

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

**FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**



**Výroba bioplynu v České republice a její význam  
pro ochranu životního prostředí**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Bakalant: Petra Müllerová**

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

**Praha, 2020**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Petra Müllerová

Krajinářství

Územní technická a správní služba

Název práce

**Výroba bioplynu v České republice a její význam pro ochranu životního prostředí**

Název anglicky

**Biogas production in the Czech Republic and its importance for environmental protection**

---

### Cíle práce

Cílem práce je stanovení bilance využitelnosti potravinářské a nepotravinářské biomasy pro výrobu bioplynu. Práce je současně zaměřena na využití odpadních zdrojů z hlediska cirkulární ekonomiky a ochrany životního prostředí.

### Metodika

- prostudovat základní literaturu, normy, internetové odkazy a další prameny
- provést literární rešerši v oblasti bioplynu a ochrany životního prostředí
- provést vlastní analýzu a uvést nové případné teoretické předpoklady a názory
- provést technicko-ekonomické zhodnocení výroby bioplynu z odpadních materiálů
- provést systemizaci využitelnosti odpadní biomasy pro výrobu bioplynu

### Harmonogram

LS 2019 – zpracování teoretických východisek

ZS 2019 – zpracování systemizace a technicko-ekonomického zhodnocení

LS 2020 – odevzdání bakalářské práce

**Doporučený rozsah práce**

30

**Klíčová slova**

biomasa, bioplyn, cirkulární ekonomika, odpad, životní prostředí

**Doporučené zdroje informací**HÖNIG, V. *Paliva a maziva [elektronický zdroj]*..H. Wasajja, R.E.F.Lindeboom, J. B.van Lier, P.V.Aravind, Techno-economic review of biogas cleaning technologies for small scale off-grid solid oxide fuel cell applications, *Fuel Processing Technology*, Volume 197, January 2020, 106215J.Weideman, R.Inglesii-Lotz, J.Van Heerden, Structural breaks in renewable energy in South Africa: A Bai & Perron break test application, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 78, October 2017, Pages 945-954M. A.Bote, V.R.Naik, K.B.Jagdeeshgouda, Production of biogas with aquatic weed water hyacinth and development of briquette making machine, *Materials Science for Energy Technologies*, Materials Science for Energy Technologies, Available online 10 October 2019, In PressM.S. Shin, K.-H. Jung, J-H Kwag, Y.-W. Jeon, Biogas separation using a membrane gas separator: Focus on CO2 upgrading without CH4 loss, *Process Safety and Environmental Protection*, Volume 129, September 2019, Pages 348-358T. Nevzorova, V. Kutcherov, Barriers to the wider implementation of biogas as a source of energy: A state-of-the-art review, *Energy Strategy Reviews*, Volume 26, November 2019, 100414**Předběžný termín obhajoby**

2019/20 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

doc. Ing. Vladimír Hönig, Ph.D. et Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra chemie

Elektronicky schváleno dne 20. 11. 2019

**Ing. Matyáš Orsák, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 17. 12. 2019

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 27. 03. 2020

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Výroba bioplynu v České republice a její význam pro ochranu životního prostředí vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorských a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne

---

Podpis autora

### **Poděkování**

Ráda bych poděkovala mému vedoucímu práce doc. Ing. Vladimíru Hönigovi, Ph.D. et Ph.D. za vedení této práce, trpělivost a pozitivní přístup.

Dále mé poděkování patří mé rodině, blízkým a všem, kdo mě během studia podporovali.

# Výroba bioplynu v České republice a její význam pro ochranu životního prostředí

## Abstrakt

Výroba bioplynu je v zemědělství důležitým a aktuálním tématem, a to nejen z hlediska výroby bioenergie, ale také z hlediska průmyslového zpracování. V posledních letech se většina evropských zemí pokusila vybudovat bioplynovou elektrárnu jako ekonomicky životaschopný energetický průmysl. Výroba energie z obnovitelných zdrojů se ve světě stává stále důležitější, částečně kvůli možnosti vyčerpání fosilních paliv, ale také kvůli ochraně životního prostředí. Proces výroby bioplynu prošel a stále prochází rozsáhlým výzkumem, který se zaměřuje na bioplyn, zlepšení výroby bioplynu nebo konfigurace jiných výrobních procesů.

**Klíčová slova:** bioplyn, biomasa, bioplynové stanice, životní prostředí, bioenergie, odpad, cirkulární ekonomika

# **Biogas production in the Czech Republic and its importance for environmental protection**

## **Abstract**

Biogas production is an important and topical issue in agriculture, not only in terms of bioenergy production, but also in terms of industrial processing. In recent years, most European countries have tried to build a biogas plant as an economically viable energy industry. Renewable energy production is becoming increasingly important in the world, partly because of the possibility of depleting fossil fuels, but also to protect the environment. The biogas production process has undergone and is still undergoing extensive research focusing on biogas, improving biogas production or configuring other production processes.

**Keywords:** biogas, biomass, biogas stations, environment, bioenergy, waste, circular economy

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Cíl práce</b> .....	<b>2</b>
<b>3 Metodika</b> .....	<b>3</b>
<b>4 Literární rešerše</b> .....	<b>4</b>
4.1 Biomasa .....	4
4.1.1 Typy biomasy vhodné pro produkci bioplynu .....	5
4.1.2 Suroviny pocházející ze zemědělství .....	7
4.2 Bioplyn .....	12
4.2.1 Složky bioplynu.....	13
4.2.2 Membránová separace bioplynu.....	15
<b>5 Biomasa a životní prostředí</b> .....	<b>16</b>
5.1 Bioplynové stanice.....	16
5.1.1 Dělení bioplynových stanic .....	18
5.1.2 Jednotka zpracování bioplynu .....	19
5.1.3 Princip fungování bioplynových stanic.....	23
5.2 Konkurence obnovitelných zdrojů energie.....	24
5.2.1 Principy cirkulární ekonomiky .....	25
5.2.2 Rozdíl mezi lineární a cirkulární ekonomikou .....	26
5.3 Současný stav cirkulární ekonomiky .....	28
5.3.1 Implementace cirkulární ekonomiky v České republice .....	29
5.3.2 Budoucnost cirkulární ekonomiky .....	31
<b>6 Výsledky – Bioplynové stanice v ČR a Evropě</b> .....	<b>33</b>
6.1 Podíl instalovaných výkonů jednotlivých BPS v ČR.....	33
6.2 Využití bioplynu v Evropě.....	34
6.2.1 Německo.....	35
6.2.2 Finsko .....	35
6.2.3 Itálie.....	36
6.2.4 Francie .....	37
<b>7 Diskuse</b> .....	<b>38</b>
<b>8 Závěr</b> .....	<b>40</b>
<b>9 Literatura</b> .....	<b>43</b>



## Seznam obrázků

Obrázek 4.1 Podíl kategorií biomasy na výrobě elektřiny v roce 2018 .....	11
Obrázek 4.2 Podíl kategorií bioplynu na výrobě elektřiny .....	14
Obrázek 5.1 Schéma bioplynové stanice.....	17
Obrázek 5.2 Rozdíl mezi lineární a cirkulární ekonomikou .....	28
Obrázek 5.3 Vývoj výroby elektřiny .....	31
Obrázek 5.4 Výroba elektřiny z různých zdrojů a její podíl na tuzemské spotřebě v TWh.....	32
Obrázek 6.1 Podíl instalovaných výkonů všech typů BPS v ČR [kWh].....	34

## Seznam tabulek

Tabulka 4.1 Druhy substrátů .....	6
Tabulka 4.2 Rostliny pěstované pro energetické účely .....	9
Tabulka 4.3 Složení bioplynu.....	12
Tabulka 4.4 Hlavní složky bioplynu .....	14

## Seznam použitých zkratk

BPS	bioplynové stanice
CSTR	system s kontinuálním mícháním
ČOV	čistírna odpadních vod
OZE	obnovitelný zdroj energie

# 1. Úvod

Lidstvo potřebuje energii, aby uspokojilo své potřeby, a rozvoj civilizací stále zvyšuje poptávku po energii.

Problém týkající se skladování a nakládání s odpady v současné době, kdy je produkováno největší množství v historii, je velmi významný. Z velké části se skládá z biologicky rozložitelných odpadů, které mají potenciál k využití a které jsou spolu s jinými nefosilními látkami označovány jako biomasa. Obrovská vyhlídka biomasy jako zdroje "čisté" energie je založena na skutečnosti, že suroviny pocházejí ze zemědělství, jehož význam v budoucnu poroste.

Bioplyn, jako jedno z plynných biopaliv a zároveň jeden z produktů na zpracování biomasy, má vysoké procento metanu, a tudíž vysokou výhřevnost. V současné době je široce používán pouze pro kombinovanou výrobu tepla a elektřiny. Spolu s rozvojem technologií se neustále objevují nové možnosti pro zpracování OZE a alternativních zdrojů.

Je vhodné rozvíjet a hledat nové způsoby využití různých zdrojů OZE tak, aby se zvyšovala konkurenceschopnost nejen vůči fosilním zdrojům, ale i vůči ostatním odvětvím OZE. Také je zde perspektiva snižování závislosti republiky na importu ropy a jiných paliv životně důležitých pro energetiku. Podstatnou součástí "přitažlivosti" jednotlivých zdrojů energie je i míra dotací pro konkrétní odvětví. Ty se však mění na základě politické situace a jsou největším faktorem ovlivňujícím životaschopnost jednotlivých druhů OZE.

## **2. Cíl práce**

Cílem práce je stanovení bilance využitelnosti potravinářské a nepotravinářské biomasy pro výrobu bioplynu. Dílčím cílem práce je poskytnout přehled o produkci bioplynu. Práce je současně zaměřena na využití odpadních zdrojů z hlediska cirkulární ekonomiky a ochrany životního prostředí.

### **3. Metodika**

Z metodického hlediska je pro práci zásadní využití metody literární rešerše, která se zakládá na využití poznatků z odborných literárních zdrojů v podobě monografií, norem, odborných článků a dalších. Na základě zjištěných poznatků je provedena literární rešerše v oblasti bioplynu a ochrany životního prostředí s využitím 30 zdrojů včetně 10 zahraničních.

K problematice bioplynu a využití odpadní biomasy práce uvádí případné nové teoretické předpoklady a názory. V rámci bakalářské práce je provedeno technickoekonomické zhodnocení výroby bioplynu z odpadních materiálů a provedena systematizace využitelnosti odpadní biomasy pro výrobu bioplynu.

## 4. Literární rešerše

Literární rešerše zahrnuje přehledné zpracování tématu. Zaměřuje se na problematiku biomasy a bioplynu z pohledu teoretických východisek.

### 4.1 Biomasa

Biomasa je hmota biologického původu, která se vytváří při růstu rostlin a živočichů. Je to energie vázaná v těle rostlin živočichů. V rostlinách je produkována slunečním zářením, kde pomocí fotosyntézy, se toto záření ukládá ve formě organických látek, které rostlina využívá na svůj růst a zbylé látky ukládá ve svém těle. (Malat'ák, 2008) U živočichů se biomasa vytváří díky metabolismu, kde se z organických látek vytvářejí anorganické látky a zbytky organických látek jsou ukládány v těle organismu nebo jsou pomocí vylučování vráceny zpět do prostředí. Biomasa je tímto způsobem zdrojem energie nejen pro samotné rostliny a živočichy, ale člověk ji dokáže přetvořit na elektrickou, tepelnou energii nebo pohonnou hmotu. (Jandačka, 2007) Biomasa tedy představuje formu energie přírodního původu, která je obsažena ve všech sférách ekosystému.

Biomasa je tvořena i v odpadech vyprodukovaných člověkem, které dokážeme energeticky a biologicky rozložit, přičemž vzniká bioplyn. Při energetickém využití biomasy zabráňujeme unikání metanu ( $\text{CH}_4$ ) do prostředí, což má za následek snížení skleníkového efektu. (Jandačka, 2007)

Biomasu řadíme mezi obnovitelný zdroj energie, který už byl využíván v minulosti především ve formě vytváření kompostů nebo samotných hnojiv, které byly aplikovány na půdu, což mělo a má za následek zvýšení úrodnosti půdy. (Weideman, 2017) Je to jediný ekologicky získaný zdroj uhlíku, který může nahradit fosilní paliva. Tento zdroj uhlíku je vázán chemickými vazbami v tělech organismů, ale i v jejich zbytcích a produktech metabolismu. (Hronec, 2004) Tato forma energie je obsažena i v odpadech vyprodukovaných člověkem tedy komunální, zemědělský a průmyslový odpad. (Jandačka, 2007)

Každá forma biomasy představuje hmotnost organismu na jednotku plochy a je vyjádřena jako energie vytvořená za den. Jednotka plochy je vyjádřena buď na plochu zemského povrchu, nebo na plochu vody. Na plochu vody právě proto,

že biomasu vytvářejí i rostliny rostoucí ve vodním prostředí nebo živočichy v něm žijící. V poměru tvorby biomasy jsou největším producentem právě primární producenti, kam řadíme rostliny. V procesu fotosyntézy se přeměňují anorganické látky na organické a tím, se vytváří velké množství biomasy. (Jureková, 2008) Jureková a Kotrla (2008) proto uvádějí rozlišení biomasy, kterou můžeme vyjádřit dvěma způsoby, a to čistou a hrubou biomasou. Hrubá biomasa je celková hmotnost biomasy, kterou vytvořili rostliny, se všemi částmi těla rostliny. Čistá biomasa je zkrácena o části rostlin, které rostlina potřebuje pro svou existenci a zajištění přežití.

