

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra chemie**



**Energetický potenciál biologicky rozložitelného odpadu  
v bioplynových stanicích na území ČR**

**Bakalářská práce**

**Autor práce: František Zdařil**

**Udržitelné využívání přírodních zdrojů**

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

© 2018 ČZU v Praze

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Energetický potenciál biologicky rozložitelného odpadu na území ČR" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 20.04.2018

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu práce doc. Ing. Vladimíru Hönigovi, Ph.D., který mi poskytl důležité rady v rámci tvorby této závěrečné práce. Dále bych rád poděkoval své rodině a všem svým blízkým. Jen díky nim jsem tuto práci mohl dokončit.

# Energetický potenciál biologicky rozložitelného odpadu v bioplynových stanicích na území ČR

## Souhrn

Biologicky rozložitelný odpad je nedílnou součástí lidského konání, z tohoto důvodu byl pro závěrečnou práci zvolen energetický potenciál biologicky rozložitelného odpadu na území ČR, kde hlavním záměrem bylo zmapovat tvorbu takového odpadu a teoreticky navrhnout přijatelné nakládání s ním. Vedlejším cílem bylo shrnout všeobecné současné poznatky o biologicky rozložitelném odpadu.

Práce se nejdříve zabývá definicí biomasy, jejím dělením a použitelnými technologiemi. V rámci shrnutí poznatků je kladen důraz zejména na odvětví odpadní biomasy, kde dochází také k podrobnému popisu stěžejní vybrané technologie, anaerobní biochemické konverzi odpadní hmoty.

U anaerobní technologie je v praxi použit čtyřfázový proces fermentace, jmenovitě hydrolyza – acidogeneze – acetogeneze – methanogeneze. Jako vstup je použita homogenizovaná směs BRO, jako výstup je poté jako základní složka bioplyn, ve kterém je majoritní podíl  $\text{CH}_4$ , obsažený nejčastěji v intervalu 55 – 75 %, kdy záleží na vlastnostech vstupní směsi.

Technologické zázemí pro takový proces je nejčastěji mokrá fermentační jednotka, nicméně je možné se setkat i se suchou verzí, která není tolik rozšířena. Dále v zázemí nesmí chybět mezisklad, v případě zpracování potenciálně toxického odpadu i hygienizační linka, homogenizační linka a dohňovací jímky.

V praktické části jsou zpracována data systému odpadového hospodářství (ISOH) vybraných odpadů dle krajského dělení, která jsou vizualizována tematickými mapami. Z dat je patrné, že největšími producenty BRO jsou (sestupně): hl. m. Praha, Středočeský, Moravskoslezský, Jihomoravský a Ústecký kraj. Mezi nejmenší producenty pak patří Karlovarský, Liberecký kraj a Vysočina. Roční průměrná celková tvorba vybraných odpadů za léta 2009 – 2016 činí téměř 2.200.000 tun vybraných BRO.

**Klíčová slova:** Bioplyn, biologicky rozložitelný odpad, bioplyn, fermentace, methan

# Energy potential of biodegradable waste in biogas stations of the Czech Republic

## Summary

Biodegradable waste is an integral part of human activity, for this reason the energy potential of biodegradable waste in the Czech Republic was chosen for this final thesis, the main purpose of the thesis was to map the biodegradable part of such waste and find an acceptable treatment with it. The secondary objective was to summarize the current knowledge of biodegradable waste.

The thesis first concerned is the definition of biomass, its division and often used technologies. The summary of the findings focuses especially on the biomass waste sector, where there is also a detailed description of the key technology chosen, the anaerobic biochemical conversion of the biodegradable waste material.

In anaerobic technology, a four-phase fermentation process is used, namely hydrolysis - acidogenesis - acetogenesis - methanogenesis. The homogenised mixture of biodegradable waste is used as an input, the main output component is biogas, in which the majority of CH<sub>4</sub> is present, most frequently in the range of 55 – 75 % depending on the properties of the feed mixture.

Technological background for this proces is more often a wet fermentation unit, but it is also possible a dry verison, which is not so widespread. In the background there should be also intermediate storage and it the case of processing of potentially toxic waste there should be also hygienisation line, the homogenization line and the catchment pits.

In the practical part of this thesis, waste management system data (ISOH) of selected waste are processed according to the regional division, which are visualized by thematic maps. From the data i tis clear that the largest producers of BRO are (in descending order): Prague region, Central Bohemia region, Moravia-Silesa region, South Moravia and Ústí region. The smallest producers includes these regions: Karlovy Vary region, Liberec region and Vysočina region. The annual average total production of selected wastes for the years 2009 – 2016 is almost 2 200 000 tons of selected biodegradable waste.

**Keywords:** Biogas, biodegradable waste, biofuel, fermentation, methan

# Obsah

<b>Předmluva</b> .....	<b>1</b>
<b>1 Úvod</b> .....	<b>2</b>
<b>2 Cíl práce</b> .....	<b>3</b>
<b>3 Literární přehled současného stavu problematiky</b> .....	<b>3</b>
<b>3.1 Biomasa</b> .....	<b>4</b>
3.1.1 Záměrně pěstovaná biomasa .....	5
3.1.2 Odpadní biomasa .....	5
<b>3.2 Procesy zpracování biomasy</b> .....	<b>6</b>
3.2.1 Termochemická konverze .....	6
3.2.2 Fyzikálně-chemická konverze .....	6
3.2.3 Biochemická konverze.....	7
3.2.3.1 Aerobní fermentace .....	7
3.2.3.2 Anaerobní fermentace .....	8
<b>3.3 Výroba bioplynu</b> .....	<b>9</b>
<b>3.4 Technologie anaerobní fermentace</b> .....	<b>12</b>
<b>3.5 Legislativa</b> .....	<b>14</b>
3.5.1 Legislativní zatížení bioodpadů .....	14
<b>3.6 Ekonomické zhodnocení</b> .....	<b>15</b>
3.6.1 Kompostování.....	15
3.6.2 Bioplynové stanice.....	16
<b>4 Zhodnocení podkladových údajů</b> .....	<b>17</b>
<b>5 Vlastní projekt</b> .....	<b>17</b>
5.1 Získání statistických údajů.....	18
5.2 Vizualní zobrazení dat .....	19
5.3 Zhodnocení výstupních dat .....	20
5.4 Energetický potenciál .....	21
5.5 Navržení sítě BPS na komunální odpad.....	23
<b>6 Diskuze</b> .....	<b>24</b>
<b>7 Závěr</b> .....	<b>25</b>
<b>8 Seznam literatury</b> .....	<b>25</b>
<b>9 Seznam použitých zkratk a symbolů</b> .....	<b>27</b>
<b>10 Samostatné přílohy</b> .....	<b>27</b>

## Předmluva

Biologicky rozložitelný odpad doprovází člověka od nepaměti. Již dlouhá tisíciletí je takový materiál znovu využíván pro následné pěstování rostlin jako hnojivý substrát. Takové využití je poprvé zaznamenané a zdokumentované v době římského impéria. Po celá tisíciletí je tedy odpad využíván materiálově, nicméně až v nedaleké historii technologie a pochopení principů dospělo k energetickému využití takového zdroje.

Již od útlého věku se zajímám o udržitelnost lidského konání, což je také důvod, proč jsem si vybral obor Udržitelné využívání přírodních zdrojů. Protože se říká, že nejlepší odpad je ten, který nevznikne, přemýšlel jsem o tom, který naopak vznikne. Všudypřítomnost bioodpadu mne přivedla k otázkám týkající se nakládáním s ním, a zaujat jsem byl právě přístupem přetvořit tento specifický odpad na energii.

V roce 2017 jsem absolvoval třídní kurz provozovatelů bioplynových stanic, pořádaný společností CZ Biom – České sdružení pro biomasu, z.s. Výsledné myšlenkové pochody po tomto kurzu se po neustálém pesimistickém náhledu zkušených provozovatelů zemědělských bioplynových stanic na odpadové bioplynové stanice, ustálily na úrovni, že se pokusím soustředit na toto téma více, zejména na ekonomické proporce takové technologie. Kupříkladu necht' u zemědělských bioplynových stanic jsou občasné výkyvy produkce z důvodu složitého procesu rozkladu, a ne správně optimalizovaného substrátu. Takovéto situace jsou u odpadové bioplynové stanice mnohem citelnější, už jen z důvodu velké kolísavosti vstupních látek, všech jejich vlastností. Výsledkem je tato závěrečná práce mého bakalářského studia na České zemědělské univerzitě.

# 1 Úvod

Nekontrolovaný rozklad organické hmoty s sebou nese vážné důsledky ve formě vzniku bioplynu, s majoritním obsahem CH<sub>4</sub>, který se projevil jako účinný absorbent infračerveného záření, v atmosféře je tedy vnímán jako přirozený skleníkový plyn. Podle Schulze a Edera (2004) je až dvacetkrát účinnější než CO<sub>2</sub>, na skleníkovém efektu se podílí díky nízké koncentraci v atmosféře přibližně 5 – 10 % tohoto efektu. Jako přirozeně vyskytující se plyn není svým obsahem nebezpečný, avšak lidstvo jeho rovnováhu, ať už neukázněností, lhostejností či například chovem velkého přebytku hospodářských zvířat, neustále narušuje.

Nejvhodnější řešení nezvyšování koncentrace tohoto nebezpečného plynu je předcházení jeho vzniku. Vzhledem k tomu, že je výsledkem činnosti většiny organických organismů po celé planetě, jeho vzniku se při zachování života předejít samozřejmě nedá. Potřebná organická odpadní hmota tvořená člověkem, u které nejde předejít vzniku, se dá dále zpracovávat, využít i jinak, například pro výrobu energie elektrické či tepelné. O tomto využití pojednává tato práce.

Razantnímu předcházení vzniku těchto plynů nezabrání žádná autorita, i když se o to může snažit. Nakonec je na každém z nás, jak se k problematice postavíme.



## 2 Cíl práce

Jako hlavní záměr bylo určeno zmapovat aktuální tvorbu biologicky rozložitelného odpadu na území ČR. Za využití těchto dat teoreticky vypočítat energetický potenciál a vytvořit síť bioplynových stanic primárně na biologicky rozložitelný odpad strategicky rozmístěných k dodržení efektivnosti svozu odpadů. Vedlejším cílem práce je shrnout ekonomické, ekologické a technologické poznatky o biologicky rozložitelném odpadu včetně přidružených témat.

## 3 Literární přehled současného stavu problematiky

Historie biologicky rozložitelného odpadu je vzhledem k jeho povaze a vzniku dlouhá jako lidstvo samo, avšak historie systematického nakládání s ním, aerobní a anaerobní technologií, můžeme datovat do konce 19. století. Tehdy se začaly objevovat první septiky, tedy podzemní zařízení sloužící k usazování kalu, voda pak protékala vzhůru kamennou náplní. Kal byl vybírán jednorázově po několika letech provozu. Tato technologie se natolik osvědčila, že přes vývoj lepší filtrace a sedimentace byla v roce 1924 sestrojena anaerobní stabilizační nádrž s vyhříváním kalu vznikajícím bioplynem. Pro velký úspěch tohoto systému, zejména díky vyšší intenzitě procesu, se bioplyn začal využívat i pro jiné účely, zejména pro svícení a pohon elektroagregátů a automobilů (Dohányos, 1998).

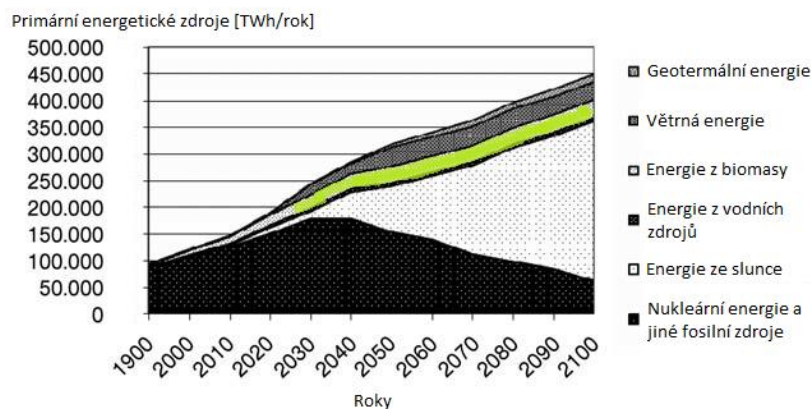
Ukázalo se, že bioplyn získávaný fermentací odpadu je v předválečném období nejistoty velmi stabilní zdroj energie, proto v Německu započaly intenzivní pokusy o navýšení produkce. Nutno podotknout, že se stále jednalo o zařízení na čištění odpadní vody, nicméně začaly se do anaerobního stupně přidávat různé odpadní látky, zejména obsah lapače tuku, zbytky sladkého dřeva i rostlinný a bylinný odpad. Tento nápad inicioval K. Imhoff. Zatímco před pokusy se produkce fermentace pohybovala v nízkých desítkách litrů plynu na kilogram sušiny za 20 dní, po pokusech s např. sladkým dřevem dosahovala 365 l/kg za 45 dní. Během druhé světové války dr. Franz Pöpel v Holandsku přidal i organický domovní odpad. Tato a následující skutečnost se tedy dá brát jako jeden z největších milníků ve zpracování biologicky rozložitelného odpadu. Roku 1947 již zmíněný K. Imhoff upozornil, že mnohem větší potenciál k výrobě bioplynu tkví v zemědělství. Od tohoto roku se začala vyvíjet technologie určená primárně pro toto odvětví. Zažil se pro ně název bioplynové stanice, zkráceně BPS (Schulz et Eder, 2004).

