

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Zhodnocení provozu bioplynové stanice Vejprnice

**autor:
vedoucí práce:**

**Jakub Faifr
Ing. Petr Jindra Ph.D.**

2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub FAIFR**
Osobní číslo: **E13B0134K**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Zhodnocení provozu bioplynové stanice Vejprnice**
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište bioplynovou stanici Vejprnice. Uveďte technické parametry zařízení i druh vstupní suroviny. Charakterizujete způsob připojení jednotky do el. sítě.
2. Vyhodnoťte roční provoz jednotky. Diskutujte vliv vstupní suroviny na výkon jednotky. Porovnejte vlastní spotřebu jednotky (nafta, el. energie) a výrobu. Analyzujte dosavadní spolupráci jednotky s el. sítí. Zjistěte počet a případně příčinu výpadků z provozu.
3. Uvažujte nad regulovatelností výkonu a spolehlivostí dodávky. Zhodnoťte možnosti využití jednotky pro potřeby regulace sítě. Navrhněte vhodná opatření pro budoucí provoz.

Rozsah grafických prací:

podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy:

20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Jindra

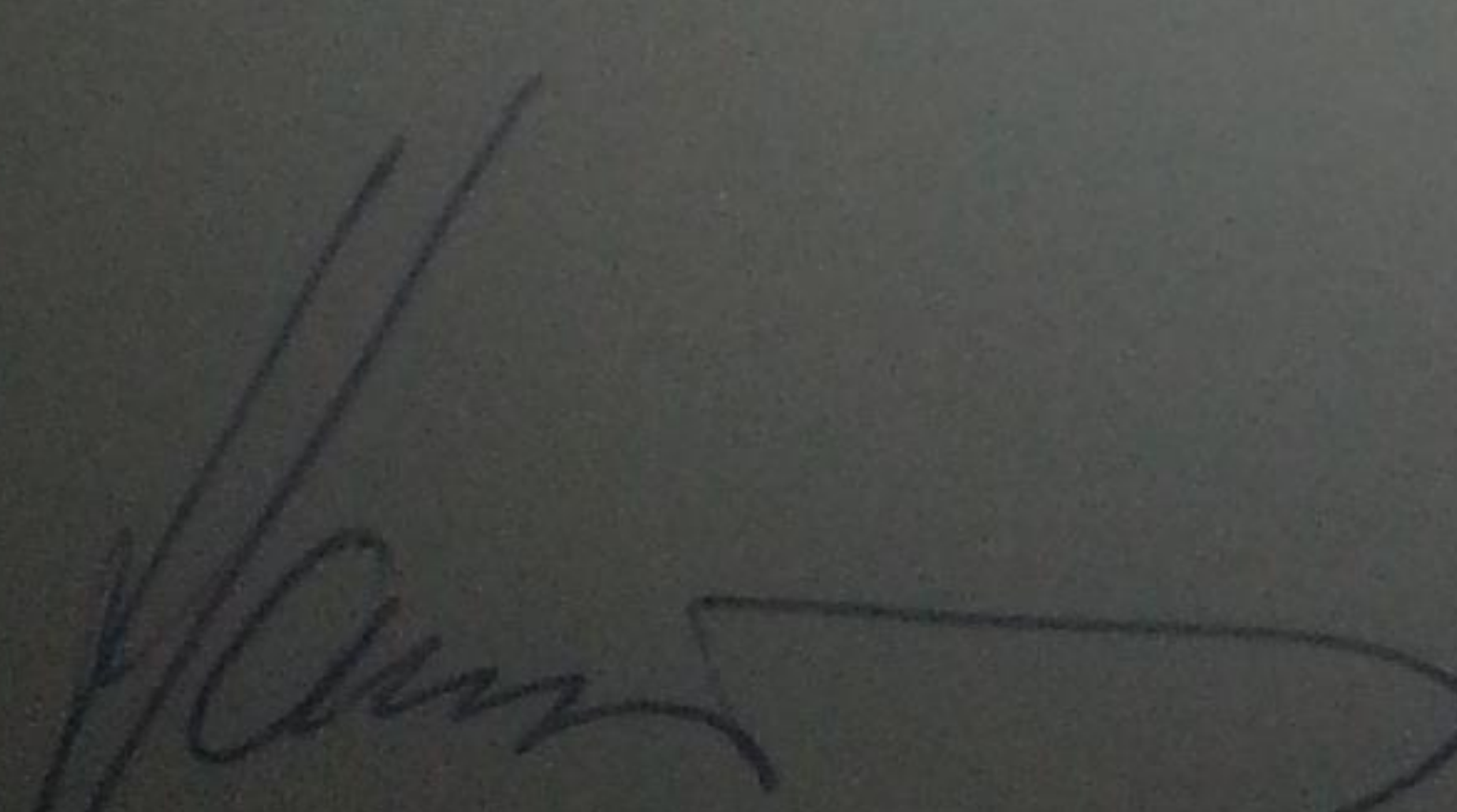
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce:

