

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta životního prostředí
Katedra mechaniky a strojnictví

**VYUŽITÍ BIOPLYNU JAKO ZDROJE ENERGIE
V OBYTNÝCH DOMECH V OBCI KLADRUBY**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Martin Polák, Ph.D.

Bakalant:

Ivan Střecha

2015

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra mechaniky a strojnictví

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Ivan Střecha

Územní technická a správní služba

Název práce

Využití bioplynu jako zdroje energie v obytných domech v obci Kladruby

Název anglicky

The use of biogas as an energy source in residential houses in the village Kladruby

Cíle práce

Na základě literární rešerše a technické dokumentace zpracovat rozbor problematiky možnosti využití bioplynu v obci Kladruby. Provést technicko-ekonomické zhodnocení daného řešení.

Metodika

- rešerše problematiky výroby a využití bioplynu
- charakteristika vybrané lokality a technologie
- technicko-ekonomické hodnocení navrženého řešení

Doporučený rozsah práce

40 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Klíčová slova

obnovitelné zdroje energie, využití biomasy, bioplyn, životní prostředí

Doporučené zdroje informací

KÁRA, J.; ADAMOVSÝ, R.: Termochemická přeměna biomasy. In: Využití biomasy pro výrobu tepla, Informační centrum ČKAIT Praha 1998.

Kolektiv: Energetické plodiny. Profi Press, Praha 2006, 126 s., ISBN 80-86726-13-4

PASTOREK, Z.; KÁRA, J.; JEVÍČ, P.: Biomasa obnovitelný zdroj energie. FCC PUBLIC Prague, Prague 2004, 288 s. ISBN 80-86534-06-5.

Předběžný termín obhajoby

2015/05 (květen)

Vedoucí práce

doc. Ing. Martin Polák, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 22. 4. 2014

doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 6. 11. 2014

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan

V Praze dne 09. 04. 2015

Prohlášení

„ Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma: **Využití bioplynu jako zdroje energie v obytných domech v obci Kladruby**, vypracoval samostatně, pod vedením doc. Ing. Martina Poláka, Ph.D.“ „Další informace mi poskytli pan Lukáš Šťastný a pan Miloš Kroc ze společnosti Kladrubská a.s.“ „Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Praze dne 10. 3. 2015

.....

Ivan Sřecha

Poděkování

S velkou vděčností si dovoluji poděkovat doc. Ing. Martinovi Polákovi, Ph.D., vedoucímu mé bakalářské práce, za ochotu při konzultacích a za vhodné připomínky, které usměrnily mé první pokusy při psaní této práce. Mé poděkování patří též společnosti Kladrubská a.s., zejména technickému zástupci bioplynové stanice Lukášovi Šťastnému a zastupiteli obce Kladruby panu Milošovi Krocovi za poskytnuté materiály a spolupráci při získávání údajů pro praktickou část této bakalářské práce.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá různými způsoby využití biomasy k energetickým účelům. Upozorňuje na to, že v době, kdy zásoby fosilních paliv celosvětově závratně klesají, existují zdroje, které jsou prozatím využívány jen minimálně.

Biomasa je nepřehlédnutelným zdrojem energie budoucnosti a poukazuje na význam bioplynu a jeho využití.

Bakalářská práce dokládá společenský přínos zemědělských bioplynových stanic pro zlepšení životního prostředí i podmínek v zemědělství celkově. Vyčísluje energetické využití bioplynu zejména ve spojení s výrobou elektrické energie a tepla.

Důležitou částí této práce je podrobný popis technického zařízení vybrané bioplynové stanice Kladruby, dále charakteristika použitých technologií, používaných surovin a využití bioplynu při výrobě elektrické energie a tepla v místě bioplynové stanice.

Na základě poznatků v Kladrubech získaných zevšeobecňuje výhody využití tepla z bioplynové stanice pro obytné domy v podobných lokalitách.

Klíčová slova: obnovitelné zdroje energie, využití biomasy, bioplyn, životní prostředí, anaerobní digesce

Abstract

This Bachelor thesis deals with different ways of using biomass for power engineering. It points out that biomass is a significant future source of energy. The main subject of the thesis is the importance of biogas and its production and use under certain conditions.

The thesis proves the social benefit of agricultural biogas stations to the improvement of the environment and of the conditions in agriculture in general. It assesses the energetic use of biogas especially in connection with the production of electricity and heat.

An important part of this thesis is a detailed description of the technical equipment of a selected biogas station in Kladruby and the characteristic of the technologies and materials and of the use of biogas for the generation of electric power and heat in this biogas station.

Based on the information gained in Kladruby the thesis generalises the advantages of using the heat generated by a biogas station for residential houses in similar places.

Keywords: renewable energy, utilization of biomass, biogas, environment, anaerobic digestion

Obsah

1.	Úvod.....	10
2.	Cíl práce	11
2.1	Metodika práce	12
3.	Alternativní zdroje energie.....	13
3.1	Geotermální energie	13
3.2	Solární energie.....	14
3.3	Energie vody.....	15
3.4	Energie větru	16
4.	Energie biomasy.....	18
4.1	Biomasa	18
4.2	Využívání biomasy.....	23
5.	Bioplynové stanice	24
5.1	Bioplyn v EU.....	28
5.2	Současný stav BPS v ČR.....	30
5.3	Rozdělení bioplynových stanic podle druhu zpracovávaného materiálu	30
5.4	Rozdělení bioplynových stanice podle fermentorů zařazených v sérii	32
5.5	Dělení podle způsobu dávkování vstupního materiálu do fermentoru	32
5.6	Parametry ovlivňující anaerobní fermentaci	33
5.7	Inhibitory anaerobní fermentace.....	36
5.8	Vstupní materiály pro bioplynovou stanici	37
6.	Praktická část	38
6.1	Charakteristika sledované obce Kladruby	38
6.2	Profil zemědělského podniku Kladrubská a.s.	38
6.3	Charakteristika účelového zařízení bioplynové stanice Kladruby	38
6.4	Popis jednotlivých částí stacionárního zdroje BPS	39

6.5	Zpracovávané suroviny	45
7.	Hodnocení přínosu využití tepla z bioplynových stanic	46
7.1	Hodnocení ve vztahu k životnímu prostředí.....	46
7.2	Hodnocení z hlediska ekonomické náročnosti pro obyvatele	53
7.3	Hodnocení z hlediska komfortu obyvatel.....	54
8.	Diskuze.....	55
9.	Závěr	57
10.	Seznam použitých zkratk.....	58
11.	Přehled literatury a použitých zdrojů	59
12.	Seznam obrázků	63
13.	Přílohy	64

1. Úvod

V poslední době se stalo módní záležitostí tisku, rozhlasu a televize předbíhat se ve snaze rozebírat současnost i budoucnost energetické situace. Není žádným tajemstvím, že na celém světě spotřeba energie ve všech podobách stoupá. Obyvatelé této planety si velmi rychle zvykli na postupné a čím dál rychlejší usnadňování a zpestřování života různými novými výrobky a nápady. Osvětlení ulic a náměstí, noční nasvícení historických památek ve městech, které tak lahodí očím cizincům, svícení a teplo v narůstajícím množství obchodů, restaurací. Ale také ve sportovních střediscích, dopravních prostředcích, v bytech a k tomu ještě množství elektrických spotřebičů. To vše lidstvo přijímá jako nezbytnost a samozřejmost. A nepátrá po tom, co to stojí. Lidstvo si zvyklo na pohodlí a jen tak se ho nevzdá. A k šetření energií se nestaví příliš vstřícně. Ale kde jsou zdroje pro všechno to, co lidem život zpřijemňuje? A jsou tyto zdroje nevyčerpatelné? Novináři a reportéři chápou vážnost situace a po jejím rozboru čtenáře, posluchače, diváka buď uklidňují, nebo mu načrtnou hororovou budoucnost.

Naše civilizace získává energii hlavně z fosilních paliv jako je ropa, uhlí a zemní plyn. Tato paliva se vytvářela miliony let a nyní se čerpají rychlostí, která mnohokrát převyšuje rychlost jejich tvorby. Zásoby těchto paliv jsou omezené a jednou se vyčerpají. A navíc jejich spalování působí změny našeho životního prostředí.

Sílicí vazba na fosilních palivech, klimatické změny a rostoucí ceny energií jsou pádným důvodem, proč se dostala do popředí oblast obnovitelných zdrojů energie a nabývá stále většího významu.

Mezi tyto zdroje patří energie slunce, vody, větru, biomasy a zemského jádra. Vlastností těchto zdrojů je schopnost snižovat emise skleníkových plynů a úroveň znečištění.

V posledních letech se začíná šířit výstavba samostatných bioplynových stanic, jejichž šetrnost k životnímu prostředí, stabilní výkon po celý rok a výsledný energeticky bohatý bioplyn jsou nepřehlédnutelné.

Autora bakalářské práce problematika energií zajímá už od střední školy. Proto ve své bakalářské práci chce ukázat, jaké výhody přineslo vybudování bioplynové stanice obci Kladruby, aby se tak mohla stát vzorem pro obce další.

2. Cíl práce

Teoretická část bakalářské práce se opírá o poznatky v odborné literatuře. Jedná se o ucelené vysvětlení pojmů týkajících se obnovitelných zdrojů.

Praktická část, která navazuje na část teoretickou, se zabývá konkrétní zemědělskou bioplynovou stanicí, kde jsou charakterizovány použité technologie, skladba používaných surovin a využití bioplynu při výrobě elektrické energie a tepla pomocí kogenerační jednotky.

Použité informace jsou čerpány z technické dokumentace, z výkazů, databáze provozních dat zemědělské bioplynové stanice Kladruby a.s. Důležité informace byly také získány osobními konzultacemi s technickým zástupcem bioplynové stanice Kladruby panem Lukášem Šťastným a členem zastupitelstva obce Kladruby panem Milošem Krocem.

Využití tepla z bioplynových stanic není stále ještě běžnou věcí. Kromě ohřevu fermentorů pro udržení provozu bioplynové stanice je většina tepla z kogeneračních jednotek často bez užitku vypouštěna do vzduchu. O to více potěší každá instalace, která dokáže teplo z bioplynové stanice efektivně využít, a to nejen v areálu provozovatele, nýbrž i v okolí. Autor měl možnost být u realizace výstavby teplovodu v obci Kladruby. Místní bioplynová stanice od topné sezóny 2014/15 dodává teplo do většiny obytných domů v obci. Jednoznačným pozitivem tohoto systému vytápění by měla být kvalita ovzduší. V období inverze byla totiž obec často zahalena do oblaku smogu, způsobeného spalováním především nekvalitního hnědého uhlí a patrně také částmi komunálního odpadu.

Hlavní cíl práce:

- Vysvětlit pojmy týkající se obnovitelných zdrojů energie.
- Charakterizovat vybranou zemědělskou bioplynovou stanici.

Dílčí cíl práce:

- Zhodnotit využití tepla z bioplynové stanice v obytných domech ve sledované obci z hlediska vlivu na životní prostředí, ekonomické náročnosti a z hlediska komfortu pro obyvatele obce.

2.1 Metodika práce

Využití bioplynu jako zdroje energie v obytných domech v obci Kladruby je prací rešeršního charakteru. Hlavní metodou zpracování bylo vyhledávání dostupných zdrojů a informací. V teoretické části je použito studium odborných knih, tištěných podkladů a elektronických zdrojů uvedených v seznamu použité literatury.

Praktická část práce se zabývá konkrétní zemědělskou bioplynovou stanicí, kde jsou charakterizovány použité technologie a využití bioplynu při výrobě elektrické energie a tepla pomocí kogenerační jednotky. Tato část vychází z interních materiálů podniku Kladrubská a.s.

V červenci 2014 autor bakalářské práce navštívil zemědělskou bioplynovou stanicí v obci Kladruby. S technickým vedoucím bioplynové stanice prošel celým objektem, diskutoval o technické problematice stanice a o jejím celkovém provozu. Využil možnosti prohlídky k pořízení fotodokumentace. V měsíci srpnu 2014 si autor domluvil schůzku s představitelem podniku Kladrubská a.s. a se zastupitelem obce Kladruby. Hovořil s nimi o důvodu vybudování bioplynové stanice a problémech, které při realizaci projektu vznikaly.

Bylo mu umožněno nahlédnout do technické dokumentace bioplynové stanice i do projektu na vybudování teplovodu. V průběhu měsíce září a říjen 2014 autor bakalářské práce navštěvoval obec Kladruby a pořizoval fotodokumentaci probíhajících prací na teplovodu do obytných domů. Také proběhla návštěva několika domů, kde byly pořízeny fotografie kotlů.

Závěr práce shrnuje zjištěné poznatky ze sledované bioplynové stanice z hlediska životního prostředí.

3. Alternativní zdroje energie

Za alternativní zdroje energie jsou považovány zdroje, které nezískávají energii spalováním fosilních paliv nebo termojadernou reakcí a jejichž základními znaky jsou ekologická šetrnost a obnovitelnost. Mezi nejčastěji používané alternativní zdroje energie patří geotermální, sluneční, větrná a vodní energie a biomasa. (ADP, 2013)

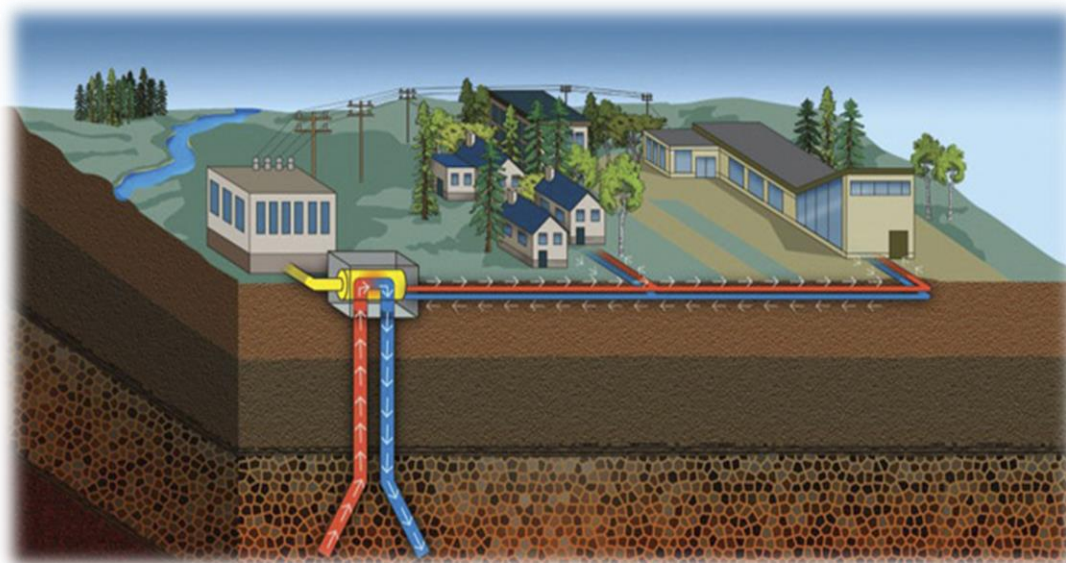
3.1 Geotermální energie

Geotermální energie je v nitru Země zachována od doby jejího vzniku po celou dobu geologické historie a je nejstarší energií na naší planetě. Jejími projevy jsou erupce sopek a gejzírů, horké prameny či parní výrony. Využívá se formou tepelné energie pro vytápění, nebo pro výrobu elektrické energie v geotermálních elektrárnách. Řadí se mezi obnovitelné zdroje energie.

