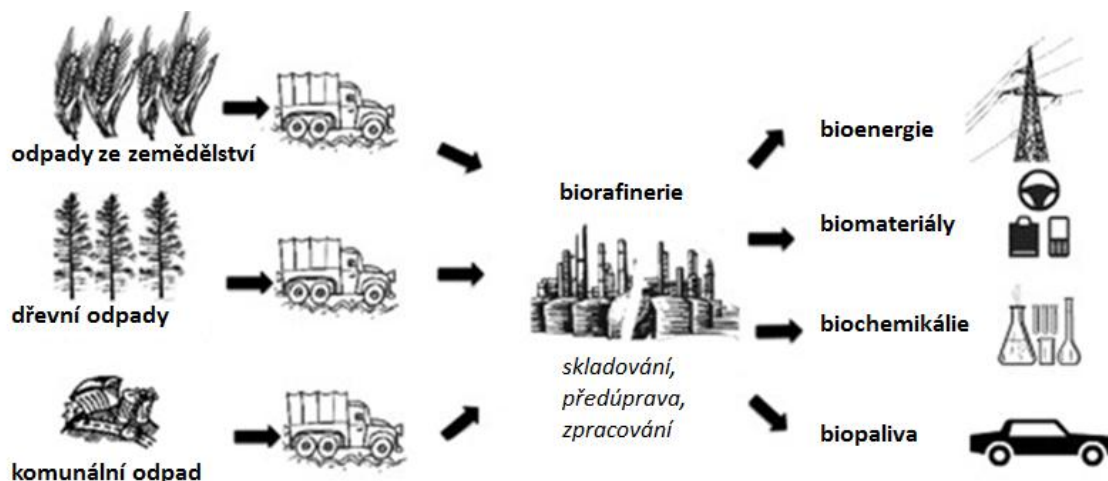
Technologie účinné transformace odpadů na biopaliva či cenné chemicky látky jsou však stále ve vývoji. Celosvětově již byly provedeny stovky studií výroby bioproduktů z různých odpadů a to jak v laboratorním, tak i v poloprodučním měřítku. V současné době stále existuje velká propast mezi projekovanými a skutečnými průmyslovými výrobami biochemikálií a biopaliv, a to především z ekonomických důvodů. Doposud nebyly vyvinuty takové technologie zpracování, které by zaručily možnost energeticky efektivního, ekonomicky rentabilního a ekologicky šetrného komplexního velkoobjemového zpracování biomasy na kapalná a energeticky hodnotná biopaliva a bioprodukty (Hughes et al., 2013). Biopaliva a bioprodukty proto nejsou schopny konkurovat konvenčním palivům či petrochemickým produktům zejména z hlediska výrobních nákladů. Hlavním úkolem pro odbornou veřejnost je proto nalézt slibné bioprodukty, které budou produkovány současně s alternativními zdroji energií. Jedině tak je možné výrazně zlepšit ekonomiku provozu a snížit i zátěž na životní prostředí (Hughes et al., 2013). Poslední léta se proto z hlediska výroby biopaliv a bioproduktů upřednostňuje koncept tzv. biorafinerie.

## 2. Biorafinerie

Biorafinerie je flexibilním multitechnologickým provozem, ve kterém dochází k paralelní konverzi odpadní biomasy na biomateriály, biochemikálie a biopaliva souběžně s výrobou elektrické energie či tepla. První „biorafinerie“ vznikly v 19. století společně se vznikem parou poháněných strojů na výrobu papíru. Největší rozmach těchto „biorafinerií“ je spojen s rozvojem potravinářství a to zejména s produkcí cukru a bramborového škrobu, ke kterým se později přidala produkce pšeničného škrobu a produkce oleje, proteinů a vitamínů. Termín „biorafinerie“ byl poprvé definován Americkou národní laboratoří obnovitelných zdrojů energií v roce 1990 (Naik et al., 2010). Originální definice biorafinerie zní: „*A biorefinery is a facility that integrates biomass conversion processes and equipment to produce fuels, chemicals and power from biomass.*“ Nicméně jejich definice není exaktní, protože rozlišuje biorafinerii třech kategorií v závislosti na typu suroviny. Vstupní surovinou biorafinerie první kategorie jsou zrna obilnin, cukrová řepa, cukrová třtina a kukuřice. Výstupním produktem biorafinerie první kategorie je pouze bioetanol, tj. biopalivo první generace. Vstupní suroviny pro druhou kategorii biorafinerií jsou totožné s první, nicméně produkty biorafinerie druhé generace jsou etanol, škrob, fruktózový sirup, oxid uhličitý a lihovarnické výpalky. Tyto technologie však zpracovávají suroviny, jejichž konkurenční užití je především ve výrobě potravin či krmiv. Surovinami pro výrobu biopaliv druhé generace je tzv. nepotravinářská biomasa, např. lesní biomasa včetně těžebních zbytků, zemědělské odpady, energetické rostliny, či biologicko-rozložitelný odpad z domácností. Biopaliva druhé generace tedy nekonkurují rostlinám pěstovaným na výrobu potravin, a tudíž nezpůsobují tlak na růst cen potravin. Jako biopaliva třetí generace jsou pak označována ta, k jejichž výrobě jsou využívány vodní řasy, a výroba biopaliv čtvrté generace je založena na syntéze emisního oxidu uhličitého s vodíkem na vyšší uhlovodíky. Přechod k druhé a vyšší generaci biopaliv, tzv. 2+ generaci biopaliv, a s tím souvisejícím biorafineriím druhé a vyšší generace, je proto klíčovým krokem. Jinak hrozí pokračující strmý růst cen obilovin, kukuřice a následně i cen masa a mléčných výrobků.

Nová definice, která značně omezuje použití termínu biorafinerie ve vztahu ke zpracovávané surovině zní (VDI6310, 2016): „*Biorefinery is a dedicated integrative, multifunctional concept which uses biomass from a range of raw material sources for sustainable generation of a range of different products and in-*

intermediate products (chemicals, materials, bioenergy including biofuels) while exploiting the biomass to the fullest extent possible.“ Jako **biorafinerie** mohou být označovány **pouze takové technologie**, ve kterých dochází k **paralelní konverzi odpadní biomasy na biomateriály, biochemikálie a biopaliva souběžně s výrobou elektrické energie či tepla**, viz obr. 1. Použití termínu biorafinerie je limitováno i portfoliem kvantity a kvality produktů. Jako biorafinerie totiž nesmí označovány (Schavan and Aigner, 2012) technologie, ve kterých dochází k transformaci biomasy na jeden hlavní produkt (klasické bioplynové stanice, klasická výroba bioetanolu, papírny), nebo technologie, ve kterých dochází k nadměrné produkci biochemikálií a biopaliv vůči poptávce.



Obr. 1 Zpracování odpadů v biorafinerii (Kurian et al., 2013).

## 2.1 Odpady pro biorafinerie

Tab. 1 Charakteristika vybraných druhů odpadní biomasy

typ biomasy		odpady z kukuřice	pšeničná sláma	rýžová sláma	odpady z cukrové třtiny	dřevní odpady	komunální odpad
světová produkce v roce ( $10^6 t_{TS}$ )	2011	2714 <sup>B</sup>	1056 <sup>E</sup>	1084 <sup>E</sup>	502 <sup>E</sup>	574 <sup>E</sup>	13000 <sup>E</sup>
	2025	2725 <sup>B</sup>	1111 <sup>E</sup>	1267 <sup>E</sup>	666 <sup>E</sup>	6000 <sup>E</sup>	26000 <sup>E</sup>
celková sušina (hm. %)		86 <sup>A</sup>	70 <sup>B</sup>	25-50 <sup>A</sup>	85-90 <sup>A</sup>	20-80 <sup>B</sup>	40-60 <sup>B</sup>
organická sušina (hm. %)		72 <sup>A</sup>	90 <sup>B</sup>	70-95 <sup>A</sup>	85-89 <sup>A</sup>	95 <sup>B</sup>	40-95 <sup>B,C</sup>
poměr C:N		63 <sup>C</sup>	90 <sup>B</sup>	70 <sup>A</sup>	118 <sup>C</sup>	511 <sup>B</sup>	18 <sup>B</sup>
hemicelulóza (hm. %)		28 <sup>D</sup>	26-32 <sup>D</sup>	23-28 <sup>D</sup>	19-24 <sup>D</sup>	20-38 <sup>D</sup>	5,6-10,8 <sup>C</sup>
celulóza (hm. %)		38-40 <sup>D</sup>	33-38 <sup>D</sup>	28-36 <sup>D</sup>	32-48 <sup>D</sup>	22-40 <sup>D</sup>	3,2-8,2 <sup>C</sup>
lignin (hm. %)		7-21 <sup>D</sup>	17-19 <sup>D</sup>	12-14 <sup>D</sup>	23-32 <sup>D</sup>	30-60 <sup>D</sup>	7,9-19,5 <sup>C</sup>
spalné teplo ( $MJ kg^{-1} t_{TS}$ )		16,2-16,5 <sup>B</sup>	16,8-18,9 <sup>B</sup>	14,7-16,2 <sup>B</sup>	18,6-19,4 <sup>F</sup>	18,6-21,1 <sup>G</sup>	13,1-19,9 <sup>G</sup>