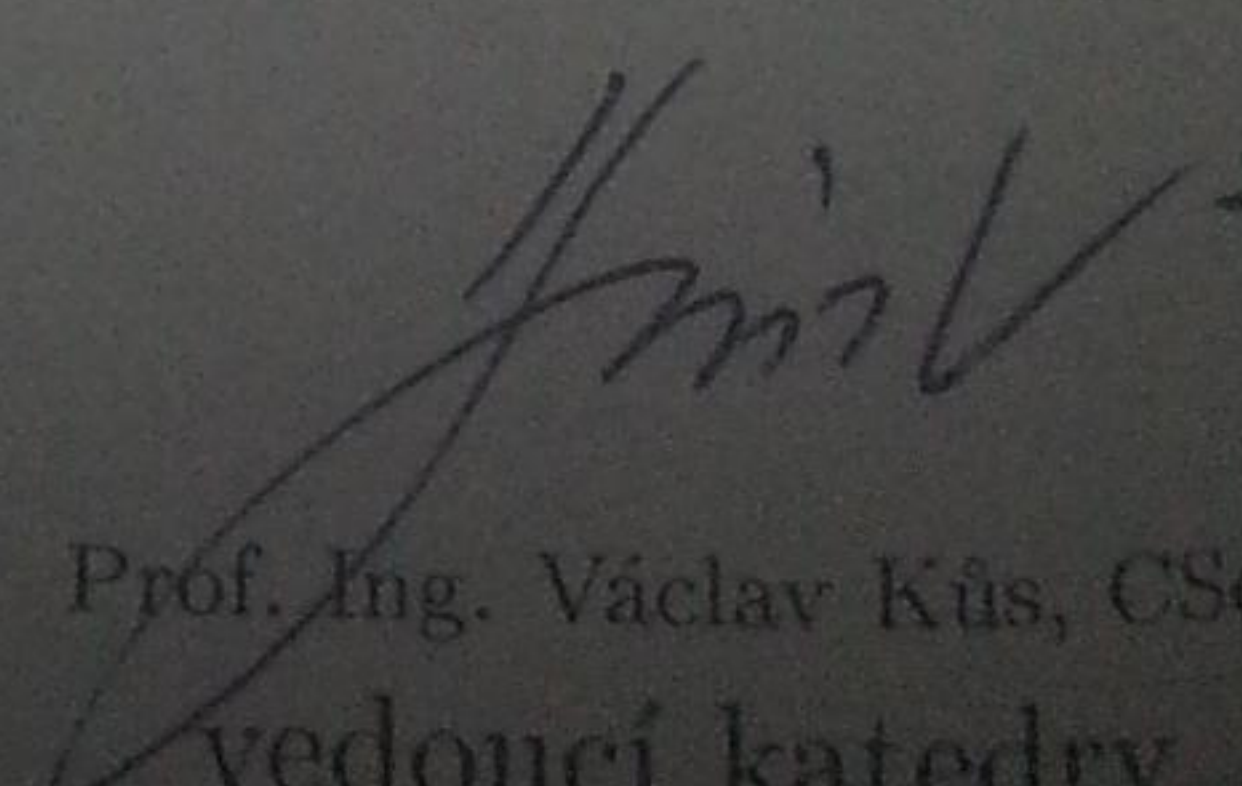
15. října 2014

Termín odevzdání bakalářské práce:

8. června 2015


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kús, CSc.
vedoucí katedry

Anotace

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na analyzování ročního provozu bioplynové stanice ve Vejprnicích. Jsou popsány vstupní suroviny a výstupní produkty a zhodnocena efektivnost celého procesu.

Klíčová slova

Bioplynová stanice, bioplyn, výroba energie, využití tepla

Abstract

This bachelor's thesis is focused on analyzing the annual operation of biogas plant in Vejprnice. It describes feedstock and output products and evaluates the effectiveness of the process.

Key words

Biogas plant, biogas, energy production, use of heat

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni. Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce. Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 3.6.2015

Jakub Faifr

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Jindrovi, za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále děkuji panu Václavu Štefánkovi za možnost nahlédnutí do provozu bioplynové stanice Vejprnice, za poskytnutí dokumentů nezbytných ke zpracování této práce a hlavně za zodpovězení veškerých dotazů.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ	10
SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	11
ÚVOD	11
1 BIOPLYN	12
1.1 VZNIK BIOPLYNU	12
1.2 OPTIMÁLNÍ PODMÍNKY PRO VZNIK BIOPLYNU	12
1.3 JEDNOTLIVÉ FÁZE FERMENTACE	13
2 BIOPLYNOVÁ STANICE	14
2.1 SKLADOVÁ PLOCHA	14
2.2 PŘEDFERMENTOR	14
2.3 DVOUSTUPŇOVÝ FERMENTOR.....	15
2.4 DÁVKOVACÍ ZAŘÍZENÍ	18
2.5 TECHNICKÝ SKLEP	18
2.6 TECHNICKÁ BUDOVA - KOGENERACE.....	19
2.6.1 Kogenerační jednotka	19
2.7 FLÉRA.....	20
2.8 KONCOVÝ SKLAD DIGESTÁTU	20
2.9 SILÁŽNÍ JÍMKA NA KONTAMINOVANÉ VODY	21
2.10 PŘÍPOJKA VYSOKÉHO NAPĚTÍ, TRAFOSTANICE	21
3 VSTUPNÍ SUROVINY	22
3.1 BIOMASA	22
3.1.1 Zdroje biomasy pro BPS Vejprnice	22
3.2 VLIV VSTUPNÍCH SUROVIN NA CHOD BPS VEJPRNICE	25

4	ROČNÍ PROVOZ BPS VEJPRNICE	27
4.1	ENERGETICKÁ BILANCE BPS VEJPRNICE	27
4.2	EKONOMICKÁ BILANCE BSP VEJPRNICE	28
4.2.1	<i>Náklady</i>	28
4.2.2	<i>Výnosy</i>	28
4.2.3	<i>Celkové zhodnocení ročního provozu BPS Vejprnice</i>	28
5	ZEFEKTIVNĚNÍ PROVOZU	30
5.1	VYUŽITÍ PŘEBYTKOVÉHO TEPLA	30
5.1.1	<i>Současný stav</i>	30
5.1.2	<i>Technologie využívající přebytečné teplo</i>	30
5.1.3	<i>Jednotka s ORC turbínou</i>	31
5.2	VYUŽITÍ PŘEBYTKOVÉ SUROVINY"	32
5.2.1	<i>Digestát</i>	32
5.2.2	<i>Odpadní šťávy</i>	33
6	SPOLEHLIVOST BIOPLYNOVÉ STANICE.....	34
6.1	VÝPADKY Z PROVOZU	34
6.2	SCHOPNOST REGULACE SÍTĚ	36
7	ZÁVĚR.....	38
	POUŽITÁ LITERATURA.....	39
	PŘÍLOHY.....	40

Seznam zkratk a symbolů

BPS	bioplynová stanice
ŽB	železo beton
PE	polyester
KJ	kogenerační jednotka
P_{tep}	tepelný výkon
P_{el}	elektrický výkon
ORC	organický Rankinův cyklus
OZE	obnovitelné zdroje energie

Seznam použitých obrázků

Obrázek 1: Schéma anaerobní fermentace [1]

Obrázek 2: Předfermentor na drůbeží trus

Obrázek 3: Vertikální provedení fermentoru [3]

Obrázek 4: Dvoustupňový fermentor

Obrázek 5: Dávkovací zařízení

Obrázek 6: Přečerpávací jednotka

Obrázek 7: Kogenerační jednotka Deutz power systems o výkonu 537 kW

Obrázek 8: Fléra

Obrázek 9: Koncový sklad digestátu

Obrázek 10: Silážní jímka na kontaminované vody

Graf 1: Spotřeba kukuřičné siláže v BSP Vejprnice za rok 2014

Graf 2: Spotřeba drůbežího trusu v BSP Vejprnice za rok 2014

Graf 3: Spotřeba travní siláže a slámy v BSP Vejprnice za rok 2014

Graf 4: Výnos CH₄ v závislosti na poměru vstupních surovin

Graf 5: Výnos bioplynu na tunu vstupní suroviny [6]

Graf 6: Energetická bilance

Graf 7: Procentuální hodnota dodané elektrické energie z maximální možné

Úvod

V minulosti nebyl brán takový zřetel na využívání alternativních zdrojů elektrické energie, což se postupem času změnilo, protože spotřeba energie nezastavitelně narůstá díky průmyslu, dopravě a neustále se zvyšující životní úrovni. Proto je naprosto nezbytné využívat všech zdrojů energie, a to zejména těch alternativních.