V současnosti je celosvětově v geotermálních elektrárnách instalováno více než 10 000 MW. Ale to je stále jen nepatrný zlomek celkového potenciálu. V rámci Evropy je nejvhodnější zemí pro využití geotermální energie Island, s velkým odstupem také Itálie. (ČEZ, 2015)

Geotermální elektrárny využívají k výrobě elektřiny tepelnou energii z nitra Země. Staví se zejména ve vulkanicky aktivních oblastech, kde využívají k pohonu turbín horkou páru stoupající pod tlakem z gejzírů a horkých pramenů. Nebo jde o využití teplotně odolného média, které se vtlačuje do vrtů, v hloubi země ohřívá a ohřáté se vyvádí na povrch. Obecně lze ze zemských vrtů využívat nízkopotenciální i vysokopotenciální teplou vodu. Na obrázku č. 1 je vidět schéma geotermální elektrárny.

Geotermální elektrárny na rozdíl od většiny jiných typů elektráren, například jaderných a elektráren spalujících fosilní paliva, nepotřebují palivo žádné. Výstavba geotermální elektrárny je zhruba pětikrát dražší než stavba jaderné elektrárny, jsou dostupné pouze na některých místech zemského povrchu. Podíl těchto elektráren v rámci celé Evropy je minimální, v některých lokalitách je ale jeho význam značný. (Teichman, 2011)



Obr. 1: Geotermální elektrárna (URL 1)

3.2 Solární energie

Sluneční záření je energií, kterou lze přeměnit na různé druhy energie. Množství slunečního záření, které dopadá na zemský povrch, se řídí několika faktory. Těmi jsou hlavně zeměpisná šířka, nadmořská výška, výška slunce nad obzorem, klimatické podmínky a znečištění atmosféry. Solární energie se dobře uplatňuje v oblastech s dlouhým slunečním svitem a menší mírou znečištění. Využívání solární energie v sobě skrývá velký potenciál. (Musil, 2009)

Výhody solární energie:

- Slunce je nevyčerpatelným zdrojem energie.
- Nízké provozní náklady.
- Nenáročná obsluha.
- Úspora fosilních paliv.

Nevýhody solární energie:

- Poměrně vysoká počáteční finanční investice.
- Zabírá hodně místa.
- Nutná vyrovnávací elektrárna.
- Nestálost.

- Pro celoroční využití je třeba použít doplňkový zdroj energie, který bude pokrývat zvýšenou potřebu v době, kdy je slunečního záření nedostatek. (Maehlum, 2012)

Na obrázku č. 2 je zobrazeno rozdělení solárních systémů dle využití sluneční energie.



Obr. 2: Rozdělení solárních systémů dle způsobu využití sluneční energie (URL 2)

3.3 Energie vody

Voda zabírá celkem 71% povrchu Země. Celkový objem vody na Zemi je 1,4 miliardy km³. Vodní energie vzniká při koloběhu vody na Zemi působením sluneční energie a gravitační síly Země. Vodní energie je využívána pro výrobu elektřiny ve vodních elektrárnách na základě přeměny potenciální energie na mechanickou pomocí vodní turbíny. energii vody využívají různé typy vodních elektráren, jako jsou průtočné, akumulární, přečerpávací, přílivové, vlnové a elektrárny poháněné mořskými proudy. (ČEZ, 2007)

Největší vodní elektrárnou v ČR je přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stráně, která patří společnosti ČEZ s instalovaným výkonem 650MW. Na obrázku č. 3 je vidět horní nádrž vodní elektrárny Dlouhé Stráně. (Vinšová, 2011)

S instalovaným výkonem 22.5GW je čínská vodní elektrárna Tři soutěsky (Three Gorges Dam) největší na světě. (Smead, 2014)

Výhody energie vody:

- Jedná se o obnovitelný zdroj energie.
- Výroba elektřiny je bezemisní.
- Dlouhá životnost a spolehlivost.
- Přečerpávací vodní elektrárny jako nejlepší způsob ukládání energie.

Nevýhody energie vody:

- Vysoké investiční náklady.
- Zábor říčních údolí - ohrožení ekosystémů a vystěhovávání obyvatel.
- Závislost na stabilním přítoku vody. (Ryan, 2009)



Obr. 3: Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stráně (URL 3)

3.4 Energie větru

Vítr vzniká vlivem nerovnoměrného ohřevu zemského povrchu slunečním zářením. Od ohřátého povrchu se ohřívá přilehlá vrstva vzduchu a teplý vzduch má tendenci stoupat vzhůru. Celý děj je silně ovlivněn rotací Země a střídáním dne a noci, což má za důsledek vznik tlakových rozdílů v zemské atmosféře. Vyrovnaním tlakových rozdílů vzniká vítr, který vane vždy od tlakové výše k tlakové níži. (Mastný a kol., 2011)

Z hlediska dopadů na životní prostředí patří větrná energie mezi nejčistší energetické zdroje. Přesto je nutno počítat s některými negativními vlivy a vyvarovat se jich. (Benda a kol., 2012)

Jde především o hluk, stroboskopický efekt, změnu krajinného rázu a vliv na přírodu.

Hluk větrných elektráren lze rozdělit na dvě kategorie. První z nich je mechanický hluk pocházející ze strojovny větrné elektrárny, druhým zdrojem aerodynamický hluk, který vzniká při obtékání listů rotoru vzduchem. Stroboskopický efekt, způsobený periodickým zastiňováním slunečního kotouče listy vrtule, může na obyvatele v okolí nepříjemně působit. (Benda a kol., 2012)

Větrné elektrárny silně ovlivňují krajinný ráz. Jde totiž o stavby značných vertikálních rozměrů a výška nejmodernějších strojů dosahuje nejčastěji 150 m. Mezi negativní vlivy větrných elektráren na přírodu počítáme rušení ptactva a netopýrů jejich hlukem a také úmrtnost těchto živočichů při střetnutí s těmito stavbami. (Gailser, 2007)



Obr. 4: Větrná elektrárna (URL 4)

4. Energie biomasy

4.1 Biomasa

Biomasa se definuje jako substance biologického původu. Je podmíněna pěstováním rostlin v půdě nebo ve vodě, chovem živočichů, produkcí organického původu, organickými odpady. Biomasa je buď záměrně získávána jako výsledek výrobní činnosti, nebo se využívá odpadů ze zemědělské, potravinářské a lesní výroby, z komunálního hospodářství, údržby krajiny a péče o ni. V poslední době se s výrazem biomasa setkáváme stále častěji. Obvykle ve spojení se slovy jako ekologie nebo obnovitelné zdroje energie. Za obnovitelné zdroje nelze považovat biomasu přeměněnou na fosilní paliva, tj. materiál, v němž se sluneční energie akumulovala před dávnou dobou (uhlí, ropa, zemní plyn). Pod pojmem biomasa se rozumí jen materiál vzniklý činností rostlin, případně i živočichů v době geologicky současné. (Murtinger, Beranovský, 2008)

Energetické využití biomasy:

- Přímé spalování - tepelná nebo elektrická energie.
- Výroba bioplynu.
- Výroba kapalných biopaliv. (Murtinger, Beranovský, 2008)

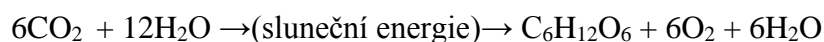
Z dlouhodobého hlediska je biomasa nejperspektivnější z obnovitelných zdrojů energie v České republice jak pro výrobu tepla, tak elektřiny. (BTQ, 2012)

- Přirozeně akumulovaná forma slunečního záření.
- Dodávka energie je stabilní.
- Používání biomasy není omezeno jen na určité lokality.
- Technologie využívání biomasy jsou v současné době již dostatečně ověřené.

4.1.1 Vznik rostlinné biomasy

Rostliny odebírají z atmosféry oxid uhličitý a v procesu zvaném fotosyntéza jej pomocí barviva chlorofylu a energie slunečního záření redukuje. Vytvářejí z něj

glukózu a postupně řadu složitých organických sloučenin, které potřebují ke svému životu. Jako odpadní produkt přitom vypouštějí do atmosféry kyslík. (Murtinger, Beranovský, 2008)



Biomasa vzniklá činností rostlin je vlastně jakási „energetická konzerva,“ ve které je uložena část zachycené sluneční energie a my ji můžeme uvolnit a využít pro své potřeby. Kromě světla a oxidu uhličitého rostlina potřebuje ještě další látky k tomu, aby rostla a produkovala biomasu. Důležité jsou zejména minerální látky (hnojení), přiměřená teplota a hlavně dostatek vody. Za čistou primární produkci považujeme to, kolik uhlíku z atmosférického oxidu uhličitého je rostlinou přeměněno na biomasu. A právě čistá primární produkce je důležitým údajem pro posouzení vhodnosti rostliny z hlediska výnosu biomasy. Obecně platí, že primární produkce každé rostliny má svůj limit, a ani zvyšování koncentrace oxidu uhličitého nebo zvýšení intenzity slunečního záření či větší zavlažování nevede k dalšímu zvýšení produkce. Rostliny mají ovšem také nějakou svou „režii“. Část energie spotřebují rostliny pro sebe. Mnohé nemohou růst celý rok, a tak i přes vysokou účinnost fotosyntézy je výsledná praktická účinnost jen několik procent. Cukrová třtina, která je v tomto ohledu jednou z nejlepších rostlin, má účinnost kolem 8%. (Murtinger, Beranovský, 2008)

Druh porostu	Produkce biomasy [kg/m ²] za rok
Deštný prales	2,2
Tropický prales	1,6
Středoevropský les	1,2
Savana	0,9
Zemědělská půda	0,7

Tabulka 1: Průměrná produkce biomasy (Pastorek a kol., 2004)

V tabulce č. 1 je uvedena průměrná produkce biomasy pro různé porosty (rostlinná společenství). Je vidět, že nejvýkonnější je v tomto ohledu tropický deštný prales. Produkce 2,2 kg biomasy představuje jen 11 kWh zachycené sluneční energie. Na plochu 1 m² v oblasti kolem rovníku však dopadne za rok přibližně 3 000 kWh. (Murtinger, Beranovský, 2008)

Z chemického hlediska je rostlinná biomasa převážně tvořena z organické hmoty, vody a nízkého obsahu minerálů. Každá rostlinná biomasa se skládá z organických prvků C, H, O, N. Pro využívání biomasy jako zdroje energie má největší význam celulóza, škrob, lignin, oleje a pryskyřice. Při spalování biomasy je důležitý i obsah vody a nespalitelné anorganické látky tvořící popel. (Murtinger, Beranovský, 2008)

4.1.2 Složky biomasy

Celulóza

Celulóza je nejvýznamnější složkou biomasy a je přítomná ve všech druzích biomasy, protože jde o základní stavební materiál rostlinných buněk. Z chemického hlediska jde o polysacharid složený z velkého počtu navzájem spojených molekul glukózy. Celulóza je hygroskopická, tj. snadno přijímá vodu a vlhne. V suchém stavu je velmi stálá. Existuje však řada mikroorganismů, které ji dokážou rozložit na jednoduché cukry a energeticky využít. Energetická výhřevnost celulózy je 18 MJ/kg při 0% vlhkosti. (Murtinger, Beranovský, 2008)

Hemicelulóza

Jde o řadu různých polysacharidů, které spolu s celulózou tvoří stěny buněk a umožňují rostlinám vytvářet mechanicky pevné struktury.

Lignin

Lignin tvoří významnou složku dřeva stromů. Jednou z jeho funkcí je mechanické zpevnění buněčných stěn a tvoří také součást kapilár, které v rostlině vedou vodu a živiny.

Oleje

Tyto sloučeniny plní v rostlinách zpravidla funkci „energetického akumulátoru“, a proto je často nacházíme v semenech. Představují výživu, zdroj energie pro počáteční růst klíčící rostliny. (Murtinger, Beranovský, 2008)

Pryskyřice

Pryskyřice je obsažena ve dřevě jehličnatých stromů a převážně ji tvoří směs uhlovodíků. Vzhledem k tomu, že uhlovodíky mají znatelně větší výhřevnost než celulóza nebo lignin, má dřevo jehličnatých stromů obsahující pryskyřici o trochu větší výhřevnost než dřevo stromů listnatých.