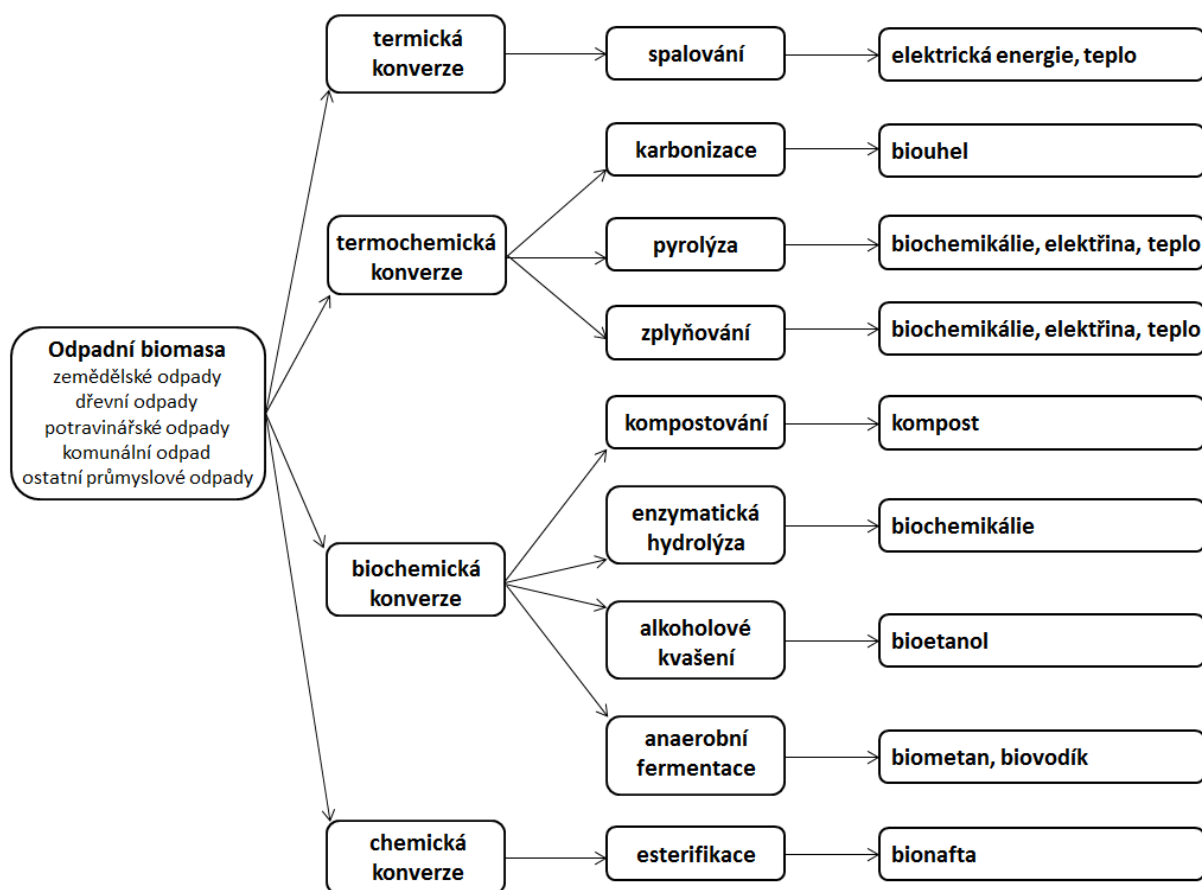
A (Deublein, 2011), B (Chandra et al., 2012), C (Sawatdeenarunat et al., 2015), D (Saini et al., 2014), E (Kurian et al., 2013), F (Pérez et al., 2014), G (Jenkins, 1993)

Odpady ze zpracování cukrové třtiny, kukuřičné, slamnaté a rýžové zbytky třtiny jsou, se svojí produkcí až  $5,4 \cdot 10^9 t_{TS}$  ročně, nejdostupnější odpadní surovinou (Chandra, 2012), viz tab. 1. Tyto odpady jsou zpravidla využívány přímo ke zkrmování. Častěji však zůstávají na polích ke hnojení, jsou spalovány nebo zcela nevyužity. Jen pro porovnání, v Evropě vzniká každý rok více než  $1,8 \cdot 10^9 t_{TS}$  odpadů, v čemž jsou zahrnuty zemědělské odpady z rostlinných a živočišných výrob, odpady z potravinářského a zpracovatelského průmyslu, komunální odpady, odpady z údržby zeleně, kaly z čistíren odpadních vod,

odděleně sbíraný komunální biologicky rozložitelný odpad z domácností a zahrad, nebo o odpady z restaurací a jídelen, důlní a povrchové těžby a z výroby energie (Biom, 2015). Hlavními složkami komunálního odpadu jsou papír, bavlna, zahradní a kuchyňské odpady (Kurian, 2013). Burnley (2011) uvádí, že komunální odpad zpravidla obsahuje 26 % hm. kuchyňských zbytků, 12 % hm. papíru, 13 % hm. plastů, 4,5 % hm. zahradkářských odpadů, 3,5 % hm. textilu, 3,3 % hm. dřevních odpadů. Jelikož se jedná o odpady rostlinného a živočišného původu, nalézají proto také potenciál svého využití při výrobě paliv a jiných průmyslových komodit.

## 2.2 Perspektivní technologie zpracování odpadů pro biorafinerie

Tradičními způsoby zpracování výše zmíněných odpadů jsou technologie skladování, kompostování nebo spalování. Nicméně tyto technologie představují velká rizika pro životní prostředí z důvodu kontaminace okolní půdy a podzemních zdrojů vod chemickými látkami a také i znečištění ovzduší emisními plyny. Dále je nutné zmínit i to, že dodržování předpisů o ochraně a bezpečnosti životního prostředí je stále přísnější a přísnější, a proto je třeba hledat účinnější technologie zpracování odpadů s minimálním dopadem na životní prostředí, s maximální účinností zpracování suroviny a tedy i s minimální produkcí odpadů z technologie. EU preferuje využívání odpadů především k výrobě cenných chemických látek, alternativních zdrojů energie ve formě biopaliv a i ke spalování s výrobou energie (Biom, 2015).



**Obr. 2** Technologie zpracování odpadní biomasy (Krátký, 2016)

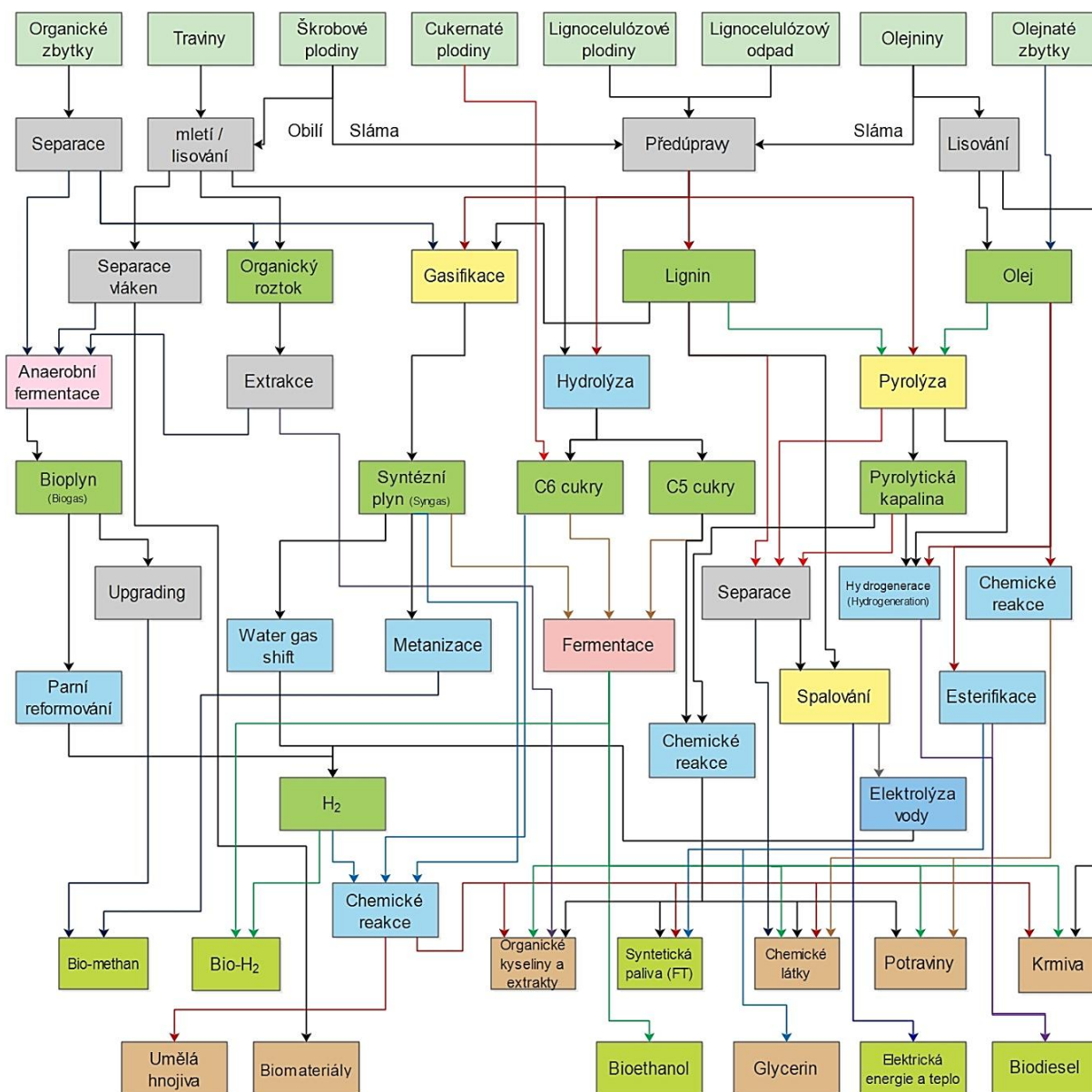
V současné době existuje mnoho termických, chemických, termochemických a biochemických metod zpracování, viz obr. 2. Za perspektivními způsoby zpracování odpadní biomasy pro biorafinerie (Naik et al., 2010; Sims, 2010) jsou považovány:

- zplyňování – termochemická transformace biomasy na syntézní plyn, který se využije buď energeticky, nebo se zušlechťí na kapalné biopalivo;
- rychlá pyrolýza – termochemická konverze suroviny na pyrolýzní olej a jeho následné zušlechtění;

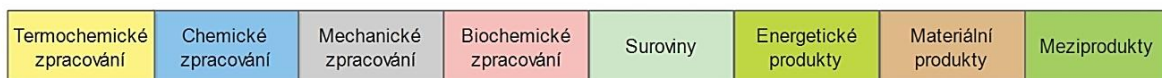
- anaerobní fermentace – biochemická konverze suroviny na energeticky nosné plyny a cenné chemické látky;
- a alkoholové kvašení – biochemická konverze suroviny na oligo- a monosacharidy a jejich konverze alkoholy, případně jiné produkty kvašení.

Temochemický způsob zpracování je však vůči biochemickému výhodnější v tom, že dochází ke konverzi všech organických látek na kapalné biopalivo, zatímco v případě biochemického zpracování jsou transformovány pouze polysacharidy (Naik et al., 2010).

### 2.3 Typické produkty biorafinerií



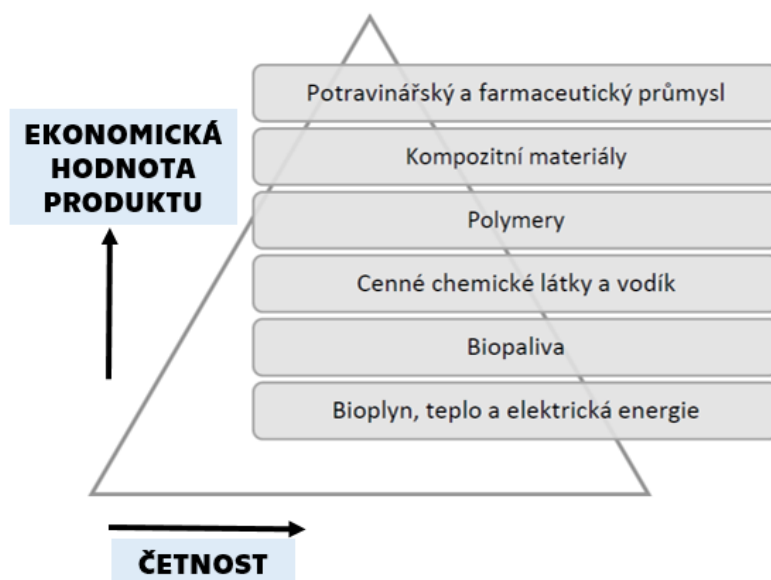
Legenda



**Obr. 3** Potenciál výroby daných produktů v biomase (Jong et al., 2015)

Na obr. 3 jsou prezentovány možnosti konverze jednotlivých odpadů na potenciální produkty s informacemi o její konkrétním technologickém zpracování na požadované produkty. Typickými bioproducty, které lze získat z odpadních surovin, jsou bioalkoholy, biovodík, elastomery, vlákna, pryskyřice,

sacharidy, antibiotika, příchutě, barviva, vitamíny, polyoly, povrchově aktivní látky, oleje, dextry, ethylestery, organické kyseliny a rozpouštědla. Jejich využití lze nalézt v dopravě, energetickém, textilním, spotřebním, stavebním, kosmetickém, farmaceutickém, chemickém, plastikářském, papírenském a v potravinářském průmyslu k výrobě potravinových příchutí a nutričních výrobků (Kurian, 2013). Produkty biorafinerie jsou vždy chemicky cenné látky a kapalná biopaliva. Při výběru vhodného portfolia produktů, které lze získat zpracováním dané suroviny, je nutné dbát nejen na jeho výrobní náklady, ale zejména na výkupní cenu produktu. Mezi produkty s nejvyšší ekonomickou hodnotou lze zařadit komodity pro potravinářský průmysl, pro výrobu kompozitních materiálů s biosložkou, nebo bioplasty, viz obr. 4.