### 3.1 Biomasa

Na objasnění pojmu biomasa existuje více pohledů, z nichž pro účely této práce je vhodné zmínit alespoň dva. První, nejširší definice biomasy je, že se jedná o početnou skupinu látek, které tvoří těla všech živých organismů (živočichů, rostlin, hub i sinic) a svůj původ má ve slunečním záření přes fotosyntézu, zjednodušeně se jedná o veškerou hmotu organického původu. Z tohoto důvodu se jedná o obnovitelný zdroj energie. Pro tyto účely je možné omezit všeobecnou definici na definici biomasy pro energetické využití, která se zkráceně nazývá biopalivo. To je cíleně připravená (či vypěstovaná) organická hmota, která je schopná přeměny na energii. Základní dělení biopaliv v sobě zahrnuje tuhá, kapalná a plynná biopaliva, která jsou využívána spalováním, chemickými či biologickými procesy (Motlík et Váňa, 2002).

Zhang (2010) uvádí, že v roce 2008 je Čínská lidová republika jako celek stále z velké míry závislá na fosilních palivech (uhlí, ropa), avšak polovina jejích 200 miliónů venkovských obyvatel je odkázána na spalování palivového dříví a různých zemědělských odpadů. Shi (2014) prohlásil, že celosvětově je využíváno 7 % zdrojů biomasy, zbývajících 93 % je potom lidskou rasou netknuto.

Energie z biomasy podle Deubleina a Steinhauserové (2008) nemá potenciál na to stát se primárním globálním zdrojem energie, nicméně se ukazuje, že je velmi vhodná na pokrytí nestabilní solární a větrné energie, dalších velmi důležitých obnovitelných zdrojů energie. Deublein a Steinhauserová (2008) předpokládají mírný růst energie z obnovitelných zdrojů vyjma solární energie, která by od roku 2030 měla začít masivně nahrazovat fosilní paliva včetně jaderné energie, jak popisuje následující graf. Biomasa je zde zobrazena na třetím místě shora, osa x znázorňuje časovou řadu od roku 1900 do roku 2100, na ose y je poté celková spotřeba energie:



Obr. 1 Graf znázorňující primární energetické zdroje, zdroj: (Deublein et Steinhauser, 2008), vlastní překlad

### 3.1.1 Záměrně pěstovaná biomasa

Na území ČR upravuje použitelné plodiny pro energetické účely Seznam rostlin vhodných k pěstování za účelem využití biomasy pro energetické účely z pohledu minimalizace rizik pro ochranu přírody a krajiny, který je zde citován v aktualizaci II/2016 25, který je vypracován Výzkumným ústavem Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i. na žádost Ministerstva životního prostředí (Petříková et Weger, 2015).

Podle Petříkové (2015) se v našich podmínkách pro energetické účely nejvíce pěstuje šťovík krmný (*Rumex tianshanicus* x *Rumex patientia*), nazývaný také jako energetický šťovík, který je hybridem šťovíku zahradního (*Rumex patientia*) a šťovíku tjanšanského (*rumex OK 2*, také jako uteuša). Je možné ho sklízet za zelena 3x – 5x za rok s tím, že tento hybrid může na stanovišti vydržet až 10 let a od 2. roku dosahuje výnosu přibližně 10 t/ha suché hmoty. Výborná výhřevnost je patrná z provozní zkoušky, kde v kotli bylo páleno dřevo (1800 KW), šťovík (1900 KW) a sláma (1400 KW), výhody šťovíku ze stejného pokusu byly shrnuty následovně: oproti slámě dosahuje vyššího výkonu a lepšího spalování, méně náročné drcení z důvodu větší křehkosti a je dobře spalitelný i při vyšší vlhkosti (přibližně do 30%).

### 3.1.2 Odpadní biomasa

Odpadní biomasa jsou zbytky rostlinného a živočišného původu zejména z lesnictví, zemědělství, gastronomie a průmyslu. Dále se zpracovává za pomoci procesů uvedených v následující kapitole. Proces se vybírá dle původu odpadu, aby jeho využitelnost byla co nejvyšší.

Nejrozšířenější využití odpadní biomasy je termochemická, ve které se využívají suché odpady rostlinného původu, tedy například dřevní štěpka či piliny, které se před spálením upravují lisováním do pelet, oválných předmětů velikosti nejčastěji hrachového lusku či menší (Murtinger et Beranovský, 2006).

Dalším rozšířeným druhem je odpadní biomasa mokrého původu, například odpadní kalová voda čističky odpadních vod, odpady živočišné výroby (hnůj, kejda), průmyslový zbytkový odpad (gastro odpad – potravinářská výroba, jateční odpad). Takový odpad se nejčastěji zpracovává biochemickou konverzí, tedy přeměnou vstupních surovin na jiné látky pomocí přirozených rozkladacích procesů. Jako produkt procesu může být stabilizovaný substrát použitelný jako hnojivo, či bioplyn, využitelný spalováním jako zdroj tepelné a elektrické energie v kogenerační jednotce (Schulz et Eder, 2004).

## 3.2 Procesy zpracování biomasy

### 3.2.1 Termochemická konverze

Termochemická konverze, také nazývaná suchým procesem, v sobě zahrnuje proces termické přeměny biomasy za dostatečného přístupu kyslíku (spalování), termochemické přeměny biomasy při vyšších teplotách za nedostatku kyslíku (zplyňování) a nejnovější metodu rychlou pyrolýzu bez přístupu kyslíku (Motlík et Váňa, 2002).

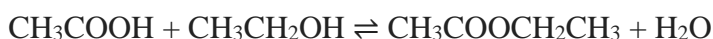
Spalování je ze zmíněných nejjednodušší metoda s nejdelší tradicí. Samotný proces probíhá na roštu či fluidní vrstvě s přístupem kyslíku, který zapříčiní hoření. Produktem procesu je tepelná energie, využitelná pro vytápění objektů, technologické procesy nebo výrobu elektrické energie (Motlík et Váňa, 2002).

Zplyňování je zdokonalenější způsob spalování, ve kterém dochází k oxidaci uhlovodíků s vodní párou z paliva, následované redukcí na hořlavé plyny a minerální zbytky. Bez dostatečného přístupu kyslíku biomasa nevzplane, nýbrž vytvořený dřevoplyn je odveden do spalovacího prostoru, kde je spálen. Tento proces dosahuje vyšší účinnosti a nižších emisí než standardní spalování. Je těžké určit přesný poměr látek v dřevoplynu z důvodu různorodosti biomasy, ale například z 1 kg zplyňovaného dříví může vzniknout takováto směs plynů: 40 % N<sub>2</sub>, 25 % CO, 20 % H<sub>2</sub>, 10 % CO<sub>2</sub> a 3 % CH<sub>4</sub>. (Motlík et Váňa, 2002).

Pyrolýza je tepelný proces rozkladu biomasy bez přístupu vzduchu. Biomasa se ohřívá na teplotu cca 400 °C. Při této teplotě dochází k uvolňování směsi plynů a vodních par. V postupných kondenzačních částech je tvořen olej s vysokým bodem varu, pak s nízkým bodem varu. Dalším produktem pyrolýzy je dřevěné uhlí. Zbýlý nekondenzující plyn proudí do zásobníku plynu, je využíván pro předsoušení biomasy, protože pro efektivní pyrolýzu je u biomasy vyžadovaná velmi nízká vlhkost, do 15 %, vhodněji do 10 % (Motlík et Váňa, 2002).

### 3.2.2 Fyzikálně-chemická konverze

Zástupcem fyzikálně-chemických konverzí je esterifikace biomasy neboli zkapalnění paliva. Fyzikální část procesu je charakteristická drcením a lisováním olejných semen, chemická poté reakcí karboxylové kyseliny s nějakým alkoholem, většinou ethanolem či methanolem, v praxi za přítomnosti kyselého katalyzátoru urychlujícího reakci, například kyseliny sírové. Příkladem této reakce, necht' je výroba ethylacetátu (ethylester kyseliny octové) z kyseliny octové přidáním ethylenu (Clark, 2003):



Produkt dané reakce je ethylacetát a voda. Vzhledem k rovnovážnosti reakce se pro zachování průběhu odebírá voda, nejčastěji destilací. Ethylacetát se využívá jako rozpouštědlo či ředidlo, díky nízké toxicitě a nákladům na výrobu (Clark, 2003).

Pro výrobu biopaliva esterifikací se využívají záměrně pěstované olejnaté rostliny, v podmínkách ČR je touto zejména brukev řepka olejka (*Brassica napus*). Výsledným produktem je methylester řepkového oleje, zkráceně MEŘO, který je vyráběn reesterifikací daného oleje methanolem. MEŘO má vlastnosti velmi blízké naftě ropného původu, nicméně je méně stabilní vzhledem ke dvojné vazbě a výhřevnost je nižší v řádu jednotek, přibližně 32,5 MJ/l oproti ropné naftě 35,5 MJ/l (Blažek et Rábl, 2006).

### 3.2.3 Biochemická konverze

#### 3.2.3.1 Aerobní fermentace

Aerobní technologie zpracování biologicky rozložitelného bioodpadu má mnohem delší tradici než anaerobní, dalo by se říci již od začátku lidského zemědělství, nicméně první solidní zmínky o kompostování se dají dohledat od římského učence L. J. M. Columela, který popsal, jak mají být zemědělské odpady míchány, vrstveny a používány. Tato technologie je nejvíce rozšířena jako kompostování (z lat. *composta* – *compostium*, tzn. skladba) a je upřednostňována před technologií anaerobní, a to zejména z důvodu, že se jedná o předcházení vzniku odpadu. Téměř veškeré biologicky rozložitelné zbytky se dají kompostovat, a tedy přeměnit na výživný materiál pro vlastní pěstování. Technologický záměr je simulovat půdní procesy rozkladu látek, ale v řízeném prostředí toho docílit mnohem efektivněji, tedy rychleji (Dohányos, 1998).

Ve své podstatě se kompostování dělí na tři základní skupiny, kompostování domácí, komunitní a průmyslové. V prvním případě se v praxi používají nejčastěji kompostéry uměle vyrobené (dřevo, plast, pletivo) či pouze v kupě nebo v půdní jámě. Velikost takovýchto zařízení se pohybuje od 1 m<sup>3</sup> v jednotkách m<sup>3</sup>. Kompostování komunitní shromažďuje odpad skupiny lidí, většinou např. zahrádkářské kolonie nebo větší sousedství, principy zde používané jsou shodné s kompostováním domácím, využívají se přírodní fyzikální procesy, někdy za pomoci manuálního otáčení odpadu (vidlemi, lopatou). V průmyslovém kompostování je k centralizaci odpadu využívám svoz. Pro zachování efektivnosti již nestačí přírodní procesy.

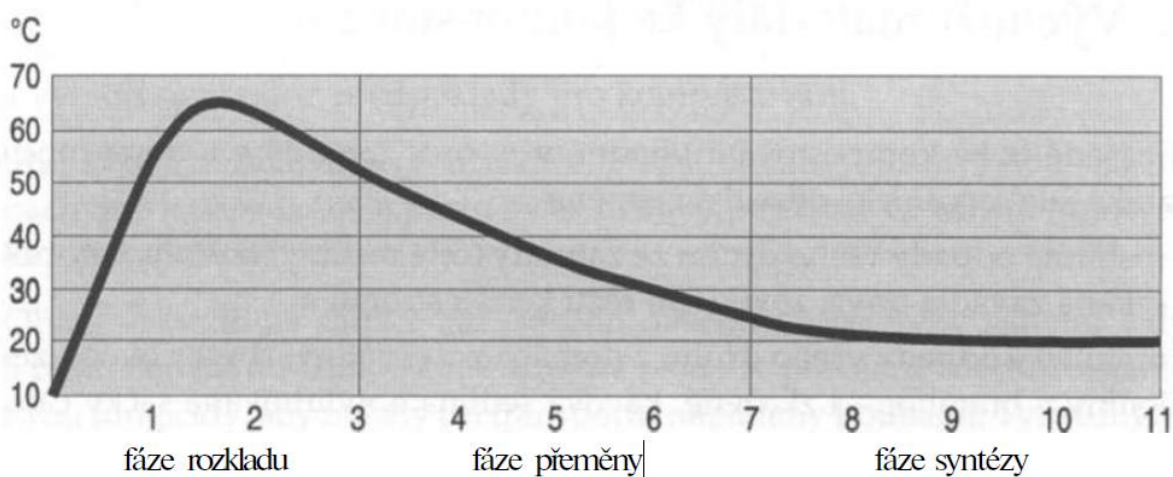
Areace (provzdušňování) je řešena většinou automatickými překopávací nebo vhnáním (či odsáváním) vzduchu v nuceném oběhu (Kalina, 2004).

Kalina (2004) dále uvádí, že aerobní fermentace je kontinuální proces, který se rozděluje do tří fází: fáze rozkladu, přeměny a výstavby (syntézy). Na obrázku níže je patrný průběh teploty.