Škrob

Škrob je zásobní látkou rostlin, a tak je obsažen převážně v semenech a hlízách. Z chemického hlediska jde o polysacharid tvořený ze stejných základních jednotek jako celulóza. Na rozdíl od celulózy je však snadno štěpitelný na jednoduché cukry, které lze dále přeměňovat, například kvašením na ethanol. (Murtinger, Beranovský, 2008)

4.1.3 Energetické plodiny

Za energetické plodiny považujeme ty rostliny, které se pěstují pro energetické využití a nikoliv pro výrobu potravin nebo použití technické. V zásadě lze každou plodinu využít energeticky. Praktický význam mají ovšem jen plodiny s určitými, pro energetické použití významnými vlastnostmi. Jsou to především:

- *dobrá účinnost přeměny oxidu uhličitého na biomasu pomocí slunečního záření,*
- *vysoká primární produkce,*
- *nenáročnost na vodu a živiny,*
- *odolnost proti chorobám a škůdcům.* (Murtinger, Beranovský, 2008)

4.1.4 Odpadní biomasa

Odpadní biomasa je zde chápána jako biomasa, která již byla člověkem využita jinak než energeticky, nebo slouží primárně k jiným účelům, než je produkce energie. Převážně jde o odpady z odvětví, která nějak využívají a zpracovávají biomasu:

- *rostlinné odpady ze zemědělské výroby (řepková, kukuřičná nebo obilná sláma),*
- *odpady údržby krajiny či sadů (prořezy, křoviny a náletové dřeviny),*
- *odpady po těžbě dříví (kůra, vršky stromů, šišky, pařezy, kořeny),*
- *odpady z různých dřevozpracujících provozů (odřezky, piliny, hobliny),*
- *odpady z potravinářských výrob (cukrovary, jatka, mlékárny, lihovary),*
- *některé jinak nevyužité vedlejší produkty z živočišné výroby (hnůj),*
- *komunální organické odpady. (Murtinger, Beranovský, 2008)*

4.1.5 Přeměna rostlinné biomasy působením živých organismů

Biomasa se hned při svém vzniku stává objektem zájmů četných živých organismů. Představuje pro ně především potravu. Nebývá však vždy zcela spotřebována, tj. přeměněna na oxid uhličitý, vodu a anorganický zbytek. Pokud nemají mikroorganismy k dispozici dostatečné množství kyslíku, dokážou využít jen část energie a jako odpad vznikají stále ještě energeticky bohaté produkty. Pro nás má největší význam alkoholové kvašení, při němž kvasinky mění cukry na etanol. Dále anaerobní digesce (fermentace), při níž vzniká metan. Velkou výhodou obou těchto látek je to, že se dají používat jako výborné palivo do spalovacích motorů. Etanol, který je kapalný, se hodí pro dopravní prostředky a plynný metan lze výhodně využívat ve stacionárních kogeneračních jednotkách (současná výroba elektřiny a tepla) v bioplynových stanicích (BPS). (Murtinger, Beranovský, 2008)

4.2 Využívání biomasy

Biomasu lze využívat jako: potravu, zdroj tepla pro vytápění, zdroj energie pro dopravní prostředky, zdroj energie pro výrobu elektřiny. (Pastorek a kol., 2004)

4.2.1 Využití biomasy pro výrobu tvarovaných paliv

Biomasa pro vytápění je využívána zejména ve formě palivového dřeva. Používání dřeva pro vytápění je celkem jednoduché, má dlouho tradici a není zapotřebí nijak drahých a složitých technologií. (Murtinger, Beranovský, 2008)

Stále častěji se ale používá palivo ve formě slisovaných malých částí dřeva nebo rostlin – pelet nebo briket. Pelety jsou vyráběny z dřevních nebo zemědělských zbytků silným stlačením za vzniku biopaliva s vysokou energetickou hustotou, tepelnou výhřevností až 18 MJ/kg a výbornými vlastnostmi z hlediska dopravy a manipulace, které umožňují ekonomické skladování, předzásobení a automatický přívod paliva k topeništi. Brikety jsou vyráběny lisováním stejných materiálů jako pelety, nicméně do tvaru válečků, hranolů o průměru 40 až 100 mm a délky do 300 mm. Brikety disponují vysokou objemovou hmotností, která se pohybuje okolo 1 000 až 1 200 kg/m³. (EAGRI, 2013)

4.2.2 Využití biomasy v bioplynových stanicích

Přibližně jedna pětina energie z obnovitelných zdrojů je vyrobena v bioplynových stanicích. BPS tak představují důležitý zdroj decentralizované výroby energie pracující s technologií vysoce účinné společné výroby elektrické a tepelné energie. Tyto zdroje by měly být nasazovány tam, kde je k dispozici vhodný vstupní materiál pro tvorbu plynu a současně je poptávka po teple a elektrické energii. (EAGRI, 2013)

V roce 2014 bylo v České republice v provozu 500 bioplynových stanic o celkovém instalovaném výkonu 392,35 MW a s výrobou elektřiny 2243 GWh. (CZBA, 2015) Z toho 65% tvoří tzv. zemědělské bioplynové, 1,5% pak BPS komunální. Zbývající část tvoří bioplynové stanice na čistírnách odpadních vod (ČOV) a odplynění skládek komunálního odpadu. (EAGRI, 2013)

4.2.3 Využití biomasy pro výrobu kapalných biopaliv

V souladu s evropskou směrnicí 2009/28/ES o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů se ČR zavázala postupně dosáhnout 10% podílu obnovitelné energie v dopravě. Jako hlavní plodiny pro výrobu biopaliv lze označit cukrovou řepu, obiloviny a řepku olejku. Každá z těchto plodin má různý výnos a různou energetickou výtěžnost biopaliv z hektaru. Nejběžnější biopaliva, která jsou v ČR používána, jsou metylester řepkového oleje (MEŘO) a bioetanol (biolíh). (EAGRI, 2013)

5. Bioplynové stanice

Bioplynová stanice je technologické zařízení, které zpracovává biomasu ve fermentorech prostřednictvím řízeného procesu anaerobní fermentace. Jde o proces, který umožňuje využít část energie vázané v organické hmotě k produkci bioplynu při zachování hnojivých účinků vstupní suroviny. Produktem je především bioplyn s vysokým obsahem metanu a digestát využívaný jako kvalitní hnojivo. Získaný bioplyn má výhřevnost 18 až 26 MJ/m³ a je zpravidla využíván ke kombinované výrobě tepla a elektřiny v tzv. kogenerační jednotce (KJ).



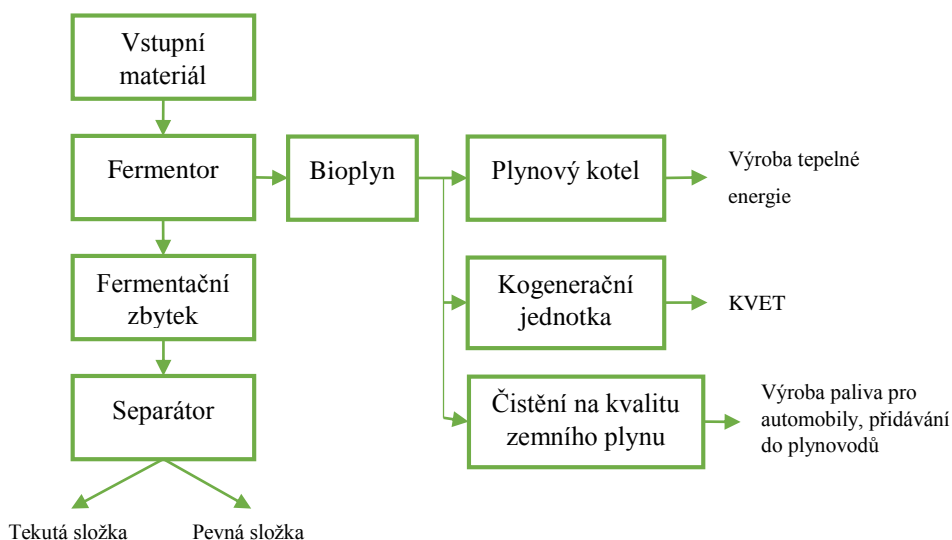
Obr. 5: Bioplynová stanice Kladruby (Autor, 2014)

V posledních letech výrazně stoupá zájem o technologii bioplynu. To se projevuje nejen rostoucím počtem projektovaných a budovaných bioplynových stanic, ale i velkým zájmem mnoha zemědělců, obcí, firem, politiků a soukromých osob

o vývoj v této oblasti. Také lidé odpovědní za hospodaření s energií už dnes nepohlíží na decentralizovanou výrobu proudu z bioplynu tak skepticky jako dříve.

Bioplynová stanice nepředstavuje jen způsob využití biomasy k výrobě energie. Zároveň jde o nejúčinnější způsob zpracování zemědělských vedlejších produktů, díky čemuž je možné jejich objem snížit o více jak 50 %. Vedle toho přináší proces anaerobní fermentace, který v bioplynové stanici probíhá, zvýšenou využitelnost živin, snížení zápachu zemědělských odpadů, omezení obsahu zvířecích patogenů a semen plevelů a zejména pokles emisí skleníkových plynů v průběhu skladování a aplikace. (EAGRI, 2013)

V praxi je používáno mnoho technologií pro výrobu bioplynu, v České republice jsou to desítky technologií pro anaerobní zpracování různých druhů materiálů. Tyto systémy se liší zejména v provozních parametrech, přičemž použité technologie a konstrukce fermentoru závisí primárně na vstupní surovině, která má být zpracována. Obecně lze říci, že se technologie bioplynových stanic skládá z několika na sebe navazujících technologických částí, které tvoří celek. Obecné schéma bioplynové stanice je znázorněno na obrázku č. 6. (Vítěz a kol., 2013)

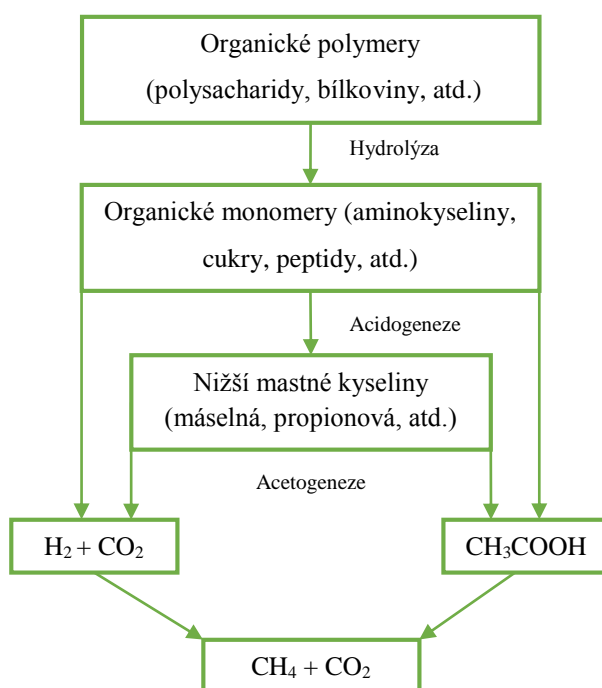


Obr. 6: Obecné schéma bioplynové stanice (Vítěz a kol., 2013, vlastní úprava)

Vznik bioplynu:

Bioplyn je produktem látkové výměny metanogenních bakterií, ke které dochází, když bakterie rozkládají organickou hmotu. Tento proces rozkladu má čtyři fáze obr. č. 7:

1. V první fázi přeměňují přítomné anaerobní bakterie, tedy ještě nikoli metanové bakterie, makromolekulární organické látky (bílkoviny, uhlovodíky, tuk, celulózu) pomocí enzymů na nízkomolekulární sloučeniny, jako jsou jednoduché cukry, aminokyseliny, mastné kyseliny a voda. Tento proces se nazývá hydrolýza.
2. Následně mohou acidofilní bakterie provést další rozklad na organické kyseliny, oxid uhličitý, sirovodík a čpavek.
3. Ze vzniklých látek octotvorné bakterie vytvoří acetáty, oxid uhličitý a vodík.
4. V poslední fázi metanové bakterie vytvoří v alkalickém prostředí metan, oxid uhličitý a vodu. (Schulz, Eder, 2004)



Obr. 7: Schéma rozkladu organického materiálu na bioplyn (Vítěz a kol., 2013, vlastní úprava)

Výhřevnost bioplynu je dána obsahem spalitelných plynů, tj. metanu a vodíku. Nepříjemná přítomnost sulfanu, který při spalování zoxiduje až na oxid siřičitý a může způsobovat korozi hořáků nebo spalovacích motorů, snížit se dá v bioplynu přidávkem malého množství vzduchu do fermentoru. Někdy jsou v bioplynu obsaženy i některé těkavé sloučeniny křemíku, které spálením vytvoří tuhý oxid křemičitý. Bioplyn se dá celkem snadno zbavit oxidu uhličitého a dalších příměsí, a tak získat čistý metan. Zpravidla se to však nedělá a bioplyn se používá tak, jak vznikl. (Schulz, Eder, 2004)

Přeměna biomasy na bioplyn má řadu významných výhod:

- Využít se dá biomasa s velkým obsahem vody, jejíž sušení je obtížné. Jdou také zpracovávat materiály, které sušit vůbec nelze (kejda, hnůj, kuchyňský odpad).
- Dají se zpracovat vedlejší produkty ze zemědělské produkce (hnůj, kejda) a vytvořit z nich výborné hnojivo, jehož užité vlastnosti jsou lepší než u původního hnoje či kejdy.
- Zlepší se prostředí na farmě a sníží emise metanu do atmosféry.
- Je možná likvidace a zpracování jinak těžko odbouratelných organických zbytků a také se omezí placené služby ekologické likvidace organických odpadů jinými subjekty.
- Bioplyn vzniká i z odpadů již uložených na skládkách, dají se tak energeticky využít i odpady z minulosti. Skládkový plyn se dá jímat systémem vrtů na skládce po mnoho let.
- Bioplyn je možné velmi dobře využít k pohonu kogeneračních jednotek a vyrobit tak nejenom teplo, ale i podstatně cennější elektrickou energii.

Vlastní výroba bioplynu se děje ve fermentorech (reaktorech). Jsou to zpravidla betonové uzavřené nádrže o objemu desítek až stovek m³. Tyto nádrže jsou opatřeny zařízením na vnášení biomasy a odstraňování produktů fermentace. V nich jsou míchadla a topná tělesa. (Schulz, Eder, 2004)

Desatero bioplynových stanic je metodický dokument, vydaný Ministerstvem zemědělství ČR a podává přehled o zásadách efektivní výstavby a provozu bioplynových stanic.

Zkrácená verze desatera:

1. Precizní příprava projektu.
2. Dostatek kvalitních vstupních surovin.
3. Výtěžnost bioplynu z jednotlivých materiálů.
4. Komunikace se samosprávou a veřejností.
5. Spolehlivá a ověřená technologie.
6. Optimalizace investičních nákladů.
7. Volba vhodné kogenerační jednotky.
8. Využití odpadního tepla.
9. Nakládání s digestátem – kvalitní hnojivo.
10. Další možnosti využití bioplynu. (EAGRI, 2007)

5.1 Bioplyn v EU

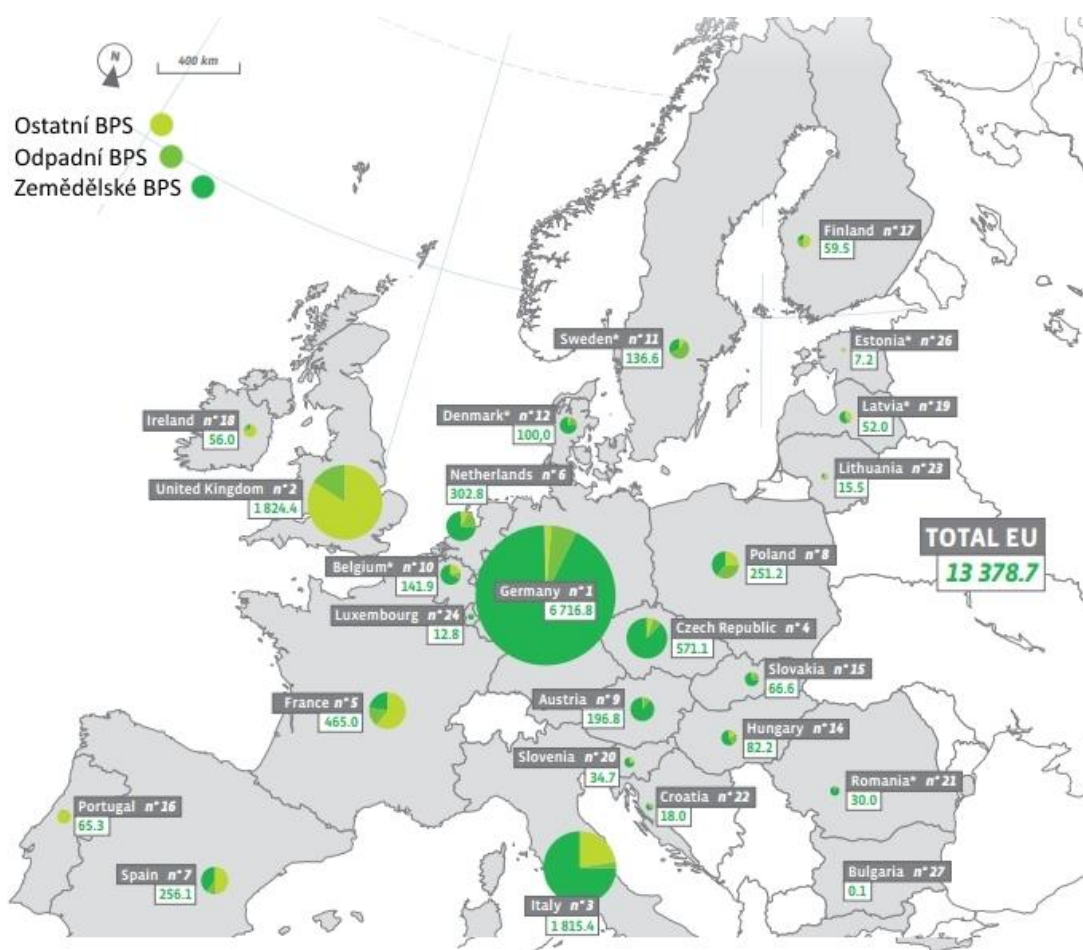
V Evropě se začal bioplyn po roce 1900 využívat v čistírnách odpadních vod. V současné době bioplyn převážně produkují bioplynové stanice. Bioplyn se v nově budovaných zařízeních využívá primárně k výrobě elektřiny, vznikající teplo je stále spíše vedlejším produktem. Z evropských zemí má nejvíce zkušeností s bioplynovou technologií Německo. Mezi další velké evropské producenty bioplynu patří Velká Británie, Itálie, Francie, Nizozemí, Španělsko, Česká republika, Rakousko, Belgie, Polsko. Na obrázku č. 8 je vidět zastoupení produkce bioplynu v jednotlivých státech EU v ktoe.