Jednou z nejvýznamnějších technických aplikací biomasy je samozřejmě její využití pro energetické účely. Energie získaná z biomasy se označuje pojmem bioenergie, což je souhrnný pojem pro elektrickou energii, tepelnou energii a pohonné hmoty (biopaliva) odvozené z biomasy. Bioenergie může vznikat jedním nebo několika technologickými postupy, nazývanými konverzní technologie přeměny energie. (Malat'ák. 2008)

#### **4.1.1 Typy biomasy vhodné pro produkci bioplynu**

Historicky je anaerobní fermentace spojena se zpracováním živočišných exkrementů a různých dalších odpadních suspenzí, stejně jako v čistírnách odpadních vod s postupem ukládání kalů. Během 70. let minulého století se soustředění přeneslo na organické odpady z průmyslu a zemědělské výroby, zejména kvůli zvýšenému důrazu a důležitosti strategie zpracování opadu. Kromě toho technologie v této době již umožnila zahrnutí surovin pro anaerobní fermentaci a zbytky rostlinné výroby, jako jsou části kukuřičných rostlin, různé trávy, brambory a slunečnice. Jinak díky sofistikovanějšímu procesu rozkladu již bylo možné zpracovat nejen rostlinný odpad, ale také přímo kultivovat vhodné (rychle rostoucí, rozsáhlé) rostliny. Pěstování rostlin jako surovinu pro bioplynové stanice bylo poprvé zavedeno do praxe na začátku 90. let v Německu a Rakousku, i když potenciál metanu byl zkoumán už na počátku 30. let. (Biogas handbook, 2008) Typy biomasy vhodné pro produkci bioplynu uvádí tabulka 4.1.

Tabulka 4.1 Druhy substrátů

Typ suroviny	Organické složky	Poměr uhlíku a dusíku	Prchavý podíl procentuálně	Výtěžnost metanu
<b>Zvířecí výměšky</b>				
Prasečí močovina	Uhlovodík, bílkoviny, tuky	7	4	0,3
Prasečí exkrementy			16	0,3
Kravská močovina		13	6,4	0,2
Kravské exkrementy			16	0,2
Drůbeží močůvka		7	4	0,3
Drůbeží exkrementy			16	0,3
<b>Odpady z rostlinné výroby</b>				
Otruby	Uhlovodík, tuky	90	68	0,25
Zahradní odpad		125	58,5	0,35
Trávy		18	20,25	0,475
Ovocný odpad		35	13,13	0,375
<b>Průmyslový organický odpad</b>				
Syrovátka	75-80 % laktózy, 20-25 % bílkovin	---	4,5	0,33
Koncentrovaná syrovátka		---	9	0,54
Siláž	Uhlovodíky	---	11,5	0,47
Olej z ryb	30-50 % tuků	---	81	0,8
Margarín a sójový olej	90 % rostlinného oleje	---	85,5	0,8
Alkohol	40 % alkoholu	---	28	0,4
Bělící hlína	---	---	39,2	0,8
Odpad z výroby piva	---	---	18	0,33
<b>Energetické rostliny</b>				
Tráva, kukuřice, siláž, krmná řepa	---	17	---	<0,45
<b>Odpadní kaly</b>				
Kal z odpadních vod	---	---	3,75	0,4
Koncentrát odpadních kalů		---	7,5	0,4
Zbytky jídla		---	---	0,5-0,6

Zdroj: (Straka, 2006)

Zajímavou, perspektivní skupinou jsou vodní rostliny. Jejich potenciál pro využití energie by mohl být velký, teoreticky by mohly zcela nahradit rostliny pro energetické účely (to by vyřešilo otázku správnosti využívání zemědělské půdy pro pěstování rostlin čistě pro energetické účely). V poslední době se této tématice věnuje relativně hodně pozornosti, zkoumají se možnosti udržitelné a efektivní kultivace těchto rostlin jako zdroje pro tvorbu bioplynu. (Straka, 2006)

#### **4.1.2 Suroviny pocházející ze zemědělství**

Většina substrátu pro bioplyn má zemědělský původ. Skládají se převážně z exkrementů různých hospodářských zvířat, jakož i ze zemědělských zbytků nebo z fenoménu posledních let, rostlin pro energetické účely. (Biogas handbook, 2008)

#### **Hnůj a kaly ze živočišné produkce**

Živočišná výroba je důležitou součástí zemědělství většiny zemí, ať už rozvinutých nebo rozvojových zemí. Toto odvětví je odpovědné za 18 % světových emisí skleníkových plynů. Většina těchto plynů pochází z 18 miliard tun hnoje vyrobeného ročně po celém světě. Až donedávna právní předpisy umožňovaly používání hnoje na zemědělské půdě na neurčito, ale s rostoucím důrazem na snižování emisí skleníkových plynů se zvyšuje význam zpracování těchto surovin, například anaerobní fermentací. Díky tomu můžeme s potenciálním zdrojem skleníkových plynů, znečištění vody získat obnovitelný zdroj energie a hnojivo pro zemědělskou výrobu živočišného původu. (Biogas handbook, 2008)

Rozdíl mezi hnojivem (exkrementy) a močovinou hospodářských zvířat je v pevném poměru (10 % práh). Složení těchto produktů je vysoce závislé na systému krmení, druhu a někdy i na plemeni zvířat. Složení těchto produktů je vysoce závislé na systému krmení, druhu a někdy i na plemeni zvířat. Hnůj a močovina jsou vynikajícím substrátem pro výrobu bioplynu. Obsahují velké množství látek potřebných pro růst vhodných mikroorganismů, navíc s poměrně velkou neutralizační kapacitou je tento zdroj velmi výhodný pro různé kolísání pH při fermentaci. Kromě toho, vhodný poměr uhlíku a dusíku vytváří možnost použití použitelné fermentorové výplně jako hnojiva. Nevýhodou živočišných produktů jako surovin pro anaerobní fermentaci je nízký výtěžek metanu v důsledku nízkého obsahu sušiny v nezpracovaném hnoji a močovině (s kejdou asi 5 %, u hnoje 20 %) a navíc doprava bývá nákladná (zejména močoviny). Navíc produkty hospodářských zvířat obsahují taky látky, které procházejí procesem anaerobní fermentace nezměněny (lignocelulózy). Vzhledem k těmto nevýhodám jsou tyto suroviny zpracovány společně s jiným typem substrátu, který má vysoký výtěžek metanu. V posledních letech byly testovány metody



k odstranění rezistentní lignocelulózy ze substrátu (např. ultrazvukem). Močovina je velmi důležitou složkou substrátů pro fermentory, stejně jako díky dalším svým vlastnostem. Přirozeně vysoký podíl vody v suspenzi je mimořádně výhodný díky možnosti lepšího smíchání substrátu, kde působí jako rozpouštědlo a homogenika směsi. Díky tomu jsme schopni zvýšit stabilitu procesu anaerobní fermentace. (Straka, 2006)

### **Zbytky z rostlinné výroby**

Do této kategorie patří různé vedlejší produkty pěstování rostlin, rezidua po sklizni, nahé rostliny a také rostliny chatrné jakosti. Nejčastěji se používají jako doplněk k fermentaci hnoje a močůvky a dalších surovin. Často je potřeba předúpravy, která zahrnuje vše od jednoduchých procesů přizpůsobení přes frakce až po náročné metody rozkladu lignoceluloických struktur. Pokud jde o velikost frakce, částice 1 cm obvykle zaručují zpracovatelnost anaerobního fermentačního procesu. (Wellinger, 2013)

### **Rostliny pěstované pro energetické účely**

Rostliny, které jsou buď celé, nebo jejich část, používané jako surovina pro bioplyn, zahrnují různé trávy, řepu, obiloviny, krmnou kukuřici, brambory a slunečnici. Vývoj a testování nových rostlin je předmětem mnoha moderních publikací. Použití různých typů rostlin je také v současnosti povoleno. Rychle rostoucí rostliny nejsou vhodné, zejména kvůli vysokému obsahu lignocelulóзовých struktur. Pracuje se však na technologiích, které umožní rozklad těchto struktur a jejich následné zpracování anaerobními procesy. (Straka, 2006). Rostliny pěstované pro energetické účely najdeme v tabulce 4.2.

Tabulka 4.2 Rostliny pěstované pro energetické účely

Rostlina	Výtažek metanu (m <sup>3</sup> /kg)
Krmná kukuřice	205-450
Trávy	298-467
Luční jetel	290-390
Konopí	355-409
Slunečnice	154-400
Řepka olejná	240-340
Brambory	275-400
Cukrová řepa	236-381
Krmná řepa	420-500
Chmel	353-658
Pýr	337-555
Vojtěška	340-500
Žito	390-410
Kopřiva	120-420
Sláma	242-324
Listí	417-453

Zdroj: (Wellinger, 2013)

Použití těchto speciálně pěstovaných rostlin vyžaduje zvláštní procesy před procesem anaerobní digesce, jako je sběr, předúprava nebo skladování/siláž.

Proces siláže je v podstatě jedinou formou konzervace ekonomických rostlin bez významného snížení parametrů výnosu metanu nebo nutriční hodnoty (v závislosti na použití silážních rostlin). Siláž je výstupní produkt, který je výstupem z procesu konzervace pomocí bakterií mléčného kvašení nebo chemických látek, které se přidávají do hmoty. Ani jeden z těchto postupů však nesmí být v rozporu s pozdějším použitím siláže (například není možné použít chemickou konzervaci, pokud je určena k použití siláže jako zimního krmiva). Kromě zmíněné konzervace je výhodou siláže také lepší trvanlivost. Tyto výhody se přidávají k lepší stabilitě fermentačního procesu díky stabilnímu vstupu substrátu. (Doležal, 2001)

Nejrozšířenější rostlinou pro energetické účely je krmná kukuřice, zejména kvůli její univerzálnosti, snadnému skladování a nízkému obsahu vody. Výhodou travních rostlin je jejich rychlý růst, což umožňuje sklizeň 3-5krát ročně. (Wang, 2020) Vhodnost jednotlivých rostlin pro fermentaci spočívá také ve způsobu sklizení, čím starší rostlina, tím vyšší je podíl celulóзовých struktur, ale mladší rostliny na druhé straně mají mnohem větší podíl vody. Další zajímavou rostlinou je cukrová řepa, která podle některých literárních zdrojů má o 30-40 % vyšší výtěžnost sušiny na hektar zemědělské půdy než ostatní energetické rostliny.

(Jacobs, 2017) Silnými argumenty proti pěstování rostlin pro energetické účely jsou následující důvody:

1. Vyžadují vysoké množství hnojiv, pesticidů a energií na svou produkci, čímž snižují svůj potenciál jako zelená alternativa výroby energie a zvyšují dopad na životní prostředí (kontaminace podzemní vody, zvětšování plochy využívané na zemědělství).
2. S exponenciálním trendem rostoucí lidské populace logicky roste i potřeba zemědělské půdy pro nálehavější účely, jako je pěstování energetických rostlin. K tomuto přispívá i moderní trend vegetariánského / veganského stravování, tedy nahrazování masitých zdrojů bílkovin za luštěniny a sóju. (Facciotto, 2009)

Navzdory tomuto argumentu má záměrné pěstování rostlin pro využití energie velký potenciál díky vodním rostlinám. Technologie umožňující jejich efektivní a perspektivní pěstování však v současné době nejsou k dispozici. (Biogas handbook, 2008)

### **Průmyslový odpad jako surovina pro bioplyn**

Do této kategorie patří odpady, vedlejší produkty a rezidua vyprodukovaná rostlinami za zpracování zemědělských surovin. (Nges, 2012) Týká se to hlavně potravinářských závodů, jako mlékáren, pivovarů, farmaceutických závodů, biochemických závodů, kosmetických továren a papíren. Výstupy těchto produktů mají společné vlastnosti, zejména homogenitu, snadné zpracování a vysoké hladiny lipidů, bílkovin nebo cukrů. Velmi často se používá v kombinaci s močovinou a hnojem, ke zvýšení výtěžnosti metanu (mnoho z těchto odpadů má extrémně vysoké výnosy metanu). Jak bylo uvedeno výše, takový případ komorbidity má za následek vysokou stabilitu procesu, nižší citlivost na inhibitory, jako je amoniak a sulfidy, a vyšší ekonomickou ziskovost díky vyšším výnosům metanu. (Straka, 2006)

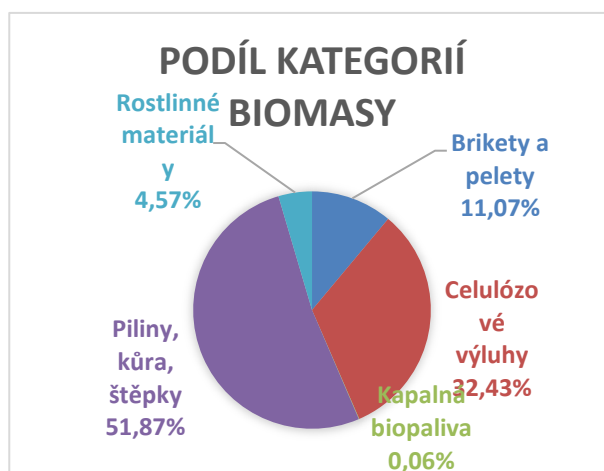
### **Komunální odpad jako materiál pro výrobu bioplynu**

Do této kategorie patří organický domovní odpad, jako jsou zbytky potravin, zahradní odpad a další organický odpad, který se sbírá oddělenou sklizní. Toto odvětví má dle Demirbase (2006) obrovský potenciál do budoucna,

nejen díky vysokým metanovým výnosům daných odpadů, ale i kvůli exponenciálnímu nárůstu populace na zemi. Stejný trend jako populační křivka má také křivka produkce odpadu.