Fáze rozkladu trvá přibližně 3 až 4 týdny, teplota stoupá na 50 až 70 °C činností bakterií a hub, které rozkládají lehce rozložitelné sloučeniny, jako jsou například cukry, bílkoviny a škrob. Konečným produktem jsou například dusičnany, oxid uhličitý, čpavek, aminokyseliny a polysacharidy. Živiny, které jsou vázány v organické hmotě, se tak uvolňují a zčásti přecházejí až do původní minerální formy. Tento proces se proto také nazývá „mineralizace“ (Kalina, 2004).

Fáze přeměny trvá od 4. až do 10. týdne. Teplota postupně klesá, mineralizované živiny jsou zabudovány do „humusového komplexu“. Kompost získává stejnoměrně hnědou barvu a drobtovitou strukturu. V této fázi hmota dosahuje nejvyššího výživového efektu (běžně je nazývaná jako živný humus) (Kalina, 2004).

Poslední fáze syntézy je charakteristická stále pevnějšími vazbami mezi živinami a tím stabilnější účinnost humusu (z živného humusu se stává trvalý humus) (Kalina, 2004).



Obr. 2 Průběh teploty ve fázích kompostování, zdroj: (Kalina, 2004)

### 3.2.3.2 Anaerobní fermentace

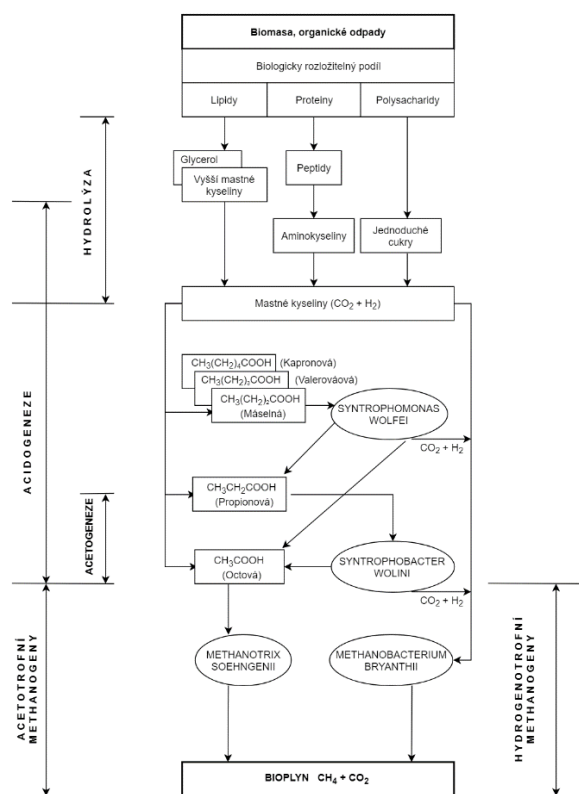
Anaerobní fermentace je využívána pro přeměnu biomasy na bioplyn v BPS, který je po čišťení velmi podobný zemnímu plynu díky vysokému obsahu methanu ( $\text{CH}_4$ ) – až 85%.

Protože se tato práce zabývá právě bioplynovými stanicemi, jsou použité technologie a průběh procesu rozepsány v následujících kapitolách (Schulz et Eder, 2004).

Proces anaerobní fermentace ovlivňuje celá řada faktorů, mezi které patří potenciál produkce bioplynu vstupního materiálu, velikost částic vstupního materiálu, konstrukce fermentoru, použité inokulum, původ vstupních materiálů, pH, teplota, látkové zatížení fermentoru, hydraulická doba zdržení materiálu ve fermentoru, poměr C : N, sušina vstupního materiálu, koncentrace nižších mastných kyselin, způsob míchání fermentoru, obsah inhibitorů anaerobního procesu ve vstupním materiálu a obsah stopových prvků. Vzhledem k těmto faktorům je složité určit požadavky na prostředí fermentoru. Obzvlášť to platí o odpadních BPS, kde je různorodost vstupních látek velice široká (Straka et Dohányos, 2006).

### **3.3 Výroba bioplynu**

Rozklad organické hmoty v anaerobním prostředí (tzv. methanová fermentace, přesto methanogeny jsou posledním článkem řetězce biochemické konverze) se dá popsat čtyřfázovým průběhem, kde jsou všechny fáze na sobě závislé a v každé probíhá jiný proces ve vlastním prostředí za účasti jiných organismů, jak popisuje následující schéma a rozbor jednotlivých částí (Straka et Dohányos, 2006). Schéma je v plné velikosti umístěno v samostatných přílohách – příloha č. 1 „Schéma čtyřfázového procesu tvorby bioplynu v plné velikosti“:



Obr. 3 Schéma vzniku bioplynu čtyřfázovým procesem, zdroj: (Straka et Dohányos, 2006), vlastní digitalizace z knihy

1. Hydrolýza – V průběhu hydrolýzy jsou polymerní látky, polysacharidy, tuky a bílkoviny štěpeny extracelulárními enzymy na monomerní látky, kterými jsou aminokyseliny, monosacharidy, mastné kyseliny a některé alkoholy. Rychlost rozkladu v průběhu hydrolýzy závisí do značné míry na povaze vstupního materiálu, velikosti, tvaru, povrchu a produkci enzymů. Rozklad materiálu, který obsahuje polysacharidy (celulózu, hemicelulózu, škrob) je mnohem pomalejší, než rozklad materiálů obsahujících bílkoviny a tuky. Z mikrobiologického hlediska je možné konstatovat, že během hydrolýzy a v závislosti na zpracovávaném vstupním materiálu jsou aktivní rody mikroorganismů Bacteriodes, Clostridium, Acetovibrio, Peptostreptococcus a Bifidobacterium. Hydrolytické rozklady mohou probíhat jak v přítomnosti, tak i nepřítomnosti kyslíku.
2. Acidogeneze – Produkty hydrolýzy jsou využity jako substrát pro acidogenní mikroorganismy. Základním pochodem při acidogenezi je tedy transformace produktů hydrolýzy na nižší mastné kyseliny (octovou, propionovou, máselnou, valerovou, alkoholy, amoniak, oxid uhličitý a vodík. Velice důležitou skutečností je, že acidogenní mikroorganismy nespotřebovávají ve svém metabolismu mastné kyseliny, ty tak mohou



být substrátem v následujícím stupni vzniku bioplynu, acetogenezi. Acidogeneze se stejně jako hydrolýza skládá z několika dílčích reakcí, jejichž počet a konečný vliv je silně závislý na vstupním substrátu zpracovávaného bioplynovou stanicí. Mnohé z mikroorganismů, které se zúčastňují acidogeneze, jsou shodné s těmi, které jsou přítomny při hydrolýze, nicméně existuje celá řada druhů, které se zúčastňují pouze acidogeneze. Jedná se například o rody *Enterobacterium*, *Bacteriodes*, *Acetobacterium* a *Eubacterium*.

3. Acetogeneze – Tato fáze je považována za velmi důležitou, až kritickou, což pramení ze skutečnosti, že ne všechny produkty acidogeneze lze využít přímo v methanogenezi, proto vyžaduje symbiózu autogenních a methanogenních mikroorganismů. Acetogeneze je spojena s produkcí plynného vodíku, který je označován právě za kritický ukazatel, pokud není zabezpečeno kontinuální zpracování vodíku methanogenními mikroorganismy, acetogeneze se zastaví a systém zkolabuje. Je nutné zmínit, že plynný vodík může být tvořen různými způsoby. Ne všechny vodík produkující mikroorganismy jsou závislé na symbióze s jinými mikroorganismy a mezidruhovém transferu vodíku.
4. Methanogeneze – Poslední fáze probíhá za striktně anaerobních podmínek, při kterých vzniká činností methanogenních organismů bioplyn, který je tvořen majoritními složkami, methanem a oxidem uhličitým. Všechny reakce probíhající při methanogenezi jsou exotermní. Substrátem pro methanogenní organismy jsou vodík, oxid uhličitý a acetát, které vznikají v předchozím stupni acetogeneze. V methanogenní fázi procesu tvorby bioplynu převládá skupina mikroorganismů, acetotrofních methanogenů, které využívají ve svém metabolismu acetát jako substrát a štěpí jej na dva produkty, jeden z atomů uhlíku je využit k tvorbě methanu a druhý k tvorbě oxidu uhličitého. Acetát je zdrojem přibližně 70 % bioplynu vyrobeného ve fermentoru. Druhou významnou skupinou mikroorganismů při methanogenezi jsou hydrogentrofní methanogenní mikroorganismy, které jako primární substrát pro tvorbu methanu spotřebovávají plynný vodík a oxid uhličitý.

Tvorba methanu je rovnovážný proces spolupracujících acidogenních a methanogenních organismů, proto obsahuje bioplyn vyjma hlavní složky methanu, vyskytujícího se v obsahu poměrně širokým intervalem 50 – 85 %, také další látky, zejména oxid uhličitý, který doplňuje

téměř celý zbývající obsah bioplynu. Poté se může vyskytovat stopové množství dusíku, vodíku, čpavku, sirovodíku a vody. Tyto složky se před spálením musí čistit, zejména sloučeniny síry, ty při spálení vytvářejí usazeniny v motoru kogenerační jednotky a tím snižují životnost. Sloučeniny se objevují výhradně při zpracování kalové vody nebo skládkového plynu. V kvalitním bioplynu by se neměl vyskytovat kyslík. Lignin, v přírodních materiálech obsažený například ve dřevu či rostlinném odpadu, není v konverzi přeměněn vůbec (Straka et Dohányos, 2006).

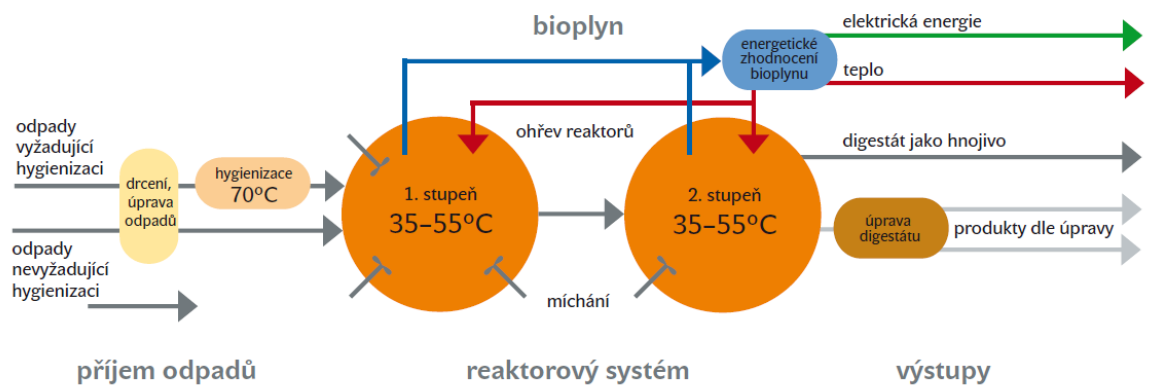
Jak autoři (Straka et Dohányos, 2006) dále uvádí, biochemická konverze v anaerobním prostředí nemusí být založena vyloženě na mikroorganismech. V zaživacích traktech přežvýkavců jsou velmi aktivní prvoci z kmene nálevníků (bachořci), spolupodílejících se na hydrolytické fázi, kteří jsou přibližně o řád větší než jiné účastněné organismy (přibližně 25 – 200  $\mu\text{m}$ ).

### **3.4 Technologie anaerobní fermentace**

Anaerobní technologie prošla posledními dekádami značným vývojem a tento vývoj se neustále stupňuje. Jak bylo uvedeno na začátku této kapitoly, již v poměrně na technologie vzdálené historii existovala mokrá anaerobní technologie, v prvním desetiletí nového tisíciletí se k ní přidala suchá anaerobní technologie, která se svým procesem podobá kompostování, nicméně stále dochází k odstranění (vlastní spotřebě) kyslíku a následné anaerobní digesci. Anaerobní fermentace obou typů probíhá v reaktorech s několika stupni a plynoměry, je potřebí mnohem větší zázemí (někdy i s hygienizační linkou) a bezpečnostní opatření, a to je také jedno z hraničních kritérií výstavby, neboť je několikanásobně dražší nežli kompostování (Schulz et Eder, 2004).