V roce 2009 byla založena společnost European Biogas Association. EBA je přední evropská asociace v oblasti bioplynu. Společnost se zavázala k aktivní podpoře udržitelné výroby bioplynu v celé Evropě. V současné době EBA podporuje několik projektů. (EBA, 2013)

Fabbiogas - cílem tohoto projektu je vypracovat informační základnu pro využívání odpadů z jídel a nápojů k výrobě bioplynu. (FABbiogas)

Greengasgrids – tento projekt je zaměřen na získání strategického přístupu k podpoře trhu s biometanem za účelem modernizace bioplynu na biometan pro vsťikování do sítě zemního plynu. (greengasgrids)

ESBF – organizace sdružující evropské výrobce bioplynu za účelem řešení společných problémů a děle podpora a rozvoj alternativních zdrojů energie. (ESBF)



Obr. 8: Primární produkce bioplynu v EU (URL 5)

5.2 Současný stav BPS v ČR

Nejdéle fungujícím zařízením na zpracování zemědělských odpadů v ČR je bioplynová stanice v Třeboni. V provozu je nepřetržitě od roku 1974 a zpracovává kejdu z velkovýkrmny prasat spolu s čistírenskými kaly. (EB, 2011)

Na začátku roku 2014 bylo na našem území v provozu 500 bioplynových stanic, z nichž převážná většina zpracovává bioodpady ze zemědělství. (CZBA, 2015)

Na obrázku č. 9 je zobrazena mapa bioplynových stanic v ČR.



Obr. 9: Mapa bioplynových stanic v ČR (URL 6)

5.3 Rozdělení bioplynových stanic podle druhu zpracovávaného materiálu

Bioplynové stanice dělíme podle druhu zpracovávaného materiálu a v souladu s metodickým pokynem Ministerstva životního prostředí, k podmínkám schvalování bioplynových stanic před uvedením do provozu na:

- zemědělské bioplynové stanice,
- čistírenské bioplynové stanice,
- ostatní bioplynové stanice. (Vítěz a kol., 2013)

5.3.1 Zemědělské BPS

Vstupy u těchto stanic lze hodnotit jako nejméně problematické. Zpracovávají pouze vstupy ze zemědělské prvovýroby, zejména statková hnojiva (kejda, hnůj apod.) a cíleně pěstované plodiny (např. kukuřice) k energetickému využití. Zemědělská bioplynová stanice má smysl a význam tehdy, když je přímo zapojena do procesu zemědělské výroby. Pro zemědělce jsou zemědělské bioplynové stanice novým a stabilním zdrojem příjmů, navíc vytvářejí a stabilizují pracovní místa, produkují ekologickou energii a kvalitní hnojivo. Přispívají tak k ochraně životního prostředí a navíc k energetické nezávislosti regionu i země. (Habart, 2008)

5.3.2 Čistírenské BPS

Čistírenské BPS zpracovávají pouze kaly z čistíren odpadních vod. Jsou neoddelitelnou složkou ČOV. Výrobní postup anaerobní fermentace se využívá za účelem anaerobní stabilizace kalu vznikajícího v čistírnách odpadních vod. Tyto technologie nejsou určeny ke zpracování biologicky rozložitelných odpadů a k nakládání s odpady, ale slouží pouze jako součást kalového hospodářství ČOV jako celku. Do čistírenské BPS nevstupují jiné materiály než kaly z ČOV, septiků, žump a odpadní voda. Jestliže jsou do těchto nádrží na anaerobní fermentaci přidávány jiné odpady podle zákona o odpadech, jedná se o bioplynové stanice ostatní. Na tato zařízení se tak vztahují všechny požadavky zákona o odpadech a jeho prováděcích předpisů. U bioplynových stanic pracujících pouze v režimu ČOV nejsou požadovány zásobní nádrže na anaerobně stabilizovaný kal. Tyto technologie pracují v režimu čistíren odpadních vod. Ve svém provozním řádu musí mít zpracovány podmínky nakládání s aktivovaným kalem a anaerobně stabilizovaným kalem.

(Vítěz a kol., 2013)

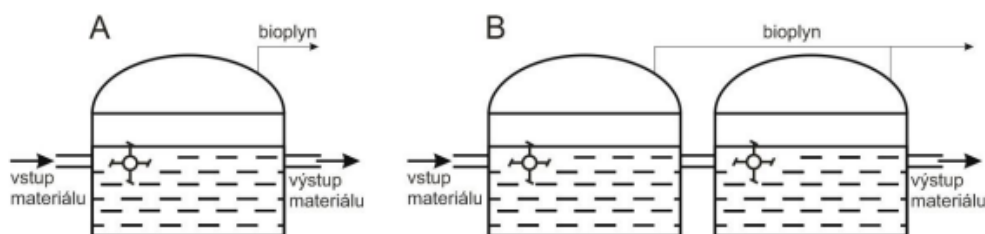
5.3.3 Ostatní BPS

Ostatní (průmyslové) bioplynové stanice zpracovávají rizikové vstupy (jateční odpady, kaly ze specifických provozů, tuky, masokostní moučku). Pro fermentaci těchto vstupů je nutné dobře zvolit technologii zařízení. Především je nezbytné

vyžadovat pečlivé plnění hygienických požadavků a předpisů nezbytných k nakládání s vedlejšími živočišnými produkty. (Vítěz a kol., 2013)

5.4 Rozdělení bioplynových stanice podle fermentorů zařazených v sérii

Technicky nejjednodušší bioplynové stanice používají pro výrobu bioplynu pouze jeden fermentor pro celý proces anaerobní fermentace. Jde o *jednostupňovou fermentaci*. U tohoto způsobu konstrukce bioplynové stanice probíhají všechny mikrobiální procesy (hydrolýza, acidogeneze, acetogeneze a melanogeneze) ve stejném čase a na stejném místě. Jedná se o běžný typ fermentoru, ve kterém je zpracovávaný materiál míchán různými druhy míchadel. Tento způsob fermentace je často využíván pro zpracování kalů, potravinářských odpadů, zemědělských odpadů apod. Alternativou k jednostupňovému procesu je *proces dvoustupňový*. Při dvoustupňové fermentaci probíhá odděleně v jedné nádrži hydrolýza a acidogeneze a ve druhé nádrži autogeneze a metanogeneze. I u dvoustupňové fermentace jsou použity běžné typy fermentorů, ve kterých je zpracovávaný materiál míchán různými druhy míchadel. Tento typ postupu může být výhodný, pokud vstupní substrát obsahuje snadno rozložitelné látky, jako jsou energetické plodiny a rostlinné zbytky. (Vítěz a kol., 2013)

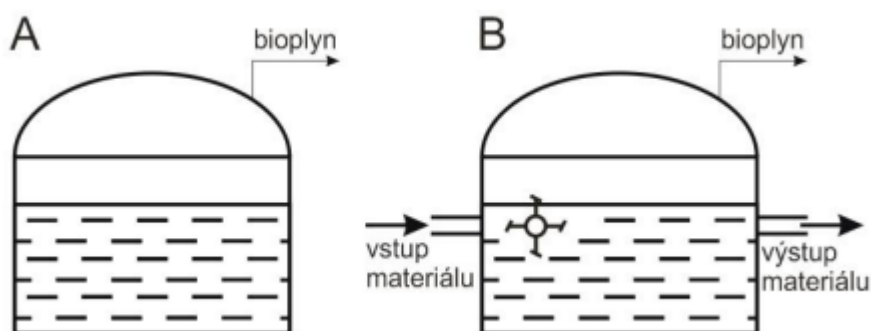


Obr. 10: Jednostupňová (A), dvoustupňová (B) BPS (Vítěz a kol., 2013)

5.5 Dělení podle způsobu dávkování vstupního materiálu do fermentoru

Bioplynová stanice, přesněji řečeno fermentor bioplynové stanice, může být provozován s ohledem na dávkování vstupního materiálu. A to jako *kontinuální* nebo jako *diskontinuální*. Způsob provádění je podmíněn na použitém vstupním materiálu. U kontinuálně provozovaných systémů je čerstvý materiál nepřetržitě dávkován do fermentor. Tím je dosaženo kontinuálního dávkování vstupního materiálu

a kontinuální produkce bioplynu v optimálním množství a kvalitě po celou dobu procesu. Tento způsob se využívá u bioplynových stanic pracujících s nižším obsahem sušiny ve fermentoru (do 15 %). Pak je možno materiál dávkovat v pravidelných intervalech, v nižších dávkách, v průběhu celého dne. Naopak u diskontinuálně provozovaných bioplynových stanic je všechen materiál do fermentoru dávkován najednou. Materiál zůstává ve fermentoru po celou dobu trvání procesu fermentace a je sprchován procesní tekutinou. Žádný čerstvý ani již zfermentovaný materiál není možné v průběhu procesu dávkovat, nebo odstranit. Produkce bioplynu je obecně nejvyšší na začátku procesu a pozvolně klesá. Po skončení je fermentor vyprázdněn a znovu naskladněn čerstvým materiálem. Tento způsob se využívá u bioplynových stanic pracujících s vyšší sušinou ve fermentoru (nad 30 %). V České republice je většina bioplynových stanic provozována v kontinuálním režimu dávkování čerstvého materiálu do fermentoru. Výjimku tvoří některé bioplynové stanice, které zpracovávají zemědělské odpady s vysokou sušinou a také biologicky rozložitelný komunální odpad. (Vítěz a kol., 2013)



Obr. 11: Schématické znázornění diskontinuální (A) a kontinuální (B) fermentace (Vítěz a kol., 2013)

5.6 Parametry ovlivňující anaerobní fermentaci

Na proces anaerobní fermentace působí celá řada faktorů. Mezi ně patří potenciál produkce bioplynu vstupního materiálu, velikost částic vstupujícího materiálu, konstrukce fermentoru, použité inokulum (kultura mikrobu). Také zdroj vstupních materiálů, pH, teplota, látkové zatížení fermentoru, hydraulická doba zdržení materiálu ve fermentoru, poměr C: N, a sušina vstupního materiálu. Dále pak koncentrace nižších mastných kyselin, způsob míchání ve fermentoru, obsah

inhibitorů anaerobního procesu ve vstupním materiálu a obsah stopových prvků. (Vítěz a kol., 2013)

5.6.1 Vstupní materiál

Biologická rozložitelnost, a tím i produkce bioplynu, závisí na složení vstupního materiálu, na obsahu tuků, proteinů, polysacharidů, monosacharidů a na poměru jednotlivých komponent. Vzhledem k tomu, že poměr těchto komponent je v různých druzích vstupních materiálů různý, je odlišná i jejich rozložitelnost a produkce bioplynu. (Vítěz a kol., 2013)

Podle obsahu sušiny vstupního materiálu dělíme fermentaci na *mokrou* (sušina do 12%) a na *suchou* (25 - 45% sušiny). Při mokré fermentaci se využívají jak pevné, tak kapalné substráty, reakční směs je ovšem kapalná a je míchána. U suchého procesu jsou využívány substráty výhradně pevné. U zemědělských bioplynových stanic se používá zatím téměř výlučně mokrá fermentace. (BIOM, 2009)

5.6.2 Velikost částic

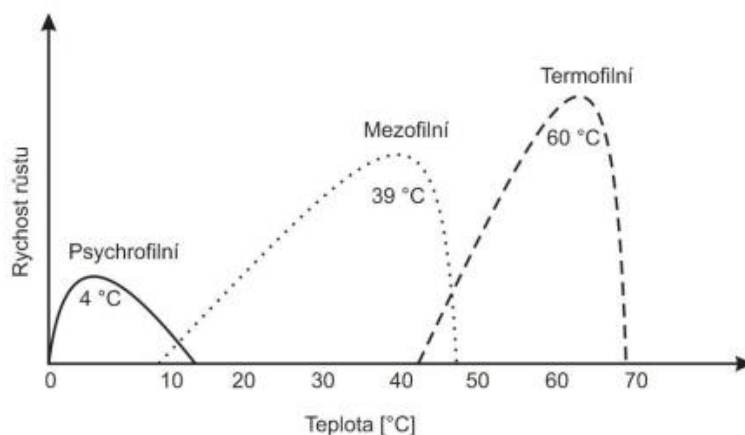
Výroba bioplynu je také ovlivněna velikostí částic vstupního materiálu. Částice vstupního materiálu větší než 20 mm jsou pro mikroorganismy hůře zpracovatelné a povrch, který je ve styku s mikroorganismy, je mnohem nižší než u částic menších než 8 mm. Předúprava vstupního materiálu, resp. velikosti částic vstupního materiálu, tak významně ovlivňuje produkci bioplynu, resp. metanu. (Vítěz a kol., 2013)

5.6.3 Teplota

Mikroorganismy můžeme dělit do různých skupin, v závislosti na teplotě, která je pro jejich život nejvýhodnější. Jedná se v zásadě o tři teplotní režimy:

- psychrofilní, v rozpětí teplot od 5 °C do 25 °C,
- mezofilní, v rozpětí teplot od 30 °C do 45 °C,
- termofilní, v rozpětí teplot od 50 °C do 60 °C.