Využívání komunálního odpadu má také svoje nevýhody. Hlavním je lidský faktor, který je v současné době podmínkou pro správné fungování procesu. Současně není možné zpracovávat smíšený komunální odpad pomocí anaerobní fermentace tak, aby byl proces nákladově efektivní. Náklady na logistiku, třídění a čištění jsou příliš vysoké. Řešením je tříděný sběr odpadu přímo od zdroje: v domácnostech. Lidský faktor zde však hraje největší roli. (Starr, 2015) Významnou podmínkou pro použití těchto odpadů je vysoká čistota. Vzhledem k citlivosti anaerobního fermentačního procesu na různé látky je nepřijatelné, aby výchozí materiál byl předán fermentoru bez kontroly přítomnosti těchto látek. Tento proces ještě více tlačí na napjatou bilanci výdajů a výnosů ze zpracování komunálních odpadů. Důležitým parametrem je proto použití integrovaného systému separace a sběru organického odpadu ve spádových oblastech. (Shin, 2019) Perspektiva tohoto odvětví je tedy funkcí nejen technických a logistických parametrů, ale také lidského povědomí a motivace. Bez odpovídající legislativní podpory je navíc jakékoli odvětví odpadů ztrátovou společností. (Demirbas, 2006) Na obrázku 4.1 se uvádí podíl kategorií biomasy na výrobě elektřiny v roce 2018.

Obrázek 4.1 Podíl kategorií biomasy na výrobě elektřiny v roce 2018



Zdroj: Vlastní zpracování podle (Statistika, 2019)

## 4.2 Bioplyn

Bioplyn je druh plynu s vysokým obsahem metanu produkovaného ve fermentačních nádobách, kde jsou organické materiály skladovány bez přístupu vzduchu (kukuřičná siláž, kořeny a řepné řízky). Používá se k výrobě elektřiny a výstupem je teplo ve formě teplé vody. Bioplyn je energetický zdroj, který má přínos pro ochranu a tvorbu životního prostředí. Bioplyn má velice silnou perspektivu také pro budoucí využití, patří mezi obnovitelné zdroje energie. (Balat, 2009)

Termín bioplyn stále nemá přesný význam, zejména vzhledem k tomu, že nemá stanovené hranice složení. Díky popularizačním snahám médií pojem bioplyn "zdomácněl" jako synonymum sice páchnoucího, ale čistého zdroje energie. Nechtěně tak vytvořili dojem bioplynu pouze jako výstupu z různých biologických procesů, ne jako výstupu z anaerobní fermentace. V tabulce 4.3 jsou uvedeny hodnoty složení bioplynu, která ho částečně definují. (Balat & Balat, 2009)

Tabulka 4.3 Složení bioplynu

Složka bioplynu	Procentuální obsah
<b>METAN</b>	45-75 %
<b>OXID UHLIČITÝ</b>	25-48 %
<b>VODÍK</b>	0-3 %
<b>DUSÍK</b>	1-3 %
<b>SULFAN</b>	0,1-1 %
<b>AMONIAK</b>	Stopové množství

Zdroj: (Straka, 2006)

Samotná historie bioplynu začíná těsně před koncem 19. století, kdy bioplyn vznikl jako produkt čištění odpadních vod v uzavřených septicích, což umožňovalo určitý stupeň anaerobní fermentace ložisek. S touto praxí původně začala Velká Británie, ve městě Exedru, a později se rychle rozšířila, hlavně do USA. Na počátku 20. století vznikl design nových vyhnívacích nádrží, jejichž funkce separace kalu se zakládala na principu zdržení kalu v jedné nádrži (usazovací) a jeho vyhnívání v druhé. Byly známy pod názvem Emscherské studny nebo Imhoffové nádrže. Bylo doporučeno, aby se vzniklý plyn zachycoval, a používal ve formě světla do žárovek a topení v objektu vodárny. (Straka, 2006)

První funkční úspěšný nezávislý reaktor pro anaerobní fermentaci byl založen v Německu v roce 1924. Reaktor byl tvořen vyhřívanou komorou vody, která byla znovu ohřívána výsledným bioplynem, aby se zintenzivnil proces degradace kalu. Přibližně v této době se přistupovalo k využívání bioplynu, nebo tehdy nazývaného kalového plynu, jako pohonné látky motorgenerátorů a k pohonu vozidel. (Wellinger, 2013)

Velká vlna zájmu o bioplyn je opět pozorovatelná po 2. světové válce, kdy by se nové poznatky o bakteriích produkujících metan, vývoj a kvalita výroby bioplynu mohly přesunout do nových oblastí. Bioplynové technologie mají své kořeny v čištění odpadních vod a teprve v této době se anaerobní digesce začala používat jako metoda zpracování všech druhů potravin a zemědělského odpadu. (Wellinger, 2013)

Vedlejším produktem zkoumání metanu v bioplynových reaktorech bylo povědomí o rizicích metanu na otevřené skládce odpadů. Mezi rizika patří mimo jiné migrace plynů ze skládky do okolních terénů, případně to, že vyprodukovaný metan je jeden z hlavních skleníkových plynů. (Landfill Methane Outreach Program, 2020) Záznamy o úmrtí, ať už v důsledku výbuchu skládkového plynu nebo udušení, nejsou v současných médiích k dispozici. To dle názoru autorky přispělo k posunu a zvýšení významu využívání řízeného procesu rozkladu odpadů, zejména ze zemědělské činnosti. (Wasajja, 2020)

Spolu s rozvojem a zvýšenou podporou obnovitelných zdrojů energie se význam bioplynu jako zdroje tepelné energie pomalu zvyšuje. Postupně se přistupuje k možnosti využívání záměrně pěstovaných plodin jako možných vstupů do bioplynových reaktorů, což zvyšovalo jeho význam jako zdroje tepelné energie, avšak oslabilo význam této technologie jako způsobu recyklace odpadů. Mezi používané rostliny patří například krmné zelí, ale i různé rychle rostoucí dřeviny. (Straka, 2006)

#### **4.2.1 Složky bioplynu**

Ze všeobecného hlediska má kvalitní bioplyn pouze dvě základní složky, a to metan a oxid uhličitý. Podíl všech ostatních složek je alespoň o níže uvedeném doporučení, na úrovni desetin procenta. Někdy bioplyn také obsahuje poměrně velké množství sulfidu. Hlavní složky bioplynu uvádím v tabulce 4.4

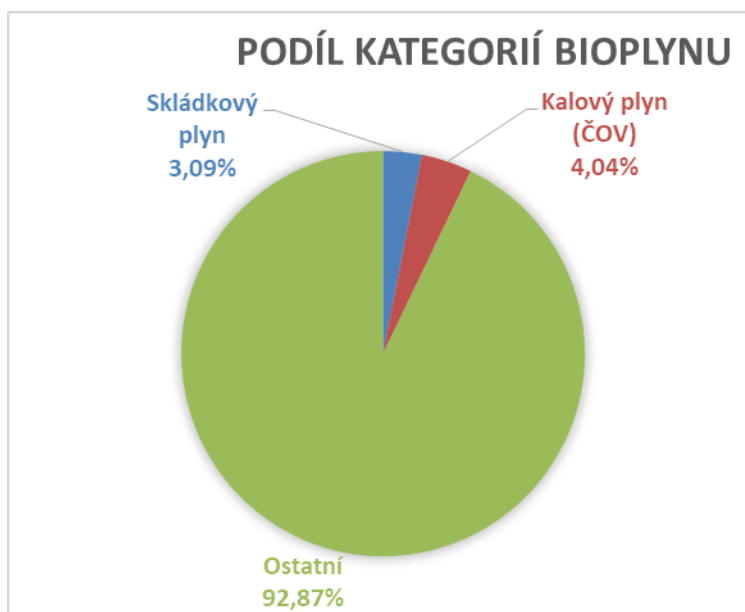
Tabulka 4.4 Hlavní složky bioplynu

Plyn	Molekulová hmotnost	Měrná hmotnost	Objem 1 kmolu za normalizovaných podmínek
Metan	16,043	0,7168	22,36
Oxid uhličitý	44,01	1,9768	22,26
Vzduch bez oxidu uhličitého	28,96	1,2928	22,4
Vzdušný kyslík	28,016	1,2567	22,4
Čistý dusík	28,0134	1,2505	22,4
Argon	39,948	1,17839	22,39
Kyslík	31,9988	1,42895	22,39
Vodík	2,0159	0,08987	22,43
Oxid dusný	44,0128	1,978	22,25
Sulfan	34,08	1,5392	22,14
Amoniak	17,0306	0,7717	22,08
Chlorovodík	36,461	1,6391	22,25

Zdroj: (Wellinger, 2013)

Pokud jde o hlavní složky plynu, existuje poměrně velký rozdíl mezi skládkami a bioplynem reaktoru, který vyplývá především z jejich technického řešení. V případě skládkového plynu musíme vzhledem k tomu, že v plynotěsném prostředí nezasahuje, očekávat také stopy nezreagovaného vzduchu, nebo dokonce podíl čerstvého vzduchu v hlavní směsi bioplynu. (Straka, 2006) Podíl kategorií bioplynu na výrobě elektřiny najdeme na obrázku 4.2.

Obrázek 4.2 Podíl kategorií bioplynu na výrobě elektřiny



Zdroj: vlastní zpracování podle (Statistika, 2019)

#### 4.2.2 Membránová separace bioplynu

Teoretická koncepce ideální polopropustné membrány schopné oddělovat dvě různé látky z homogenní či heterogenní směsi byla známa více než 150 let. Do praxe ji poprvé uvedl Bechhold, kdy byl schopen vytvořit membránu s odstupňovanou velikostí pórů. Od 1930 byly již mikroporézní membrány vyráběné komerčně v malých množstvích. Důvodem omezeného použití byl jako v nízké selektivitě separace, tak i v nízké rychlosti separačního procesu, ale i v nevhodném poměru rozměrům vůči separačnímu výkonu. (Shin, 2019)

Problém s nízkou rychlostí separace byl vyřešen v 70. letech vyvinutím "ultratenké" membránové vrstvy, která má selektivní funkci. Tato vrstva je podpořena mnohem hrubší mikroporézní strukturou, aby se zajistila mechanická odolnost. Problém s výkonem byl vyřešen výrobou modulů podobným současným deskovým a tabulárním výměníkem. Tato koncepce byla v současnosti nahrazena ve většině případů, a to kapilárními nebo moduly s dutými vlákny. Jsou levnější, avšak problém se nízkou selektivitou procesu stále není vyřešen. (Šípek, 2014)

Průmyslové využití membrán nezávisí jen na použitých membránových materiálech. Velmi důležité jsou i jiné faktory: (Šípek, 2014)

- mechanické a chemické vlastnosti materiálů, nepřímo určující chemickou a mechanickou, a také tepelnou odolnost;
- zpracovatelnost materiálů a náročnost výroby modulů ovlivňuje výši nákladů;
- propustnost dané membrány pro separaci požadovaného prvku;
- tloušťka, plocha membrány: velká tloušťka snižuje propustnost, avšak je limitována mechanickými vlastnostmi membrány, plocha naopak zvyšuje propustnost membrány, avšak je omezována plošnými požadavky, které ovlivní spirálově vinuté moduly s dutými vlákny.

Materiály vhodné pro vytváření modulů pro membránovou separaci plynů rozdělujeme na základní typy dle charakteru separační vrstvy: (Shin, 2019)

- polymerové materiály;
- anorganické materiály;
- heterogenní materiály (smíšené matrice, kompozity).



## 5. Biomasa a životní prostředí

Masivní a zejména živelné využívání biomasy pro energetické účely může vedle nezanedbatelných sociálních a ekonomických přínosech představovat i značné hrozby a rizika. Mezi ně patří například neudržitelné zvyšování těžby dřeva z lesů na energetické využití, "čištění" lesů od zbytků, nárůst kamionové dopravy vyvolaný koncentrací výroby paliva z biomasy na straně jedné a na straně druhé rozvozem paliva na velké vzdálenosti, chemizace pozemků, na kterých se pěstují energetické plodiny a rychle rostoucí dřeviny, "*dekapitalizace*" zaostávajících venkovských oblastí s dostatkem biomasy v důsledku jejího vývozu na krytí energetických potřeb velkých urbanizovaných celků a podobně. (Mao, 2018)

Biomasa pro energetické využití se nesmí těžit ani sbírat v chráněných území s přísnějším režimem ochrany, ani v ochranných lesích, kde je uchovávání části odumřelé biomasy nezbytné pro zachování biodiverzity těchto území. (Körschens, 2002) Biomasa by se neměla těžit ani na málo úrodných a extrémních stanovištích, v suchých oblastech a na místech s velmi tenkou vrstvou půdy. Plantáže energetických plodin a dřevin by neměly výrazně narušovat krajinný ráz. (Mao, 2018)

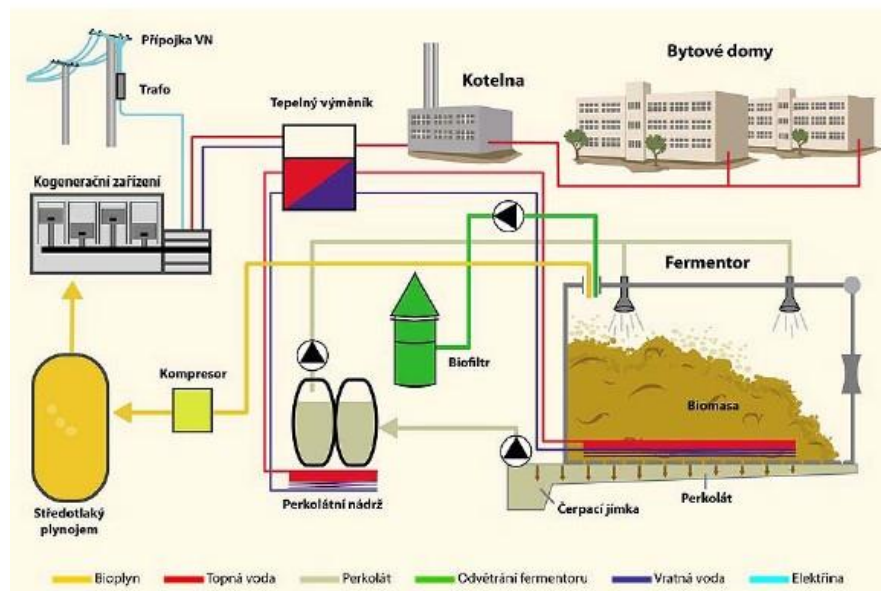
Energetické plodiny a dřeviny by měly vysazovat pouze na plochách, které již byly v minulosti zemědělsky využívány a obráběny. Plantáže energetických plodin nesmí mít negativní vliv na biodiverzitu území. Ačkoliv biodiverzita plantáží energetických plodin může být vyšší ve srovnání s intenzivně využívanými zemědělskými plochami, výrazně zaostává za biologickou rozmanitostí přirozených ekosystémů (zejména lesních). (Cenek, 2001)

### 5.1 Bioplynové stanice

Bioplynová stanice musí obsahovat všechny prvky nezbytné pro výrobu, čištění a skladování bioplynu, jakož i značné množství bezpečnostních prvků, skladovací a seřizovací prostor, energetické stroje a distribuční zařízení. Technologické vybavení stanic samozřejmě odpovídá typu stanice, typu vstupů do fermentoru, ale také požadavkům na výstup plynu nebo odchozímu substrátu. Předmětem této kapitoly je problematika logistiky, designu a dispozičního řešení

těchto prvků v rámci stanice. (Vítěz, 2018) Obrázek 5.1 ukazuje schéma bioplynové stanice.