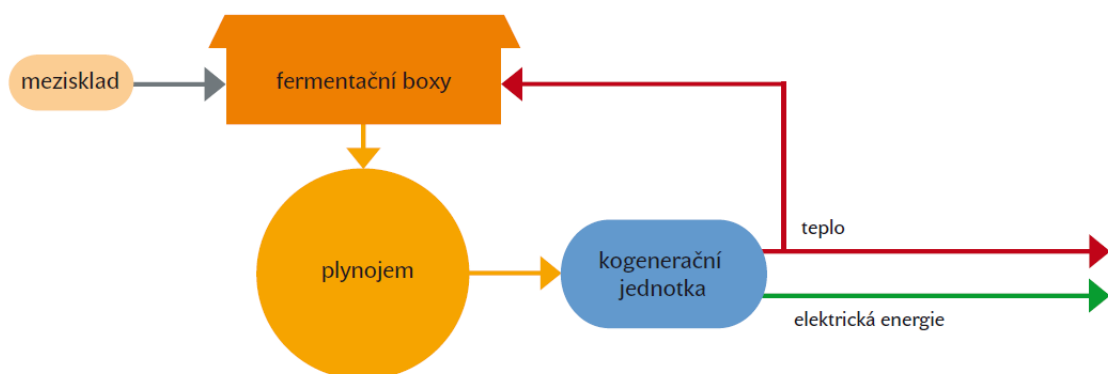
Oba typy technologie mají své výhody a nevýhody, avšak společně využívají v procesu tři teplotní stupně a to psychrofilní (5-27 °C), mezofilní (27-40 °C) a termofilní (45-60 °C) režim, kdy v praxi se využívá posledních dvou v závislosti na tom, v jaké produkční kondici bioplynová stanice je. Zjednodušeně se dá říci, že s rostoucí teplotou roste produkce bioplynu, tedy zpracování odpadu, avšak je také zapotřebí více energie na zahřátí (probíhá vlastním spalováním bioplynu v kogenerační jednotce), ale v praxi to tak jednoduché není. Optimální produkce bioplynu je zejména s majoritním využíváním biologicky rozložitelného odpadu velmi náročná, závisí na mnoha faktorech (většinou biochemických), provozovatel takovéto stanice musí být velmi zkušený (Dvořáček et al., 2009).

Rozdíl obou technologií je patrný z následujících obrázků. Mokrý fermentace probíhá většinou v kruhovitých reaktorech za neustálého míchání. Materiál je nadrcen (v případě zbytků z jídelen či jatek ještě hygienizován – po dobu min. jedné hodiny zahříván na více než 70 °C, velikost vstupujících částic musí být max. 12 mm), smíchan s vodou pro odpovídající sušinu cca 12 %, důležitá je zde čerpatelnost (Dvořáček et al., 2009).



Obr. 4 Schéma dvoustupňové BPS, zdroj: (Dvořáček et al., 2009)

U suché fermentace se většinou používá hranatých budov (proto se jí také přezdívá garážová bioplynová stanice) a obsah zde nemusí být natolik nadrcen jako v případě mokré fermentace a může obsahovat též více příměsí nežádoucích látek, aniž by byl ohrožen fermentační proces inhibicí. Ovšem i zde dochází ke zkrápění materiálu provozní tekutinou (perkolátem). Název této technologie je tedy poněkud zavádějící, materiál má pouze více než dvojnásobné množství sušiny než u technologie mokré fermentace - přibližně 30 % (Dvořáček et al., 2009).



Obr. 5 Schéma garážové BPS využívající suché fermentace, zdroj: (Dvořáček et al., 2009)

### 3.5 Legislativa

Biologicky rozložitelný odpad (BRO) a biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO) je státem definovaný odpad, který je dohledatelný v katalogu odpadů, nyní aktuálně ve vyhlášce č. 93/2016 Sb., o Katalogu odpadů. Katalogové číslo odpadu se skládá ze tří dvojčíslí. První dvojčíslí označuje skupinu odpadů, druhé dvojčíslí označuje podskupinu odpadů a třetí dvojčíslí druh odpadu. Postup pro zařazování odpadů podle Katalogu odpadů je stanoven v § 4 až § 8 této vyhlášky. Z této skupiny je vhodné zmínit např. tyto podskupiny:

02 01	Odpady ze zemědělství, zahradnictví, lesnictví, myslivosti, rybářství
02 02	Odpady z výroby a zpracování masa, ryb a jiných potravin živočišného původu
03 01	Odpady ze zpracování dřeva a výroby desek a nábytku
03 03	Odpady z výroby a zpracování celulózy, papíru a lepenky
20 01	Složky z odděleného sběru (kromě odpadů uvedených v podskupině 15 01)
20 02	Odpady ze zahrad a parků (včetně hřbitovního odpadu)
20 03	Ostatní komunální odpady

V těchto podskupinách je možné najít veškeré běžně používané bioodpady jak pro aerobní, tak i anaerobní fermentaci. Patří sem např. odpady ze zpracování dřeva a papíru, odpady ze zemědělské činnosti, odpady ze zpracování masa, ryb a jiných surovin živočišného původu, biologicky rozložitelný odpad z kuchyní a stravoven, jedlý olej a tuk, BRO ze zahrad a parků, odpad z tržišť, odpad z čištění kanalizace, textilní materiály, papír a lepenka (2016).

#### 3.5.1 Legislativní zatížení bioodpadů

Nakládání s bioodpady upravují především tyto zákony:

- 83/2015 Sb. Zákon o právu na informace o životním prostředí (mění zákon č. 123/1998 Sb.)
- 185/2001 Sb. Zákon o odpadech
- 184/2014 Sb. Zákon o odpadech (mění částí zákona č. 185/2001 Sb.)

Dále tyto vyhlášky:

- 93/2016 Sb. Vyhláška o Katalogu odpadů
- 321/2014 Sb. Vyhláška o rozsahu a způsobu zajištění odděleného soustředování složek komunálních odpadů
- 341/2008 Sb. Vyhláška o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady (vyhláška o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady)
- 383/2001 Sb. Vyhláška o podrobnostech nakládání s odpady
- 437/2016 Sb. Vyhláška o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady a změně vyhlášky č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady (vyhláška o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady)

A nařízení 352/2014 Sb. Nařízení vlády o Plánu odpadového hospodářství České republiky pro období 2015-2024. (2018)

## **3.6 Ekonomické zhodnocení**

### **3.6.1 Kompostování**

Nebudeme-li se zabývat ekonomikou domácího a komunitního kompostování, musíme zmínit alespoň ekonomiku průmyslového kompostování. Náklady takového kompostování se vždy odvíjí zejména nákladem na svoz a úpravu surovin. Objektivně se počítají na jednu tunu vyrobeného kompostu a cenu tohoto kompostu na trhu. Pokud náklady rozepíšeme, jedná se o tyto:

- Pořízení nebo pronajmutí plochy ke kompostování
- Svoz surovin
- Provoz strojů v kompostovací lince

- Mzdy pracovníků
- Vstupní suroviny

Průměrné náklady na vyrobení 1 t kompostu z BRO jsou tedy velmi závislé na vstupních hodnotách, ale orientačně se pohybují řádově kolem 500 Kč (Zemánek, 2010).

### 3.6.2 Bioplynové stanice

S ekonomikou bioplynové stanice je to mnohem složitější. Náklady na výstavbu jsou zejména:

- Hala pro příjem odpadů vybavená vzduchotechnikou a biofiltrem
- Linka příjmu a separace bioodpadů
- Linka hygienizace (pokud je třeba)
- Separace digestátu a řešení jeho skladování

V překladu na finanční náročnost se BPS na BRO pohybuje v investičních nákladech výše než 200 000 Kč na 1 kW instalovaného výkonu s tím, že čím menší BPS je, s tím měrné náklady rostou. Tyto informace souvisí s mokrou technologií fermentace, pro suchou technologii v ČR stále chybí patřičné informace, nicméně se dá očekávat, že budou o něco nižší než v případě mokré technologie (Dvořáček et al., 2009).

Provozní náklady také nejsou malé a je jich velké množství, pro příklad uveďme tyto:

- Obsluha zařízení (vedoucí bioplynové stanice, administrativní sílu, manipulační síla), servis kogeneračních jednotek (cca 0,3 – 0,4 Kč/kWh)
- Servis a údržba technologie bioplynové stanice (opravy mechanických pohyblivých částí – dopravníky, čerpadla, míchadla apod.) min. desítky tisíc Kč/rok
- Separace digestátu včetně jeho odvodnění. vyšší než na ČOV (až první stovky tis. Kč/rok)
- Uplatnění digestátu. V současnosti se stále jedná o nákladovou položku (i přesto, že je digestát registrován jako hnojivo)
- Monitoring provozu zařízení zahrnující především monitoring podle zákona o odpadech, zákona o ovzduší a veterinárního zákona v případě zpracování vedlejších živočišných produktů. Poslední zmíněný je finančně poměrně náročný, a to pro rozsah a četnost
- Odborná pomoc při řízení provozu stanice (činnost odborných poradenských firem)
- Manipulace s odpady v areálu

## **4 Zhodnocení podkladových údajů**

Pojem biomasa se z literárních zdrojů jeví jako velmi široká množina pojmů a hmotných věcí, o její podmnožině v podobě organických odpadů to platí také, stejně tak o možnostech využití takové hmoty, ať už z energetického či materiálového pohledu.

Tato práce se zabývá anaerobní technologií zpracování odpadní organické hmoty. Z pohledu základních principů činnosti a potřebných technologií pro její realizaci se jedná o velice komplikované odvětví. Z těchto důvodů je konečná výroba produktu touto technologií náročná na podmínky (výroba bioplynu čtyřfázovým procesem), kde při majoritním použití odpadních látek vzniká velká míra nestability zapříčiněná různorodostí vlastností takových látek, důsledek může být například inhibice methanogenních organismů a tím snížení či úplné zastavení produkce bioplynu, případně silný zápach výstupních látek, který při neodborné manipulaci může vyústit až v získání nepřízně blízko bydlicích občanů a tím i jejich podpory takových technologií.

V případě hodnocení podkladových údajů je vhodné také zmínit, že odběr, zpracování a případně energetické využití odpadů s sebou nese velkou legislativní zátěž, kterou mohou potvrdit z uskutečněného kurzu provozovatelů BPS, kde výpovědi osob z praxe jasně hovoří, že jen evidence a protokolování okolo přijímání odpadu může administrativně vytížit jednu osobu na hlavní pracovní poměr. Administrativní zátěž přitom neustále roste.

BPS na biologicky rozložitelný odpad se zdají být potřebné, ale existuje mnoho faktorů, které v naší společnosti jejich využití ztěžují, včetně oproti jiným technologiím poměrně nákladné výstavby a provoz takového zařízení. Dá se nicméně konstatovat, že jejich výstavba je v rámci všeobecného prospěchu pozitivní a měla by tedy být zvažována i přes značné nevýhody.

## **5 Vlastní projekt**

Škála použitelných odpadů v odpadové BPS je poměrně široká, ve skutečnosti ale většina těchto odpadů již má své využití v jiném druhu BPS. Například zemědělské odpady, zejména živočišný a rostlinný odpad, se přidávají do zemědělských BPS, a kalové odpady jsou řešeny v BPS přidružené k ČOV.

Podle zákona č. 185/2001 je hierarchie způsobů nakládání s odpady následující (od nejžádanější po nejméně žádanou):

1. Předcházení vzniku odpadu
2. Příprava k opětovnému použití
3. Recyklace odpadů
4. Jiné využití odpadů, například energetické využití
5. Odstranění odpadu

Zákon dále stanoví, že je možné se od hierarchie odchýlit, pokud nižší nakládání je výhodnější s ohledem na životní prostředí a cyklus odpadů. V případě bioplynových stanic a bioodpadů to ovšem neplatí, neboť kompostování je ekonomicky méně náročné a upřednostňovanější řešení nakládání s bioodpadem. V praxi to poté může vypadat tak, že téměř všechny odpady mohou být kompostovány, vyjma těch méně stabilních, které potřebují hygienizaci k minimalizaci rizik plynoucích z patogenů (například jateční a gastro odpad). Z tohoto důvodu níže uvedená tabulka je pouze teoreticky založená. Jsou v ní obsaženy pouze vybrané odpady z katalogu odpadů:

Katalogové číslo	Název odpadu
<b>02 02</b>	<b>Odpady z zpracování masa, ryb a jiných potravin živočišného původu</b>
02 02 03	Suroviny nevhodné ke zpracování
<b>02 03</b>	<b>Odpady z výroby a ze zpracování ovoce, zeleniny, obilovin, jedlých olejů</b>
02 03 04	Suroviny nevhodné ke zpracování
<b>02 05</b>	<b>Odpady z mlékárenského odpadu</b>
02 05 01	Suroviny nevhodné ke zpracování
<b>20</b>	<b>Komunální odpady</b>

*Tabulka 1 Seznam vybraných bioodpadů, vlastní tvorba*

## 5.1 Získání statistických údajů

Veškeré data o produkci odpadu jsou získány ze systému VISOH z jeho aktuální verze (interval let 2009 - 2016). Z těchto dat se vypočítávaly vztahy mezi hodnotami. Podkategorie



začínající katalogovým číslem 02 jsou samostatně přístupné, podkategorie 20 je součástí součtového výstupu, a tedy včetně všech ostatních odpadů (biologicky nerozložitelných). Celá kategorie obsahuje komunální odpady (odpady z domácností a podobné živnostenské, průmyslové odpady a odpady z úřadů) včetně složek z odděleného sběru, ze zahrad a parků. Proto je pro výpočet použito 40% celkové produkce komunálního odpadu. Předpoklad je všeobecně přijímán a dohledatelný například u Dvořáčka (2009). Tento odhad očekává 40 – 50 % obsahu BRO v komunálním odpadu, pro výpočty je tedy použita dolní hranice.