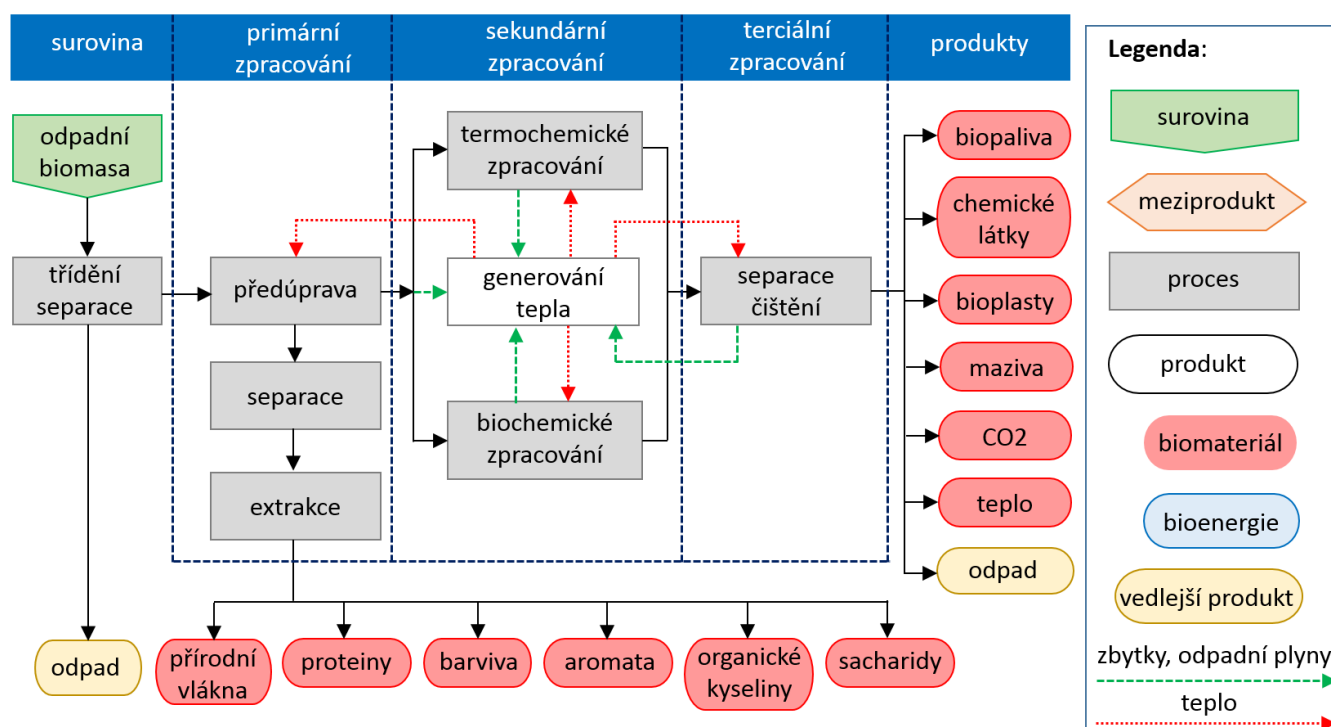


**Obr. 4** Ekonomická hodnota produktu ve vztahu k jeho produkci

Tak např. vylisované zbytky hroznů po aerobní fermentaci jsou velmi bohaté na amylalkoholy, což jsou změkčovadla, která naleznou své uplatnění jako inovativní přísada do bioplastů. Dalším příkladem může být i charakteristický prvek rostlinných materiálů, tj. celulósová vlákna. Ta mohou být využita opět jako inovativní přísada, výztuhy, ke zvýšení pevnosti bioplastů a kompozitních materiálů. To samé platí i pro rýžové slupky. Ty jsou bohaté na oxid křemičitý, a proto mají velký potenciál stát se surovinou k výrobě karbido-křemičitých vláken. Tato vlákna, v současné době synteticky vyráběné, se používají téměř výhradně jako keramické výztuže kompozitů. Za zmínku stojí také i extrakce oleje ze semen olejnatých plevelnatých rostlin k výrobě bionafty, nebo leteckých paliv, extrakce cenných kovů, polokovů a minerálů z kořenů rostlin nebo využití jehličí k výrobě přírodních esencí. Velmi výhodné se i jeví využití řas k výrobě přírodních antioxidantů a jiných zdraví prospěšných látek. Biovodík, biometan, biometanol, bioetanol, biobutanol a vyšší alkoholy, bionafta, syntézní plyny a oleje patří mezi perspektivní biopaliva, která mohou být ekologicky šetrnou alternativou vůči využívání petrochemických produktů. Tato biopaliva naleznou své uplatnění buď v dopravě, nebo jako alternativní zdroje k výrobě elektrické energie. Biometan se svou kvalitou blíží zemnímu plynu, a proto má velký potenciál svého využití jako alternativa zemního plynu. Biovodík bývá velmi často nazýván "energetickým zdrojem budoucnosti", protože může být oxidován v palivových článcích pro výrobu elektřiny, například k pohonu aut. Výrobce pneumatik Goodyear vyvinul vlastní technologii BioTRED, jejímž produktem je polymerované plnivo na bázi škrobu získávaného z odpadů se škrobovým základem. Gumárenská směs s tímto plnivem se používá pro výrobu letních pneumatik Goodyear GT3, pro které je charakteristické snížení hlučnosti o 50 %, snížení spotřeby paliva o 5 %, snížení CO2 emisí o 17 % vůči klasickým pneumatikám a rovněž i nižší zátěž životního prostředí díky lepší biologické rozložitelnosti částic z otěru pneumatik.

### 3. Možnosti zpracování odpadů v konceptu biorafinerie

Technologický proces zpracování odpadní biomasy v konceptu biorafinerie lze rozdělit do několika základních kroků – skladování; primární zpracování (*předúprava, extrakce, separace*), sekundární zpracování (*termochemické, biochemické metody*) a terciální zpracování (*separace a purifikace produktů*), viz obr. 5. Naskladněná odpadní biomasa nejprve prochází třídící linkou s cílem odseparovat nežádoucí příměsi (*kamení, kovy, sklo*) v závislosti na typu primárního a sekundárního zpracování. V dalším kroku následuje předúprava suroviny (Krátký a Jirout, 2016). Surovina je nejprve rozmělněna ve vhodné dezintegrační jednotce na velikost vhodnou pro další zpracování a dále je podrobena chemické (*alkalická, kyselá, solvolýza*), fyzikálně-chemické (*hydrotermické zpracování, parní expanze*) nebo biologické předúpravě (*houby, plísně, enzymy*), jejímž hlavním cílem je zajistit maximální účinnost separace primárních produktů (*přírodní vlákna, proteiny, barviva, enzymy, aroma, krmiva*) a účinnost transformace odpadu na sekundární produkty (*biopaliva, chemické látky, CO<sub>2</sub>, teplo, krmiva*). V závislosti na typu odpadu následuje jeho termochemické (zplyňování, pyrolýza) nebo biochemické (*alkoholové kvašení, anaerobní fermentace*) zpracování, a procesy terciálního zpracování generovaných produktů, tj. separace a čištění.



Obr. 5 Technologický model biorafinerie

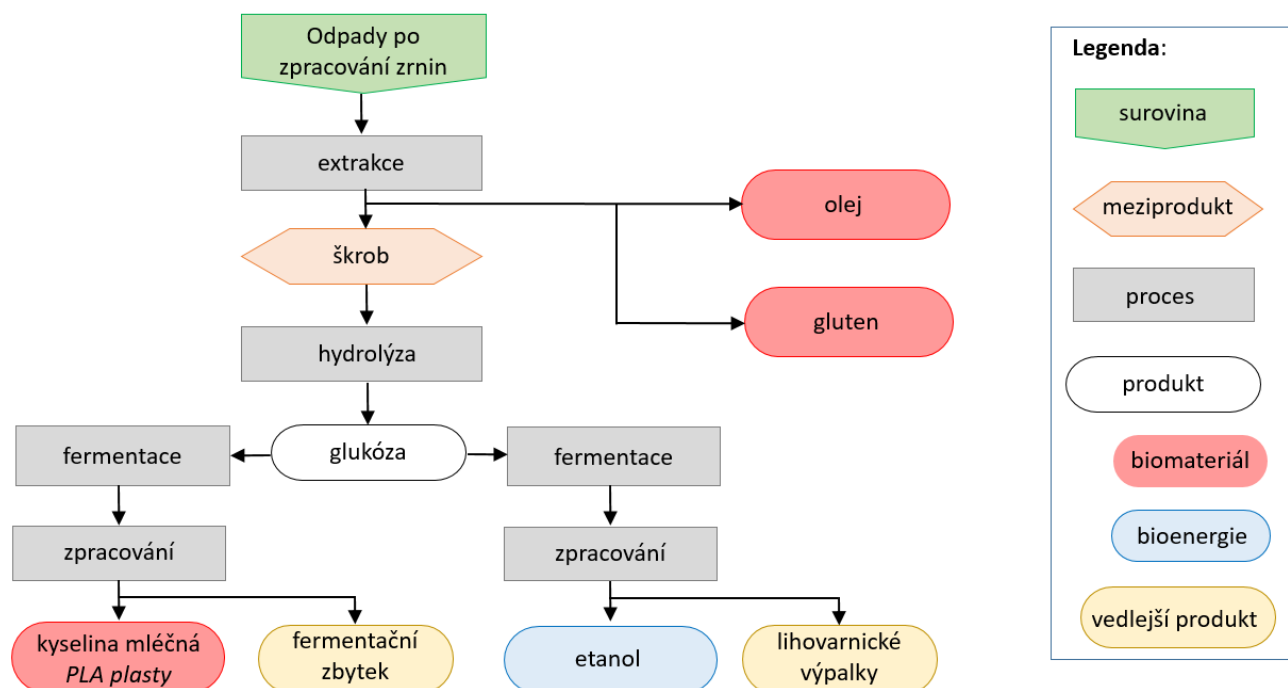
### 3.1 Blokové technologické uspořádání biorafinerií v závislosti na typu odpadní suroviny

Biorafinerie je možné podle charakteru vstupní odpadní suroviny rozdělit na několik typů a to na konvenční, lignocelulóзовé, oleochemické, zelené, zplyňovací a řasové, viz tab. 2. Technologicky nejvyspělejší jsou v současné době konvenční biorafinerie. Surowinou těchto biorafinerií je odpad ze zpracování zrnin, tj. jsou velmi vyspělé, a proto tyto technologie jsou snáze realizovatelné průmyslovém měřítku. Ostatní typy biorafinerií jsou však stále ve vývoji. Důvodem je to, že doposud nebyly vyvinuty takové technologie zpracování, které by zaručily možnost energeticky efektivního, ekonomicky rentabilního a ekologicky šetrného komplexního velkoobjemového zpracování biomasy na kapalná a energeticky hodnotná biopaliva a bioprodukty. Celosvětově sice byly provedeny stovky studií výroby biopaliv a bioproduktů z různých odpadů a to jak v laboratorním, tak i v poloprodučním měřítku. V současné době stále existuje velká propast mezi projektovanými a skutečnými průmyslovými výrobami biopaliv a to především z ekonomických důvodů. Biopaliva a bioprodukty proto nejsou schopny konkurovat konvenčním palivům či petrochemickým produktům zejména z hlediska výrobních nákladů. Hlavním úkolem pro odbornou veřejnost je proto nalézt slibné bioprodukty, které budou vyráběny současně s alternativními zdroji energií.