Předkládaná práce je zaměřena na energetické hospodaření BPS Vejprnice. Právě bioplynové stanice využívají energetického potenciálu odpadních látek ze zemědělství, které jsou jednotlivými procesy v BPS efektivně využity nejen pro výrobu elektrické energie. Toto využití biomasy za poslední roky vzrostlo a je zde předpoklad dalšího růstu.

Tato práce obsahuje stručný popis jednotlivých částí bioplynové stanice. Srovnání jednotlivých vstupních surovin a jejich vliv na účinnost procesů v BPS. Cílem je zhodnotit roční provoz BPS ve Vejprnicích a její možnosti ve využití produkovaného tepla a schopností regulování sítě.

1 BIOPLYN

1.1 Vznik bioplynu

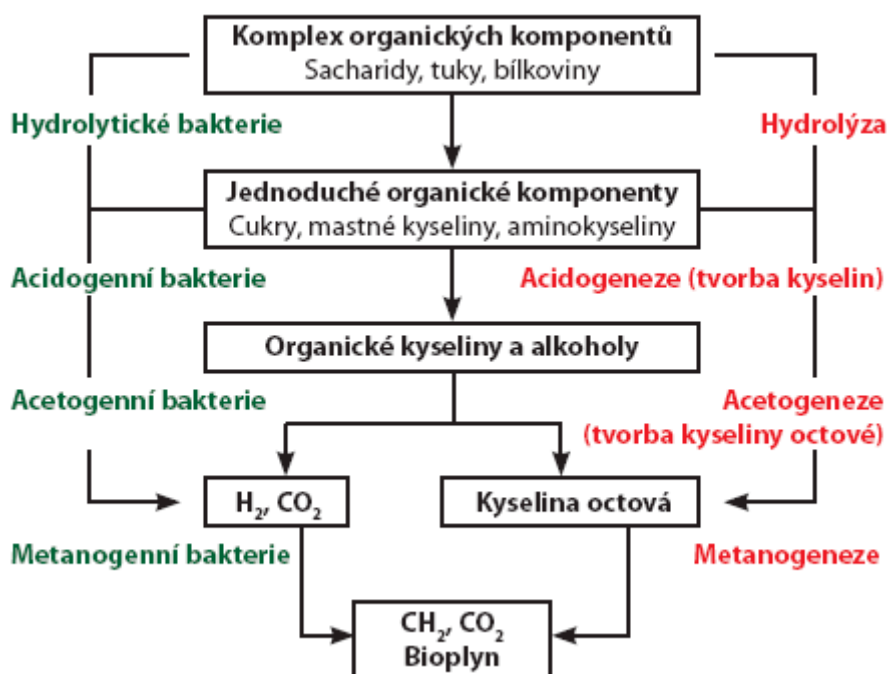
Bioplyn je plyn organického původu, který vzniká biologickou cestou, jako produkt látkové výměny metanogenních bakterií, které rozkládají organickou hmotu. Tato výměna je možná pouze při dodržení určitých podmínek a skládá se ze čtyř fází.

1.2 Optimální podmínky pro vznik bioplynu

1. **Vlhké prostředí** – metanogenní bakterie pracují a množí se pouze tehdy, když je substrát dostatečně vlhký (min. 50%). Nemohou žít v pevném substrátu oproti aerobním bakteriím, kvasinkám a houbám.
2. **Zabránění přístupu vzduchu** – metanogenní bakterie jsou výhradně anaerobní. V případě, že substrát obsahuje kyslík, jako například čerstvá kejda, tak ho nejprve musí spotřebovat aerobní bakterie. Malé množství kyslíku, které se dostane do substrátu při cíleném nafoukáním vzduchu při odsíření, neškodí.
3. **Stálá teplota** – pouze při teplotách mezi 0 °C a 70 °C pracují metanogenní bakterie správně. Vyšší teploty špatně snáší a až na výjimky hynou. Naopak při teplotách pod bodem mrazu nehynou, ale tyto podmínky jsou pro výrobu bioplynu nevyhovující.
4. **Hodnota pH** – ideální hodnota pH by se měla blížit 7,5. Tato hodnota je pro prasečí kejdu a hnůj přirozená. Do kyselých substrátů je třeba přidávat vápno, které hodnotu pH zvyšuje.
5. **Velké kontaktní plochy** – organické látky, které jsou nerozpustné ve vodě musí být strukturovány, aby vznikaly velké dotykové plochy. U materiálů jako je sláma, dlouhá tráva je nutné rozsekání, jinak vyhnívají velmi dlouho dobu.

1.3 Jednotlivé fáze fermentace

1. **Hydrolýza** – makromolekulární organické látky (bílkoviny, uhlovodíky, tuk, celulóza) začínají být rozkládány anaerobními mikroorganismy, ze kterých vznikají jednoduché monomery (aminokyseliny, jednoduché cukry, mastné kyseliny a voda), které snadno prochází do buněk. Musí být zajištěna min. vlhkost 50%.
2. **Acidogeneze** – aerobní bakterie spotřebovaly kyslík, čímž vytvořily ideální podmínky pro anaerobní bakterie. Rozklad na organické kyseliny (oxid uhličitý, sirovodík a čpavek) probíhá za pomoci acidofilních bakterií.
3. **Acetogeneze** – vyšší organické kyseliny jsou převáděny za pomoci acidogenních (octotvorných) kmenů bakterií na kyselinu octovou, vodík a oxid uhličitý.
4. **Metanogeneze** – kyselina octová je rozkládána metanogenními acetotrofními bakteriemi na metan a oxid uhličitý (hlavní složky metanu). Vodík a oxid uhličitý převádí hydrogenotrofní bakterie také na metan. Tato fáze je nejpomalejší.



Obrázek 1: Schéma anaerobní fermentace [1]

2 BIOPLYNOVÁ STANICE

2.1 Skladová plocha

Velikost: 40,8 x 40,8 m

Celková plocha: 1.500 m²

Užitná výška: 4,0 m

Teoretický objem: 6.000 m³

Základní nosný systém je tvořen „T“ panely o výšce 4,0 m. Dno žlabu je tvořeno z betonové pojezdové vrstvy, hydroizolace na podkladní betonové mazanině. Celá skladba je uložena na štěrkové loži. Minimální spád žlabu je 1% v příčném i podélném směru. Vjezdová plocha je vyspárována se sklonem 10% tak, aby nedocházelo k úniku kontaminovaných vod na zpevněné plochy. Na obou stranách vjezdu jsou umístěny kanalizační vpustě. Kontaminované vody jsou odváděny plastovým potrubím o průměrech 200 a 300 mm do jímky na kontaminované vody a odsud přečerpávány do BPS. Zde je vstupní surovina udusávána speciálním zařízením, tak aby docházelo k mléčnému kvašení za nepřístupu vzduchu [2].