Ze systému byla použita data o tvorbě vybraných odpadů a BRKO pro celou ČR podle krajského dělení. Získaná data byla vložena do Microsoft Excel souboru, který je přiložen jako samostatná příloha, ve kterém proběhly následující výpočty:

1. Sumarizace dat z let 2009 – 2016 pro každý odpad jednotlivě
2. Výpočet základního aritmetického průměru těchto hodnot
3. Sumarizace vybraných odpadů
4. Výpočet 40 % z komunálního odpadu pro zjištění BRO složky
5. Celková sumarizace všech těchto odpadů pro kraje ČR
6. Výpočet produkce celkového BRO na osobu a rok

## 5.2 Vizuální zobrazení dat

Jako typ zobrazení byl vybrán styl tematické mapy ČR. Jako zdroj tvaru ČR byla použita data aplikace ArcČR500<sup>®</sup>, společnosti ARCDATA PRAHA, s.r.o. za spolupráce Zeměměřického úřadu a Českého statistického úřadu.

Data a veškeré výpočty jsou přiloženy v samostatných přílohách, v tabulce č. 2 „Produkce vybraných odpadů a BRKO v krajích ČR v letech 2009 – 2016“ a tabulce č. 3 „Souhrn průměrných hodnot vybraných odpadů produkovaných na území ČR v letech 2009 – 2016“.

*První je zobrazena mapa (příloha č. 5 „Průměrná produkce vybraných odpadů v letech 2009 - 2016“), kde je vzestupně odstínovaná produkce vybraných odpadů (viz. Tabulka 1 Seznam vybraných bioodpadů, vlastní tvorba*

) bez poslední položky 20. Aby data mohla být graficky rozmanitá, je pro zobrazení této mapy použit způsob přirozených intervalů, kdy jsou šířky intervalů upraveny tak, aby každý obsahoval přiměřeně stejný počet entit. Ve skutečnosti to pak při použití těchto dat vypadá tak, že nižší intervaly jsou krátké a postupně se s přibývajícím odpadem rozšiřují.

Z celého statistického vzorku vybočuje Karlovarský kraj se silně podprůměrnou hodnotou téměř 360 t/rok, druhý je pak Pardubický kraj s 1.114 t/rok, nejvyšší tvorba vybraného odpadu je ve Středočeském kraji (14.222 t/rok). Ve stejném vzorci je poté díky přirozenému intervalu Praha (téměř 9.900 t/rok).

Následuje mapa zobrazující BRKO (40 % komunálního odpadu, viz. podkapitola 5.1) – příloha č. 6 „Průměrná produkce BRKO v letech 2009 - 2016“. Zde je již použit systém stejně širokých intervalů, vyjma počátečního, který je dvojnásobný. Situace je obdobná jako v minulém pozorování. Do hranice 100.000 t/rok se umístili Karlovarský ( $\approx 55.600$  t/rok), Liberecký ( $\approx 85.000$  t/rok) kraj včetně Vysočiny ( $\approx 97.000$  t/rok). Tabulku uzavírá Středočeský kraj ( $\approx 283.000$  t/rok) a Praha ( $\approx 297.000$  t/rok).

Při spojení těchto dat vychází kompletní průměrná referenční produkce BRO – příloha č. 7 „Celková průměrná produkce BRO v letech 2009 . 2016“. Při vytváření mapy byly opět nepatrně upraveny stejně široké intervaly pro dosažení lepší vizuální výpovědní hodnoty. Výstupní informace poměrně koreluje s produkcí BRKO z důvodu nízké nominální hodnoty vybraných odpadů.

### 5.3 Zhodnocení výstupních dat

Jak je z map zřejmé, vysoká tvorba BRO je patrná zejména v oblastech husté zástavby, zejména hl. město Praha, Středočeský, Moravskoslezský a Jihomoravský kraj, což se zdá jako očekávatelný děj. Lidé v těchto oblastech mají velice snížené možnosti vlastního využití takového odpadu, například domácím či komunitním kompostováním, případně způsob sběru BRO je nedostatečný či úplně schází.

Tvorbu BRO můžeme chápat také z pohledu úměrnosti na počet obyvatel, kteří v lokalitě žijí, protože vznik biologicky rozložitelného odpadu je způsoben zejména lidskou činností. Pro bližší porozumění takovéto závislosti je potřeba souhrnné číslo odpadu vydělit počtem obyvatel, potom může vzniknout mapa viz. příloha č. 8 „Průměrná produkce BRO na obyvatele v letech 2009 – 2016“.

Tato data již mají větší výpovědní hodnotu, produkce se pohybuje od 181,86 kg/ob./rok (Zlínský kraj), přes průměrné hodnoty pohybující se okolo 203 kg/os./rok, až k hraniční hodnotě 246,49 kg/os./rok na území Prahy.

Zde je důležité se zamyslet nad touto hodnotou. I přesto, že hl. město Praha má vždy nejvyšší míru tvorby BRO, je to pravděpodobně způsobeno chybou při vyhodnocování

statistických údajů. Data jsou porovnávána s počtem obyvatel území, nicméně na tomto území je zvýšený pohyb osob, kteří obyvatelé nejsou, například dojíždějící pracující, krátkodobé i dlouhodobé pobyty, ale i vysoká turistická frekvence silně znehodnocují takový výpočet.

Dále je při porovnávání dat možné pozorovat, že Karlovarský kraj je se svými hodnotami poměrně robustně na dobré úrovni ve všech měřených hodnotách, stejně tak Vysočina či kraj Liberecký. Zajímavou změnu indikuje Jihomoravský kraj, kde při vizualizaci samotných odpadů vykazuje hodnoty spíše podprůměrné (téměř 222.247 t/rok), při přepočtu na obyvatele je to silně nadprůměrné (ihned za Zlínským a Karlovarským krajem s 189,94 kg/os./rok).

Pokud vyjmete z porovnávání zřejmě velice zkrácenou Prahu, Středočeský (297.051 t/rok, 228,09 kg/ob./rok) a Moravskoslezský kraj (262.864 t/rok, 215,14 kg/ob./rok) se na vzniku odpadu podílejí dohromady s 26 % tvorby celé ČR.

## 5.4 Energetický potenciál

Po shromáždění a vyhodnocení statistických dat je možné zaobírat se vlastním energetickým potenciálem takové hmoty v bioplynové stanici. Pro co největší využití potenciálu zpracovávané hmoty předpokládejme rozšířenější mokrou fermentační jednotku a dodržení následujících zásad (Hřebíček, 2011):

- substrát musí obsahovat minimálně 50 % vody, jinak nemohou methanogenní bakterie správně působit
- zabránění přístupu vzduchu (pro anaerobní fermentaci)
- zamezení přístupu světla (brzdí proces fermentace)
- stálou teplotu, (většina anaerobních procesů methanogenů stabilně probíhá v mezofilním prostředí při teplotě 25 °C - 40 °C)
- hodnota pH by měla být slabě alkalická, pohybovat by se měla v rozmezí 6,5 – 8 pH, mimo tento interval dochází k inhibici
- zamezení vstupu inhibitorů (například antibiotika a desinfekční prostředky), při zpracování jatečního, gastro a jiného živočišného odpadu poměrně problematické
- vyvážený poměr C:N, ideálně v rozmezí 20:1 až 30:1
- dostatečná přítomnost mikronutrientů (zejména Na, K, Ca, Mg, S, Fe, Ni, Co, Se, W)
- rovnoměrný přísun substrátu, dostatečná doba zdržení v reaktoru
- zajištění dostatečného míchání substrátu (homogenizace směsi)

- odplyňování substrátu (vzniklý plyn musí být postupně odváděn)

Při procesu je také důležité hlídat obsah nižších mastných kyselin, tedy že čtyřfázový proces probíhá kompletní a fermentor stíhá odbavovat tyto kyseliny, pokud se začne zvětšovat koncentrace na výstupu, produkty BPS začnou silně zapáchat (Dvořáček et al., 2009).

Každá vstupní hmota do procesu má odlišné vlastnosti a v reálném prostředí je zejména u biochemických konverzí složité správně nastavit poměr surovin, aby daný proces probíhal co možná nejefektivněji. Dalo by se uvést, že čím větší energetický potenciál hmoty, tím jsou její vlastnosti méně přívětivé pro řádný proces. V praxi to například znamená, že odpad 200125 - jedlý olej a tuk, odborně lipidy, je látka s vysokou výtěžností (až 1.000 m<sup>3</sup> bioplynu na tunu odpadu), nicméně lipidy jsou hydrofobické a mají tendenci se z vodní fáze oddělovat a hromadit se na hladině (běžná situace u ČOV systémů). Pokud bude fermentor předávkován lipidy, mohou tvořit nepříjemné hromadění pěny a jejich poměr C:N dosahuje až 100:1. Jeho dávkování by tedy mělo být přiměřené situaci. Pro vybrané odpady předpokládáme energetické vlastnosti převzaté od Dvořáčka (2009) a Hřebíčka (2011). Vstup a zpracování dat je uvedené v tabulce č. 4 „Průměrný energetický potenciál vybraných odpadů na území ČR v letech 2009 – 2016“ přiložené v přílohách. Předpokládala se zde výhřevnost CH<sub>4</sub> 33.000 kJ/m<sup>3</sup> a účinnost celého systému převodu na elektrickou energii 40 %. Zde jsou možné výstupy:

- celková roční produkce 776.586 MWh elektrické energie by pokryla ≈ 1,06 % roční hrubé spotřeby ČR (73 TWh)
- při spotřebě 6 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> (≈ 4,3 kg) na 100 km by 1.000 CNG aut na celkovou produkci ujelo přibližně 3.530.000 km (bez započítání ztrát při čerpání atd.)
- při celkové účinnosti soustavy nabíjení elektromobilů až po jízdu 60 % (včetně ztrát na baterii a bez započítané rekuperace) a spotřebě 0,15 kWh/km by 1.000 elektromobilů mohlo ujet přes 3.100.000 km

V praxi by takto vyrobená energie byla nejspíše použita jako mix energií, například vytápění veřejných (úřady, školy atd.) či průmyslových budov, kogenerační jednotkou pro dodání energie části města či jako plnička CNG aut. Z výpočtu je poměrně zajímavý převod energie na nabíjení elektromobilů. I přes to, že účinnost kogeneračních jednotek a nabíjecí soustavy elektromobilu je jistě nižší než u přímého čerpání, je ujetá vzdálenost podobná CNG autům, které energii CH<sub>4</sub> mohou využít rovnou bez převodu energie. Pravděpodobně způsobené nízkou účinností spalovacích motorů. Do výpočtu nejsou započteny ztráty, ale ani rekuperační

schopnost elektromobilu, která se složitě odhaduje, záleží na průměrné rychlosti a terénu, po kterém elektromobil jede (čím členitější, tím výhodnější).

## 5.5 Navržení sítě BPS na komunální odpad

Po zpracování dat ze systému ISOH je možné navrhnout síť bioplynových stanic na biologicky rozložitelný odpad. Pro zpracování více než 60 % vzniklého odpadu, postačí pouze 4 BPS, jejichž umístění včetně radiusu svozu obsahuje mapa v příloze č. 9 „Rozmístění BPS na BRO s radiusem svozu“. Rozmístění pokryje tvorbu vybraných odpadů Prahy, Středočeského, Ústeckého, Jihomoravského a Moravskoslezského kraje.

Stanice by museli být dimenzované minimálně na 1.315.000 tun BRKO za rok, tedy přibližně 3.605 tun denně. Vzhledem k tomu, že svoz a odbavování odpadu indikují kolísavou tendenci, ve špičce by kapacita stačit nemusela. Vhodné je proto takovou hodnotu navýšit alespoň o 25 %. Výsledná dimenze po úpravě vychází přibližně na 4.500 tun denně. Objem fermentorů se bez bližších informací o odpadech odhaduje hůře, ale velmi pravděpodobně by se celkový objem pohyboval v řádech statisíců m<sup>3</sup> objemu. Pro představu se klasické fermentory v praxi objemově pohybují v intervalu 1.000 – 6.000 m<sup>3</sup> a i to někdy bývá technologický hlavolam, jak dosáhnout stabilních výsledků v produkci bez odstavování způsobených inhibicí či překrmením reaktoru. Logisticky uřídit takto obrovský kolos by bylo velmi náročné. Vhodnější využití těchto odpadů by pak mohlo být vystavění okresních BPS do nejvytíženějších lokalit. Při decentralizování krajského svozu omezeného pouze pro nejbližší okolí okresu by stavební velikost těchto objektů mohla konstrukčně odpovídat zařízením již provozovaným.

Pro srovnání je možné porovnat obdobnou mapu, ve které jsou vyznačeny nejvýznamnější existující BPS na biologicky rozložitelné odpady na území ČR – příloha č. 10 „Rozmístění teoretických BPS s radiusem svozu včetně existujících BPS na BRO“. Je důležité zmínit, že minimálně dvě z těchto stanic se potýkají s finančními problémy. BPS Příbyšice od uvedení do provozu v roce 2009 již změnila vlastníka ve stavu, kdy přes 200 miliónů korun dlužila přibližně 50 věřitelům a BPS Vysoké Mýto v provozu od 2008, dimenzovaná jako městská BPS na BRKO v areálu ČOV, která je kvůli nedostatku vlastního odpadu taktéž ztrátová. Ostatní jmenované jsou pravděpodobně správně dimenzované a mají zajištěný dostatečný přísun substrátu, nebylo dohledané, že by se potýkali s nějakými potížemi.