Obrázek 5.1 Schéma bioplynové stanice



Zdroj: (Vítěz, 2018)

Mezi výhody BPS patří:

- možnost ekologického odstraňování odpadů;
- ekonomicky efektivní výroba bioplynu;
- kromě bioplynu vzniká také tuhý odpad – vhodný na zemědělské hnojení – bezodpadová technologie;
- zničení patogenních zárodků obsažených v surovém odpadu; (Jandačka, 2007)
- decentralizovaná dodávka elektrické a tepelné energie;
- výroby zelené energie, bez skleníkových plynů;
- stabilní výrobní křivka;
- tvorba a stabilizace pracovních míst;
- možnost státních dotací;
- návratnost investic;
- snížení využívání umělých hnojiv;
- napomáhá splnění mezinárodních závazků. (Balat, 2009)

Nevýhody BPS představuje:

- tvorba výbušné směsi se vzduchem;
- finanční náročnost;
- dlouhá doba návratnosti;
- citlivý proces výroby bioplynu;
- možnost průsaku do podzemních vod; (Biogas handbook, 2008)
- zápach.

### 5.1.1 Dělení bioplynových stanic

Stejně jako obrovské množství možných aplikací bioplynových stanic existuje také velké množství způsobů jejich distribuce. Podle ministerstva životního prostředí ČR je nejběžnějším způsobem rozdělení ten podle jejich zaměření, a to tedy: (Metodický pokyn k podmínkám schvalování bioplynových stanic před uvedením do provozu, 2008)

- zemědělské;
- čistírenské;
- další.

Další možné rozdělení by mohlo být podle podílu sušiny v digestátu. Je tu zásadní rozdíl v návrhu. (metodický pokyn k podmínkám schvalování bioplynových stanic před uvedením do provozu, 2008)

- Tekuté substráty: Méně než 15 % podílu sušiny v surovině jsou kapalné bioplynové stanice navrženy tak, aby ve vstupní disperzi byla maximální kontaktní plocha mezi mikroorganismy a kapalným substrátem co největší. V současné době je v České republice více než 98 % takových stanic.
- Netekuté substráty: více než 15 % sušiny, cca 30-45 %, využívají procesní tekutinu smíchanou s pevným substrátem, který je pak naskladněn do fermentoru. Tento typ se využívá spíše z důvodu nutnosti používat pevný substrát.

Jiný způsob rozdělování tkví v provozních teplotách, při kterých probíhají děje ve fermentoru. (Vítěz, 2018)

- Mezofilní: 30-45 °C, zde je nižší výtěžek produkce bioplynu.
- Termofilní: 50-60 °C, zde je lepší bezpečnost před tvorbou patogenů, ale vyšší citlivost na změny fermentačních podmínek.

Další z mnoha možností je rozdělení podle počtu fermentorů. To má úzkou korelaci s výběrem počtu fází procesu bioplynu. Ve většině případů probíhá celý proces v jednom fermentoru, je méně nákladný. Nejčastější využití má při zpracování kalů, potravin a zemědělského odpadu. (Straka, 2006) Ve dvoustupňové fermentaci je obvyklé, že v první řadě má místo hydrolyza a acidogeneze a ve druhé acetogeneze a metanogeneze. V opačném případě se fermentor neliší. Nejčastěji se používá při zpracování snadno digestovatelného materiálu, jako jsou energetické plodiny a zbytky rostlin. (Wellinger, 2013)

### 5.1.2 Jednotka zpracování bioplynu

Jednotka zpracování bioplynu představuje "srdce" bioplynové stanice. V této jednotce dochází ke změnám a činnostem na mikrobiální úrovni, které vedou k výrobě bioplynu. Tato jednotka zahrnuje všechny fermentační komory, plnicí jednotku, směšovací systém a také všechny komponenty týkající se údržby vhodných podmínek pro výrobu bioplynu (topné zařízení a izolace). Často jsou také součástí kontejneru na substrát nebo dohňovací nádoby. Jejich použití závisí na nejpoužívanějších surovinách a jejich vlastnostech. (Wellinger, 2013)

Níže jsou uvedeny jednotlivé technologie a jejich výběrová kritéria spolu s možnostmi realizace. (Wellinger, 2013)

- Plnicí systém: Kritériem je typ fermentoru a složení suroviny.  
Možnosti realizace:
  - přerušované plnění v případě dávkového typu kontinuálního plnění fermentoru nebo pole kontinuálního pro průtok nebo CSTR (systém s kontinuálním mícháním) fermentoru;
  - plnicí systém pro kapalnou nebo pevnou surovinu;

- Typ fermentoru: Limitujícím faktorem je sušina v surovině.
  - CSTR pro kapalné látky pro průtok nebo dávkovací fermentor pro pevnou surovinu;
- Teplota reaktoru: Omezením je risk výskytu patogenů.
  - mezofilní teploty pro nerizikovou skupinu;
  - termofilní pro rizikové suroviny (organický odpad z domácností);
- Počet fází zpracování: Parametrem je složení podkladu a riziko acidifikace.
  - jednofázový systém bez hrozby acidifikace;
  - dvoufázový pro substrát s vysokým obsahem cukrů, škrobu nebo bílkovin;
- Směšovací systém: Parametrem je podíl pevných látek v podkladu pro mechanické míchačky pro vysoký podíl pevných látek v substrátu.
  - mechanické, hydraulické nebo pneumatické směšovací systémy pro nízký podíl pevných látek v podkladu. (Bote, 2019)

### **Zemědělská bioplynová stanice**

Zemědělské bioplynové stanice se vyznačují omezením zpracování materiálů rostlinného a živočišného původu. Není zde možné zpracovávat odpady z jiných průmyslových odvětví, stejně jako komunální odpad. Jsou určeny především pro zpracování následujících materiálů: (Metodický pokyn k podmínkám schvalování bioplynových stanic před uvedením do provozu, 2008)

- živočišné suroviny;
  - prasečí hnůj a stelivo;
  - prasečí močovina;
  - dobytčí hnůj;
  - kejda od dobytka;
  - hnůj z chovu koní, koz a králíků;
  - drůbeží exkrementy, včetně podestýlky;

- rostlinné suroviny;
  - sláma všech druhů obilovin a olejnatých rostlin;
  - slupky a odpad z čištění obilovin;
  - brambory, včetně zbytků ze zpracování (nať, slupky);
  - řepa, včetně zbytků ze zpracování;
  - kukuřičná sláma včetně kukuřičného jádra;
  - travní biomasa nebo seno (senáž);
  - rostlinné materiály nevhodné pro krmení (siláže);
  
- záměrně pěstovaná biomasa;
  - obiloviny – čerstvé i silážované;
  - kukuřice – čerstvá i silážovaná;
  - krmné zelí – čerstvé i silážované;
  - dřevní biomasa – štěrka nebo jiné rychle rostoucí dřeviny.

Technologická výbava zemědělské bioplynové stanice sestává z jednotky na přípravu substrátu, plnicího zařízení, fermentoru s plynojemem, případně s vyrovnávací nádrží na bioplyn, skladovací nádrže na bioplyn, nádrže na výstupní digestát a jednotkou pro zpracovávání produkovaného bioplynu, případně další, normou určené bezpečnostní zařízení. (Metodický pokyn k podmínkám schvalování bioplynových stanic před uvedením do provozu, 2008)

Podle druhu zpracované suroviny / surovin je navržen způsob vstupu do fermentoru. Obvykle bývají separátní vstupy na hnůj a homogenizaci močůvky, a pro rostlinnou biomasu, která po naložení do příjmového žlabu ještě projde procedurou drcení a míchání s ředící kapalinou (voda, případně krev, pokud je dostupná). Speciálně pro zemědělské BPS je vhodná předúprava surovin s vysokým obsahem bílkoviny (hydrolýzou tuhých buněčných struktur) nebo pro suroviny s obsahem lignocelulózových struktur. Takto upravená surovina se už jen rozruší v expandéru, kde vlivem kavitace dojde k finální destrukci makromolekulárních látek. V případě duality vstupů se v tomto kroku, oba smíchají, a takto vstupují do fermentových prostor. Výstupem je bioplyn a digestát, přičemž oba se skladují. Bioplyn je následně využíván pro energetické účely, obvykle kogenerací, a digestát je vhodné hnojivo. (Straka, 2006)

## **Čistírenská bioplynová stanice**

Tento typ bioplynové stanice je určen čistě pro zpracování kalů z čistíren odpadních vod (ČOV). Ve většině případů bývá součástí těchto systémů. Rovněž i technologie používané v tomto typu BPS jsou určeny výhradně na anaerobní zpracování usazených čistírenských kalů, tedy nejsou vhodné pro zpracování například biomasy. Systém ČOV zásobuje suspenzní nádrž, kde se kal připravuje na vstup do fermentoru. Kromě této nádrže je součástí výbavy prakticky jen fermentor a skladovací nádrže na bioplyn a zfermentovaný kal. (Metodický pokyn k podmínkám schvalování bioplynových stanic před uvedením do provozu, 2008)

Úkolem suspenzní nádrže je zajistit čerpatelnost a mísitelnost odchozí suspenze. Proto se na vstupu do nádrže střídá vysušený kal a kalová suspenze. Bioplyn se standardně skladuje v plynojemnu. Aerobní vyhnílý kal je skladován v digestační nádrži a dále se zpracovává v rámci kalového hospodářství ČOV. (Straka, 2006)

## **Ostatní bioplynové stanice**

Do skupiny ostatních bioplynových stanic se řadí stanice, které zpracovávají odpady uvedené v nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1069/2009 a metodickém pokynu Ministerstva životního prostředí "*K podmínkám schvalování bioplynových stanic před uvedením do provozu*". (Metodický pokyn k podmínkám schvalování bioplynových stanic před uvedením do provozu, 2008) Kromě surovin uvedených v kapitole o zemědělských BPS mohou tyto stanice zpracovávat i například odpady z mlékárenského procesu, komunální odpady včetně složek z odděleného sběru, jakož i odpady z textilního průmyslu atd. Nicméně, digestát z těchto bioplynových stanic se již nesmí používat na hnojení.

Zde jsou přibližně stejné jako při zemědělské BPS, je však kladen velký důraz na odlučovací procesy (různé odlučovače a separátory, hygienizace zařízení), jakož i náročnější druhy rozpouštění a homogenizace, zejména kvůli rozmanitějšímu charakteru vstupu. Hygienizace je důležitá zejména kvůli možné mikrobiální kontaminaci výstupu, provádí se pomocí pasterizace, případně vysokoteplotní hygienického ošetření. (Koudřa, 2008)

Pomocí integrovaných sběrných systémů fungujících v rozvinutých zemích se pomocí nákladních vozidel doveze surovina do areálu stanice. Ta se ze

skladiště dávkuje do drtičů a jiných systémů dezintegrace suroviny. Následně přes různé separátory a odlučovače, které zajistí, že surovina nekontaminuje výplň fermentoru, se dostane až do zmíněných fermentorů. Bioplyn je následně skladován v plynojem, s digestátem se nakládá podle látkového složení (kompost / skládka). (Koudřa, 2008)

### **5.1.3 Princip fungování bioplynových stanic**

Způsob fungování bioplynové stanice se ve většině případů skládá z technologie dvou nádrží umístěných vedle sebe nebo soustředně jedna ve druhé, z nichž jedna slouží jako fermentační a druhá jako tzv. konečný sklad. Vstupní surovina se do fermentační nádrže dopravuje přes plnicí násypku, která tvoří i uzávěr proti případnému úniku bioplynu z nádrže. Po obvodu nádrže je umístěno teplovodní vedení, za účelem udržování potřebné teploty. Aby celá zpracovávaná surovina měla stejnou teplotu a aby se na povrchu směsi nevytvářela skořepina, jsou ve fermentační nádrži míchadla (1-4 ks). Vstupní suroviny vytvářejí v daném procesu sušinu a písek. Tyto jsou shrnovačem přemístěny z dna nádrže do šachty, odkud jednou za čas jsou vynášecím dopravníkem přemístěny do kontejneru mimo fermentační nádrže. Na nejvyšším místě fermentační nádrže je umístěn výstup bioplynu s příslušnými pojistnými ventily a případným odsiřovacím zařízením. Bioplyn je uskladněn v zásobníku plynu.