2.2 Předfermentor

Ø: 14m

Výška: 6,00 m

V_{celkový}: 923,16 m³

Předfermentor slouží jako vstupní jímka pro drůbeží hnůj, která je osazena vlastním dávkovacím zařízením, které dávkuje cca 8t drůbežního trusu za den. Toto dávkovací zařízení je doplňováno jednou denně. Jímka je hermeticky uzavřena ŽB víkem, substrát je vytápěn a promícháván podobně jako ve fermentoru míchadlem o výkonu 15kW. Usazují se zde minerály z drůbežního hnoje. Na dně jsou šnekové dopravníky, které tyto sedimenty vyskladňují do uzavřeného kontejneru. Předfermentor je propojen s fermentorem přepadovým potrubím. I zde vzniká určité množství bioplynu, a proto je předfermentor propojen plynovodním potrubím s plynojemem [2].

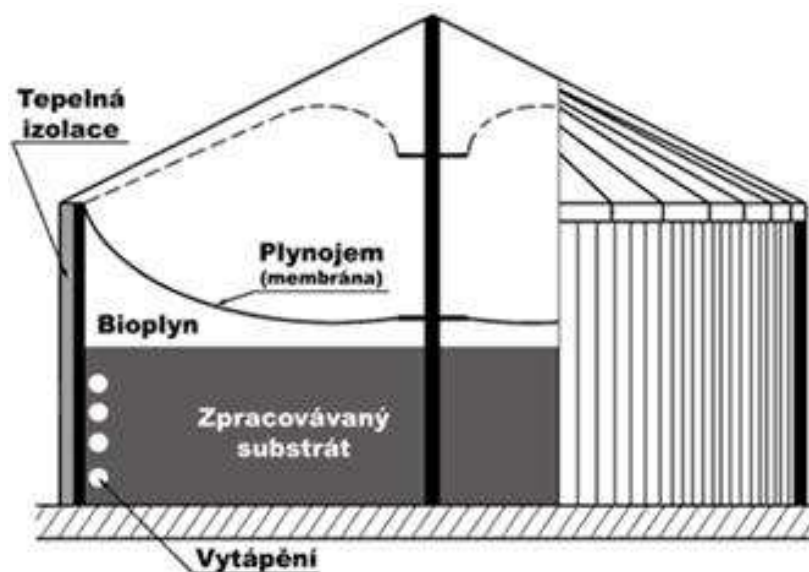


Obrázek 2: Předfermentor na drůbeží trus

2.3 Dvoustupňový fermentor

Fermentor patří mezi jedno z nejdůležitějších zařízení BPS, ve kterém dochází k chemickým reakcím potřebných ke vzniku bioplynu. Musí být konstruován z velice odolných materiálů vůči korozi, způsobené agresivními sloučeninami, které vznikají při procesu fermentace. Pro BPS se konstruují dva typy fermentorů – horizontální a vertikální. V BPS Vejprnice je užito vertikální provedení [2].

Vertikální provedení: častěji užíváno, díky větším celkovým úsporám. Většinou bývá zapuštěn v zemi. Je tvořen železobetonovou jímkou z vodotěsného železobetonu, která je po obvodu izolována a vytápěna. Zastropena je částečně železobetonovou monolitickou deskou, částečně plynojemen [2].



Obrázek 3: Vertikální provedení fermentoru [3]

Ø vnějšího fermentoru: 30,0 m

Ø vnitřního fermentoru: 18 m

h: 6 m, h účinná: 5,4 m

Ø plynojemu: 14 m

$V_{\text{celkový}}: 4.239 \text{ m}^3$

Dávkovací zařízení přivádí obnovitelné zdroje energie (např. kukuřičnou siláž) do vnějšího fermentoru. Předfermentor, oba fermentory a koncovým sklad jsou propojeny jednak přepadovým potrubím, jednak tlakovým potrubím. Při dopravě kvasného substrátu do fermentoru, odtéká stejné množství digestátu přepadovým potrubím do koncového skladu. Přestavitelná ponorná míchadla eliminují, homogenizují a míchají substrát, aby nedocházelo ke vzniku plovoucích vrstev. Ve vnějším fermentoru je použito pádlové míchadlo Mississippi s výkonem 18,5 kW a ve vnitřním jsou dvě míchadla s celkovým výkonem 30kW. Ta také zajišťují, že i při vysokém obsahu sušiny lze obsah fermentorů čerpat a dopravovat potrubím. Doba zdržení substrátu ve fermentoru je 90 dní [2].

Teplotu procesu ve fermentorech zajišťuje teplovodní oběhové topení tvořeno nerezovým potrubím, které je upevněno na distančních prvcích na vnitřní straně vnitřního a vnějšího pláště fermentoru. Pro vyhřívání se používá voda z kogenerační jednotky [2].

Vnější stěny a víko fermentoru jsou izolovány 8 cm tlustými deskami z extrudovaného polystyrenu. Na polystyrenu je ještě 12 cm krycího betonu [2].

Trvalou těsnost veškerých stěnových prostupů garantují kvalitní materiály (mosaz, nerezová ocel) přípojek. Uzavírací prvky, které přicházejí do kontaktu se substrátem, jsou zdvojené, proto v případě poruchy je alespoň jedno šoupátko uzavřeno [2].

Revizní otvor (cca 2700 x 1700 mm) umístěný ve stropní desce fermentoru umožňuje odstranění sedimentů písku po několikátém provozu [2].

Kuželovitě řezané folie (horní folie PVC vyztužená tkaninou, spodní folie vysoce elastický PE) upnuté speciální lištou, plynotěsně uzavírají fermentor. Optimální přetlak mezi oběma kuželovými foliemi je zajištěno radiálním dmychadlem a přetlakovou klapkou. Tento velmi nízký tlak se přenáší přes PE membránovou folii na prostor fermentoru a současně tak vytváří systémový tlak bioplynu [2].

Při anaerobním procesu vzniká surový plyn, který skladujeme v nízkotlakých zásobnících plynu nad hladinou substrátu. Přetlakové a podtlakové pojistky bioplynu zajišťují nízkotlaké skladování tohoto plynu ve fermentoru [2].

Z fermentoru je surový plyn veden plynovodem přes chladič bioplynu a dmychadla, kde se do plynu kontrolovaně přidává vzduch, čímž je odsiřován a po vysušení vodní páry se přivádí k energetickému využití v KJ. Vysrážení elementární síry a síranu zajišťují vzdušné směšené kultury bakterií. Kondenzát vznikající při vysoušení plynu se bez zbytků přivádí zpět do anaerobního procesu ve fermentorech [4].