I toto mohou být důvody, proč bioplynové stanice na biologicky rozložitelný odpad na našem území zatím nejsou rozšířeny ve velkém počtu. Pro výstavbu takových zařízení je často použito německých technologií a počáteční i provozní náklady jsou poté velmi vysoké i oproti zemědělským BPS (viz. v kapitole 3.6.2 Bioplynové stanice). V Německu ale takové systémy mají delší tradici a jsou dobře akceptované i investory, zřejmě z důvodů vyšších cen za odkup energie z bioodpadů než v ČR. Na našem území se v bioplynovém odvětví zatím dobře daří jen zemědělské odnoži.

## 6 Diskuze

Při psaní literárního přehledu současného stavu problematiky byl zvolen způsob, který má všeobecně uvést do problematiky vzniku biomasy a tento pohled postupně rozšiřovat přes definice odpadní biomasy, její zpracování, až do nejširšího bodu, který je stěžejní pro tuto práci. Tímto bodem je anaerobní biochemická konverze odpadní biomasy. U tohoto bodu je věnována rozmanitá část procesům její konverze, technologickým, ekonomickým a legislativním zaštitěním takového procesu. Z mého pohledu se jedná o přehledný způsob uvedení do tématu.

V praktické části projektu byla rozpracována problematika nakládání s biologicky rozložitelným odpadem na úrovni všech krajů ČR, ale vzhledem ke komplexnosti a složitosti problematiky musím po dokončení této části konstatovat, že vhodnější způsob by byl zaměřit se na menší referenční část území a pokusit se zahrnout více proměnných pro podrobnější náhled do problematiky bioplynových stanic. Toto by mohl být další postup pro navazující práci.

V této části projektu byly použity metody statistického zpracování dat, která byla převzata ze systému ISOH a pro jejich správné pochopení byla vizualizována do tematických map ČR. Pro potřeby názorného příkladu vysvětlujícího vztah tvorby odpadů na počet obyvatelů bylo znovu využito statistických metod spolu s informacemi ČSÚ.

Při vypočítávání energetického potencionálu mne velice zaujala situace srovnávání automobilů poháněných  $\text{CH}_4$  a elektromobilů, kdy z dostupných dat vyplývalo, i přes dvojitou přeměnu energie u elektromobilů, že elektromobily by na produkovanou energii dojet přibližně podobnou vzdálenost. Jako další postup by mohlo být zajímavé takové porovnání naměřit a zjistit, jestli se nejedná o chybu z důvodu nedostatku informací.

Pokud shrnu průběh projektu, myslím, že mezi jeho největší přínosy patří právě tematické mapy, které se zabírají vybraným tématem. Běžně dostupné mapy se stejnou tematikou většinou zobrazují všeobecnější informace. Jako nejhodnotnější z nich bych vybral „Průměrná

produkce BRO na obyvatele v letech 2009 – 2016“ (příloha č. 8). Jako další přínos vnímám zhodnocení teoretické sítě BPS na BRO, i přes to, že je mírně pesimistický. Avšak věřím, že odráží reálnou skutečnost daného tématu.

## 7 Závěr

Hlavním záměrem práce bylo zmapovat aktuální tvorbu biologicky rozložitelného odpadu na území ČR. Záměr byl splněn bez výhrady a bylo toho dosaženo statistickými daty systému odpadového hospodářství ČR na úrovni všech krajů. Tato data byla vizuálně promítnuta a porovnávána za účelem většího pochopení souvislostí.

Vedlejšími cíli bylo shrnout ekonomické, ekologické a technologické poznatky o biologicky rozložitelných odpadech včetně přidružených témat. Těchto cílů bylo dosaženo studováním odborné tuzemské i cizojazyčné literatury, a studiem legislativního zaštitění řešené problematiky.

## 8 Seznam literatury

Blažek, J., Rábl, V. 2006. Základy zpracování a využití ropy. Vyd. 2., přeprac. Vydavatelství VŠCHT. Praha. ISBN: 80-7080-619-2.

Clark, J. 2003. ESTERIFICATION. Chemguide [online]. James Clark. Rochdale. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <https://www.chemguide.co.uk/organicprops/alcohols/esterification.html>

Deublein, D., Steinhauser, A. 2008. Biogas from waste and renewable resources: an introduction. 1. Aufl. Wiley-VCH. Weinheim [Germany]. ISBN: 9783527318414.

Dohányos, M. 1998. Anaerobní čistírenské technologie. Vyd. 1. NOEL 2000. Brno. ISBN: 80-86020-19-3.

Dvořáček, T., Rosenberg, T., Tluka, P., Habart, J. 2009. Výstavba komunálních bioplynových stanic s využitím BRKO. In: CZ Biom [online]. CZBiom. Praha. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/knihovna/vystavba-komunalnich-bioplynovych-stanic-s-vyuzitim-brko>

Hřebíček, J. 2011. Projektování nakládání s bioodpady v obcích. 2., aktualiz. vyd. Ministerstvo životního prostředí České republiky. Praha. ISBN: 978-80-85763-67-6.

Kalina, M. 2004. Kompostování a péče o půdu. 2. upr. vyd. Grada. Praha. Česká zahrada. ISBN: 80-247-0907-4.

Motlík, J., Váňa, J. 2002. Biomasa pro energii (2) Technologie. Biom [online]. Biom. Praha. [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-pro-energii-2-technologie>>

Murtinger, K., Beranovský, J. 2006. Energie z biomasy. 1. vyd. ERA. Brno. 2006 (1). 21. století. ISBN: 80-7366-071-7.

MŽP, . 2018. Informační systém odpadového hospodářství. Ministerstvo životního prostředí [online]. Ministerstvo životního prostředí. Praha. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <<https://isoh.mzp.cz/VISOH/>>

Petříková, V., Weger, J. 2015. Pěstování rostlin pro energetické a technické využití: biomasa - bioplyn - krmiva. 1 vyd. Profi Press. Praha. ISBN: 978-80-86726-69-4.

Seznam rostlin vhodných k pěstování za účelem využití biomasy pro energetické účely z pohledu minimalizace rizik pro ochranu přírody a krajiny. 2016. Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i. [online]. VÚKOZ. Průhonice. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <<http://www.vukoz.cz/index.php/sluzby/energeticke-plodiny>>

Shi, Y. 2014. Biomass: to win the future. 1st ed. Lexington Books. Lanham[, Maryland]. ISBN: 9780739173701.

Schulz, H., Eder, B. 2004. Bioplyn v praxi: teorie - projektování - stavba zařízení - příklady. 1. české vyd. HEL. Ostrava. ISBN: 80-86167-21-6.



Straka, F., Dohányos, M. 2006. Bioplyn: [příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů]. 2., rozš. a dopl. vyd. GAS. Praha [i.e. Říčany u Prahy]. ISBN: 80-7328-090-6.

Vyhláška o Katalogu odpadů. 2016. In: Sb. Ministerstvo životního prostředí. Praha. ročník 2016. částka 38. číslo 93.

Zemánek, P. 2010. Biologicky rozložitelné odpady a kompostování. 1. vyd. Výzkumný ústav zemědělské techniky. Praha. ISBN: 978-80-86884-52-3.

Zhang, Q. 2010. Rural biomass energy 2020: cleaner energy, better environment, higher rural income : People's Republic of China. 1st ed. Asian Development Bank. Mandaluyong City, Metro Manila, Philippines. ISBN: 9789715618793.

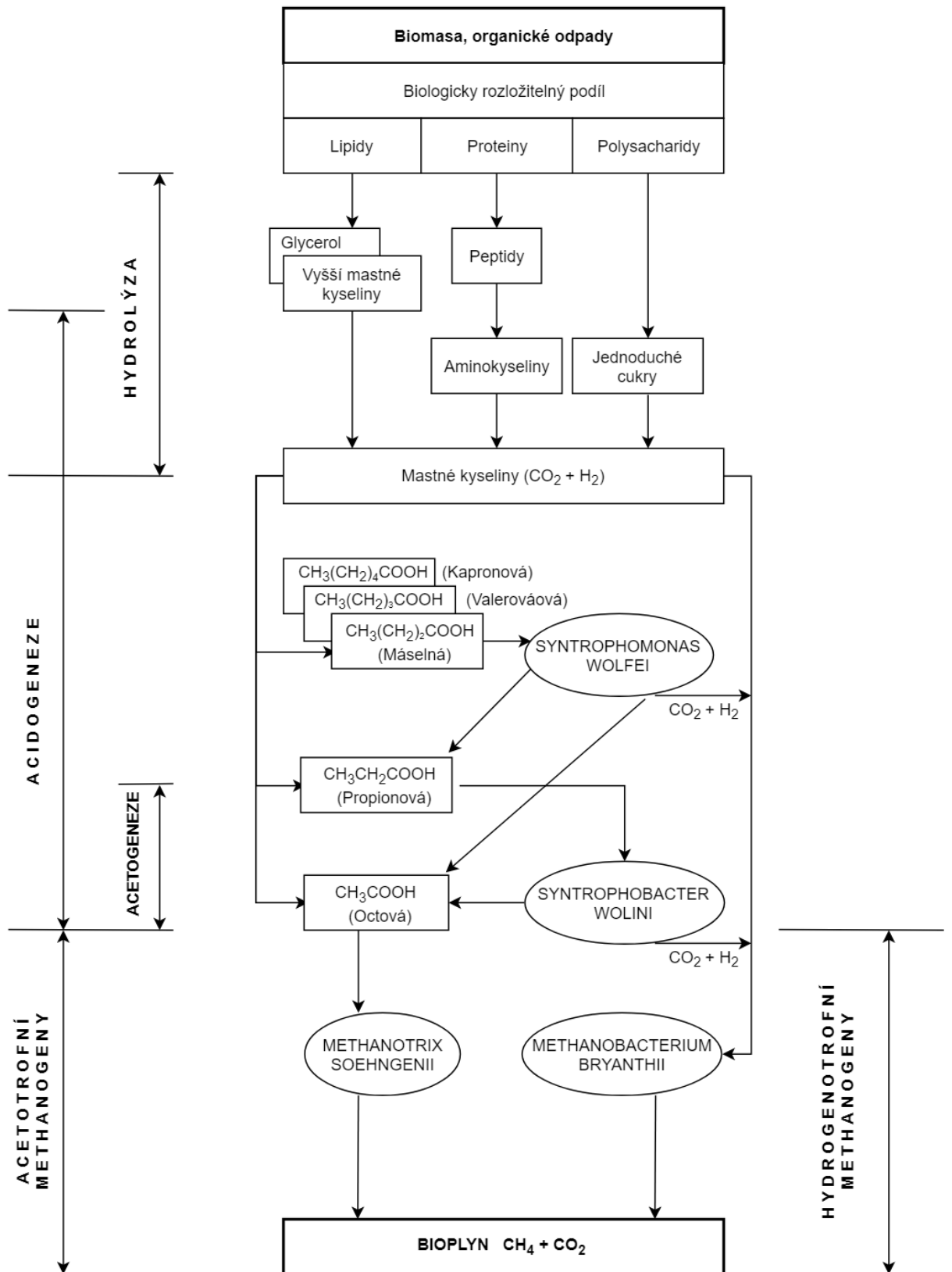
## 9 Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka	Význam
BPS	Bioplynové stanice
BRKO	Biologicky rozložitelný komunální odpad
BRO	Biologicky rozložitelný odpad
ČOV	Čistička odpadních vod
ČR	Česká republika
MEŘO	Methylester řepkového oleje
VISOH	Veřejný informační systém odpadového hospodářství

*Tabulka 2 Seznam použitých zkratk a symbolů*

## 10 Samostatné přílohy

# 1. Schéma čtyřfázového procesu tvorby bioplynu



Obr. 6 Schéma vzniku bioplynu v plné velikosti, zdroj: (Straka et Dohányos, 2006), vlastní digitalizace z knihy