Vypracovaná surovina má podobu tekuté složky a je automaticky přečerpávána do nádrže konečného skladu. Podle typu vstupní suroviny je nutné pro danou technologii přidávat část vody. Proto je třeba, aby technologie obsahovala zásobník vody. V blízkosti nádrže je umístěna přečerpávací stanice, jejímž úkolem kromě vyčerpání nádrže konečného skladu, je i vzájemné přečerpávání obsahů nádrží. K bioplynové stanici je možné doplnit automatické plnění vstupních surovin, aby se dosáhlo jejich rovnoměrného dávkování a aby se vyloučil lidský faktor z procesu dávkování. Podobně jsou moderní stanice vybaveny hořákem bioplynu, aby se v případě přebytku bioplynu tento nevypouštěl do ovzduší a tím nepodporoval skleníkový efekt. (Wellinger, 2013)



## 5.2 Konkurence obnovitelných zdrojů energie

Po tisíciletí před průmyslovou revolucí byla biomasa – biologický materiál ze živých nebo nedávno žijících organismů – pro člověka hlavním zdrojem energie. Všem generacím od vzniku lidského rodu biomasa dodávala a dodnes dodává několikrát denně a každému individuálně přímou energii. Díky biomase byla rostoucí populace lidí schopná přežít a zajistit si potravu, teplo na bydlení a postupně i energii na uspokojování nových a nových potřeb. Stále složitější organizovaná společnost a její rostoucí materiální nároky však naučily člověka využívat i další formy transformované sluneční energie. Nejprve vodní a větrné, postupně i energie Slunce, akumulované a zakonzervované dávno před vnikem člověka do slojí uhlí. Uhlí rozšířilo portfolio zdrojů energie pro lidstvo, a přestože biomasa vždy zůstala jeho důležitou součástí, její podíl na energetické spotřebě klesal. (Wellinger, 2013)

Po vykáčení lesů a vyčerpání snadno dostupných povrchových zásob uhlí kvůli rostoucí poptávce po železe v 17. století se další těžba v tehdejší světové velmoci – Spojeném království – začala tlačit do stále větších hloubek. Aby se člověk dostal k bohatým zásobám kovů a dalšího uhlí, potřeboval stále více energie na odčerpávání vody z dolů. Na to stávající technologie nestačily. Bylo třeba vynalézt nové, účinnější, mocnější a spolehlivější stroje. Konstrukce nové generace parního stroje James Watt v roce 1784 a zejména jeho rychlé plošné uplatnění v průmyslu a dopravě zahájilo novou éru využívání fosilních zdrojů. (Suppes, 2016)

Prudký vzrůst energetické účinnosti urychlil tempo energeticky náročné industrializace nejen v Británii, ale rychle i na evropském kontinentu a ve Spojených státech. Růst energetické účinnosti tak urychlil celkový růst spotřeby energie. Uhlí se poprvé v historii lidstva stalo hlavním energetickým zdrojem člověka, "předběhlo" biomasu, nastartovalo exponenciální růst lidské populace i její poptávky po energii. (Zou, 2016)

Svou dominanci v energetickém mixu si však uhlí neudrželo dlouho. Obrat přineslo masové využívání dalšího fosilního zdroje – ještě vydatnějšího, koncentrovanějšího a technicky "lukrativnějšího". I když člověk poznal ropu již dříve a omezeně ji i využíval, skutečný globální nástup spalování ropy se datuje

až do 30. let 20. století s příchodem spalovacího motoru a zavedením pásové výroby Henry Fordem. Čtyři desetiletí od té doby dokázal člověk těžít a spotřebovávat ropu tempem, které každým rokem rostlo přibližně o 7 procent. To v praxi znamenalo, že v každé následující dekádě se vytěžilo více ropy než v celé předchozí historii lidstva dohromady. (Zou, 2016) Ve druhé polovině 20. století se vedle získávání energie z ropy začal uplatňovat třetí významný fosilní energetický zdroj – plyn. (Gounaris, 2014)

### 5.2.1 Principy cirkulární ekonomiky

Při pohledu zpět na začátek průmyslové revoluce byla masová výroba zboží umožněna novými výrobními metodami, které vedly k výrobě s vysokou dostupností a nízkými náklady. V důsledku toho jsou emise do životního prostředí, produkce pevného odpadu a skládkování stále závažnější v důsledku nových spotřebitelských společností a ohromujícího růstu průmyslové činnosti. Vzhledem k rostoucí světové populaci se očekává, že poptávka po zdrojích rychle poroste, což naznačuje rostoucí spotřebu přírodních zdrojů, zatímco zdroje planety Země jsou omezené. S ohledem na diskutované výzvy a omezení lineárního hospodářství je pojem oběhového hospodářství považován za řešení harmonizace ambicí hospodářského růstu a ochrany životního prostředí. Existují různé možnosti pro jeho definování. (Lieder, 2016)

Většinou je definována jako koncept, ve kterém není žádný odpad. Je obnovujícím a regeneračním designem a jejím cílem je udržovat výrobky, komponenty a materiály na nejvyšší úrovni užitečnosti za všech okolností. Oběhové hospodářství je trvalý pozitivní vývojový cyklus, který zachovává a zvyšuje přírodní kapitál, optimalizuje výnosy zdrojů a minimalizuje systémová rizika řízením konečných populací s obnovitelných toků. Funguje efektivně v každém měřítku. (McArtur, 2015)

Posun směrem k cirkulární ekonomice vyžaduje podstatné transformace v oblasti designu, výroby, spotřeby, používání, odpadu a postupů opakovaného použití. Celkově je cílem udržet cenné materiály v oběhu prostřednictvím řady zpětnovazebních smyček systému mezi fázemi životního cyklu, poháněných účinnými průmyslovými procesy. (EUR-LEX, 2014) Oběhové hospodářství je o přehodnocení způsobu, jak vyrábět věci. Program "*Re Thinking Progress*"

sleduje, jak může být změnou přepracován způsob fungování naší ekonomiky – navrhování produktů, které lze *"vyrobit tak, aby byly znovu vyrobeny"* a napájení systému z obnovitelných zdrojů. Zjišťuje, zda lze pomocí kreativity a inovací vybudovat restorativní ekonomiku. (McDonough, 2002)

Zásadní je také ekonomický přínos tzv. oběhu v podnikání. Předpokládané přínosy přechodu na oběhové hospodářství se odhadují na 1 bilion dolarů pro globální ekonomiku v roce 2025, spolu se vznikem 100.000 nových pracovních míst v příštích 5 letech. (Halaj, 2016) Cirkulární ekonomika má potenciál pochopit a implementovat radikálně nové vzorce a pomoci společnosti dosáhnout zvýšené udržitelnosti a blahobytu při nízkých nebo žádných materiálních, energetických a environmentálních nákladech. (Ghisellini, 2016)

### **5.2.2. Rozdíl mezi lineární a cirkulární ekonomikou**

V současném lineárním systému jsou těžce čerpané suroviny, které se opět přeměňují na produkty a služby a po skončení jejich životního cyklu (často velmi krátkého) je zlikvidujeme. To znamená, že na skládkách odpadu nebo spalovnách odpadu trvale ztrácíme cenné a vzácné materiály. Toto řešení se může jevit jako funkční, pokud jde o obce, podniky a domácnosti, ale z globálního hlediska je toto chování nutně označeno za neudržitelné. Nyní víme, že lineární model se opírá o velké množství levných, snadno dostupných materiálů a energie a je modelem, který dosahuje svých fyzických limitů. (INSTITUT CIRKULÁNÍ EKONOMIKY, 2015)

Oběhové hospodářství je náročný lineární způsob myšlení, který říká, že výsledek procesu musí být vždy přímo úměrný vstupům. Poukazuje na to, že všechny přírodní systémy jsou schopny být evolučně vyvinuty v pozitivním směru. Dále se hovoří

o biometrických aspektech oběhového hospodářství, o napodobování přírody, pokud jde o účinné využívání zdrojů a vytváření udržitelných ekosystémů. (McDonough, 2002)

Oběhové hospodářství je atraktivní a životaschopnou alternativou, kterou podniky již dnes začaly zkoumat. Koncepce se zabývá způsoby, jak zvýšit kvalitu životního prostředí a lidského života zlepšením efektivity výroby. Výrobky nejsou

považovány za budoucí odpad, ale za zdroj dalšího použití. (INSTITUT CIRKULÁRNÍ EKONOMIKY, 2015)

Oběhové hospodářství, které může využívat výrobky a jejich komponenty pro další výrobu a použití, je podporováno společnostmi i Evropskou komisí. V posledních více než 100 letech funguje globální ekonomika spíše lineárním vzorcem. Firmy mají zájem na tom, jak co nejlevněji likvidovat, aniž by přemýšlely o tom, jak výrobek následně využít pro další výrobu. Přechod z lineárního na oběhové hospodářství je nezbytnou podmínkou udržitelného rozvoje naší společnosti. Vyžaduje to inovace v opětovném použití materiálů, komponentů, produktů a souvisejících obchodních strategiích. Odpad je cenný a není řešením ho spálit nebo vzít na skládku. Odpad může být rovněž použit jako vstupní surovina jiných produktů a oběhové hospodářství ukazuje, jak toho dosáhnout. (INSTITUT CIRKULÁRNÍ EKONOMIKY, 2015)

Přechod k oběhovému hospodářství je pokusem čelit výzvám, které představuje moderní svět. Vzhledem k tomu, že zdroje jsou stále více zpochybňovány a využívány neudržitelným způsobem a množství odpadu roste děsivou rychlostí, je třeba zásadně změnit koncepci výroby. Odpad lze využít ke zlepšení dostupnosti zdrojů pro průmysl. Tuto možnost – podle principů oběhového hospodářství – je třeba začlenit již do fáze návrhu daného výrobku. (Kokoszczynski, 2015) Cirkulární ekonomika může mít na životní prostředí dvojitý účinek – sníží nejen množství odpadů, které je třeba nakládat, ale omezí také množství škodlivých emisí. (Hobson, 2015) Rozdíl mezi lineární a cirkulární ekonomikou zobrazuje obrázek 5.2.

Obrázek 5.2 Rozdíl mezi lineární a cirkulární ekonomikou



Zdroj: (INSTITUT CIRKULÁRNÍ EKONOMIKY, 2015)

Závěrem lze říci, že oběhové hospodářství získává stále větší pozornost nejen v Evropě, ale po celém světě jako potenciální způsob, jak může společnost zvýšit perspektivu a zároveň snížit závislost na primárních materiálech a energii. Oběhové hospodářství představuje pro Evropu obrovskou příležitost. Svým systémem má oběhové hospodářství potenciál činit lepší rozhodnutí o využívání zdrojů, navrhovat nakládání s odpadem, poskytovat podnikům přidanou hodnotu a postupovat bezpečnou cestou do společnosti. Jedná se o širokou prosperitu a environmentální udržitelnost pro budoucí generace. Oběhové hospodářství navíc může posunout hospodářský mix, tak, aby současně zvýšilo počet pracovních míst. (McArtur, 2015)

### 5.3 Současný stav cirkulární ekonomiky

Před zahájením šetření s cílem učinit vnímání oběhového hospodářství z pohledu občanů a podniků, je nutné analyzovat životní prostředí a analyzovat současnou situaci. Rostoucí počet politik a iniciativ nyní podporuje přechod k oběhovému hospodářství. Stále však přetrvávají některé politické, sociální, hospodářské a technologické překážky bránící širšímu provádění a zavádění.

Podle publikace Evropské komise je každý z nich zdůrazněn: (EUROPEAN COMMISSION, 2014)

- společnosti často postrádají povědomí, znalosti nebo schopnost provádět řešení oběhového hospodářství;
- investice do opatření ke zvýšení efektivity nebo inovativních obchodních modelů jsou stále nedostatečné, protože jsou vnímány jako rizikové a komplexní;
- poptávka po udržitelných produktech a službách může zůstat nízká, zejména pokud se jedná o změnu chování;
- ceny často neodrážejí skutečné náklady společnosti na využívání zdrojů a energie.