Obrázek 4: Dvoustupňový fermentor

2.4 Dávkovací zařízení

Dávkovací zařízení na tuhou složku zásobuje fermentor nečerpatelnou složkou (kukuřičná a travní siláž). Dávkovací zařízení na tuhou složku je kompaktní jednotka složená z elektricky poháněných šneků (dopravní šnek, mačkácí šnek). Obnovitelné druhy surovin jsou dopravovány z podávajícího zařízení dopravními šneky do fermentoru mačkajícími šneky. Pro udržení stabilní a nepřerušované výroby plynu je potřeba zásobovat fermentor živinami v konkrétně stanovených časových intervalech, proto je zařízení plně automatizováno, dvakrát denně je potřeba jej od personálu naplnit. U BPS Vejprnice jsou použity dvě dávkovací zařízení. Jedno bude sloužit pro dávkování drůbežího trusu do předfermentoru, druhé pro dávkování kukuřičné a travní siláže do fermentoru [2].



Obrázek 5: Dávkovací zařízení

2.5 Technický sklep

Jedná se o zastřešený prostor mezi koncovým skladem, fermentorem a předfermentorem, stěny mezi nádržemi jsou železobetonové. V tomto prostoru je umístěna přečerpávací jednotka, která umožňuje přečerpávání substrátu mezi fermentory, silážní jímkou a koncovým skladem. Je zde rovněž umístěn motor míchadla fermentoru. Čerpací centrum je umístěno v prostoru u paty fermentoru, v šachtě pod úrovní dna [2].



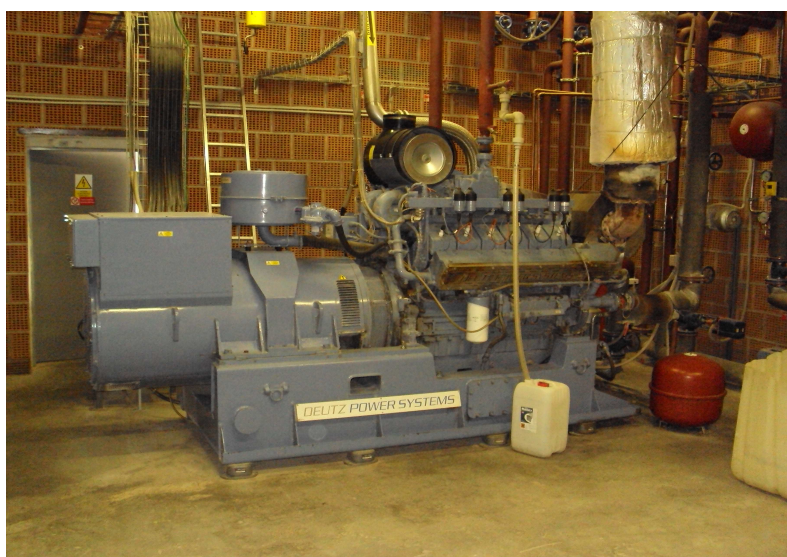
Obrázek 6: Přečerpávací jednotka

2.6 Technická budova - kogenerace

Dvoupodlažní objekt s pultovým zastřešením. Objekt je složen ze dvou samostatných místností, a to místnosti pro KJ a místnost s hlavním el. rozvaděčem, kde je také řídicí místnost BPS. Z místnosti KJ je přístupná místnost pro uskladnění hořlavého materiálu (motorový olej). Obě místnosti jsou přístupny jak z venkovního prostoru, tak mezi sebou. Místnost pro KJ je dimenzovaná tak, aby bylo možné instalovat dvě kogenerační jednotky. Místnost je odvětrávána mechanicky pomocí řízených ventilátorů. Výkon ventilátorů lze regulovat podle teploty. V tomto prostoru hlídají koncentrace metanu čidla. Z prostoru elektrorozvodny je přístupný půdní prostor. Zde jsou umístěny výměníky tepla a tlumiče hluku na výfukovém vedení, chladicí zařízení, expanzní nádoby [2].

2.6.1 Kogenerační jednotka

Na energetickou přeměnu bioplynu na elektrický proud a teplo je použita KJ. Zhruba třetina energie paliva se použije na výrobu elektrické energie, zbytek se ztrácí v podobě tepla (výfukové plyny, chlazení jednotky). Tato tepelná energie je použita na ohřev vody, které se zatím používá jako medium pro vytápění objektů BPS. Tímto způsobem lze zužitkovat z paliva až 80 % energie [5]. Kvalita spalovacího procesu v KJ je závislá na kvalitě paliva (podílem CH_4 v palivu). V palivové směsi by mělo být min. 40% metanu. Při klesnutí koncentrace pod tuto hodnotu dochází ke zhasínání plamene, a tak se snižuje účinnost a životnost jednotky. V BPS Vejprnice je nainstalována KJ o výkonech $P_{\text{tep}}=668 \text{ kW}$ a $P_{\text{el}}=537 \text{ kW}$.



Obrázek 7: Kogenerační jednotka Deutz power systems $P_{\text{el}}537 \text{ kW}$

2.7 Fléra

Při odstávce KJ se aktivuje fléra – zařízení pro spalování přebytkového plynu, umístěná 15 m od ostatních objektů. Fléra je spojena s fermentorem podzemním plynovodem. Havarijní vypouštění musí být dimenzováno na průchod dvojnásobného objemu bioplynu při předpokládaném průměrném hodinovém vývinu. Min. vzdálenost havarijního otvoru vypouštění od otevřeného ohně musí být 15 m a ve výšce 4 m nad terénem a je zde nainstalována protiplamenná pojistka [2].



Obrázek 8:Fléra

2.8 Koncový sklad digestátu

Kruhová železobetonová jímka s celkovým objemem 4.975 m^3 , kde základová deska a stěny jsou postaveny z vodotěsného železobetonu. Vykvašený substrát přetéká z fermentoru přepadovým potrubím do skladu digestátu. Tato jímka není tepelně izolována. Pro odběr digestátu pak slouží přečerpávací jednotka umístěná v technickém sklepe [2]. Koncový sklad musí být dvakrát ročně vyčerpáván, vzhledem k objemu vstupních surovin. Digestát je následně používán k hnojení 400ha pole.



Obrázek 9:Koncový sklad digestátu

2.9 Silážní jímka na kontaminované vody

Železobetonová jímka s celkovým objemem 314 m^{3v} je postavena z vodotěsného železobetonu. Pro tento účel je vybudovaná kanalizace propojující tuto jímku s čerpacím místem v technickém sklepě. Toto potrubí je opatřeno uzavírací armaturou. Nejvyšší hladina užitného prostoru jímky na silážní jímky nesmí přesáhnout nejnižší část plochy silážního žlabu [2]. Pomocí centrálního čerpadla umístěného v technickém sklepě je možno přečerpávat šťávy do fermentoru či koncového skladu podle potřeby.