## 2. Produkce vybraných odpadů a BRKO v krajích ČR v letech 2009 – 2016

Použitá data systému VISOH a jejich zpracování. Průměrné hodnoty produkce odpadu v letech 2009 - 2016 pro kraje ČR									
Kód území	Území	Odpad	Průměrné množství/rok [t]	Součet [t]	Komunální odpad [t]	40% BRKO [t]	Celkem [t]	Počet obyvatel	Produkce na osobu [kg/os.]
CZ010	Hlavní město Praha	020203	411,22						
CZ010	Hlavní město Praha	020304	9 308,49						
CZ010	Hlavní město Praha	020501	147,92	9 867,63	741 435,92	296 574,37	306 442,00	1243201	246,49
CZ020	Středočeský kraj	020203	3 284,80						
CZ020	Středočeský kraj	020304	10 061,48						
CZ020	Středočeský kraj	020501	876,57	14 222,85	707 070,85	282 828,34	297 051,19	1302336	228,09
CZ031	Jihočeský kraj	020203	38,57						
CZ031	Jihočeský kraj	020304	2 780,16						
CZ031	Jihočeský kraj	020501	58,14	2 876,87	298 553,45	119 421,38	122 298,25	636707	192,08
CZ032	Plzeňský kraj	020203	40,96						
CZ032	Plzeňský kraj	020304	2 682,08						
CZ032	Plzeňský kraj	020501	76,70	2 749,74	276 520,25	110 608,10	113 357,84	573469	197,67
CZ041	Karlovarský kraj	020203	4,85						
CZ041	Karlovarský kraj	020304	334,68						
CZ041	Karlovarský kraj	020501	19,70	359,23	139 003,50	55 601,40	55 960,63	300309	186,34
CZ042	Ústecký kraj	020203	111,57						
CZ042	Ústecký kraj	020304	3 946,18						
CZ042	Ústecký kraj	020501	352,93	4 410,68	431 956,95	172 782,78	177 193,46	825120	214,75
CZ051	Liberecký kraj	020203	2 352,03						
CZ051	Liberecký kraj	020304	1 005,73						
CZ051	Liberecký kraj	020501	158,95	3 516,71	213 460,06	85 384,02	88 900,73	438609	202,69
CZ052	Královéhradecký kraj	020203	708,56						
CZ052	Královéhradecký kraj	020304	1 682,92						
CZ052	Královéhradecký kraj	020501	47,37	2 438,85	256 403,02	102 561,21	105 000,06	551909	190,25
CZ053	Pardubický kraj	020203	284,91						
CZ053	Pardubický kraj	020304	755,90						
CZ053	Pardubický kraj	020501	73,17	1 113,98	253 027,19	101 210,88	102 324,96	515985	198,31
CZ063	Kraj Vysočina	020203	81,85						
CZ063	Kraj Vysočina	020304	1 530,46						
CZ063	Kraj Vysočina	020501	179,95	1 792,26	243 175,57	97 270,23	99 062,49	510209	194,16
CZ064	Jihomoravský kraj	020203	943,41						
CZ064	Jihomoravský kraj	020304	4 193,48						
CZ064	Jihomoravský kraj	020501	234,06	5 370,95	542 189,55	216 875,82	222 246,77	1170078	189,94
CZ071	Olomoucký kraj	020203	212,63						
CZ071	Olomoucký kraj	020304	4 711,20						
CZ071	Olomoucký kraj	020501	340,65	5 264,48	319 912,12	127 964,85	133 229,33	636356	209,36
CZ072	Zlínský kraj	020203	82,57						
CZ072	Zlínský kraj	020304	1 983,67						
CZ072	Zlínský kraj	020501	127,76	2 194,00	261 081,55	104 432,62	106 626,62	586299	181,86
CZ080	Moravskoslezský kraj	020203	63,06						
CZ080	Moravskoslezský kraj	020304	3 883,11						
CZ080	Moravskoslezský kraj	020501	170,97	4 117,14	646 867,74	258 747,10	262 864,24	1221832	215,14

Tabulka 3 Použitá data jejich zpracování, vlastní tvorba, zdroj neodvozených dat: (MŽP, 2018)

3. Souhrn průměrných hodnot vybraných odpadů produkovaných na území ČR v letech 2009 – 2016

Kód území	Území	Souhrn průměrných hodnot vybraných odpadů produkovaných na území ČR v letech 2009 - 2016, řazení podle celkové tvorby odpadů									
		SUM vybraných [t]	Komunální odpad [t]	40% BRKO [t]	Celkem [t]	Podíl na tvorbě	Počet obyvatel	Produkce na osobu [kg/rok]			
CZ041	Karlovarský kraj	359,23	139 003,50	55 601,40	55 960,63	3%	300 309	186,34			
CZ051	Liberecký kraj	3 516,71	213 460,06	85 384,02	88 900,73	4%	438 609	202,69			
CZ063	Kraj Vysočina	1 792,26	243 175,57	97 270,23	99 062,49	5%	510 209	194,16			
CZ053	Pardubický kraj	1 113,98	253 027,19	101 210,88	102 324,86	5%	515 985	198,31			
CZ052	Královéhradecký kraj	2 438,85	256 403,02	102 561,21	105 000,06	5%	551 909	190,25			
CZ072	Zlínský kraj	2 194,00	261 081,55	104 432,62	106 626,62	5%	586 299	181,86			
CZ032	Plzeňský kraj	2 749,74	276 520,25	110 608,10	113 357,84	5%	573 469	197,67			
CZ031	Jihočeský kraj	2 876,87	298 553,45	119 421,38	122 298,25	6%	636 707	192,08			
CZ071	Olomoucký kraj	5 264,48	319 912,12	127 964,85	133 229,33	6%	636 356	209,36			
CZ042	Ústecký kraj	4 410,68	431 956,95	172 782,78	177 193,46	8%	825 120	214,75			
CZ064	Jihomoravský kraj	5 370,95	542 189,55	216 875,82	222 246,77	10%	1 170 078	189,94			
CZ080	Moravskoslezský kraj	4 117,14	646 867,74	258 747,10	262 864,24	12%	1 221 832	215,14			
CZ020	Středočeský kraj	14 222,85	707 070,85	282 828,34	297 051,19	14%	1 302 336	228,09			
CZ010	Hlavní město Praha	9 867,63	741 435,92	296 574,37	306 442,00	14%	1 243 201	246,49			
<b>Celkem</b>	<b>ČR</b>			<b>2 192 558,45</b>		<b>100%</b>	<b>Průměr prod./ob.:</b>	<b>203,37</b>			

Tabulka 4 Souhrn průměrných hodnot vybraných odpadů, vlastní tvorba, zdroj neodvozených dat: (MŽP, 2018)

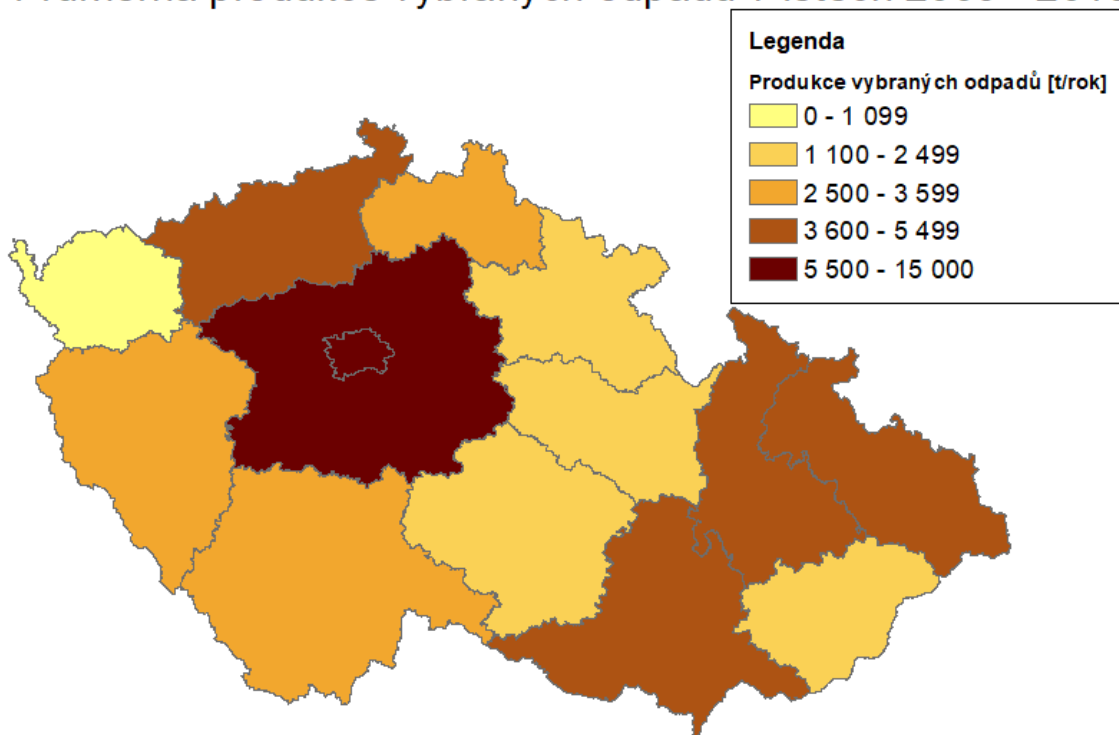
#### 4. Průměrný energetický potenciál vybraných odpadů na území ČR v letech 2009 – 2016

Teoretické výpočty výtěžnosti bioplynu z BRKO. Výpočty obsahují výhřevnost CH <sub>4</sub> 33.000 kJ/m <sup>3</sup>								
Kód území	Území	Odpad	Průměrné množství/rok [t]	Výtěžnost bioplynu na tunu [m <sup>3</sup> /t]	Produkce CH <sub>4</sub> [m <sup>3</sup> ] (65% bioplynu)	Celkem CH <sub>4</sub> [m <sup>3</sup> ]	Výhřevnost [GJ/rok]	Teoretická produkce el. energie [MWh/rok] (s účinností 40%)
CZ010	Hlavní město Praha	020203	411,22	90	24 056			
CZ010	Hlavní město Praha	020304	9 308,49	100	605 052			
CZ010	Hlavní město Praha	020501	147,92	120	11 538			
CZ010	Hlavní město Praha	40% KO	296 574,37	150	28 916 001	29 556 647	975 369	108 374
CZ020	Středočeský kraj	020203	3 284,80	90	192 161			
CZ020	Středočeský kraj	020304	10 061,48	100	653 996			
CZ020	Středočeský kraj	020501	876,57	120	68 372			
CZ021	Středočeský kraj	40% KO	282 828,34	150	27 575 763	28 490 293	940 180	104 464
CZ031	Jihočeský kraj	020203	38,57	90	2 256			
CZ031	Jihočeský kraj	020304	2 780,16	100	180 710			
CZ031	Jihočeský kraj	020501	58,14	120	4 535			
CZ032	Jihočeský kraj	40% KO	119 421,38	150	11 643 584	11 831 086	390 426	43 381
CZ032	Plzeňský kraj	020203	40,96	90	2 396			
CZ032	Plzeňský kraj	020304	2 632,08	100	171 085			
CZ032	Plzeňský kraj	020501	76,70	120	5 983			
CZ033	Plzeňský kraj	40% KO	110 608,10	150	10 784 290	10 963 754	361 804	40 200
CZ041	Karlovarský kraj	020203	4,85	90	284			
CZ041	Karlovarský kraj	020304	334,68	100	21 754			
CZ041	Karlovarský kraj	020501	19,70	120	1 537			
CZ042	Karlovarský kraj	40% KO	55 601,40	150	5 421 136	5 444 711	179 675	19 964
CZ042	Ústecký kraj	020203	111,57	90	6 527			
CZ042	Ústecký kraj	020304	3 946,18	100	256 502			
CZ042	Ústecký kraj	020501	352,93	120	27 529			
CZ043	Ústecký kraj	40% KO	172 782,78	150	16 846 321	17 136 878	565 517	62 835
CZ051	Liberecký kraj	020203	2 352,03	90	137 594			
CZ051	Liberecký kraj	020304	1 005,73	100	65 372			
CZ051	Liberecký kraj	020501	158,95	120	12 398			
CZ052	Liberecký kraj	40% KO	85 384,02	150	8 324 942	8 540 307	281 830	31 314
CZ052	Královéhradecký kraj	020203	708,56	90	41 451			
CZ052	Královéhradecký kraj	020304	1 682,92	100	109 390			
CZ052	Královéhradecký kraj	020501	47,37	120	3 695			
CZ053	Královéhradecký kraj	40% KO	102 561,21	150	9 999 718	10 154 253	335 090	37 232
CZ053	Pardubický kraj	020203	284,91	90	16 667			
CZ053	Pardubický kraj	020304	755,90	100	49 134			
CZ053	Pardubický kraj	020501	73,17	120	5 707			
CZ054	Pardubický kraj	40% KO	101 210,88	150	9 868 060	9 939 568	328 006	36 445
CZ063	Kraj Vysočina	020203	81,85	90	4 788			
CZ063	Kraj Vysočina	020304	1 530,46	100	99 480			
CZ063	Kraj Vysočina	020501	179,95	120	14 036			
CZ064	Kraj Vysočina	40% KO	97 270,23	150	9 483 847	9 602 152	316 871	35 208
CZ064	Jihomoravský kraj	020203	943,41	90	55 189			
CZ064	Jihomoravský kraj	020304	4 193,48	100	272 576			
CZ064	Jihomoravský kraj	020501	234,06	120	18 257			
CZ065	Jihomoravský kraj	40% KO	216 875,82	150	21 145 392	21 491 415	709 217	78 802
CZ071	Olomoucký kraj	020203	212,63	90	12 439			
CZ071	Olomoucký kraj	020304	4 711,20	100	306 228			
CZ071	Olomoucký kraj	020501	340,65	120	26 571			
CZ072	Olomoucký kraj	40% KO	127 964,85	150	12 476 573	12 821 810	423 120	47 013
CZ072	Zlínský kraj	020203	82,57	90	4 830			
CZ072	Zlínský kraj	020304	1 983,67	100	128 939			
CZ072	Zlínský kraj	020501	127,76	120	9 965			
CZ073	Zlínský kraj	40% KO	104 432,62	150	10 182 180	10 325 915	340 755	37 862
CZ080	Moravskoslezský kraj	020203	63,06	90	3 689			
CZ080	Moravskoslezský kraj	020304	3 883,11	100	252 402			
CZ080	Moravskoslezský kraj	020501	170,97	120	13 336			
CZ081	Moravskoslezský kraj	40% KO	258747,0964	150	25 227 842	25 497 269	841 410	93 490
<b>Celkem</b>					<b>211 796 056</b>	<b>211 796 056</b>	<b>6 989 270</b>	<b>776 586</b>