**Tab. 2** Současná technologická úroveň biorafinerií

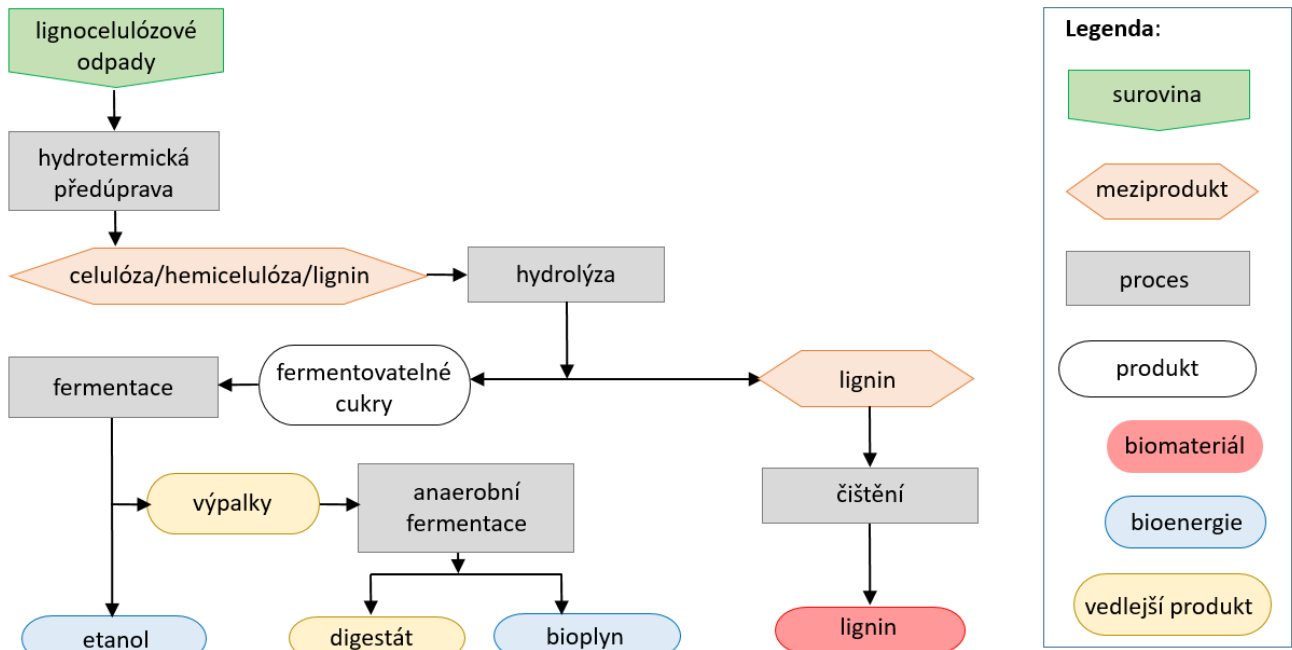
typ biorafinerie	vstupní materiál	klíčová technologie	komerční úroveň	produkty
konvenční	odpady ze zpracování zrn	předúpravy fermentace	komerční zařízení	cukr, škrob, olej, papír, alkohol
lignocelulózová	sláma, traviny, dřeviny	předúpravy fermentace separace	demonstrativní zařízení	celulóza, hemicelulóza, lignin, etanol
oleochemická	olejniný a olejnatý odpad	předúpravy separace	demonstrativní zařízení	olej, biodiesel, glycerin, krmiva
zelená	vlhká biomasa (zelené plodiny, listí, tráva, bioodpad)	předúpravy zpracování separace	pilotní provozy	proteiny, aminokyseliny, kyselina mléčná, vlákna
zplyňovací	lignocelulózová biomasa komunální odpad	zplyňování separace čištění	demonstrativní zařízení	biochemikálie, biopaliva
řasová	řasy, mikrořasy	extrakce separace čištění	demonstrativní zařízení	biochemikálie, biopaliva

Níže jsou nastíněna možná technologická uspořádání konvenčních, lignocelulózových, oleochemických, zelených, zplyňovacích a řasových biorafinerií v závislosti na typu zpracovávaného odpadu, viz obr. 6-14. Předpokládá se, že díky vyšším výkupním cenám produktů a maximálnímu využití odpadní suroviny i emisních plynů je možné dosáhnout pozitivní ekonomické bilance procesu. Nejvyšší vliv na výrobní náklady daného produktu mají zejména cena suroviny, náklady na její předúpravu, účinnost, výtěžnost a životnost technologie, výhled dostupnosti suroviny a možnosti modernizace technologie (Naik et al., 2010).