Optimální teplota, tj. teplota, při které mikroorganismus roste nejrychleji a energeticky nejefektivněji, je různá pro různé druhy mikroorganismů, graf 1. Nejběžněji používaným teplotním režimem v bioplynových stanicích u nás i v zahraničí je mezofilní teplotní režim. (Vítěz a kol., 2013)



Graf 1: Rychlost růstu mikroorganismů v různých teplotních režimech (Vítěz a kol., 2013)

5.6.4 Hodnota pH

Pro produkci bioplynu je hodnota pH zpracovávaného materiálu nejlepším indikátorem stability procesu. Různé fáze procesu výroby bioplynu požadují různé optimální hodnoty pH. Velmi významně jsou na pH citlivé metanogenní archea (rozsáhlá skupina jednobuněčných organismů). Prostředí s nižší hodnotou pH působí na metanogenní archea inhibičně, čímž dojde k negativnímu ovlivnění produkce bioplynu. (Vítěz a kol., 2013)

5.6.5 Doba zdržení

Doba zdržení nám udává čas, po který je elementární částice zpracovávaného materiálu v kontaktu se substrátem ve fermentoru. (Vítěz a spol., 2013)

5.6.6 Míchání obsahu fermentoru

Míchání materiálu ve fermentoru významně ovlivňuje proces anaerobní fermentace a to zejména díky rovnoměrné distribuci živin a mikroorganismů ve zpracovávaném materiálu a teplotní homogenitě v celém objemu fermentoru. (Vítěz a kol., 2013)

5.6.7 Poměr C:N

Uhlík a dusík jsou základními živinami anaerobních mikroorganismů. Pro efektivní provoz bioplynové stanice by se měl poměr C: N pohybovat v optimálním rozsahu 25 – 30 : 1, neboť významně ovlivňuje růst a činnost mikroorganismů. (Vítěz a kol., 2013)

V tabulce č. 2 jsou uvedeny příklady vstupních materiálů a jejich poměrů C:N ve vazbě na graf 2.

Druh materiálu	C: N
Kejda skotu	10 : 1
Močůvka	2 : 1
Sláma	60 - 100 : 1
Tráva	12 - 25 : 1
Odpad ze zeleniny	13 : 1
Odpad z kuchyně	12 - 20 : 1
Odpad z údržby zeleně	20 - 60 : 1

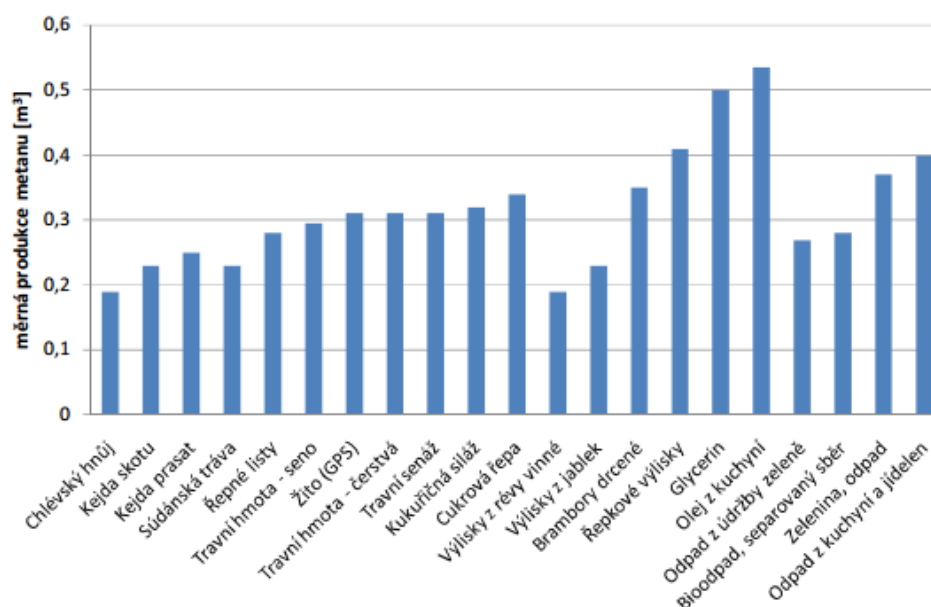
Tabulka 2: Poměr C:N v některých materiálech (Pastorek a kol., 2007)

5.7 Inhibitory anaerobní fermentace

Některé sloučeniny, které jsou produkty látkové výměny v průběhu anaerobní fermentace, mohou být v závislosti na koncentraci toxické nebo inhibovat mikrobiální společenstvo obsažené ve fermentoru. Inhibice procesu závisí na koncentraci inhibitorů, složení vstupního materiálu a adaptaci mikroorganismů na inhibitor. Jako zásadní inhibitory procesu anaerobní fermentace bývají uváděny čpavek, mastné kyseliny, sulfidy, ionty alkalických kovů (Na, K, Mg, Ca a Al), těžké kovy, organické látky, desinfekční přípravky, antibiotika, insekticidy a herbicidy. (Vítěz a kol., 2013)

5.8 Vstupní materiály pro bioplynovou stanici

V současnosti je v Evropě, tedy i v České republice, signifikantní nárůst produkce cíleně pěstované biomasy pro produkci bioplynu v bioplynových stanicích. Bioplyn s vysokým procentem metanu je produkován z různých druhů substrátů, jako je chlévská mrva, biologicky rozložitelné odpady, ale zejména z cíleně pěstovaných energetických plodin. Graf 2 zobrazuje hodnoty měrné produkce metanu v m^3 vybraných materiálů. Z grafu dále vyplývá, že výroba bioplynu z energetických plodin je jednou z nejvýznamnějších oblastí současného zemědělství. Kukuřice, čirok, žito, slunečnice a travní hmota patří dnes mezi nejběžněji používané energetické plodiny. (Vítěz a kol., 2013)



Graf 2: Produkce bioplynu z vybraných druhů vstupního materiálu (Vítěz a kol., 2013)

6. Praktická část

6.1 Charakteristika sledované obce Kladruby

Lokalizace obce Kladruby je 49°54'37'' zeměpisné šířky a 13°37'53'' zeměpisné délky, nadmořská výška činí 385 m. Obec Kladruby je tvořena částmi Kladruby, Hřešihlavy, Třímány a Vojenice o celkové katastrální výměře 13,71 km². Žije zde v současnosti 164 obyvatel a 12 obyvatel víkendových ve 45 domech. Vše spravuje Obecní úřad Kladruby. Kladruby patří do Mikroregionu Radnicko spolu s 23 obcemi, které leží v severní části okresu Rokycany. V obci je kanalizace, vodovod, zemědělský podnik.

6.2 Profil zemědělského podniku Kladrubská a.s.

V současné době má podnik Kladrubská a.s. 110 zaměstnanců. Hospodaří na 4800 hektarech zemědělské půdy, z toho je 4100 ha orné, zbytek tvoří louky a pastviny. Má šest provozů o velikosti jeden a půl až čtyři ha. Kolem 2000 ha je vyhrazeno pro obiloviny, na 1400 ha se pěstují pícniny s rozhodujícím podílem kukuřice, která zaujímá 940 ha, následuje vojtěška a jarní směsky. Řepka zabírá 550 ha, pěstuje se také v omezené míře čirok a hořčice. Chov prasat a výkrm skotu podnik z ekonomických důvodů zrušil. Dnes se specializuje pouze na výrobu mléka. Tisíc jedno sto krav mateřské populace je v první dvacítce největších stád holštýnského skotu v České republice. (Šťastný a kol., 2013)

6.3 Charakteristika účelového zařízení bioplynové stanice Kladruby

Bioplynová stanice Kladruby se nachází v Plzeňském kraji, okres Rokycany v obci Kladruby. Instalovaný elektrický výkon BPS je 999 kW a instalovaný tepelný výkon je 1039 kW. BPS obdržela licenci v roce 2012. Jedná se o BPS zemědělskou. Provozovatelem je firma Kladrubská a.s. se sídlem Kladruby – Vojenice č. p. 80, Zbiroh. Statutárním zástupcem je Ing. František Klíma, technickou obsluhu bioplynové stanice zajišťuje pan Lukáš Šťastný.

Popis zdroje:

Stavba BPS slouží pro vysoce ekologické a účinné zpracování statkových exkrementů a fytomasy k produkci elektřiny a tepla z obnovitelných zdrojů energie. Vstupní biomasa je ve fermentačních nádržích (fermentor a dokvašovací jímka) zpracovávána anaerobní fermentací. Meziproduktem je bioplyn, použitý k pohonu kogenerační jednotky. Výstupem je elektrická energie, která se prodává do rozvodné sítě a teplo, které bude využito pro vytápění technologie BPS a požadovaných prostor provozovatele. Stabilizovaná hmota (digestát) je použita jako ekologicky nezávadné, velmi hodnotné a kvalitní hnojivo.

Výroba bioplynu na bioplynové stanici je považována za stacionární zdroj znečišťování ovzduší podle přílohy č. 2 bod 3.7 zákona č. 201/2012 Sb. s povinností plnit podmínky provozování a emisní limity stanovené tímto zákonem a příslušnými vyhláškami ministerstva životního prostředí. Provozem BPS však nedochází k vypouštění bioplynu do ovzduší, protože veškerý vyprodukovaný bioplyn je v celém objemu spalován v instalované kogenerační jednotce, jejíž emisní koncentrace splňují všechny legislativou stanovené limity. (Šťastný a kol., 2013)

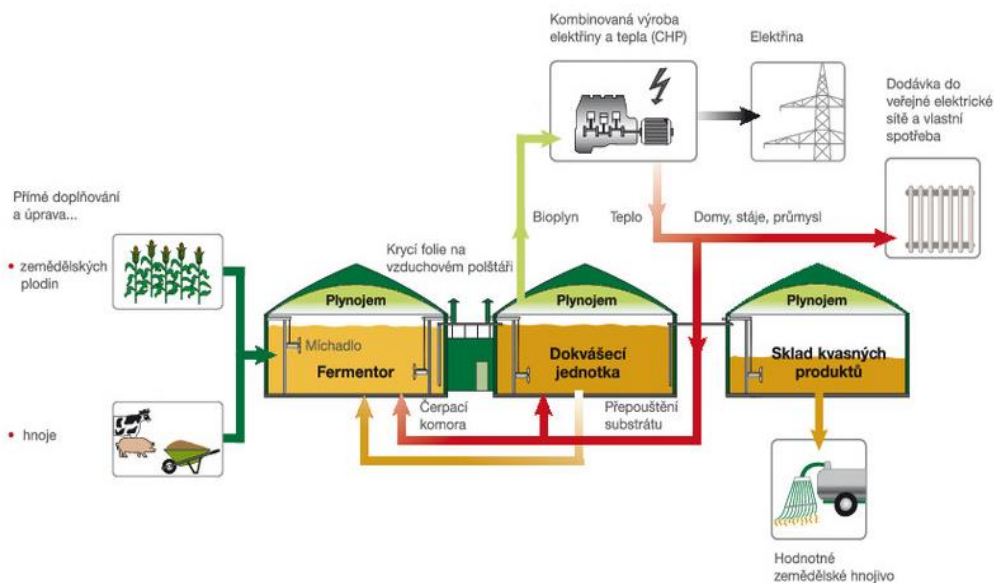
6.4 Popis jednotlivých částí stacionárního zdroje BPS

Technologie výroby bioplynu je založena na dvoustupňovém kontinuálním procesu. K tomu jsou za běžných okolností nezbytné tři nádrže: fermentor, dofermentor a sklad kvasných zbytků.

Na rozdíl od klasických dvoustupňových zařízení jsou však v nádrži fermentoru a v dofermentoru ideální podmínky pro život a rozvoj bakterií. Atmosféra ve fermentační nádrži téměř neobsahuje kyslík. Substrát má konstantní teplotu v mezofilním rozsahu a hodnotu pH v neutrálním rozsahu (6,7- 7,5).

V tomto systému tedy nejsou odděleny jednotlivé fáze tvorby metanu (hydrolyza, acidogeneze, acetogeneze a metanogeneze). Výhodou systému je maximální výtěžek plynu. Ve druhém stupni lze získat ještě 20 procent možného výnosu plynu. (MT-Energie, 2013)

Na obrázku č. 12 je popsán průběh činností dvoustupňové BPS. Na začátku procesu vstupní materiál (zemědělské plodiny, hnoje) putuje do fermentorů, kde vzniká bioplyn. Ten je produktem látkové výměny metanogenních bakterií, ke které dochází, když bakterie rozkládají organickou hmotu. Ve spalovacím motoru se poté vyrábí elektřina a odpadní teplo, které se používá pro vytápění obytných domů a vyhřívání fermentorů.