Obrázek 10: Silážní jímka na kontaminované vody

2.10 Přípojka vysokého napětí, trafostanice

Na jižní straně od stavby vede stávající venkovní vedení VN. Z upraveného místa tohoto venkovního vedení VN je proveden svod VN 3xAXEKVCEY 1x70mm². Ochranu proti přepětí v kabelovém vedení zajišťují omezovače přepětí VN na odbočném sloupu. Kabel VN je veden od odbočného bodu do areálu farmy a odsud k nově navržené kioskové trafostanici, kde bude ukončen ve staničních koncovkách v rozvaděči VN. [3] Kabel VN je uložen ve hloubce 1.0 m po celé délce (190 m) v betonových žlabech [2].

3 VSTUPNÍ SUROVINY

3.1 Biomasa

Zákon č. 180/2005 Sb. označuje biomasu jako biologicky rozložitelnou část výrobků, odpadů a zbytků provozování zemědělství a hospodaření v lesích a souvisejících průmyslových odvětví, zemědělské produkty pěstované pro energetické účely a rovněž biologicky rozložitelná část vytríděného průmyslového, zemědělského a komunálního odpadu [6].

Rozdělení biomasy použitelné k výrobě bioplynu:

- cíleně pěstovaná fytomasa – travní senáž, siláž, vhodné druhy energetických rostlin (především kukuřice a řepka)
- odpady z chovu hospodářských zvířat – kejda, hnůj, trus, podestýlka
- bioodpady z údržby veřejné zeleně (tráva, listí, ale nikoli dřevo)
- bioodpady z domácností a ze zahrad
- prošlé potraviny a bioodpady z obchodů
- zbytky z jídelen, restaurací a hotelů
- bioodpady z podnikatelských provozů (pekárny, lihovary, pivovary, cukrovary, masokombináty) [7]

3.1.1 Zdroje biomasy pro BPS Vejprnice

V BPS Vejprnice jsou používány tři základní vstupní suroviny, a to kukuřičná siláž, drůbeží hnůj a travní siláž spolu se slámou zbytky zelí.

3.1.1.1 Kukuřičná siláž

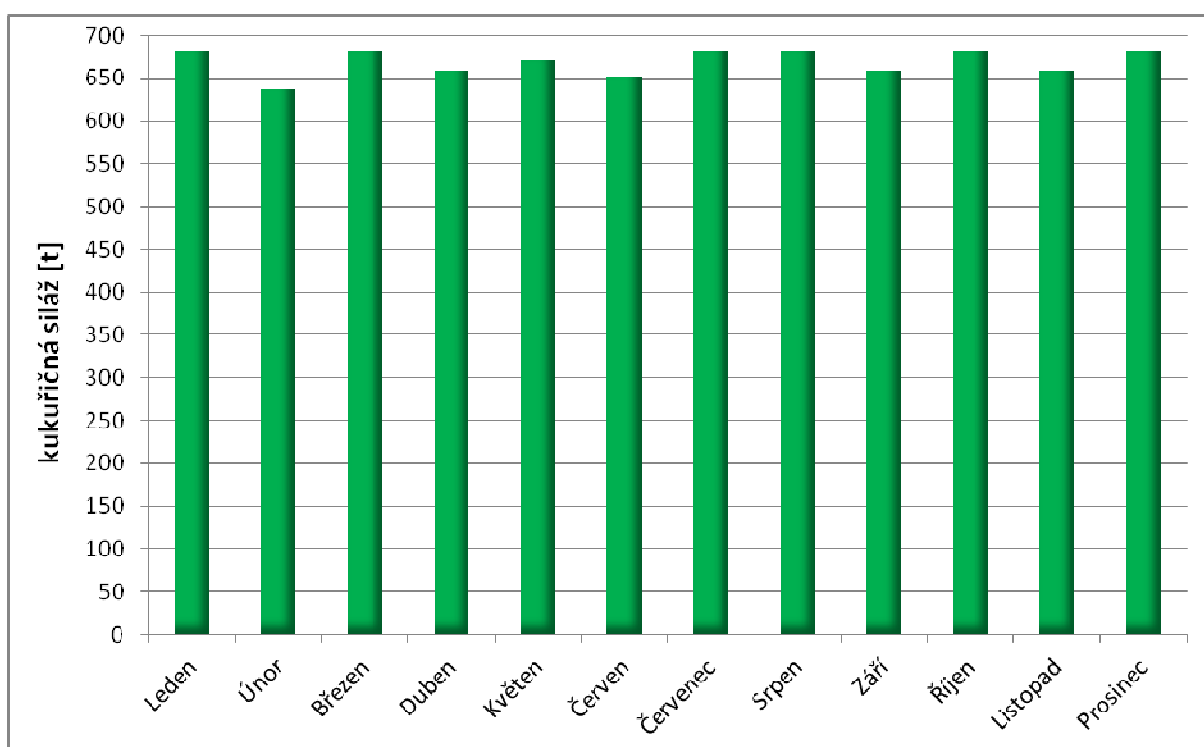
V BPS Vejprnice zajišťuje výrobu bioplynu zejména kukuřičná siláž, a to téměř 70%. V roce 2014 to bylo 8032t. Kukuřice je pěstována na 200 hektarovém poli, což dostatečně pokryje roční spotřebu BPS. K těmto účelům byly vyšlechtěny rychle rostoucí odrůdy s vysokými výnosy nadzemní biomasy přímo pro účely BPS.

Kukuřice má ze všech u nás pěstovaných kulturních rostlin nejvyšší výnosový potenciál na hektar, vysoký obsah sušiny (kolem 35 %) a nízký obsah vody po vysušení (do 10 %) [8].

Nevýhod spojených s pěstováním této plodiny je hned několik. Díky nedostatečnému vegetačnímu krytu dochází k přehřívání zemského povrchu, vysychání půdy a erozi, kterou můžeme zmírnit jen výsadbou na plochách s co nejmenší svahovitostí.

Vedle toho je kukuřice také velmi náročná na živiny, proto je každý rok pěstována na jiné části 400 hektarového pole.