Evropští občané jsou přesvědčeni o silné pozitivní vazbě mezi zaměstnaností, růstem a účinným využíváním zdrojů. V poslední době se podstatná většina lidí domnívá, že dopad účinnějšího využívání zdrojů by měl pozitivní vliv na kvalitu života v jejich zemi (86 %), na hospodářský růst (80 %), jakož i na pracovní příležitosti (78 %). (EUROPEAN COMMISSION, 2014)

### **5.3.1 Implementace cirkulární ekonomiky v České republice**

Koncepce oběhového hospodářství pomalu vstupuje do České republiky. V porovnání s rozvinutějšími západními zeměmi je však stále trochu pozadu. Česká republika se těmito otázkami zabývá prostřednictvím Institutu cirkulární ekonomiky INCIEN. Jedná se o nevládní organizaci pro rozvoj oběhové ekonomiky v podmínkách České republiky. INCIEN kombinuje vědu a praktickou sféru prostřednictvím organizace projektů zahrnujících výzkumné instituce, univerzity a jejich studenty, podnikatele a další zainteresované strany. Dále organizuje národní a mezinárodní konference pro výměnu znalostí a vzájemnou inspiraci nebo partnerství na budoucích projektech vedoucích k provádění zásad oběhového hospodářství do praxe. Posledním hlavním bodem činnosti je vzdělávání občanů, čímž se zvyšuje povědomí o potřebě transformace stávajícího systému výroby a spotřeby v udržitelné formě. (Cirkulární ekonomika, 2015)

Následující body charakterizují, co tato organizace nabízí:

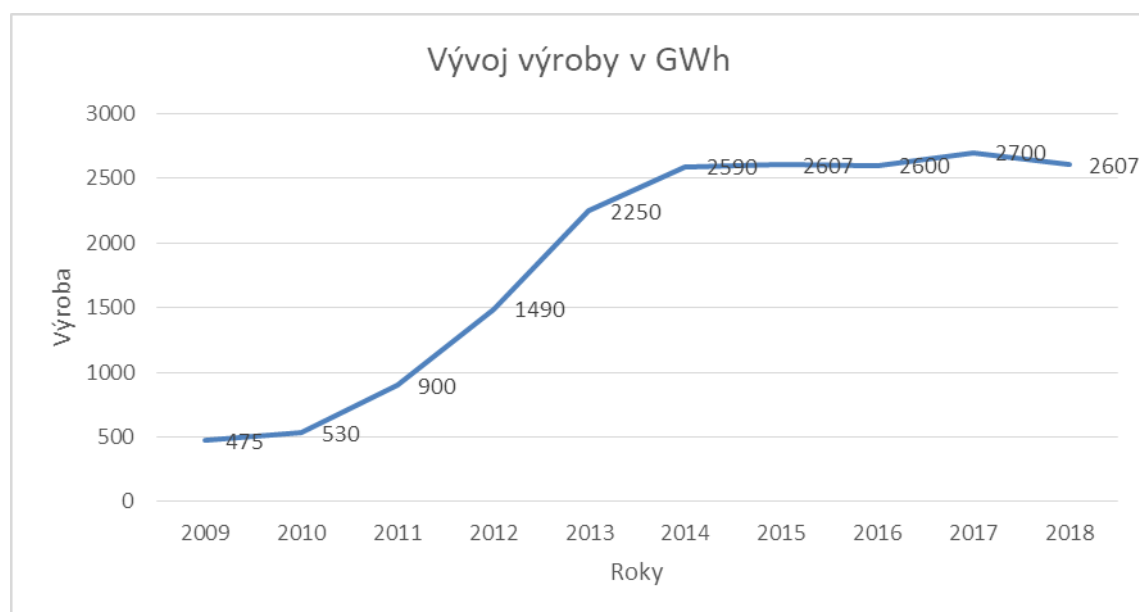
- Platformou pro komunikaci mezi všemi zúčastněnými stranami, jako jsou rezidenti, podniky a vláda.
- Nástroje pro provádění zásad oběhového hospodářství do praxe.
- Pomoc a mentoring při transformaci do nové organizační struktury.

Následující body ukážou, jak toho chce organizace INCIEN dosáhnout:

- INCIEN pořádá školení pro obce, podniky a školy. Vede také konference, diskusní fóra a další typy setkání, jejichž cílem je zvýšit povědomí o projektech, které zapadají do zásad oběhového hospodářství. (Edukace a osvětové aktivity, 2020)
- Analýza odpadů: V rámci obcí provádí analýzu odpadů, které slouží k identifikaci současného stavu nakládání s odpady. Nakonec na základě tohoto hodnocení navrhuje řešení, která by splňovala současné legislativní požadavky. V další fázi monitoruje nakládání s odpady a vyhodnocuje jeho účinnost. (Samosprávy, 2016)
- Projektové aktivity: Může-li být navrhované řešení financováno s podporou grantů ze státního rozpočtu nebo jiných grantových příležitostí od Evropské unie, provádí činnosti zaměřené na získávání finančních prostředků na jeho provádění. (Cirkulární ekonomika, 2015)

Zásadní situací v západní Evropě je rozvíjení veřejné debaty o měnících se sociálně-ekonomických vzorcích v České republice. Velký vliv hraje především Evropská unie a její politika na podporu udržitelného rozvoje. Vývoj výroby elektřiny je patrný z obrázku 5.3.

Obrázek 5.3 Vývoj výroby elektřiny



Zdroj: vlastní zpracování podle (Statistika, 2019)

### 5.3.2 Budoucnost cirkulární ekonomiky

GreenBiz Group provedla v roce 2015 výzkum, aby lépe porozuměla klíčovým aspektům a konceptům spojeným s oběhovým hospodářstvím, aby identifikovala trendy, které pomou definovat úspěch tohoto rozvíjejícího se systému obchodu. Podle studie mezi klíčové poznatky patří:

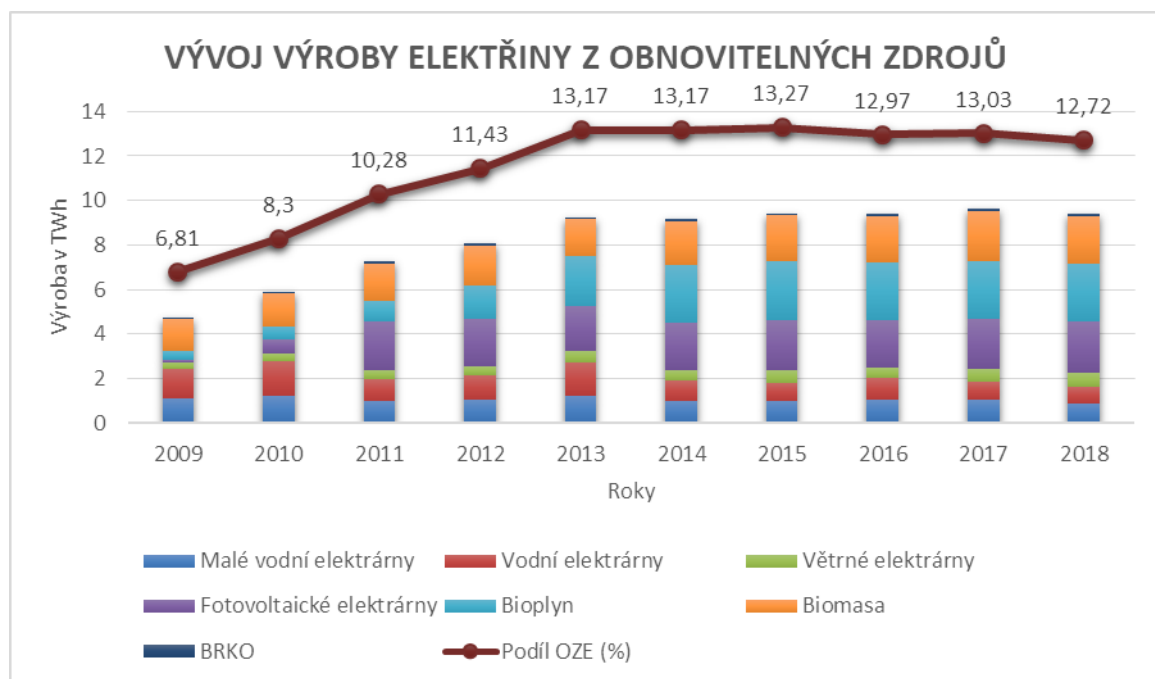
- Význam oběhového hospodářství pro podnikání roste.
- Polovina dotázaných společností uplatňuje zásady oběhového hospodářství.
- Potřeba obhajitelného obchodního případu je největší překážkou i největší příležitostí, které čelí úspěch oběhového hospodářství.
- Náklady a výhody jsou hlavními pobídkami pro zákazníky i spotřebitele. (Circular economy, 2020)

Dnes mnoho faktorů (růst, populace, nedostatek zdrojů, dopady změny klimatu, atd.) vyvíjí tlak na společnosti, aby se posunuly od modelu průmyslového využití (lineární) k cirkulární strategii. V posledních pěti letech kladly firmy větší důraz na to, aby zaujaly přístup založený na životním cyklu, aby pochopily celková dopad svých výrobků a operací v celém jejich hodnotovém řetězci. Ačkoliv termín "cirkulární ekonomika" ještě není rozšířený mezi všemi vedoucími pracovníky, povědomí a porozumění tomuto termínu je mezi odborníky v oblasti



udržitelosti vysoké a starý průmyslový způsob myšlení se začíná měnit. (GREENBIZ GROUP, 2015) Obrázek 5.4 zobrazuje výrobu elektřiny z různých zdrojů a její podíl na tuzemské spotřebě.

Obrázek 5.4 Výroba elektřiny z různých zdrojů a její podíl na tuzemské spotřebě v TWh



Zdroj: vlastní zpracování dle (Statistika, 2019)

Z tohoto kombinovaného grafu vyplývá, že výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů roste. To je důkaz, že cirkulární ekonomika nabývá na síle. Pozitivum také je, že roste výroba elektřiny z bioplynu a biomasy. Na podílu OZE si můžeme potvrdit, že roste podíl elektřiny vyráběné z obnovitelných zdrojů.

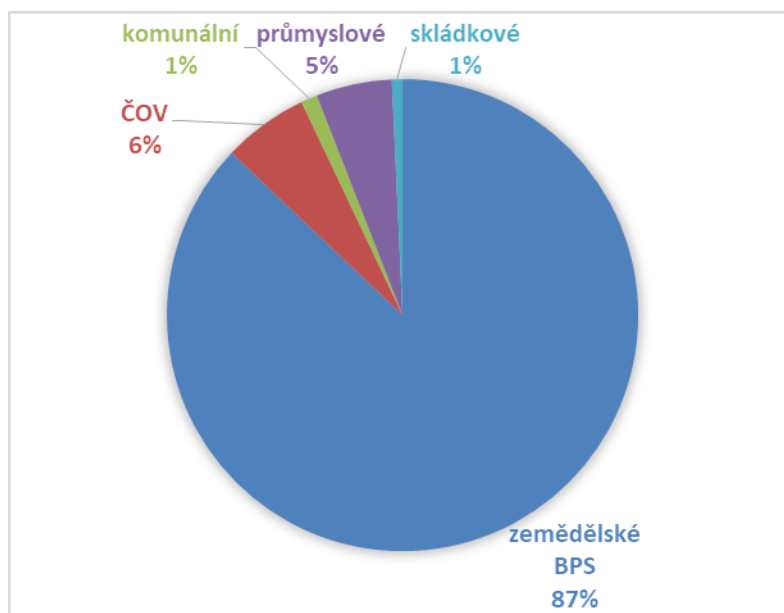
## **6. Výsledky – Bioplynové stanice v ČR a Evropě**

V poslední části práce jsou zmapovány bioplynové stanice v Česku i na území Evropy. Část se věnuje stavům bioplynových stanic v Německu, Finsku, Itálii a Francii. Problematika využití bioplynu v Evropě je legislativně usměrňována směrnicí evropského parlamentu a rady 2009/28/ES ze dne 23. dubna 2009 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES. Evropská unie má zájem o ekologický přístup a hledání udržitelných zdrojů, proto se snaží také o výrobu energie z obnovitelných zdrojů jako bioplyn.

### **6.1 Podíl instalovaných výkonů jednotlivých BPS v ČR**

Podle webových stránek Českého svazu bioplynu je celkový instalovaný výkon všech BPS v České republice 358 MW a celkový počet z nich je 569. Největší rozmach dosáhly bioplynové stanice v intervalu let 2007 až 2013, kdy byl vytvořen program podpory BPS formou tzv. zelených bonusů. Cílem je porovnat podíly jednotlivých typů bioplynových stanic na celkovém instalovaném výkonu všech BPS. Jako zdroj dat jsem použila mapu bioplynových stanic v ČR, dostupnou na stránkách české bioplynové asociace. (Mapa bioplynových stanic, 2020) Obrázek 6.1 ukazuje podíl instalovaných výkonů všech typů bioplynových stanic v České republice

Obrázek 6.1 Podíl instalovaných výkonů všech typů BPS v ČR [kWh]



Zdroj: vlastní zpracování podle (Mapa bioplynových stanic, 2020)

Z grafu je zřejmé, že drtivou většinu instalovaného výkonu pokrývají zařízení v zemědělských BPS. Tento fakt odráží rozmach, který zažil tento typ BPS díky zeleným bonusům a díky faktu, že toto odvětví výroby v sobě neslo nejvyšší potenciál pro rozvoj v roce 2007, kdy se se zelenými bonusy pro BPS začalo.

## 6.2 Využití bioplynu v Evropě

Politika Evropské unie stanovila pevný cíl dodávat 20 % energie z obnovitelných zdrojů energie. (SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2009/28/ES ze dne 23. dubna 2009 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES, 2009) K dosažení tohoto cíle může bioplyn hrát důležitou roli, protože je možné vyrobit z bioplynu teplo, elektřinu, pohonné hmoty, chemikálie nebo palivové články. Nejúčinnějším způsobem integrace bioplynu do evropských energetických odvětví je integrace bioplynu do rozvodné sítě zemního plynu. Některé země již bioplyny integrovaly do rozvodné sítě zemního plynu. Pro mou práci jsem vybrala Německo a Finsko jako příklad využití bioplynu.

### 6.2.1 Německo

Německo je jednou ze zemí s většinou rozvinutým bioenergetickým sektorem, proto bylo Německo vybráno pro srovnání s Finskem. V roce 2011 se německá spolková vláda rozhodla změnit energetickou politiku a podívat se na obnovitelné zdroje energie jako příležitost pro budoucí výrobu energie. (Brussels, 2013) Směrnice o obnovitelných zdrojích energie 2009/28/ES si stanovila za cíl získat do roku 2020 konečnou spotřebu energie 20 % energie z obnovitelných zdrojů.