Obr. 12: Technologické schéma dvoustupňové BPS v Kladrubech (URL 7, vlastní úprava)

6.4.1 Fermentor s integrovaným nízkotlakým zásobníkem plynu

Konstrukce fermentoru:

Železobetonová kruhová jímka; základová deska a stěny jímky z vodostavebního železobetonu - vodotěsné provedení; stěny zvenku tepelně izolovány; uvnitř nádrže rozvody tepla a technologické vybavení; zastřešeno plynojemem, tj. plynotěsným víkem sestávajícím se ze dvou fólií nesených přetlakem vzduchu; vzhledem k okolnímu terénu částečně zapuštěná dle podmínek podloží zjištěných geologickým průzkumem. (Šťastný a kol., 2013)

Doba zdržení:

Celková doba procesu vstupních surovin je 118 dní, tzn. doba zdržení substrátu v reaktorech anaerobní fermentace je více jak 60 dnů. Delší doby zdržení jsou nutné pro zneškodňování nositelů zápachu, a tím jeho eliminaci. Pro eliminaci plovoucích vrstev, pro homogenizaci substrátu a jeho míchání jsou nádrže BPS vybaveny přestavitelnými ponornými motorovými míchadly a obsah jímky je pravidelně míchán. Míchadla také zajišťují, že i při vysokém obsahu sušiny lze obsah jímek čerpat a dopravovat potrubím. K řízení teploty a procesu ve fermentorech se používá teplovodní oběhové topení, které zajišťuje optimální provozní teplotu substrátu cca 39 - 42°C. (Šťastný a kol., 2013)

Dávkovací zařízení:

Jedná se o ocelový kontejner, vybavený soustavou elektricky poháněných ocelových dopravních šneků. Maximální objem činí 96 m³. Jako dávkované suroviny se používá kukuřičná siláž, travní senáž a hovězí kejda. Dávkovací zařízení slouží k zásobování zařízení na získávání plynu. Obnovitelné druhy surovin se dopravují dopravním šnekem z podávacího zařízení a mačkacím šnekem do fermentoru. Plnění fermentoru je řízeno automaticky na základě kontinuálního měření energetického potenciálu vstupních surovin (1 krát až 2 krát za hodinu). (Šťastný a kol., 2013)

6.4.2 Dofermentor s integrovaným nízkotlakým zásobníkem plynu

Konstrukce dofermentorů:

Železobetonová kruhová jímka; základová deska a stěny jímky z vodostavebního železobetonu - vodotěsné provedení; stěny zvenku tepelně izolovány; uvnitř nádrže rozvody tepla a technologické vybavení; zastřešeno plynojemem, tj. plynotěsným víkem sestávajícím se ze dvou fólií neseným přetlakem vzduchu; vzhledem k okolnímu terénu částečně zapuštěná dle podmínek podloží zjištěných geologickým průzkumem. V podstatě se jedná o fermentor. (Šťastný a kol., 2013)

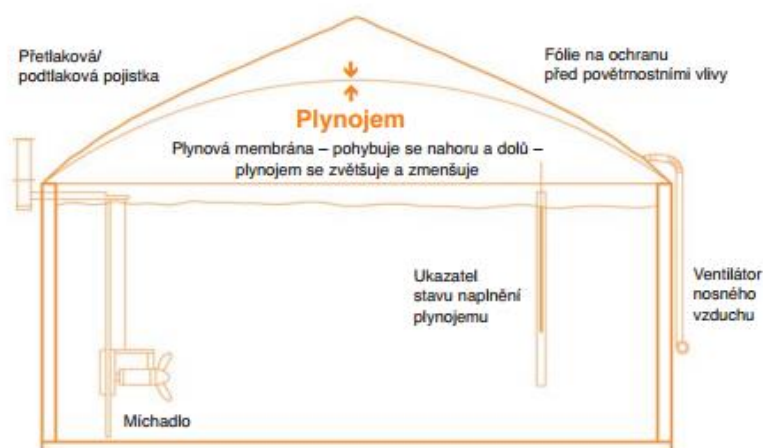
6.4.3 Koncový sklad digestátu

Z dofermentoru BPS putuje vykvašený substrát do dvou koncových skladů digestátů. Jedná se o železobetonovou kruhovou jímku o objemu 6555 m³.

Výsledkem fermentačního procesu v bioplynové stanici je stabilizovaný materiál v kapalné podobě, tzv. digestát, který lze použít jako kvalitní hnojivo nebo jako surovinu pro výrobu kompostu nebo jako rekultivační materiál. Používání digestátu znamená pro zemědělce finanční úsporu z hlediska náhrady minerálních hnojiv. (EAGRI, 2007)

6.4.4 Fóliové kryty, integrovaný nízkotlaký zásobník plynu

Jednotlivé plynojemy jsou plynotěsně uzavřeny fóliemi ve tvaru kužele (horní fólie – PVC, spodní fólie elastický PE). Venkovní fólie chrání účinně a trvale před povětrnostními vlivy; vnitřní fólie slouží jako pružný plynojem. Podle produkce plynu se tato membrána pohybuje nahoru a dolů – objem plynojemu na vyrobený bioplyn se tak automaticky zvětšuje nebo zmenšuje. Venku umístěný ventilátor nosného plynu tvoří mezi oběma kuželovitými fóliemi mírný přetlak. Tím se udržuje stálý tvar fólie, která slouží na ochranu před povětrnostními vlivy, a vytváří se systémový tlak na membránu plynojemu. Na obrázku č. 13 je zobrazeno schéma plynojemu. (MT-Energie, 2013)



Obr. 13: Technologické schéma plynových membrán (URL 8)

6.4.5 Předřadná nádrž

Předřadná nádrž (jímka) slouží jako vstupní jímka pro kejdu do fermentačního procesu.

Konstrukce nádrže:

Kruhová železobetonová nádrž se stropem tvořená základovou deskou a stěny z vodotěsného železobetonu. (Šťastný a kol., 2013)

6.4.6 Přečerpávací jednotka

Jedná se o zastřešený prostor mezi fermentorem a dokvašovací jímkou. Stěny mezi nádržemi jsou tvořeny nosnou konstrukcí z dřevěných trámů a opláštěny izolačními panely.

V tomto prostoru je umístěna přečerpávací jednotka, umožňující přečerpávání substrátu mezi fermentorem, dokvašovací jímkou a koncovým skladem. Dále zde jsou umístěny všechny rozvaděče, ovládání systému, monitorovací systém a hlavní elektrický rozvaděč bioplynové stanice. Čerpací centrum je umístěno na stěně dokvašovací jímky, v úrovni nad podlahou čerpací místnosti.

Za pomoci centrálního šnekového čerpadla se fermentát dopravuje do dofermentoru a následně už jako stabilizovaný digestát, je skladován ve skladovací jímce (koncový sklad). (Šťastný a kol., 2013)

6.4.7 Kogenerační jednotka

Pro energetickou přeměnu bioplynu na elektrický proud a teplo se používá kogenerační jednotka. Jedná se o kogenerační jednotku s plynovým motorem. Vzduch v prostoru je kontrolován čidlem úniku plynu. Objekt kogenerační jednotky je zvukově izolovaný tak, aby zvukově splňoval všechny příslušné normy zákony a vládní nařízení. Elektrický proud, který je transformován v trafostanici a je přes VN přípojku a přípojný bod dodáván do elektrické distribuční sítě.

Ocelový kontejner s vestavěným spalovacím motorem s generátorem o elektrickém výkonu 999 kW a tepelném výkonu 577 kW. Jedná se o JGS 320 GS-

B.L od GE Jenbacher. Motor je uspořádaný do V 70° a má 20 válců. Zdvihový objem motoru je 48,68 litrů, motor pracuje při 1500 otáčkách za minutu. Motor používá jako palivo bioplyn cca 430 Nm³/h při výhřevnosti 19MJ/ Nm³, příkon v palivu 2451 kW. (Šťastný a kol., 2013)

V tabulce č. 3 je uvedeno složení bioplynu.

Složka	Obsah [%]
Metan	50 - 70
Oxid uhličitý	30 - 50
Vodík	0 - 3
Sulfan	0,1 - 1
Dusík	1 - 3
Amoniak	stopy

Tabulka 3: Složení bioplynu (Šťastný a kol., 2013)

Před vstupem do KJ je bioplyn sušen na relativní vlhkost do 45% a chlazen z 20 – 25 °C na 18 – 23 °C. Koncentrace sirovodíku do 40 ppm.

Spaliny se z prostoru strojů odebírají mechanicky pomocí ventilátorů a odvádí ven. Vzduch v prostoru je kontrolován čidlem úniku plynu. Objekt kogenerační jednotky je zvukově izolovaný tak, aby zvukově splňoval všechny příslušné normy.

Současně vzniká při výrobě elektrického proudu i teplo, které se využívá pro ohřev topné vody. Teplá voda se dále využívá k vytápění. Tepelná energie vyprodukovaná v KJ se přes chladicí okruh a deskový výměník tepla přivádí do externího topného systému. Kapalina chladicího okruhu motoru a topného systému je tím zcela oddělena. (Šťastný a kol., 2013)

6.4.8 Systém zavážení pevných látek

Systém zavážení pevných látek MT - Alligátor umožňuje vsazovat do fermentačních nádrží těžké substráty. V dávkovacím kontejneru se pevné látky dopravují ke šnekům prostřednictvím hydraulického systému posuvné podlahy sledovaného snímači. (Šťastný a kol., 2013)

6.5 Zpracovávané suroviny

Zpracovávanými surovinami je zemědělská biomasa, např. hovězí kejda, kukuřičná siláž a travní senáž. Všechny vstupní suroviny pro BPS pochází z vlastní produkce a jsou skladovány v blízkosti fermentačních nádrží, aby se minimalizovala intenzita a vzdálenost dopravy. V tabulce č. 4 je uvedeno množství dávkovaného materiálu v tunách za den a za rok.

Vstupní biomasa:

SUROVINY	t/den	t/rok
Kukuřičná siláž	41,1	15000
Travní senáž	6,3	2300
Hovězí kejda	21,92	8000
Celková dávka	63,01	25300

Tabulka 4: Zpracovávané suroviny (Šťastný a kol., 2013)

Průměrná hodnota dávkované suroviny vychází z ročních dávek, je tedy vypočtena z ročního ustáleného provozu. Množství dávek vstupů je silně ovlivněno jejich kvalitou. Každý rok kvalita sklizené fytomasy kolísá (zastoupení celkové sušiny, organické sušiny, atd.). Důležité je, že provozovatel musí denně nadávkovat příslušné množství organické sušiny, které odpovídá přiměřené produkci a kvalitě bioplynu pro provoz BPS na plný výkon. (Šťastný a kol., 2013)

7. Hodnocení přínosu využití tepla z bioplynových stanic

Tato část bakalářské práce se zabývá posouzením využití tepla z kogenerační jednotky bioplynové stanice pro vytápění obytných domů. Posuzován je vztah vůči životnímu prostředí, ekonomická náročnost a komfort obyvatel sledované obce.

7.1 Hodnocení ve vztahu k životnímu prostředí

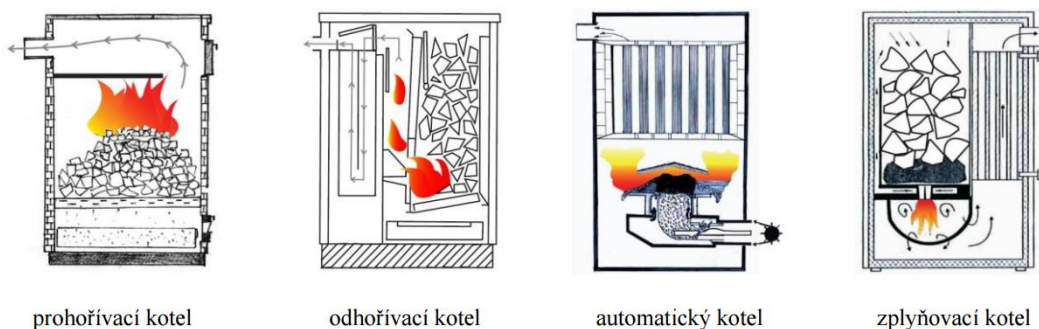
V ČR je neuspokojivá kvalita ovzduší v mnohých regionech a lokalitách. S rostoucí cenou energií se mnoho domácností vrátilo k tuhým palivům, jako je uhlí nebo dřevo. Kvalita ovzduší se zhoršuje hlavně v zimě, kdy panují horší rozptylové podmínky.

Emise znečišťujících látek z lokálních topenišť malých výkonů představují jeden z hlavních příspěvků k celkovému znečištění ovzduší. Tyto zdroje jsou svázány výhradně s obytnou zástavbou, emise z nich jsou vypouštěny v malé výšce nad terénem, velmi často bez možností dobrého rozptylu. (Horák a kol. 2011)

Srovnání emisí vybraných znečišťujících látek vycházejících z lokálních topenišť a bioplynové stanice:

Kotle na tuhá paliva:

Doporučené palivo pro kotle na tuhá paliva jsou dřevo, černé uhlí, brikety, koks, hnědé uhlí. Spalování odpadu z domácnosti v topeništích je nezákonné. Ale často se jako palivo používá. Pálení odpadu se může zdát jako bezstarostná a rychlá forma jeho likvidace. Pálením odpadních materiálů se ale vytváří množství velmi jedovatých látek, které v ovzduší za špatných rozptylových podmínek visí nad zemí a tím následně ohrožují lidské zdraví. Na obrázku č. 14 jsou znázorněny nejčastěji používané kotle pro vytápění rodinných domů, rekreačních chat a chalup.



Obr. 14: Schéma teplovodních kotlů (Horák a kol., 2011)

Prohořivací kotel

Zařízení s manuálním přikládáním, bez nuceného tahu spalovacího vzduchu. Celá dávka paliva hoří najednou na roštu ve spalovací komoře. Zařízení pracuje se spalovací periodou. Nejčastěji se jako palivo používá koks, dřevo, hnědé a černé uhlí.

Odhořivací kotel

Zařízení s manuálním přikládáním, bez nuceného tahu spalovacího vzduchu. Kotel je rozdělen na dvě části - násypnou šachtu a spalovací komoru. Částečné sušení, odplynění paliva a spalování probíhá i v násypné šachtě u hrany se spalovací komoru. Hlavní část spalování ale probíhá až ve spalovací komoře. Palivem je koks hnědé a černé uhlí, dřevo.

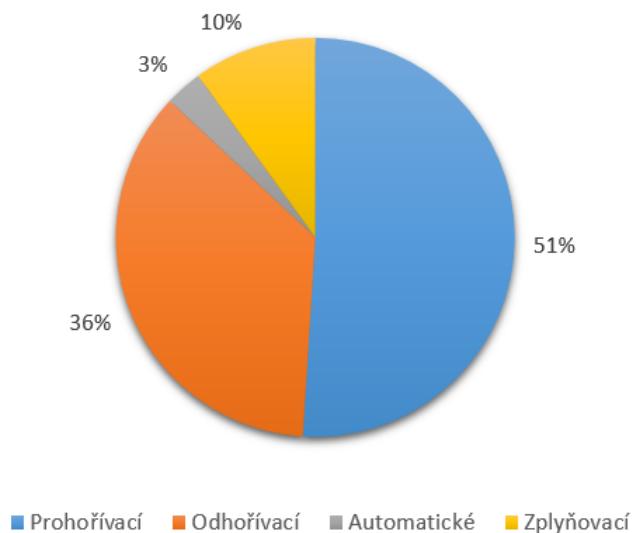
Automatický kotel

Moderní odhořivací kotel s dávkováním paliva šnekovým podavačem a nucenou dopravou spalovacího vzduchu ventilátorem. Spalovací část kotle je tvořena roštem, deflektorem retortou. Jako palivo se používají tuhá zrnitá paliva, jako jsou dřevní pelety a uhlí. Kotle určené pro spalování pelet jsou vybaveny automatickým zapalováním.

Zplyňovací kotel

Kotel s manuálním dávkováním a nuceným odtahem spalin odtahovým ventilátorem. Kotel je tvořen zásobníkem paliva, roštem a pod ním umístěnou spalovací komorou. Palivem mohou být polena nebo dřevěné brikety či uhlí. Oproti automatickým kotlům na pelety nebo štěpku se zde jedná o kotle s nízkou pořizovací cenou, ovšem kompenzovanou nutností pravidelné obsluhy. (Horák a kol. 2011)

Graf č. 3 znázorňuje podílové zastoupení jednotlivých typů kotlů pro vytápění rodinných domů. Z obrázku vyplývá, že se nejvíce používají kotle prohořivací a odhořivací. Nejčastěji používaným topivem je dřevo (borovice, smrk, olše, bříza, dub, buk) a uhlí (hnědé, černé).