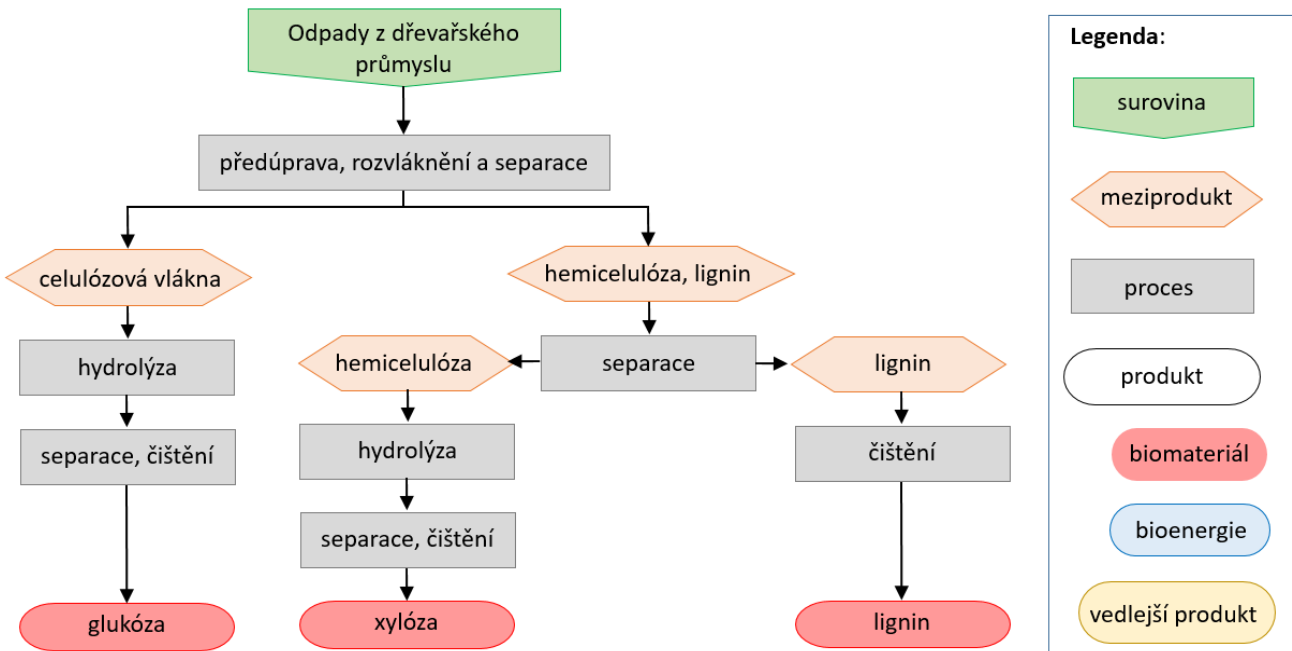


**Obr. 6** Příklad technologického uspořádání konvenční biorafinerie (BMELV, 2016)

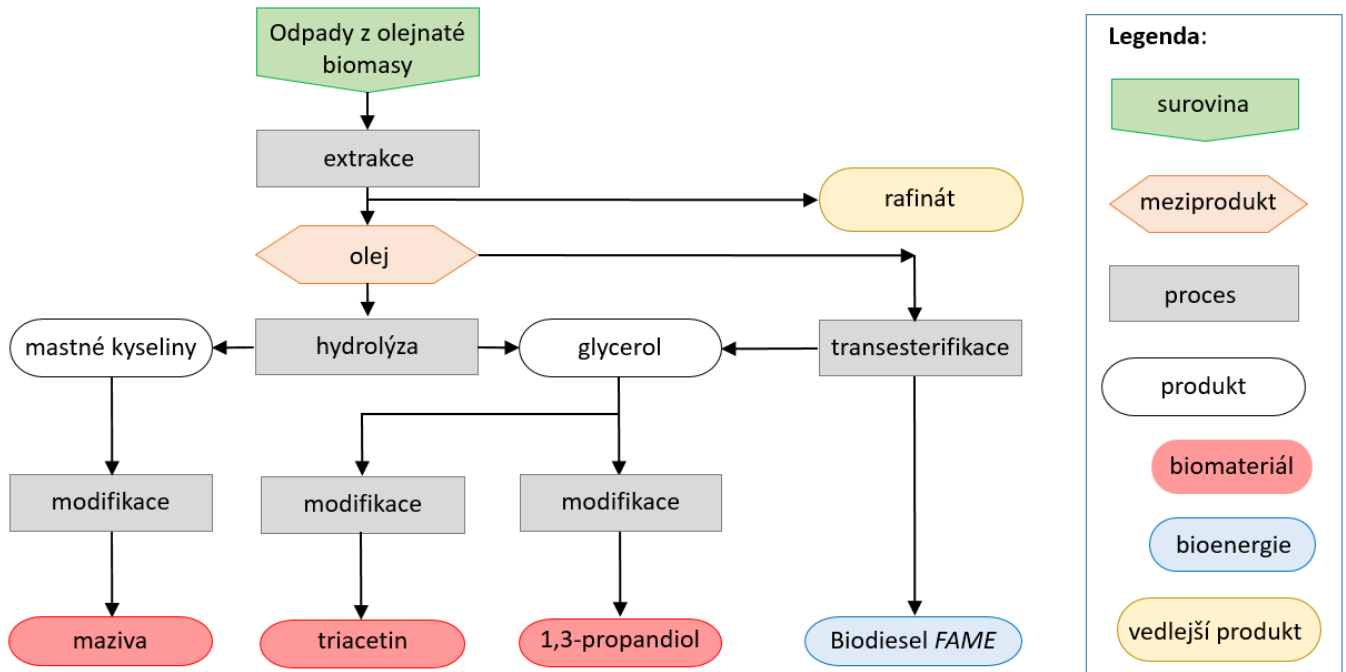




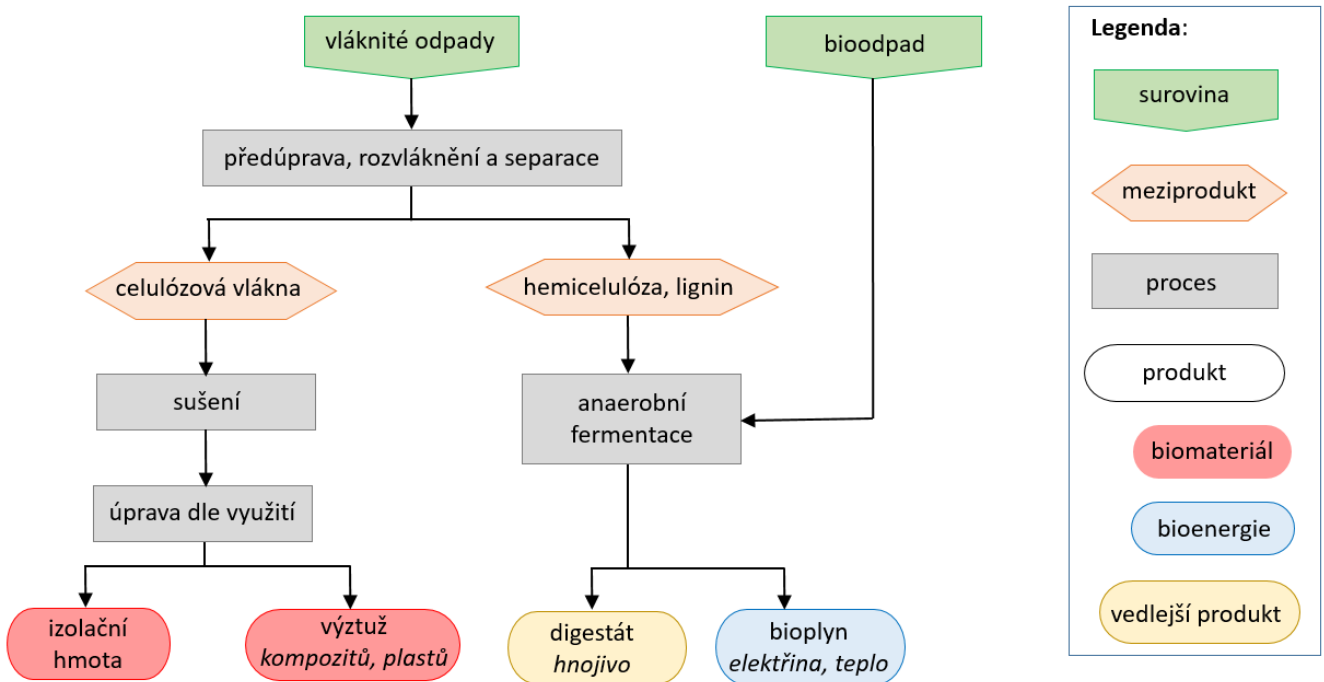
**Obr. 7** Příklad technologického uspořádání lignocelulózové biorafinerie (BMELV, 2016).



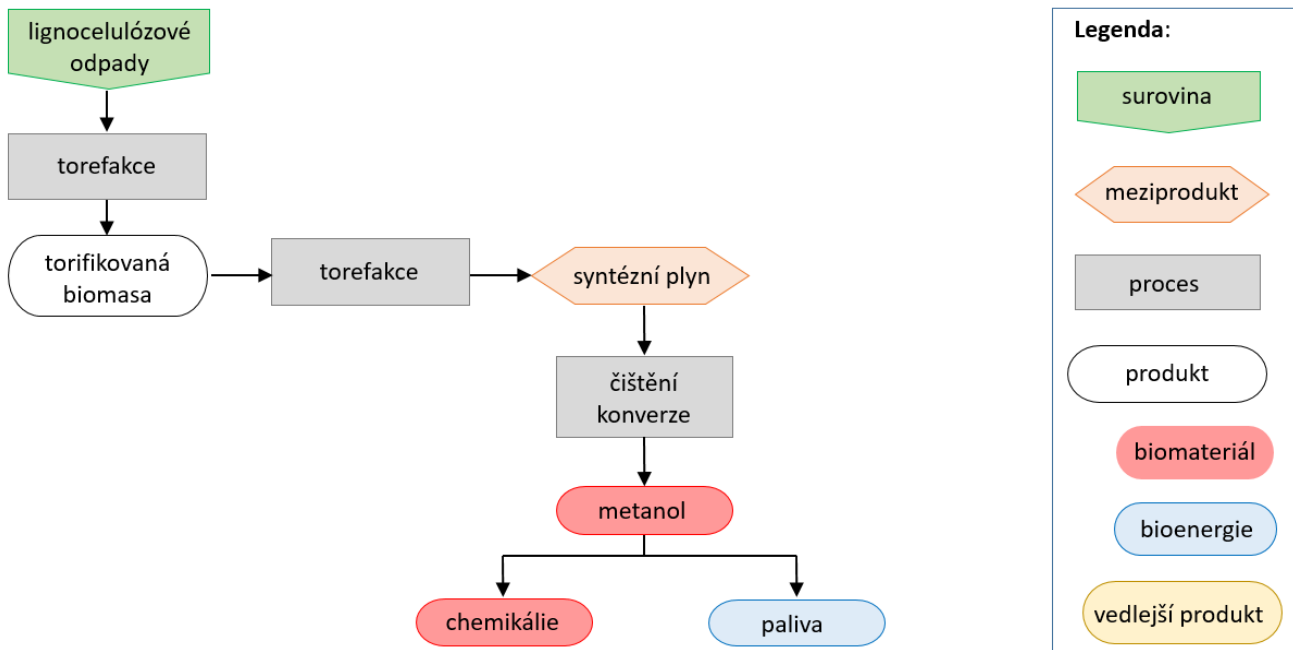
**Obr. 8** Příklad technologického uspořádání lignocelulózové biorafinerie (BMELV, 2016).



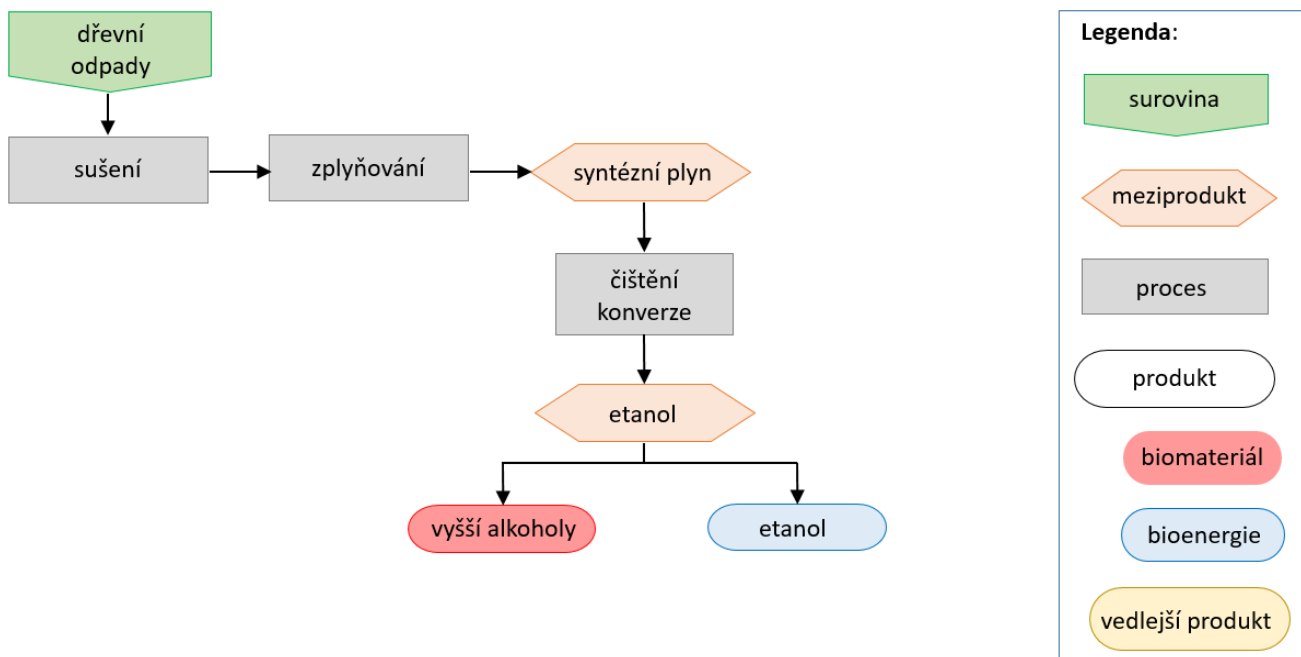
**Obr. 9** Příklad technologického uspořádání oleochemické biorafinerie (BMELV, 2016).