Většina bioplynových stanic byla postavena v Německu. V roce 2013 bylo v Německu 710 bioplynových stanic a 610 z nich plně fungovalo s obnovitelnými zdroji energie. Většinou se jedná o zařízení využívající zemědělství, ale také o splaškové kaly, biologický odpad, odpad z průmyslu a skládky. Německá energetická agentura a německé výzkumné středisko pro biomasu každoročně shromažďují údaje o využití bioplynu a již zjistily, že se zvyšuje objem modernizace bioplynu. V roce 2012 byl bioplyn využíván k výrobě tepla, elektřiny a pohonných hmot. Pro elektřinu 26,7 TWh, zahřeje 14,0 TWh a pro palivo vozidla 0,35 TWh. (Brussels, 2013)

V Německu byl za finanční podporu vytvořen zákon o obnovitelných zdrojích energie, konkrétně zákon EEG z roku 2012. Hlavním účelem tohoto zákona bylo zvýšit využívání obnovitelných zdrojů energie v německých dodávkách elektřiny, snížit náklady na energii pro národní hospodářství a udržet vývoj technologií pro využívání obnovitelných zdrojů energie. V roce 2012 byl tento zákon novelizován a byly stanoveny nové bonusy. (Act on the Development of Renewable Energy Sources, 2014)

### 6.2.2 Finsko

Finská vláda rozhodla, že do roku 2025 by mělo být z biomasy vyrobeno 10 % plynu. Finsko si navíc klade za cíl, aby 60 % spotřeby energie bylo z obnovitelných zdrojů energie v roce 2050. (Brussels, 2013) Finsko má velkou část krajiny pokrytou lesy. Je možné zvýšit využití energie vyrobené ze dřeva, také hodně biomasy jako větví, listů, které lze nalézt v lesích a použít k výrobě energie. (Bioenergy in Finland, 2010)

Finsko by mohlo produkovat až 4 až 6 TWh / rok bioplynu z odpadů a hnoje. V roce 2012 bylo zjištěno, že plodiny nehrají při výrobě obnovitelné energie významnou roli. Kromě toho byl učiněn závěr, že lesní biomasa je ekonomičtější pro zvýšení využívání obnovitelné energie při konečné výrobě energie. (Brussels, 2013) Na začátku roku 2013 bylo ve výstavbě nebo ve fázi plánování. (McKendry, 2002)

V roce 2013 činila spotřeba bioplynu v dopravě 10,8 GWh a ve srovnání s 2012 byla o 16,8 % vyšší. Provozní bioplyn byl vyroben v pěti různých zařízeních a bioplyn se používá pouze pro dopravu. Bioplyn ze 3 zařízení je do čerpacích stanic dopravován bio plynovody. Z ostatních 2 zařízení je bioplyn přepravován do čerpacích stanic plynovody. (Biogas use in transport in Finland 2013: preliminary statistics., 2014) Používání bioplynu se však každým rokem zvyšuje.

Finský úřad pro trh s elektřinou sponzoruje nové bioplynové stanice, které mohou vyrábět více než 100 kVA, s výkupním tarifem. Zajišťuje minimální cenu 83,50 EUR/MWh elektřiny, ale pokud výrobci překročí 19 MVA, nebude vyplacena žádná subvence. V systému výkupních cen bude subvence schválena na 12 let pro výrobce elektřiny. (Brussels, 2013)

Ministerstvo zemědělství a lesnictví podporuje zemědělce, kteří chtějí provozovat bioplynové stanice soukromě, ale více než polovina biomasy musí procházet z jejich vlastní farmy (zvířata, plodiny, kaly) a více než 50 % vyrobeného tepla a elektřiny by mělo být v podniku využito. (Bioenergy in Finland, 2010)

Finsko je známé jako jedna z předních zemí na světě ve výrobě a využívání obnovitelné energie. Bioenergie je naším nejvýznamnějším zdrojem obnovitelné energie a představuje cca jednu pětinu finské celkové spotřeby energie. (Bioenergy in Finland, 2010)

### **6.2.3 Itálie**

S 1 391 bioplynovými stanicemi je Itálie v Evropě číslo 2. 1 121 bioplynových stanic, které představují 80 % bioplynových stanic, je zásobováno substráty ze zemědělství a 60 zařízeními s odpadními vodami. Bioplyn se také vyrábí z 210 skládek odpadu. Do roku 2013 měla Itálie vysoký výkupní tarif ve

výši 28 Cts / kWh (pro rostliny <500 kW) na základě živočišného a zemědělského odpadu a nikoli energetických plodin. V důsledku toho bylo v Itálii v roce 2013 postaveno pouze 127 nových závodů. (Torrijos, 2016)

#### **6.2.4 Francie**

Ve Francii byla vyhlášena první objednávka FiT v roce 2016. Sektor bioplynu ve Francii se však rozvíjí pomalu (+53 elektráren v roce 2013), protože francouzské tarify byly ve stejném období nižší než v Německu nebo Itálii. V roce 2013 bylo 610 závodů vyrábějících bioplyn s 309 digestory a 301 skládkami. 140 rostlin bylo krmeno substráty ze zemědělství, 60 rostlin s odpadními vodami a 109 rostlinami (průmyslové potraviny a nápoje a biologický odpad). Celkový instalovaný elektrický výkon v roce 2013 byl 259 MWel. V roce 2013 byly v provozu čtyři závody na biometan. V odvětví bioplynu bylo vytvořeno ve Francii 1 700 pracovních míst. Ve Francii závisí FiT na instalované kapacitě, druhu substrátu a využití tepla. Základní sazba se pohybuje mezi maximem 13,37 c € / kWh pro instalovaný výkon nižší než 150 kW a minimum 11,19 c € / kWh pro instalovaný výkon vyšší než 2 000 kW. (ATEE – Club Biogaz, 2014)

K tomuto základnímu tarifu lze přidat bonus, který zvýhodňuje využití živočišného odpadu v malých zemědělských bioplynových stanicích. Maximální přídavek je ve skutečnosti pro zařízení s kapacitou nižší než 300 kW, která ve svém krmivu používají více než 60 % živočišného odpadu. Pro zařízení s kapacitou vyšší než 1000 kW není žádný bonus. Lze také přidat další bonus, který závisí na využití tepla. Maximální bonus (4 c € / kWh) je, když je energetická účinnost vyšší než 70 %. Pokud je energetická účinnost nižší než 35 %, není zde žádný bonus. (ATEE – Club Biogaz, 2014)

## 7. Diskuse

Energie získávaná ze spalování biomasy je historicky nejstarším energetickým zdrojem, který lidstvo využívá. Biomasa je organická hmota rostlinného nebo živočišného původu. V souvislosti s energetickým využitím zahrnuje tento pojem především palivové a odpadní dřevo, slámu, a další zemědělský a lesní odpad, záměrně pěstované dřeviny, byliny či plodiny, ale také odpady biologického původu, jako např. hnůj hospodářských zvířat, kaly z ČOV a produkty jejich zpracování (bioplyn). Základní výhodou biomasy je její nefosilní původ a obnovitelnost. Z hlediska emisí oxidu uhličitého, který je hlavním plynem, způsobujícím tzv. skleníkový efekt, se biomasa chová neutrálně – při udržitelném přístupu, kde nejsou zdroje biomasy extrémně vyčerpány se jedná o uzavřený cyklus, kde je CO<sub>2</sub> uniklý do atmosféry při spalování pohlcen nově dorůstající biomasou, kterou je možno dále využít. Biomasa je v současné době obnovitelným zdrojem s nejvyšším podílem na spotřebě primárních energetických zdrojů. Biomasa má ze všech druhů OZE v ČR nejvyšší potenciál využití a také nejvyšší současný podíl v energetické bilanci.

ČR patří podle různých analýz mezi země s relativně vysokým potenciálem biomasy. Podle údajů sdružení CZ Biom se dostupný potenciál biomasy a bioplynu pohybuje ve výši cca 134 PJ, což je cca 7,2 % současné spotřeby energetických zdrojů. Významný podíl na celkovém potenciálu biomasy mají energetické rostliny a plodiny. (České sdružení pro biomasu, 2020)

Biomasa je v dlouhodobém horizontu nejperspektivnějším OZE pro výrobu elektřiny i tepla v ČR. Využití biomasy je technicky dobře zvládnuté a není spojeno s problémy s nestabilitou dodávek, jako je tomu např. u energie větrné, sluneční nebo vodní. Převážná část výroby elektřiny z biomasy byla v roce 2004 realizována formou spoluspalování s uhlím. (Zpráva o plnění indikativního cíle výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů za rok 2004, 2005) Celkový instalovaný výkon zařízení potenciálně využitelných pro výrobu elektřiny z biomasy formou spoluspalování s uhlím je cca 1 200 MWe. Výkon pro skutečnou výrobu z biomasy se pak vzhledem k technicky reálnému poměru biomasa / uhlí může pohybovat v rozmezí 100-150 MWe. (Zpráva o plnění indikativního cíle výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů za rok 2004, 2005)

Obsah jednotlivých komponent bioplynu – tedy jeho kvalita – energetická hodnota, závisí na složení vstupního substrátu, parametrů a průběhu procesu. Ve srovnání se zemním plynem má bioplyn nižší obsah metanu (zemní plyn až 98 %), ale podstatně vyšší podíl CO<sub>2</sub> (zemní plyn pouze 0,7 %). (Kára, 2007) Z příměsí je nejproblémovější sirovodík (H<sub>2</sub>S), protože pokud se nachází v bioplynu v množství nad 0,1 %, sirovodík působí korozivně na aktivní konstrukční prvky motorů, jakož i na jednotlivé technologické zařízení a podobně jako amoniak (NH<sub>3</sub>) je také zdrojem nepříjemného zápachu. Přítomnost CO<sub>2</sub> v bioplynu je prospěšná pouze pokud se bioplyn použije bezprostředně po vyrobení jako palivo pro kogenerační jednotku, protože působí jako antidetonátoru ve spalovacích motorech. (Biogas handbook, 2008)

Metan v bioplynu vzniká při metanogenezi fermentací organických substrátů rozkladem polysacharidů, lipidů a proteinů. Při rozkladu proteinů (bílkovin) se do bioplynu uvolňují sírné složky (např. sirovodík), který je potřeba před použitím plynu odstraňovat. Rozkladem lipidů (tuků) se dosahuje nejvyšší výtěžnosti (produkce bioplynu). Rozklad polysacharidů zvláště obsažených ve fytomase bývá hlavním zdrojem látek pro tvorbu metanu. Jedna z hlavních stavebních prvků fytomasy – lignin – je z hlediska metanogenezi balastním materiálem a na tvorbě metanu se téměř neúčastní, pokud není fyzikálněchemickými procesy předzpracován. (Crawford, 1976)

V současnosti se bioplyn využívá většinou (cca na 90 %) jako palivo pro výrobu elektřiny a tepla v kogeneračních jednotkách umístěných v blízkosti bioplynových stanic. Důvodem je i primárně zavedena podpora instalacím využívajícím obnovitelné zdroje energie pro výrobu elektřiny formou garantovaných výkupních cen, resp. "Zelených" bonusů ve většině zemí EU. Nevýhodou takových instalací je často nedostatečné využití tepla z kogenerace, a to zejména v letních měsících. V zahraničí se proto v poslední době objevuje celá řada instalací zaměřených na úpravu bioplynu na tzv. biometan, který je plnohodnotnou náhradou zemního plynu využitelného mimo jiné jako palivo pro mobilní techniku. Takový biometan lze dodávat do distribuční sítě zemního plynu, jejichž prostřednictvím lze biometan dodávat (virtuální) širšímu okruhu dalších možných zájemců. (Nevzorova, 2019)



## 8. Závěr

Bioplyn a bioplynové systémy představují energetické zdroje s vysoce pozitivními přínosy pro ochranu a tvorbu životního prostředí. Ačkoli bioplyn není schopen nahradit fosilní paliva z jejich dominantního postavení na trhu s energo nosiči, má na rozdíl od nich neomezené perspektivy pro využití v budoucnosti. Bioplynové systémy v různých alternativních uspořádáních představují plně obnovitelné zdroje, transformující a spolu využívající energii Slunce. Významný podíl energeticky využitelné biomasy je produkován v zemědělství a potravinářství. Zemědělská velkovýroba je největší producent biologických odpadů.

Bioplyn neustále vzniká při zahnívání organických odpadů, jehož využití pro energetické účely takto představuje jeden z nejekonomičtějších způsobů ekologického odstraňování odpadů.

OZE dle názoru autorky představuje nejperspektivnější oblast v ekologii a rozvoji energetiky. Pokud jde o možnost jejich využití, ačkoli dosavadní vývoj není dostatečný, na úrovni EU se hledají všechny způsoby, jak co nejvíce dynamizovat využití těchto zdrojů. Zelená kniha je znakem nového začátku energetické politiky v Evropě. Je výrazem obrovské změny v jejich směřování a signálem toho, že vzrůstá povědomí o důležitosti energie, jako prvku globálního charakteru. Energetické zdroje na bázi obnovitelných energií (kromě vodních elektráren) hrají zatím v energetické bilanci České republiky zanedbatelnou roli.

Světový trend ale jednoznačně směřuje k intenzivnějšímu využívání těchto čistých energií, proto je vyšší využívání zakotveno mezi strategické cíle energetické politiky u většiny států světa, včetně ČR. Čistá energie s největší pravděpodobností během následujících dvou desetiletí nepokryje celkovou energetickou spotřebu lidstva, ovšem každá vyrobená kilowatthodina sníží znečištění. Nové zdroje také napomohou částečně snížit nezaměstnanost a podpořit ekonomický rozvoj českých obcí, venkova a strojírenského průmyslu. Využití tohoto potenciálu proto autorka považuje za důležitý krok v rámci rozvoje energetického průmyslu v ČR, ale i po celém světě.

ČR má dostatečná potenciál obnovitelné energie pro udržitelný rozvoj, ale obnovitelné zdroje zde zatím nehrají příliš roli a energetickému průmyslu stále dominují neobnovitelné zdroje energie.