Graf 3: Odhad zastoupení typů konstrukcí spalovacích zařízení v ČR. (Horák a kol., 2011)

V tabulce č. 5 jsou uvedena množství emisí vzniklých při výrobě 1 GJ tepla v jednotlivých výše popsaných kotlích. Uvažuje se spalování nejčastěji používaných paliv – dřeva a hnědého uhlí.

Emise tuhých znečišťujících látek (TZL) a oxidu uhelnatého (CO):

Typ kotle	Palivo	TZL [g/GJ]	CO [g/GJ]
Prohořivací	H. Uhlí	1 260	58 762
	Dřevo	100	4 840
Odhořivací	H. Uhlí	256	4 320
	Dřevo	95	4 170
Automatický	H. Uhlí	47	450
Zplyňovací	H. Uhlí	17	132
	Dřevo	15	237

Tabulka 5: Emisní faktory (EF) produktů nedokonalého spalování. (Horák a kol., 2011)

Bioplynová stanice:

V případě BPS máme z hlediska zákona o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb. obvykle vyjmenované dva stacionární zdroje znečišťování ovzduší uvedené v příloze k tomuto zákonu:

zdroj č. 1:

Zahrnuje veškeré součásti technologie BPS – od vstupních jímek, přes fermentory, až po sklady digestátu a havarijní hořák (fléra), která nemá specifický emisní limit, tudíž ani povinnost měření. Jako vyjmenovaný zdroj znečišťování ovzduší však musí být provozována v souladu s platným povolením a podmínkami v něm stanovenými a se schváleným provozním řádem BPS.

Zdroj č. 2:

Spalování paliv v pístových spalovacích motorech o celkovém jmenovitém tepelném příkonu od 0,3 MW do 5 MW a nad 5 MW.

Vzhledem k příkonu dané kogenerační jednotky jsou v tomto případě rovněž stanoveny specifické emisní limity, přičemž platí, že povinnost pravidelného měření platí až od 1 MW příkonu. Do tohoto limitu se měření nahrazuje výpočtem podle § 3 odst. 5 písm. a) prováděcí vyhlášky č. 415/2012 Sb. (tzv. emisní vyhláška). Obvykle je tedy v těchto případech vyžadováno pouze prvotní změřeni v rámci kolaudačního řízení, které prokáže plnění daných emisních limitů.

Podle zákona č. 201/2012 Sb., není nutné zpracovávat provozní řád pro kogenerační jednotku, tedy pro pístový spalovací motor o celkovém jmenovitém tepelném příkonu od 0,3 MW do 5 MW, avšak je nutné pro tento zdroj znečištění zpracovat rozptylovou studii. V tabulce č. 6 jsou uvedeny emise vybraných znečišťujících látek, vnikající v KJ vztažené opět na 1 GJ vyrobeného tepla.

Emisní faktory TZL, CO:

Typ KJ	Palivo	TZL [g/GJ]	CO [g/GJ]
ECOMAX 10 BIO	Bioplyn	2,8	280

Tabulka 6: Emisní faktory uvedené v podkladech KJ. (Šťastný a kol., 2013)

Vyhodnocení ve vztahu k životnímu prostředí:

V obci Kladruby u Radnic má většina domů kotle na uhlí, takže v topné sezóně bylo ovzduší v obci velmi znečištěné. Proto cílem nebylo vybudování bioplynové stanice jen pro výrobu elektřiny, ale další prioritou bylo také využití tepla z kogenerační jednotky. Z počátku zemědělská firma odpadním teplem vytápěla jenom své objekty.

Obec využila dotací Operačního programu životního prostředí v programovém období 2007-2013. Tento program na podporu obnovitelných zdrojů je spolufinancován z evropských zdrojů. Cílem projektu bylo vybudování teplovodu pro centrální zásobování teplem z bioplynové stanice Kladrubská a.s. Realizací tohoto projektu má dojít ke snížení emisní zátěže v oblasti, která je v těsném sousedství přírodního parku Horní Berounka.

Na základě dotačního titulu na snížení emisí (zadavatel obec Kladruby) společnost Systherm zpracovala vítězný projekt na vybudování 4,5km rozvodů z plastového potrubí a dodávku spalinového výměníku s technologickou periférií odebírající teplo z výfukových plynů.

Z hodnot získaných v tabulkách č. 5, č. 6 a z grafu č. 3 autor vypočítal předpokládané množství vybraných znečišťujících látek vypouštěných do ovzduší z nejčastěji používaných kotlů na tuhá paliva.

Výchozí předpoklady: 45 obytných domů v obci Kladruby přepočítané v poměru z grafu č. 3.

Tabulka č. 7 shrnuje předpokládané roční spotřeby tepla v daných typech vytápěných domácností.

Druh vytápěné domácnosti	Spotřeba tepla za rok [GJ]
Byt 2+1, orientačně 60 m ²	40
Menší RD, orientačně 100 m ²	70
Větší RD, orientačně 160 m ²	110

Tabulka 7: Orientační spotřeba tepla (TOP - pro, 2015)

Počet domů x	Typ	Palivo	RST [GJ]	TZL/rok [kg]	CO/rok [kg]	(TZL/r)*x [kg]	(CO/r)*x[kg]
23	P	HU	40	50,4	2350,48	1159,2	54061,04
			70	88,2	4113,34	2028,6	94606,82
			110	138,6	6463,82	3187,8	148667,86
		D	40	4	193,6	92	4452,8
			70	7	338,8	161	7792,4
			110	11	532,4	253	12245,2
16	O	HU	40	10,24	172,8	163,84	2764,8
			70	17,92	302,4	286,72	4838,4
			110	28,16	475,2	450,56	7603,2
		D	40	3,8	166,8	60,8	2668,8
			70	6,65	291,9	106,4	4670,4
			110	10,45	458,7	167,2	7339,2
1	A	HU	40	1,88	18	1,88	18
			70	3,29	31,5	3,29	31,5
			110	5,17	49,5	5,17	49,5
5	Z	HU	40	0,68	5,28	3,4	26,4
			70	1,19	9,24	5,95	46,2
			110	1,87	14,52	9,35	72,6
		D	40	0,6	9,48	3	47,4
			70	1,05	16,59	5,25	82,95
			110	1,65	26,07	8,25	130,35

Tabulka 8: EF přepočítané na domy (Autor, 2015)

RST: roční spotřeba tepla

TZL: Tuhé znečišťující látky, které vyprodukuje určitý druh kotle za rok

Palivo: Hnědé uhlí, dřevo

CO: Oxid uhelnatý, které vyprodukuje určitý druh kotle za rok

(TZL/r)*x: Množství TZL za rok vynásobené počtem domů v poměru z grafu č. 2

(CO/r)*x: Množství CO za rok vynásobené počtem domů v poměru z grafu č. 2

Typ kotle: prohořivací, odhořivací, automatický, zplyňovací

Tabulka č. 9 předkládá orientační hodnoty celkové výše emisí vypouštěných z nejčastěji používaných kotlů na tuhá paliva v ČR v kg za rok na 45 obytných domů.

Palivo	RST [GJ]	TZL [kg/rok]	CO [kg/rok]
HU	40	1328,32	56870,24
	70	2324,56	99522,92
	110	3652,88	156393,16
Dřevo	40	155,8	7169
	70	272,65	12545,75
	110	428,45	19714,75

Tabulka 9: Předpokládána celková výše EF z v kg/rok na 45 obytných domů (Autor, 2015)

Autor si je vědom, že výpočty nemusí být zcela přesné, protože vycházel z hodnot grafu č. 3, který pouze odhaduje zastoupení druhu spalovacích zařízení v ČR a nikoli ve sledované obci Kladruby.

V tabulce č. 10 je uvedena celková roční produkce emisí z kogenerační jednotky podle Provozního řádu BPS Kladruby.

Palivo	TZL [kg/rok]	CO [kg/rok]
Bioplyn	16,2	1620,8

Tabulka 10: Roční produkce emisí kogenerační jednotky BPS Kladruby (Šťastný a kol., 2013)

Z porovnání dat uvedených v tabulce č. 9 a č. 10 je evidentní, že emise při spalování bioplynu jsou mnohem nižší, než při spalování tuhých paliv v kotlích. Bioplynová stanice s kogenerační jednotkou a využitím tepla pro centralizované vytápění obce Kladruby je tedy, z hlediska životního prostředí, jednoznačným přínosem.

7.2 Hodnocení z hlediska ekonomické náročnosti pro obyvatele

V této kapitole se autor BP zabývá hodnocením rozdílu nákladů na vytápění před a po zavedení teplovodu z BPS.

Obyvatelé ve sledované obci Kladruby a jejím okolí k vytápění domů před centrálním zásobováním teplem z BPS nejčastěji využívali hnědé uhlí (Ořech 1) a dřevo. K nákupu využívali především dodavatele Uhlí Jurčik se sídlem v Rokycanech. Cena hnědého uhlí Ořech 1 je v těchto uhelných skladech 3330 Kč/t a dřeva 1575 Kč/prostorový metr rovnaný (PRMR). Za odběr tepla z BPS obyvatelé obce Kladruby platí 242,7 Kč/GJ. Tabulka č. 11 porovnává roční finanční náklady za teplo.

Typ Paliva	HU	Dřevo	Bioplyn		
Cena paliva v Kč/GJ	264	205	242,7		
Orientační roční náklady při dané spotřebě tepla	10560	8200	9708	40	Orientační spotřeba tepla za rok [GJ] viz tab. 7
	18480	14350	16989	70	
	29040	22550	26697	110	

Tabulka č. 11: Finanční náklady za teplo (Autor, 2015)

Vyhodnocení z hlediska ekonomické náročnosti pro obyvatele:

Z hlediska nákladů se ukázalo, že nejlevnější variantou je vytápění domů dřevem. Naopak nejméně finančně výhodné je používání hnědého uhlí.

Veškeré finanční náklady na vybudování teplovodu, pořízení předávací stanice tepla a následná montáž byly hrazeny z dotace Operačního programu životního prostředí. Pro obyvatele obce Kladruby přechod na jiný systém vytápění nečinil žádné vstupní výdaje. Pro obyvatele sledované obce Kladruby se tedy roční finanční náklady za vytápění bioplynem oproti předchozímu způsobu výrazně nezmění.

7.3 Hodnocení z hlediska komfortu obyvatel

V obytných domech byly instalovány kompaktní předávací stanice Vila Bjeq s inteligentní regulací, zajišťující jak vytápění, tak ohřev teplé užitkové vody.

Do objektů je pomocí izolovaných polyuretanových trubek přivedena teplá voda, která v deskových výměnících ohřívá vodu pro vytápění objektů. Vytápění v rodinných domech zajišťují topná tělesa (radiátory). Dále je možno i ohřívát užitkovou vodu.

Vyhodnocení z hlediska komfortu obyvatel:

Nákup, doprava a uskladňování tuhých paliv znamenala pro obyvatele obce časovou a často i fyzickou zátěž. Regulace tepla ve starších typech kotlů byla mnohdy problémem. Také nutnost pravidelného přikládání může často obyvatele omezovat.

Díky současnému řešení nového systému vytápění se stalo topení a ohřev teplé vody komfortem, protože každý objekt má svoji regulaci, kterou je možné ovládat odkudkoli, dokonce i přes internet v systému WebHeatControl.

8. Diskuze

Zemědělství je odvětvím, které má pro výrobu energie z obnovitelných zdrojů velké možnosti zvláště v ČR, která ostatními obnovitelnými zdroji energie příliš nedisponuje. Protože se v současné době dostávají do popředí obnovitelné zdroje energie, mezi které patří i energie získávaná z bioplynu, bakalářská práce se snažila tento zdroj zhodnotit. Bioplyn jako velmi hodnotný zdroj energie se v našich podmínkách nejčastěji využívá k výrobě tepla a elektrické energie v kogeneračních jednotkách. Dobrým příkladem pro ostatní je zemědělský podnik Kladrubská a.s., který se vydal cestou snižování energetické závislosti na fosilních palivech.

Sledovaný zemědělský podnik Kladrubská a.s. prokázal schopnost rychle se orientovat na trhu, dokázal určit priority své činnosti. Z počátku s výstavbou bioplynové stanice váhal, protože v plánu bylo jako priorita stavět stáje pro skot a ne výroba elektrické energie a tepla. V roce 2008 přišel pád cen mléka. Výkyvy cen této rozhodující komodity byly natolik velké, že mohly ohrozit existenci podniku. V srpnu 2009 bylo definitivně rozhodnuto o výstavbě bioplynové stanice. Rozhodnutí o výstavbě provedlo představenstvo společnosti a bylo vydáno stavební povolení.

Na projekt výstavby BPS byla podaná žádost u Státního zemědělského intervenčního fondu. Jedna povinná příloha při podání žádosti o proplacení dotace bylo doložení výběrového řízení na dodávku BPS. V zadávací dokumentaci výběrového řízení bylo uvedeno jako jediné hodnotící kritérium celková cena díla.

Výše dotace byla stanovena Státním intervenčním fondem maximální výši 22 500 000 Kč při uznatelných maximálních nákladech 75 000 000 Kč. Následoval poměrně složitý výběr dodavatele. Kladrubská a. s. oslovila tři dodavatele a po mnoha jednáních její zástupci uzavřeli smlouvu v září 2011 s firmou MT Energie Česká republika. Dalším cílem projektu bylo využití dotací z Operačního programu životního prostředí na vybudování teplovodu a tím využití odpadního tepla z BPS do obytných domů v obci. Společnost Systherm vybuvovala 4,5 km rozvodů do 45 obytných domů, restaurace a kulturního domu.

Jak bylo výše poznamenáno, cesta k vybudování bioplynové stanice a posléze teplovodu nebyla jednoduchá. Jednou z překážek pro rychlejší rozvoj bioplynových stanic v České republice zůstávají jejich relativně vysoké investiční náklady a náročné bezpečnostní a legislativní požadavky, které jsou velkým omezením.

Ale využívání obnovitelných zdrojů je značně podporováno státem. Jedním z důvodů je i závazek, který má ČR k Evropské unii. Česká republika se v současnosti připravuje na čerpání evropských prostředků v dalším programovém období „Podpora obnovitelných zdrojů v novém programovém období Evropské unie 2014 – 2020.“ Hlavní činností je příprava operačních programů, které jsou analýzou současného stavu jednotlivých odvětví, ale zejména výčtem opatření, jež budou z evropských prostředků podporovány.

Operační program životního prostředí navazuje na stejnojmenný operační program v předchozím programovém období, kterého využil sledovaný zemědělský podnik a obec. Hlavní cíle nového programu jsou snížení emisí z lokálního vytápění domácností podílející se na expozici obyvatelstva nadlimitním koncentracím znečišťujících látek, zvýšení podílu materiálového a energetického využití odpadů, snížení energetické náročnosti veřejných budov a zvýšení využití obnovitelných zdrojů energie. Projekty v rámci operačního programu životního prostředí jsou určeny pro vlastníky domů, pro majitele veřejných budov (kraje, města, obce) a pro podnikatelské subjekty. Územně je podpora určena pro celé území ČR včetně území hl. m. Prahy. Zde leží možnosti a výzvy pro zemědělské podniky.