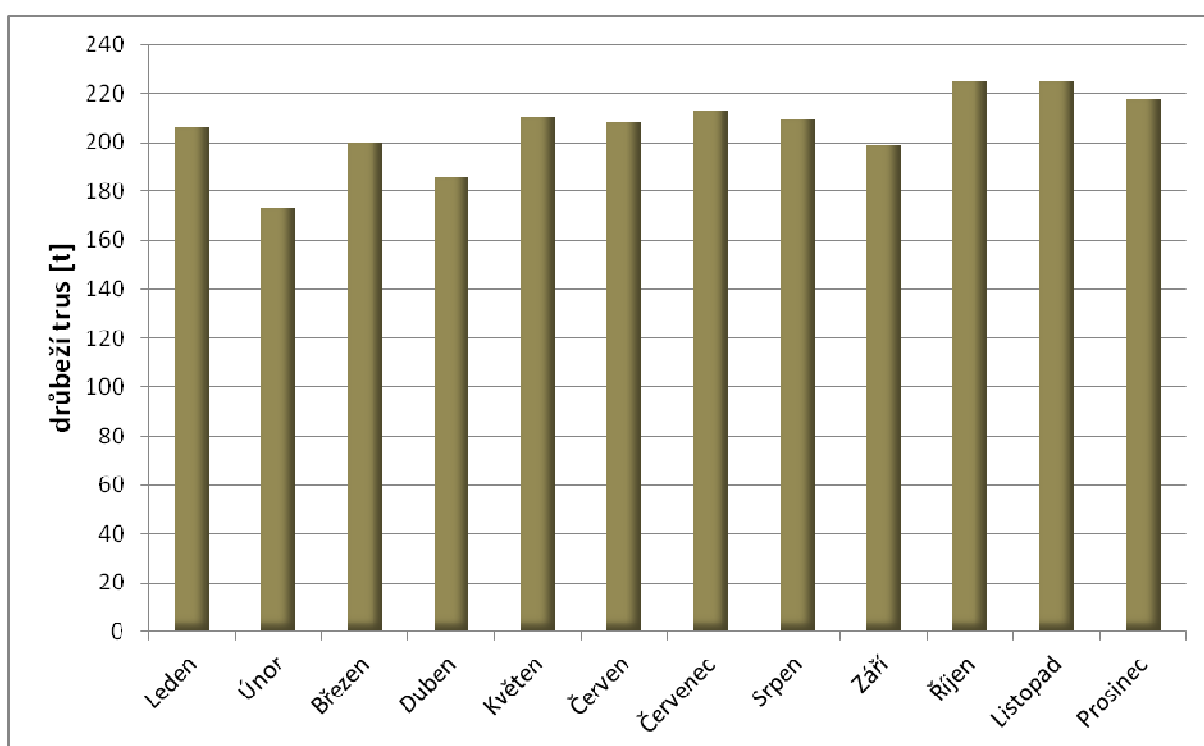
Pro nepřetržitý provoz fermentoru je nutné plodinu kvalitně uskladnit. Uskladnění provedeme tzv. silážováním (navezení plodiny na skladovou plochu a následné udusání), při kterém dochází k mléčnému kvašení cukrů a tím ke konzervaci. Tím si siláž zachovává obsah živin a vitamínů.



Graf 1: Spotřeba kukuřičné siláže v BSP Vejprnice za rok 2014

3.1.1.2 Drůbeží trus

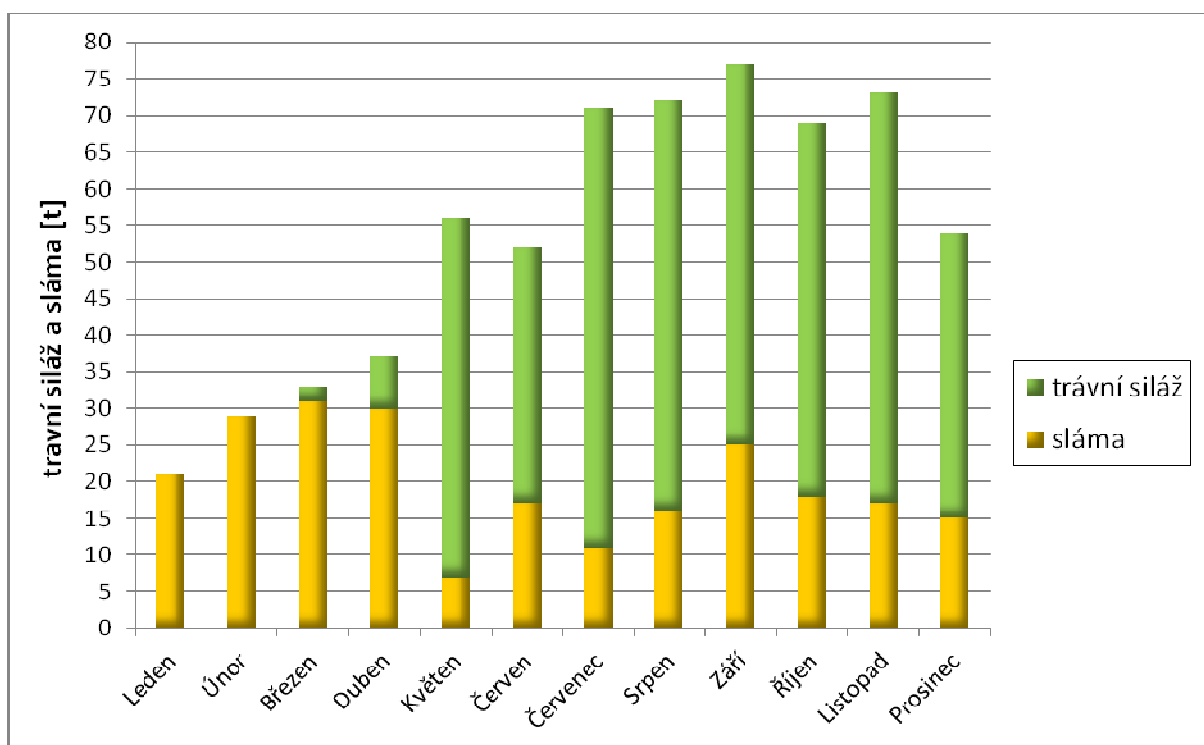
Drůbeží exkrementy spolu s kukuřičnou siláží jsou používány v BPS Vejprnice jako hlavní suroviny, nicméně u jiných BPS jsou zvířecí exkrementy používány spíše doplňkově. Jejich používání je téměř nezbytné, protože obsahují různé druhy bakterií podporující celý proces fermentace. Drůbeží trus v BPS Vejprnice se používá s poměrem C:N 10:1 a je skladován v předfermentoru, kde dochází k předfermentaci (viz Kapitola 2.2). V roce 2014 bylo spotřebováno 2472t, což odpovídá roční produkci drůbežního trusu z drůbežárny.



Graf 2: Spotřeba drůbežního trusu v BSP Vejprnice za rok 2014

3.1.1.3 Travní siláž + sláma

V BPS Vejprnice je používání travní siláže a slámy pouze sezónní záležitostí. V letních měsících je BPS zásobována travní siláží z veřejných prostranství obce Vejprnice a slámou ze zbyvajícího 200 hektarového pole, které je využíváno na pěstování pšenice a řepky.