Tabulka 5 Energetický potenciál vybraných odpadů, vlastní tvorba, zdroj neodvozených dat: (MŽP, 2018)

#### 5. Průměrná produkce vybraných odpadů v letech 2009 - 2016

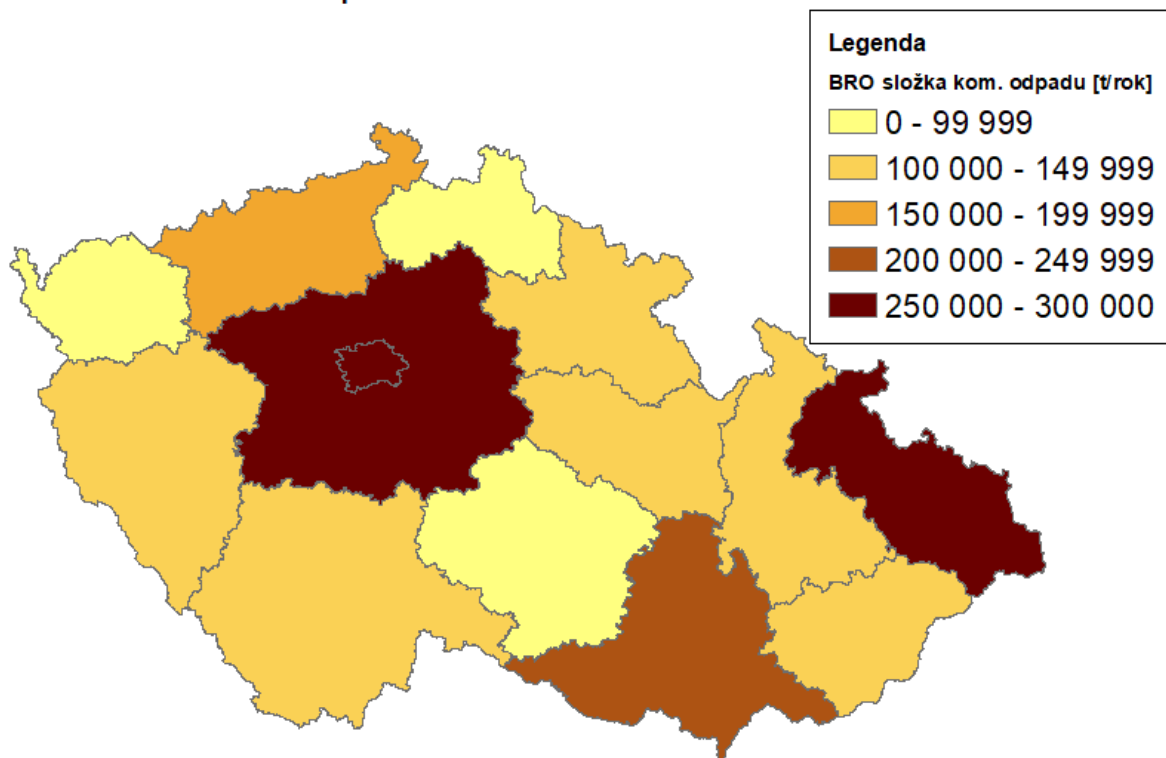
## Průměrná produkce vybraných odpadů v letech 2009 - 2016



Obr. 7 Průměrná produkce vybraných odpadů 2009 - 2016, vlastní tvorba, zdroj dat: (MŽP, 2018)

### 6. Průměrná produkce BRKO v letech 2009 - 2016

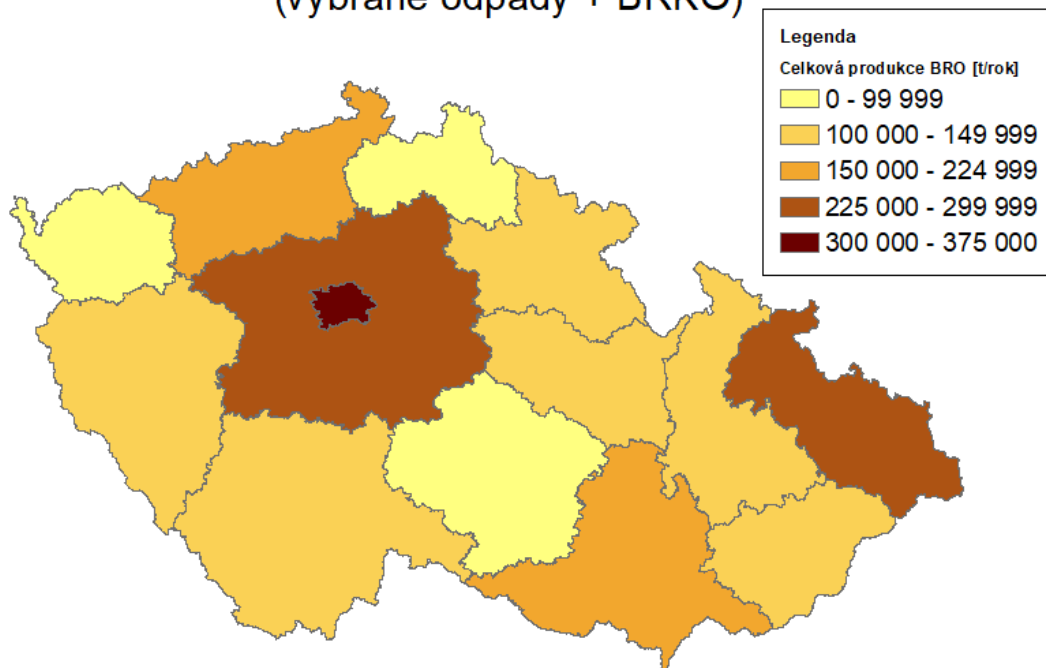
## Průměrná produkce BRKO v letech 2009 - 2016



Obr. 8 Průměrná produkce BRKO v letech 2009 - 2016, vlastní tvorba, zdroj dat: (MŽP, 2018)

7. Celková průměrná produkce BRO v letech 2009 . 2016

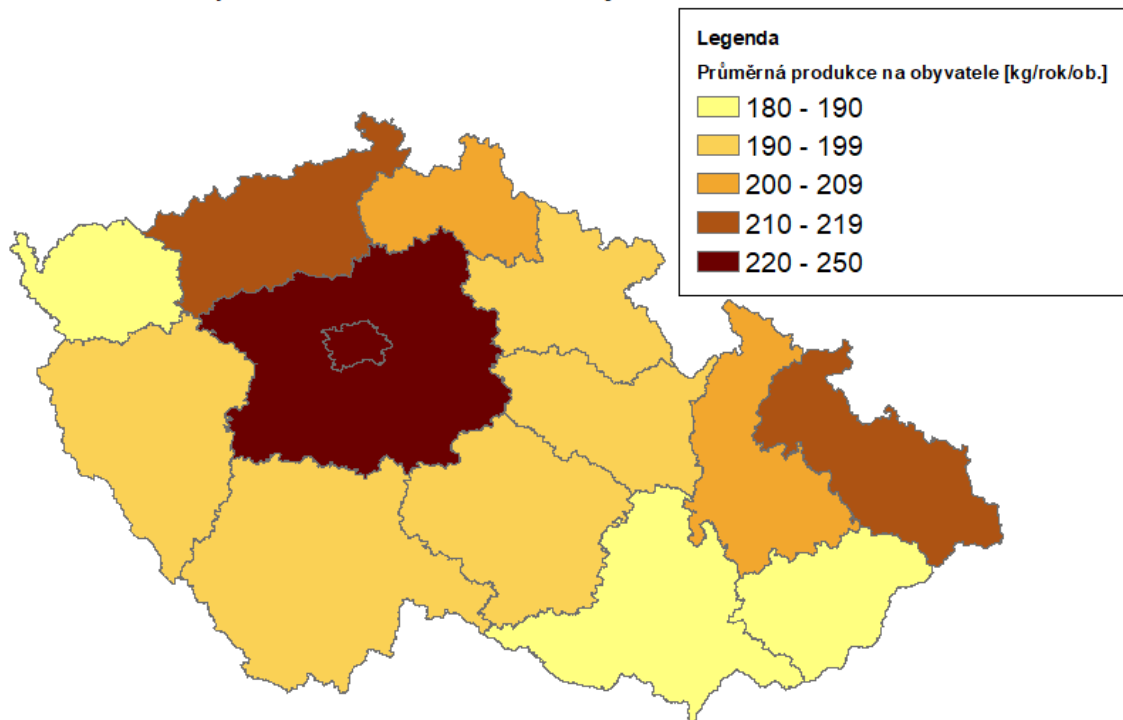
Průměrná produkce BRO v letech 2009 - 2016  
(vybrané odpady + BRKO)



Obr. 9 Celková průměrná produkce BRO, vlastní tvorba, zdroj dat: (MŽP, 2018)

8. Průměrná produkce BRO na obyvatele v letech 2009 – 2016

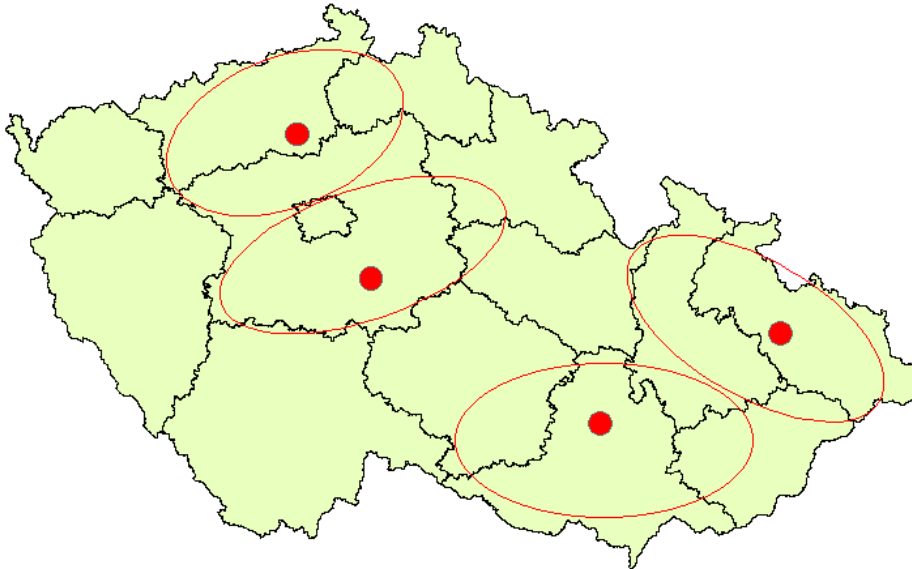
Průměrná produkce BRO na obyvatele v letech 2009 - 2016



Obr. 10 Průměrná produkce BRO na obyvatele za rok, vlastní tvorba, zdroj dat: (MŽP, 2018)

9. Rozmístění BPS na BRO s rádiusem svozu

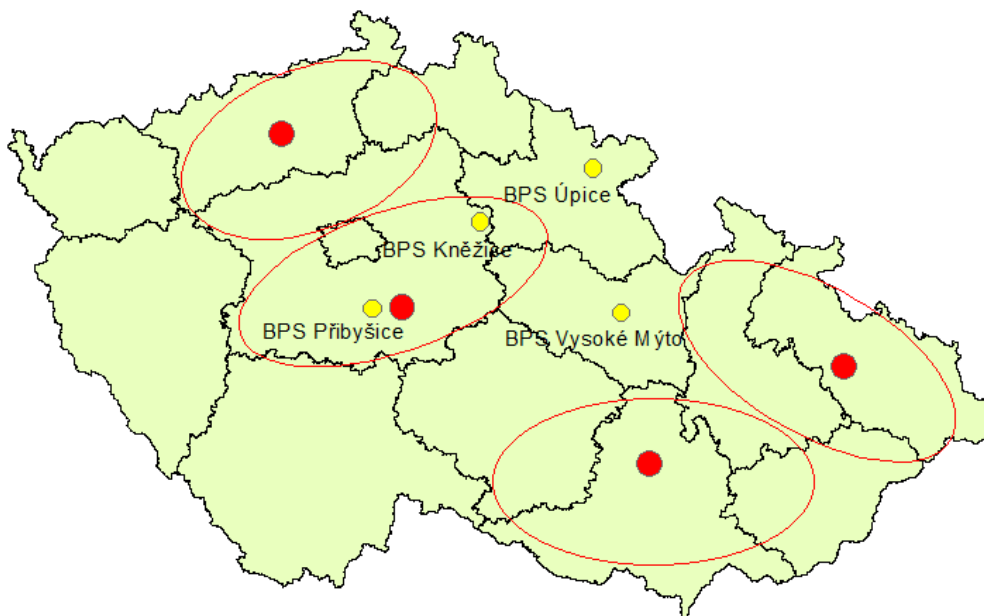
**Rozmístění BPS na BRO s rádiusem svozu**



*Obr. 11 teoretické rozmístění BPS na BRO včetně rádiusu svozu, vlastní tvorba*

10. Rozmístění teoretických BPS s rádiusem svozu včetně existujících BPS na BRO

**Rozmístění BPS na BRO s rádiusem svozu  
včetně existujících BPS**



*Obr. 12 Zobrazení reálných BPS na BRO k teoretickému umístění, vlastní tvorba*