Výsledky bakalářské práce by mohly inspirovat obce a města s obdobným ekonomickým a sociálním kontextem při hledání správné strategie vývoje. Reagovat na nutnost hledání nových směrů z důvodu zlepšení kvality ovzduší v obcích, snížení spotřeby fosilních paliv a podpořit likvidaci organických zbytků a odpadů.

Z této práce je patrné, že z hlediska ekonomické náročnosti pro obyvatele obce Kladruby rozdíl využívání tepla z bioplynové stanice oproti předchozímu používání tuhých paliv je nevýrazný.

Ve vztahu k životnímu prostředí je změna vytápění příznivá především ke kvalitě ovzduší v obci a jejího obyvatelstva.

Jako významný bonus této změny vytápění je značný nárůst komfortu pro obyvatele obce Kladruby.

9. Závěr

Lidstvo je závislé na využívání primárních energetických zdrojů, jejichž zásoby se odhadují už jen na několik desítek let. Proto se musí za fosilní paliva hledat vhodné náhrady. Částečným řešením problému může být energetické zhodnocování biomasy, jejíž energetický potenciál několikrát převyšuje roční celosvětovou spotřebu energie. Z překotného růstu cen tradičních paliv za poslední léta a celosvětového tlaku na ochranu životního prostředí lze předpokládat, že biomasa bude v budoucnosti žádanou a dokonce nepostradatelnou energetickou surovinou celého světa. Využití biomasy v budoucnu nebude jen alternativou, ale i nutností. Každá firma i občan potřebuje ke své existenci určité množství lehce a trvale dostupné tepelné a elektrické energie. Proto je třeba s možnostmi využití biomasy seznamovat odbornou veřejnost, aby mohly být pro jednotlivé zájemce co nejdříve vypracovány kvalitní projekty vytápění a výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Dnes už jsou k dispozici dostatečně kvalitní a spolehlivé technologie, které umožňují spalovat prakticky všechny druhy biomasy s vysokou účinností.

Cílem bakalářské práce bylo na základě rešerše objasnit pojmy týkající se obnovitelných zdrojů, popsat konkrétní zemědělskou bioplynovou stanici Kladruby, charakterizovat použité technologie, skladbu používaných surovin a využití bioplynu při výrobě elektrické energie a tepla pomocí kogenerační jednotky.

Dílními cíli bakalářské práce bylo zhodnotit využití tepla z bioplynové stanice v obytných domech ve sledované obci především z hlediska vlivu na životní prostředí, ekonomické náročnosti a z hlediska komfortu pro obyvatele obce.

Autor bakalářské práce došel k závěru, že ekonomická náročnost pro obyvatele obce Kladruby při změně využívání tepla z bioplynové stanice oproti předchozímu používání tuhých paliv se příliš nezměnila. Avšak jednoznačným pozitivem tohoto nového vytápění je zlepšená kvalita ovzduší v obci a jejím okolí a maximální pohodlí obyvatel obce Kladruby.

10. Seznam použitých zkratk

BPS – bioplynová stanice

EF – emisní faktory

KJ – kogenerační jednotka

KVET – kombinovaná výroba elektřiny a tepla

Nm³ - normálový metr krychlový při 0° C a atmosférickém tlaku

Ppm – parts per million, počet dílů na jeden milion

PRMR – prostorový metr rovnaný

Toe - ton of oil equivalent, jednotka výhřevnosti, odpovídá 41,868 GJ

TZL – tuhé znečišťující látky

11. Přehled literatury a použitých zdrojů

ADP, 2013: Alternativní zdroje energie. Solary, Praha, *online: <http://ikobra.com/technologie/alternativni-zdroje/>, cit. 17. 1. 2015.*

Benda V., Doležalová H., Dušička P., Hanslian D., Jevič P., Matuška T., Myslil V., Pastorek, Z., Stupavský V., Šejvl R., Šrefl J., Šulek P., 2012: Obnovitelné zdroje energie. Profi Press, Praha, 203 s.

BIOM, 2009: Průvodce výrobou a využitím bioplynu. České sdružení pro biomasu, *online: http://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/pruvodce_vyrobu_u_vyuzitim_bioplynu.pdf, cit. 15. 12. 2014.*

BTQ, 2012: Biomasa. Biomass technology group, *online: <http://www.btg.cz/cz/o-biomase/biomasa>, cit. 3. 3. 2015.*

CZBA, 2015: Národní technologická platforma pro bioplyn. Česká bioplynová asociace, ČB, *online: <http://www.czba.cz/>, cit. 21. 2. 2015.*

ČEZ, 2015: Geotermální energie. Skupina ČEZ, Praha, *online: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/geotermalni-energie.html>, cit. 2. 4. 2015.*

EAGRI, 2007: Desatero bioplynových stanic. Mze, Praha, *online: http://eagri.cz/public/web/file/260441/Desatero_BPS.pdf, cit. 28. 3. 2015.*

EAGRI, 2013: Možnosti energetického využití biomasy. Mze, Praha, *online: http://eagri.cz/public/web/file/283371/Moznosti_energetickeho_vyuziti_biomasy.pdf, cit. 21. 2. 2015.*

EB, 2011: Jak fungují bioplynové stanice? Ukázkový příklad zajímavého řešení z Třeboně. EkoBonus, *online: <http://www.ekobonus.cz/jak-funguji-bioplynovy-stanice-ukazkovy-priklad-zajimaveho-reseni-z-trebone>, cit. 2. 2. 2015.*

EBA, 2013: About us. European Biogas Association, *online: <http://european-biogas.eu/about-us/>, cit. 2. 4. 2015.*

ESBF, 2012: About ESBF. The European sustainable biofuels forum, Brussels, *online: <http://www.sustainablebiofuelsforum.eu/index.php/about-us/esbf>, cit. 2. 4. 2015.*

EurObserv`ER, 2014: Biogas barometer. EurObserv`ER, *online: http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro224_Biogas_en.pdf, cit. 5. 1. 2015.*

FaBb, 2013: Biogas production from organic waste in the European Food And Beverage industry. FaBbiogas, Tulln, *online: <http://www.fabbiogas.eu/de/home/fabbiogas/>, cit. 2. 4. 2015.*

Gaisler J., 2007: Problematika kolizí netopýrů s větrnými elektrárnami v Americe a Evropě. Přírodovědecké fakulta MU, Brno, *online: <http://www.dejmalka.cz/htm/content/pknve.pdf>, cit. 2. 4. 2015.*

GGG, 2011: Project. Green Gas Grids, *online: <http://www.greengasgrids.eu/about/project.html>, cit. 2. 4. 2015.*

Habart J., 2008: V čem se liší zemědělská a komunální bioplynová stanice - zamyšlení u příležitosti otevření bioplynové stanice v Krásné Hoře a Vysokém Mýtě. Biom, *online: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/v-cem-se-lisi-zemedelska-a-komunalni-bioplynova-stanice-zamysleni-u-prilezitosti-otevreni-bioplynovy-stanice-v-krasne-hore>, cit. 2. 4. 2015.*

Horák J., Šyc M., Hopan F., Krpec K., 2011: Srovnání emisí vybraných znečišťujících látek ze spalování biomasy a uhlí v domácnostech. Paliva 3: 64 – 68.

Horák J., Šyc M., Hopan F., Krpec K., Machálek P., Ocelka T., Tomšej T., 2011: Bilance emisí znečišťujících látek z malých zdrojů znečišťování se zaměřením na spalování tuhých paliv. Chemické listy 105: 851 – 855.

Jurčík V., 2015: Uhlí, koks, brikety, palivové dřevo. Uhlí Jurčík, Plasy, *online:* <http://www.uhli-jurcik.cz/>, cit. 19. 3. 2015.

Kára J., Pastorek Z., Příbyl E., 2007: Výroba a využití bioplynu v zemědělství. Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha, *online:* <http://www.vuzt.cz/svt/vuzt/publ/P2007/086.PDF>, cit. 20. 3. 2015.

Maehlum M., 2012: Solar energy pros and cons. Energy informative, *online:* <http://energyinformative.org/solar-energy-pros-and-cons/>, cit. 2. 4. 2015.

Mastný P., Drápela J., Mišák S., Macháček J., Ptáček M., Radil L., Bartošík T., Pavelka T., 2011: Obnovitelné zdroje elektrické energie. České vysoké učení technické v Praze, Praha, 256 s.

MT – Energie, 2013: Technologie výroby bioplynu. MT – Energie Bioplyn – Technologie, Benešov, *online:* <http://www.mt-energie.com/sc/bioplynova-zarizeni.html>, cit. 2. 4. 2015.

Murtinger K., Beranovský J., 2006: Energie z biomasy. ERA, Brno, 94 s.

Pastorek Z., Kára J., Jevič P., 2004: Biomasa: obnovitelný zdroj energie. FFC Public, Praha, 286 s,

PdL, 2007: JGS 320 GS – B.L. AB Energy 320 – 18 Technical Description, Livorno, *online:* http://www.provincia.livorno.it/new/spawdocs/ambiente/Technical%20Description_AB%20Energy%20320.pdf, cit. 5. 3. 2015.

Ryan V., 2009: Advantages and disadvantages of hydropower. Technology student, *online:* <http://www.technologystudent.com/energy1/hydr2.htm>, cit. 2. 4. 2015.

Rybín M., 1985: Spalování paliv a hořlavých odpadů v ohništích průmyslových kotlů. Nakladatelství technické literatury, Praha, 420 s.

Schreier M., 2014: Dlouhé stráně jako naživo: Magické oko Jeseníků má svou virtuální prohlídku. ČEZ, Praha, *online: <http://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/4896.html>, cit. 1. 12. 2014*

Schulz H., Eder B., 2004: Bioplyn v praxi. HEL, Ostrava, 167 s.

Šťastný L., Mazal B., Kroc M., 2013: Provozní řád bioplynové stanice Kladruby. „nepublikováno“, „Dep.: Kladrubská, a.s..“

Teichman F., 2011: Geotermální energie. Alternativní zdroje energie, *online: http://www.szes-la.cz/objekty/2-setkani-obnovitelne_zdroje_energie.pdf, cit. 23.10 2014*

TOP - pro, 2014: Informativní porovnávání maloobchodních cen paliv v Kč/GJ a ročních nákladů na palivo včetně DPH pro II. A III. Q 2014. TOP palivo – teplo, Praha, *online: <http://www.top-pro.cz/image/graf-plzensky-kraj.png>, cit. 18. 3. 2015.*

TOP - pro, 2014: Kalkulačka. TOP palivo – teplo, Praha, *online: <http://www.top-pro.cz/kalkulacka>, cit. 4. 3. 2015.*

TZB, 2015: Porovnávání nákladů na vytápění podle druhu paliva. Technická zařízení staveb, Praha, *online: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/139-porovnani-nakladu-na-vytapani-podle-druhu-paliva>, cit. 19. 3. 2015.*

Vinšová M., 2011: 5 největších vodních elektráren v ČR. Nazeleno, Brno, *online: <http://www.nazeleno.cz/energie/vodni-energie/5-nejvetsich-vodnich-elektrearen-v-ceske-republice.aspx>, cit. 8. 1. 2015.*

Vítěz T., Geršl M., Mareček J., Kudělka J., Krčálová E., 2013: Mineralogicko-chemická charakteristika fermentačních zbytků při výrobě bioplynu a možnosti jejich využití pro zlepšení vlastnosti půd. Agronomická fakulta MU, Brno, *online: http://eagri.cz/public/web/file/325087/MZE_fermentacni_zbytek_final_2013.pdf, cit. 5. 3. 2015.*

12. Seznam obrázků

URL 1: Geotermální elektrárna (online) [cit. 2014.09.12], dostupné z <http://www.semily.cz/cz/obcan/rozvoj-mesta/geotermalni-elektrarna/>

URL 2: Sluneční energie (online) [cit. 2014.09.12], dostupné z <http://energetika.plzen.eu/alternativni-zdroje-energie/slunecni-energie/>

URL 3: Elektrárnu Dlouhé Stráně zvolili čtenáři unikátním turistickým cílem (online) [cit. 2014.09.12], dostupné z http://zpravy.idnes.cz/finale-anketa-nejzajimavejsi-turisticky-cil-f32-/domaci.aspx?c=A140611_153004_domaci_mav

URL 4: Wind Turbines are quieter than a heartbeat, study finds (online) [cit. 2014.09.12], dostupné z <http://www.zmescience.com/tag/wind-turbine/>

URL 5: Biogas barometer (online) [cit. 2015.1.5], dostupné z http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro224_Biogas_en.pdf

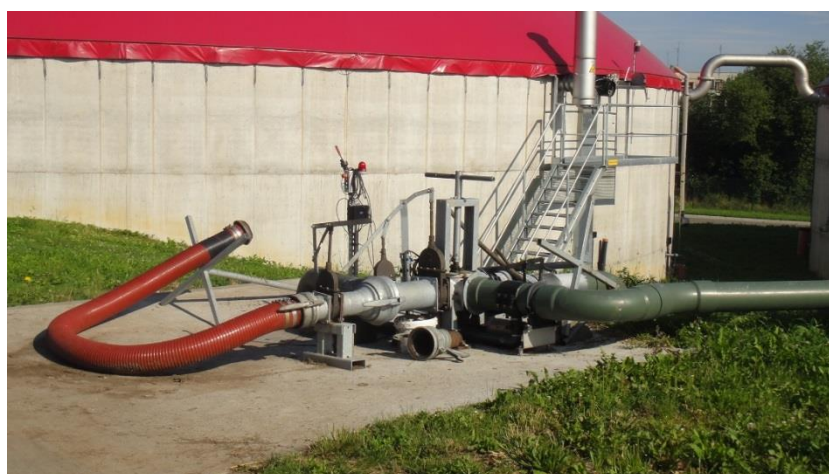
URL 6: Mapa bioplynových stanic (online) [cit. 2015.1.8], dostupné z <http://www.czba.cz/mapa-bioplynovych-stanic/>

URL 7: Bioplynová zařízení (online) [cit. 2015.1.10], dostupné z <http://www.mt-energie.com/sc/bioplynova-zarizeni.html>

URL 8: Fóliové kryty nosného vzduchu MT (online) [cit. 2015.1.10], dostupné z <http://www.mt-energie.com/sc/bioplynova-zarizeni/komponenty-mt/foliove-kryty-nosneho-vzduchu.html>

13. Přílohy

Bioplynová stanice v Kladrubech (Autor, srpen 2014)



Stavba teplovodu v obci Kladruby (Autor, říjen 2014)



Předávací stanice tepla Systherm (Autor, prosinec 2014)