Z některých zjištění lze v závěru uvést, že nejvýhodnější způsob využití biomasy k energetickým účelům je do značné míry určen jejími fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Z primárního hlediska jsme zjistili, že hlavními způsoby využití biomasy pro energetické účely, jsou termochemická přeměna biomasy (suché procesy jako spalování, zplyňování, pyrolýza), taktéž biochemická přeměna (mokrý procesy jako anaerobní a alkoholová fermentace), či fyzikálně-chemických přeměn (esterifikace rostlinných a živočišných olejů). V praxi převládá ze suchých procesů spalování a z mokrých procesů, výroba bioplynu anaerobní fermentací vlhké biomasy. Z ostatních způsobů dominuje výroba metylesterů rostlinných olejů, které se získávají v syrovém stavu ze semen olejnatých plodin.

K primárním výhodám využití biomasy v energetice patří nevyčerpatelnost tohoto zdroje energie (její obnovitelnost), většinou zanedbatelný obsah síry. Z hlediska produkce skleníkových plynů (především  $\text{CO}_2$ ) se biomasa považuje za neutrální palivo – při spalování se uvolňuje  $\text{CO}_2$  a přibližně stejné množství  $\text{CO}_2$  je fotosyntézou při růstu biomasy z atmosféry spotřebované, biomasa je často druhotnou surovinou, což je výhodou z hlediska ekonomického (cena), jakož i odpadového hospodářství, a zvyšuje nezávislost na dovozu primárních energetických zdrojů. Výsledky z oblasti využití biomasy v energetice a priorit v energetickém využívání biomasy nás přesvědčily o tom, že má význam se neustále tímto tématem a oblastí zabývat, protože je zde možnost zjištění stále nových nebo zdůraznění důležitých faktorů pro zlepšování.

K brždění zlepšení současného stavu ve využívání biomasy v energetice přispívá i nedostatečné aplikování samotných priorit v praxi. Můžeme konstatovat, že aby dnes fungovalo kvalitní využití biomasy v energetice, je třeba zlepšovat současný stav ve využívání biomasy pro energetické účely, a to například odstraňováním stávajících rezerv s cílem vyššího využívání biomasy k výrobě energie než dosud. Vysoké investiční náklady na technologii a nízké zisky z výroby elektrické energie z bioplynu představují největší bariéry pro jeho

využívání. Zmírnit dosah těchto bariér je možné legislativními opatřeními, které jsou potřebné pro všechny nové technologie při jejich zavádění na rozvinutý trh.

## 9. Literatura

Act on the Development of Renewable Energy Sources, 2014. In: *RES Act 2014*. Germany: Federal Law Gazette, ročník 2014.

*ATEE – Club Biogaz: Tarifs 2011 et contrat d'achat d'électricité issue de biogaz* [online], 2014. [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <http://www.atee.fr/biogaz/tarifs-2011-et-contrat-dachat-délectricité-issue-de-biogaz>

BALAT, M. a H. BALAT, 2009. Biogas as a Renewable Energy Source—A Review. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* [online]. **31**(14), 1280-1293 [cit. 2020-03-26]. DOI: 10.1080/15567030802089565. ISSN 1556-7036. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15567030802089565>

*Bioenergy in Finland*, 2010. The Bioenergy Association of Finland.

*Biogas handbook* [online], 2008. Esbjerg: University of Southern Denmark Esbjerg [cit. 2020-03-25]. ISBN 9788799296200. Dostupné z: [www.lemvigbiogas.com/BiogasHandbook.pdf](http://www.lemvigbiogas.com/BiogasHandbook.pdf)

Biogas use in transport in Finland 2013: preliminary statistics., 2014. In: *CBG100* [online]. [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: <http://www.cb100.net/news/biogaz-use-in-transport-in-finland-2013-preliminary-statistics/>

BOTE, M. A., V. R. NAIK a K. B. JAGDEESHGOUDA, 2019. Production of biogas with aquatic weed water hyacinth and development of briquette making machine. In: *Materials Science for Energy Technologies* [online]. In Press [cit. 2020-03-26].

BRUSSELS, 2013. *Renewable energy progress report*. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2013:0175:FIN:EN:PDF>

CENEK, Miroslav, 2001. *Obnovitelné zdroje energie*. 2. upr. a dopl. vyd. Praha: FCC Public. ISBN 80-901985-8-9.

Circular economy, 2020. *GreenBiz Group* [online]. [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: <https://www.greenbiz.com/collections/circular-economy>

Cirkulární ekonomika, 2015. *Institut cirkulární ekonomiky* [online]. [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: <https://incien.org/cirkularni-ekonomika/>

CRAWFORD, D. L. a R. L. CRAWFORD, 1976. Microbial degradation of lignocellulose: the lignin component. *Applied and Environmental Microbiology*. **31**(5), 714-717.

České sdružení pro biomasu [online], 2020. [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://czbiom.cz/>

DEMIRBAS, Ayhan, 2006. Biogas Production from the Organic Fraction of Municipal Solid Waste. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* [online]. **28**(12), 1127-1134 [cit. 2020-03-26]. DOI: 10.1080/009083190910479. ISSN 1556-7036. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/009083190910479>

DOLEŽAL, Petr, Jan DVOŘÁČEK a Ladislav ZEMAN, 2001. Problematika kvality siláží a silážních aditiv. *Krmivářství*. **2001**(01), 16-20.

Edukace a osvětové aktivity, 2020. *Institut cirkulární ekonomiky* [online]. [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: <https://incien.org/nase-projekty/edukace-a-osvetove-aktivity/>

EUR-LEX, 2014. *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European economic and social committee and the Committee of regions towards a circular economy: A zero waste programme for Europe* [online]. [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52014DC0398>

EUROPEAN COMMISSION, 2014. *The circular economy: connecting, creating and conserving value* [online]. [cit. 2020-04-11]. DOI: 10.2779/80121. Dostupné z: <http://www.eesc.europa.eu/resources/docs/the-circular-economy.pdf>

FACCIOTTO, G, 2009. Biomass production with fast growing woody plants for energy purposes in Italy. *Proceedings: Forestry in Achieving Millennium Goals*. Serbia: Novi Sad, 105-110.

GHISELLINI, Patrizia, Catia CIALANI a Sergio ULGIATI, 2016. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production* [online]. **114**, 11-32 [cit. 2020-04-11]. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.09.007. ISSN 09596526. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652615012287>

GOUNARIS, Konstantinos, 2014. *Natural Gas as a Source of Energy*. Greece: Plymouth University. DOI: 10.15224/978-1-63248-023-1-56.

GREENBIZ GROUP, 2015. The growth of the circular economy. *UPS/GreenBiz Group research study* [online]. [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: [http://sustainability.ups.com/media/UPS\\_GreenBiz%20Whitepaper.pdf](http://sustainability.ups.com/media/UPS_GreenBiz%20Whitepaper.pdf)

HALAJ, Peter, 2016. *Cirkulární ekonomika jako celosvětový trend ve firmách. Byznys pro společnost* [online]. [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: <http://byznysprospolecnost.cz/cirkularni-ekonomika-jako-celosvetovy-trend-vefirmach-2/>

HOBSON, Kersty, 2015. Closing the loop or squaring the circle? Locating generative spaces for the circular economy. *Progress in Human Geography* [online]. **40**(1), 88-104 [cit. 2020-04-11]. DOI: 10.1177/0309132514566342. ISSN 0309-1325. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0309132514566342>

HRONEC, Ondřej, 2004. *Obnovitelné přírodní zdroje energie*. SPU. ISBN 80-8069-347-1.

INSTITUT CIRULÁRNÍ EKONOMIKY, 2015. Cirkulární ekonomika - Co je to?. *WordPress* [online]. [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: <http://incien.org/cirkularniekonomika/>

JACOBS, Anna, 2017. Greenhouse gas emission of biogas production out of silage maize and sugar beet—An assessment along the entire production chain. *Applied energy*. (190), 114-121.

JANDAČKA, Jozef a Milan MALCHO, 2007. *Biomasa ako zdroj energie*. Žilina: Juraj Štefuň - GEORG. ISBN 978-80-969161-4-6.

JUREKOVÁ, Zuzana a Marián KOTRLA, 2008. *Obnova ekosystémov*. 1. vyd. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita. ISBN 978-80-552-0023-1.

KÁRA, Jaroslav, 2007. *Výroba a využití bioplynu v zemědělství*. Vyd. 1. Praha: VÚZT. ISBN 978-80-86884-28-8.

KOKOSZCZYŃSKI, Krzysztof, 2015. Circular Economy: The future of Europe?. *EurActiv* [online]. [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: <http://www.euractiv.com/section/sustainable-dev/news/circular-economy-the-future-of-europe/>

KÖRSCHENS, Martin, 2002. Importance of soil organic matter (SOM) for biomass production and environment (a review). *Archives of Agronomy and Soil Science*. **48**(2), 89-94.

KOUŘA, Jaroslav, 2008. *Bioplynové stanice s mokrým procesem*. 1. vyd. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT. Metodické pomůcky k činnosti autorizovaných osob. ISBN 9788087093337.

Landfill Methane Outreach Program, 2020. *EPA* [online]. [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/lmop/basic-information-about-landfill-gas>

LIEDER, Michael a Amir RASHID, 2016. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production* [online]. **115**, 36-51 [cit. 2020-04-11]. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.12.042. ISSN 09596526. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652615018661>

MALAŤÁK, Jan a Petr VACULÍK, 2008. *Biomasa pro výrobu energie*. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. ISBN 978-80-213-1810-6.

MAO, Guozhu, 2018. Research on biomass energy and environment from the past to the future: A bibliometric analysis. *Science of The Total Environment*. (365), 1081-1090.

Mapa bioplynových stanic, 2020. In: *Česká bioplynová asociace* [online]. [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: <https://www.czba.cz/mapa-bioplynovych-stanic.html?strana=72#table>

MCARTUR, Ellen, 2015. *Towards a circular economy: Business rationale for an accelerated transition* [online]. [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/TCE\\_Ellen-MacArthur-Foundation\\_26-Nov-2015.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/TCE_Ellen-MacArthur-Foundation_26-Nov-2015.pdf)

MCDONOUGH, William a Michael BRAUNGART, 2002. *Cradle to cradle: remaking the way we make things*. 1st ed. New York: North Point Press. ISBN 978-0-86547-587-8.

MCKENDRY, Peter, 2002. *Energy production from biomass: overview of biomass*.

Metodický pokyn k podmínkám schvalování bioplynových stanic před uvedením do provozu, 2008. In: *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/cz/schvalovani\\_bioplynovych\\_stanic](http://www.mzp.cz/cz/schvalovani_bioplynovych_stanic)



NEVZOROVA, T. a V. KUTCHEROV, 2019. Barriers to the wider implementation of biogas as a source of energy: A state-of-the-art review. *Energy Strategy Reviews*. (26). ISSN 100414.

NGES, Ivo Achu, 2012. Benefits of supplementing an industrial waste anaerobic digester with energy crops for increased biogas production. *Waste management*. **32**(1), 53-59.

Samosprávy, 2016. *Institut cirkulární ekonomiky* [online]. [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: <https://incien.org/nase-projekty/samospravy/>

SHIN, M. S. a K. H. JUNG, 2019. Biogas separation using a membrane gas separator: Focus on CO<sub>2</sub> upgrading without CH<sub>4</sub> loss. *Process Safety and Environmental Protection*. (129), 348-358.

SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2009/28/ES ze dne 23. dubna 2009 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES [online], 2009. In: . [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=EN>

STARR, Kathrine, Gara VILLALBA a Xavier GABARRELL, 2015. Upgraded biogas from municipal solid waste for natural gas substitution and CO<sub>2</sub> reduction—A case study of Austria, Italy, and Spain. *Waste management*. (38), 105-116.

Statistika, 2019. *Energetický regulační úřad* [online]. [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/statistika>

STRAKA, František a Michal DOHÁNYOS, 2006. *Bioplyn: [příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů]*. 2., rozš. a dopl. vyd. Praha [i.e. Říčany u Prahy]: GAS. ISBN 8073280906.

SUPPES, Galen J. a Truman S. STORVICK, 2016. *Sustainable Power Technologies and Infrastructure* [online]. Boston: Elsevier [cit. 2020-03-26]. DOI: 10.1016/C2014-0-04843-5. ISBN 9780128039090.

ŠÍPEK, Milan, ed., 2014. *Membránové dělení plynů a par*. Vyd. 1. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 9788070808641.

TORRIJOS, Michel, 2016. State of development of biogas production in Europe. *Procedia Environmental Sciences*. (35), 881-889.

VÍTĚZ, Tomáš, 2018. Schéma bioplynové stanice. In: *BIOM.CZ* [online]. [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/obrazek/schema-bioplynove-stanice>

WANG, Giang, 2020. Coupling of Rural Energy Structure and Straw Utilization. *Sustainability*. **12**(3), 983.

WASAJJA, H, R. E. F. LINDEBOOM, J. B. VAN LIER a P. V. ARAVIND, 2020. *Techno-economic review of biogas cleaning technologies for small scale off-grid solid oxide fuel cell applications: Fuel Processing Technology*. (197).

WEIDEMAN, J, R INGLESII a J VAN HEERDEN, 2017. Structural breaks in renewable energy in South Africa: A Bai & Perron break test application. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. (78), 945-954.

WELLINGER, Arthur, Jerry MURPHY a David BAXTER, ed., 2013. *The biogas handbook: science, production and application*. 1st pub. Oxford: Woodhead Publishing. Woodhead Publishing series in energy. ISBN 9780857094988.

ZOU, Caineng, Qun ZHAO, Guosheng ZHANG a Bo XIONG, 2016. Energy revolution: From a fossil energy era to a new energy era. *Natural Gas Industry B* [online]. **3**(1), 1-11 [cit. 2020-03-26]. DOI: 10.1016/j.ngib.2016.02.001. ISSN 23528540.

Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352854016300109>

*Zpráva o plnění indikativního cíle výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů za rok 2004, 2005. Ministerstvo průmyslu a obchodu.*