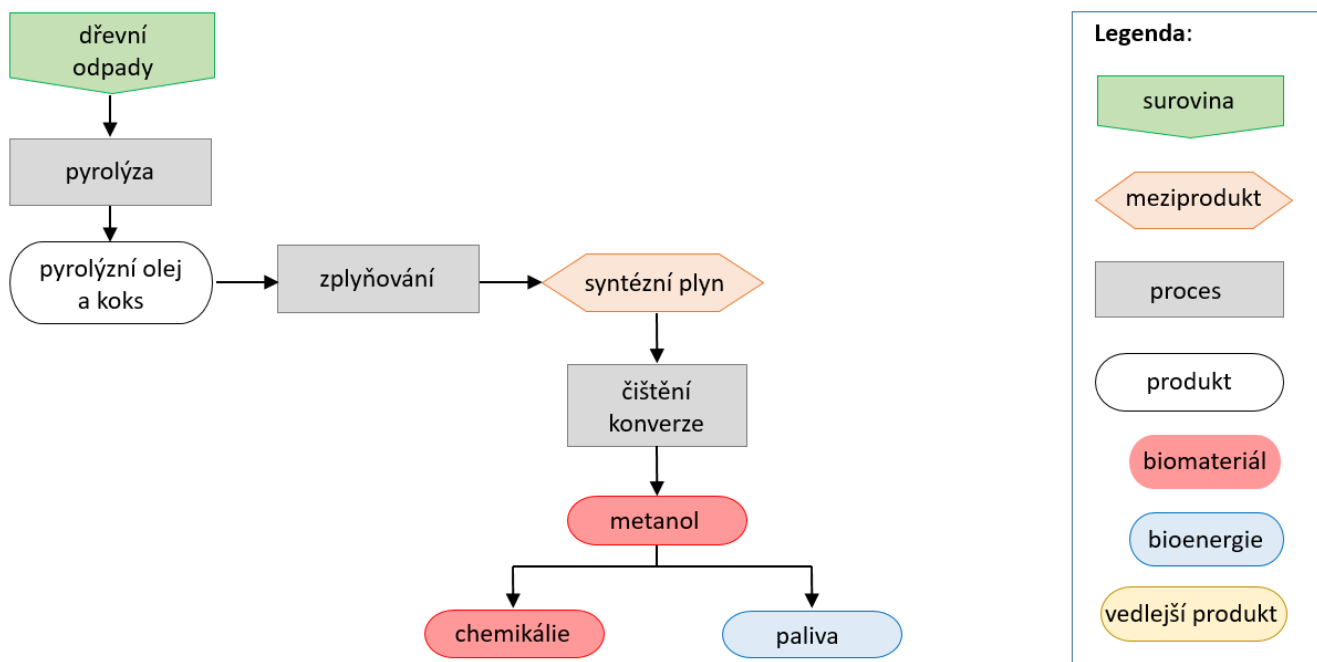
**Obr. 10** Příklad technologického uspořádání zelené biorafinerie (BMELV, 2016).



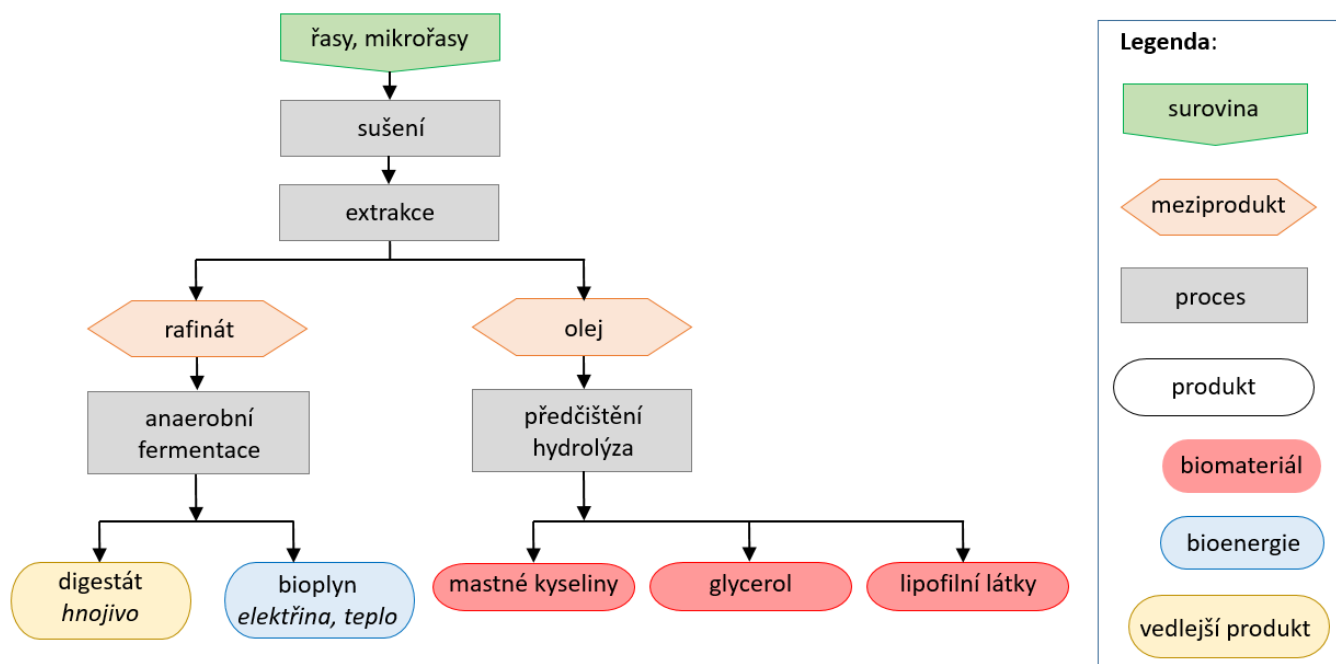
**Obr. 11** Příklad technologického uspořádání zplyňovací biorafinerie (BMELV, 2016).



**Obr. 12** Příklad technologického uspořádání zplyňovací biorafinerie (BMELV, 2016).



**Obr. 13** Příklad technologického uspořádání zplyňovací biorafinerie (BMELV, 2016).



**Obr. 14** Příklad technologického uspořádání řasové biorafinerie (BMELV, 2016).

Z obr. 6-14 vyplývá, že společnými kroky zpracování odpadů v biorafineriích jsou vždy předúpravy, separační, extrakční a purifikační technologie. Pro všechny tyto technologie jsou však typické vysoké hodnoty a kolísání pracovních tlaků a teplot, značné kolísání pH v průběhu procesu, fázové změny zpracovávané suroviny, změny v jejím reologickém chování, abrazivní či erozivní potenciál. Současné portfolio průmyslově dostupných technologií předúprav, extrakce a purifikace je však založeno na zpracování

čistých surovin. Z hlediska zpracování odpadů je vždy nutné počítat s jejich velkou kontaminací, tj. i se značnou kontaminací produktů. Odborná veřejnost nabízí tisíce studií zaměřených na třídění a předúpravu surovin, na extrakci a separaci cenných produktů z odpadů a jejich purifikaci. Nicméně tyto studie byly provedeny zejména v laboratorním měřítku a ne všechny jsou aplikovatelné v průmyslovém měřítku. Velmi často chybí informace o energetických bilancích, ekonomické přívětivosti, recyklačních technologiích, posouzení vlivu na životní prostředí a zejména o možnosti a definování scale-up procesu z laboratorního do průmyslového měřítku. Z hlediska vlastní realizace konceptu biorafinerie je nutné věnovat se technicko-ekonomickým analýzám aplikovatelnosti současného poznání a jeho využitelnosti při zpracování odpadů v konceptu biorafinerie, modifikaci stávajících a vývoji zcela nových efektivních technologií, strojů a zařízení pro předúpravu suroviny, extrakci a purifikaci žádaných produktů. Proto byly definovány požadavky, které by měly být brány v potaz při návrhu, experimentální evaluaci a projektování jakékoliv technologie pro zpracování odpadů v biorafineriích.

#### Nejdůležitější požadavky na samotný proces zpracování:

- aplikovatelnost na široké spektrum materiálu
- vysoká účinnost zpracování materiálu
- jednoduchý proces, tj. minimalizace předzpracování suroviny před samotným procesem, např. složitá potřeba přípravy, složitá manipulace
- zamezení degradace meziproductů a produktů
- minimální tvorba odpadů
- minimalizace energetické náročnosti
- využívání sekundární energie (odebírané teplo při ochlazování vsádky, teplo z parního kondenzátu, aj.)
- minimální využívání chemikálií, případně využívat cenově dostupné chemikálie
- použití, regenerace versus cena katalyzátorů

#### Nejdůležitější požadavky na zařízení:

- jednoduchá a uživatelsky přívětivá konstrukce aparátů
- korozní odolnost aparátu
- minimalizace použití drahých materiálů a speciálních dílů
- zvážení kompromisu – pracovní objem aparátu versus cena zařízení
- finanční nenáročnost technologie z hlediska provozních i pořizovacích nákladů
- přívětivá ekonomická bilance technologie v porovnání s náklady pořizovacími, výrobními a cenou suroviny

### **3.2 SWOT analýza využití konceptu biorafinerie**

V kap. 3.1 byly nastíněny určité vize zpracování odpadů v konceptu biorafinerie, nicméně tato vize má z hlediska vlastní realizace určitá rizika a úskalí. Proto byla provedena SWOT analýza konceptu biorafinerie, viz tab. 3.

**Tab. 3 SWOT analýza biorafinerie (Červený, 2016)**

<b>silné stránky</b>	<b>slabiny</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• možnost dosáhnout maximální konverze velkoobjemového zpracování odpadní biomasy</li> <li>• produkce velkého množství různých produktů pro různá odvětví (zemědělský, potravinářský, chemický, energetický průmysl)</li> <li>• nová technologie vycházející ze známých a v průmyslovém měřítku fungujících provozů (výroba papíru, alkoholu a potravin)</li> <li>• možnost efektivního decentralizovaného zpracování odpadů</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• snaha prorazit s novými výrobky do uzavřeného trhu (chemická, energetický, spotřební a potravinářský průmysl, doprava)</li> <li>• konkurenceschopnost s tradičními produkty kvůli kvalitě</li> <li>• ekonomická rentabilita (zvláště u složitějších produktů)</li> <li>• vývoj velkoobjemové technologie zpracování vyžaduje nutnost testování v laboratorním, čtvrt- a poloprovozním měřítku</li> <li>• silná závislost na množství a složení odpadů</li> </ul>
<b>příležitosti</b>	<b>nebezpečí</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• minimalizace množství skládkovaných odpadů</li> <li>• produkce ekoinovativních materiálů</li> <li>• snížení zátěže na životní prostředí</li> <li>• tvorba významného příspěvku v oblasti udržitelného rozvoje</li> <li>• dodržení cílů světových politik o omezení využívání fosilních zdrojů energie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• poptávka versus nabídka produktů a jejich kvality</li> <li>• nerovnoměrné rozložení množství a složení odpadů (možnost politických a logistických změn)</li> <li>• vysoké počáteční investiční náklady (problém najít investory)</li> <li>• silná závislost na legislativě</li> </ul>

#### 4. Závěr

Jakákoliv perspektivní technologie zpracování odpadů, tj. zplyňování, pyrolýza, anaerobní fermentace, alkoholové zkvašení, musí pracovat na principu biorafinerie. Při projektování technologií je velmi důležité nalézt taková řešení, která zajistí efektivní, energeticky nenáročnou, ekonomicky přívětivou a ekologicky šetrnou transformaci odpadní suroviny na alternativní zdroje energií a chemické látky. Současný stav lidského poznání však není schopen zajistit úplné splnění všech těchto požadavků jak při provozu a modernizaci stávajících, tak i při projektování nových provozů. K tomu, aby bylo dosaženo požadovaných cílů, tak je nutné vyřešit následující problémy z hlediska suroviny, technologie i hospodářské politiky:

- surovina
  - výhled potenciálu dostupnosti odpadní biomasy a udržitelnosti její produkce v dané lokalitě,
  - energeticko-ekonomická náročnost sběru a třídění odpadu,
  - skladování odpadů a jejich časová degradace, chemická stálost,
  - maximální omezení výroby biopaliv z potravinářsky užitných komodit,
- technologie
  - zvýšení rozložitelnosti suroviny pomocí různých metod předúprav suroviny,
  - vývoj nových, účinnějších druhů enzymů a snížení jejich ceny,
  - zpracovávat surovinu s vyšším zatížením vsádky, tj. při vyšších koncentracích suroviny,
  - zvýšení účinnosti technologie při přeměně suroviny na bioprodukt,
  - snížení investičních a provozních nákladů technologie,
  - simultánní výroba biopaliv s ušlechtilými chemickými produkty,
  - kompatibilita produktů v současné infrastruktuře,
- hospodářská politika
  - cenově dostupná surovina,
  - využití lokálního ekosystému,
  - podmínky ochrany životního prostředí,
  - fondy pro podporu vývoje nových technologií zpracování odpadních surovin,
  - efektivní rozmístění průmyslových technologií vzhledem k dostupnosti suroviny,
  - plán využití a podpory biopaliv, zajištění finanční podpory pro výrobu biopaliv z odpadních surovin,
  - daňové zvýhodnění průmyslových provozů a spotřebitelů využívajících biopaliva.

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č.SGS16/149.

## Seznam literatury

- BIOM. *Biomasa jako zdroj energie*. 2015, Dostupné z: [http://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/biomasa\\_jako\\_zdroj\\_energie.pdf](http://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/biomasa_jako_zdroj_energie.pdf)
- BMELV. *Biorefineries roadmap as part of the German Federal Government action plans for the material and energetic utilisation of renewable raw materials*. 2016. Dostupné z [https://www.bmbf.de/pub/Roadmap\\_Biorefineries\\_eng.pdf](https://www.bmbf.de/pub/Roadmap_Biorefineries_eng.pdf).
- BURNLEY, S., R. PHILLIPS, T. COLEMAN a T. RAMPLING. Energy implications of the thermal recovery of biodegradable municipal waste materials in the United Kingdom. *Waste Management*. 2011, roč. 31, s. 1949–1959. DOI:10.1016/j.wasman.2011.04.015
- ČERVENÝ, J.. *Moderní biorafinerie*. Praha: ČVUT, 2016. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav procesní a zpracovatelské techniky.
- DEUBLEIN, D. and A. STEINHAUSER. *Biogas from waste and renewable resources: an introduction*. 2. rev. a rozšíř. vyd. Weinheim: Wiley-VCH, 2011. ISBN 978-352-7327-980.
- HUGHES, S.R., W.R. GIBBONS, B.R. MOSER a J.O. RICH. Sustainable multipurpose bi-orefineries for third generation biofuels and value-added co products. In Fang, Z. *Biofuels - Economy, Environment and Sustainability*. CC BY, 2013, pp. 245–267, ISBN 978-953-51-0950-1.
- CHANDRA, R., H. TAKEUCHI a T. HASEGAWA. Methane production from lignocellulosic agricultural crop wastes: A review in context to second generation of biofuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012, roč. 16, s. 1462–1476. DOI: 10.1016/j.rser.2011.11.035
- JENKINS, B. *Properties of Biomass, Appendix to Biomass Energy Fundamentals*. EPRI Report TR-102107, January, 1993.
- JONG, Ed a G. JUNGMEIER. Biorefinery Concepts in Comparison to Petrochemical Refineries. *Industrial Biorefineries*. Elsevier, 2015, 3. DOI: 10.1016/B978-0-444-63453-5.00001-X. ISBN 9780444634535. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B978044463453500001X>
- KRÁTKÝ, L. *Technologie a zařízení pro intenzifikaci termo- a biochemické konverze odpadů na ušlechtilé chemické látky a biopaliva*. Praha: ČVUT, 2016. *Habilitační práce*. ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav procesní a zpracovatelské techniky.
- KURIAN, J.K., G.R. NAIR, A. HUSSAIN a G.S.V. RAGHAVAN. Feedstocks, logistics and pretreatment processes for sustainable lignocellulosic biorefineries: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013, roč. 25, s. 205–219. DOI: 10.1016/j.rser.2013.04.019
- NAIK, S.N., V.V. GOUD, P.K. ROUT a A.K. DALAI. Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2010, 14, s. 578–597. DOI: 10.1016/j.rser.2009.10.003
- NIGAM, P.S. a A. SINGH. Production of liquid biofuels from renewable resources. *Bioresource Technology*, 2011, roč. 37, s. 52–68. DOI: 10.1016/j.peccs.2010.01.003.
- PÉREZ, N.P., E.B. MACHIN a D.T. PEDROSO. Fluid dynamic assessment of sugarcane bagasse to use as feedstock in bubbling fluidized bed gasifiers. *Applied Thermal Engineering*. 2014, roč. 73, s. 238–244. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2014.07.048
- SAINI, K.J, R. SAINI and L. TEWARI. Lignocellulosic agriculture wastes as biomass feedstocks for second-generation bioethanol production: concepts and recent developments. *3 Biotech*. 2014, s. 1–17. DOI: 10.1007/s13205-014-0246-5.
- SAWATDEENARUNAT, Ch., K.C. SURENDRA, D. TAKARA, H. OECHSNER and S.K. KHANAL. Anaerobic digestion of lignocellulosic biomass: Challenges and opportunities. *Bioresource Technology*. 2015, roč. 178, 2015, s. 178–186. DOI: 10.1016/j.biortech. 2014.09.103.

SIMS, R.E.H., W. MABEE, J.N. SADDLER a M. TAYLOR. An overview of second generation biofuel technologies. *Bioresource Technology*. 2010, roč. 101, s. 1570–1580. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.11.046.

VDI 6310. *Classification and quality criteria of biorefineries*. Verein Deutscher Ingenieure, 2016, ICS: 13.020.20, 65.040.20, 71.020.

## **Perspectivity of waste treatment in biorefineries**

**Lukas Kratky, Tomas Jirout, Andrey Kutsay**

*Czech Technical University in Prague, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Process Engineering, Technicka 4, Prague 6, Czech Republic, phone +420 224 352 550, e-mail: Lukas.Kratky@fs.cvut.cz*

### **Abstract:**

*Due to environmental protection and legislation of European Union, and Czech Republic as well, there is a demand to significantly reduce landfilled wastes and to use them as a raw material to produce biomaterials, biochemicals, or biofuels that can be alternative to petroleum based products. The paper introduces a brand new trend in waste processing technologies known as biorefinery. Term “biorefinery” was clearly defined, information about perspective wastes, suitable technologies and valuable products is reviewed. Process block diagrams of perspective biorefinery concepts are presented in dependence on type of waste material. SWOT analyses was done. Due to high purchase prices and maximum usage of both input and generated wastes like solid, or liquid residues, and emission gases, there is a potential to reach energy efficient, economically perspective and environmentally friendly waste treatment in the concept of biorefinery, i.e. perspective waste treatment in biorefineries.*

**Keywords:** *biorefinery, biochemicals, biofuels, waste*