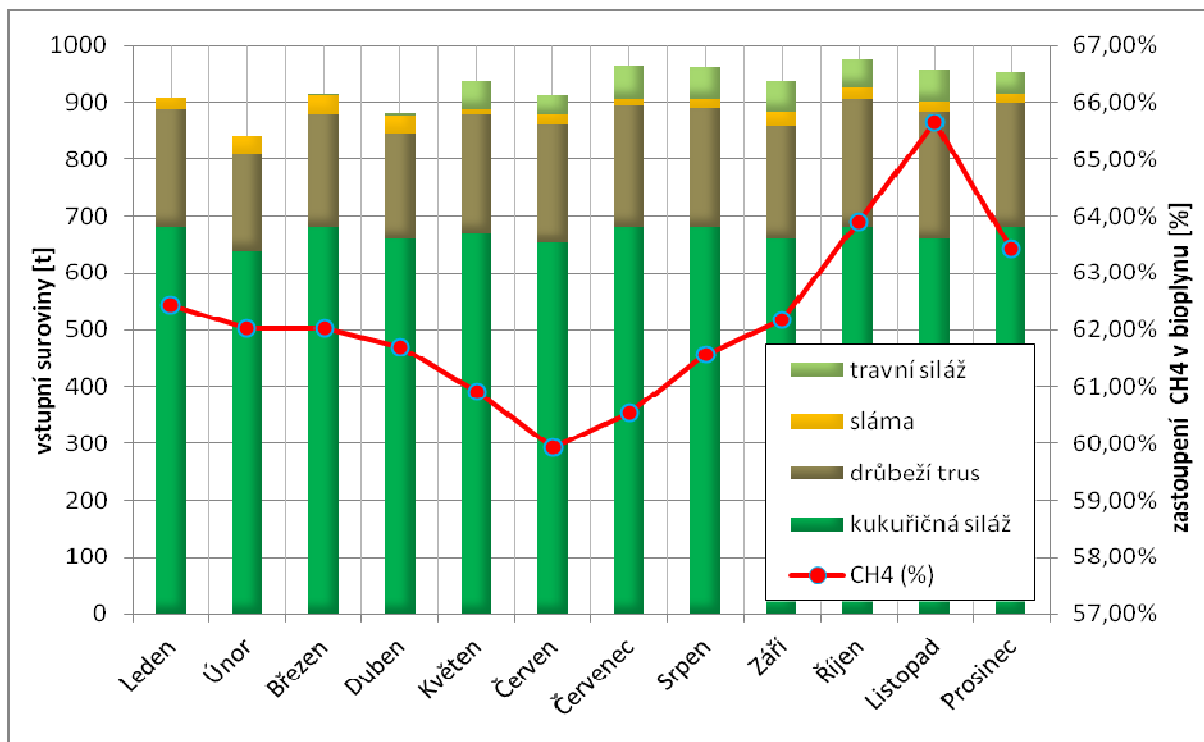
Graf 3: Spotřeba travní siláže a slámy v BSP Vejprnice za rok 2014

3.2 Vliv vstupních surovin na chod BPS Vejprnice

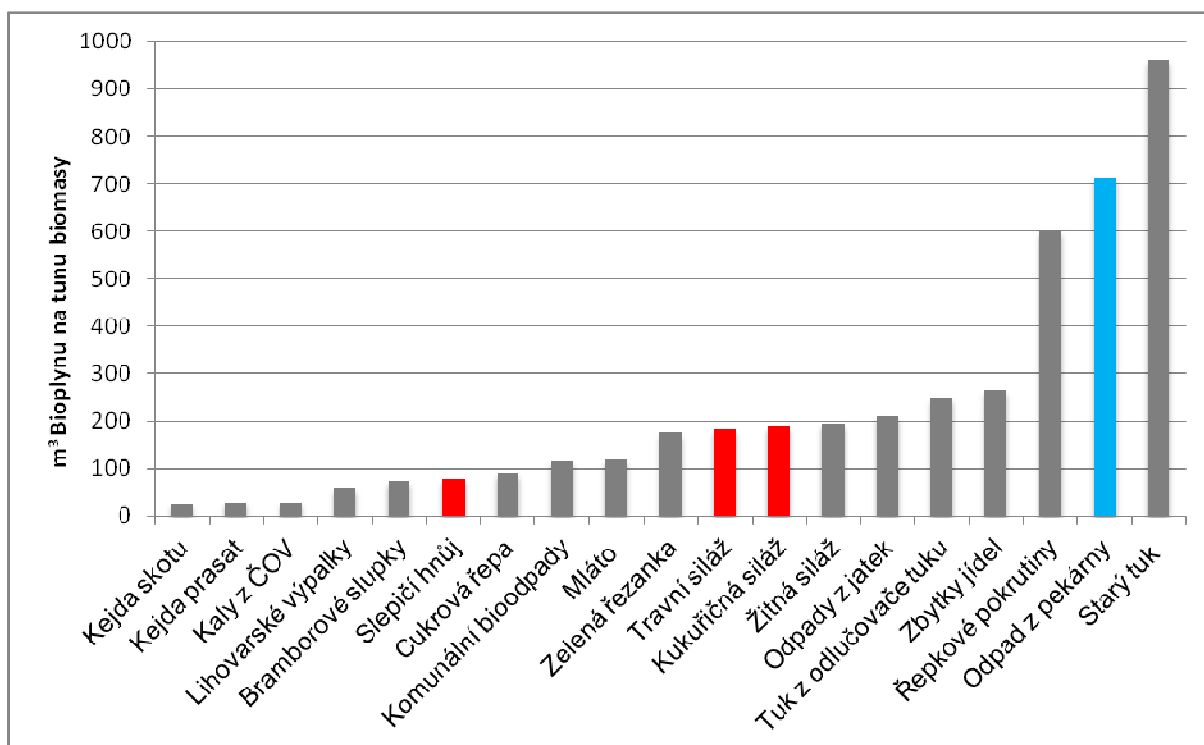
Nejdůležitější vstupní surovinou v BPS Vejprnice je kukuřičná siláž, která je až na pár výjimek (výpadky z provozu) dávkována ve stálém množství, a to 22t/denně. Vzhledem k tomu, že společnost Š&L DRŮBEŽÁRNA VEJPRNICE s.r.o. vlastní BPS, je poměr ostatních vstupních surovin závislý na denní produkci drůbežího trusu, která se pohybuje okolo 8t/den a podle tohoto množství je doplňována travní siláž nebo sláma.

Pro co nejefektivnější chod fermentoru a tím i celé BPS je třeba do fermentoru dodávat vstupní suroviny v co nejpřesnějším poměru a neměnit poměr vstupních surovin v krátkých časových úsecích.

Jelikož je BPS navržena tak, aby spotřebovávala veškerý drůbeží trus z drůbežárny, jedinou změnou, která by mohla zefektivnit výnos bioplynu je rozšíření vstupních surovin o odpady z nedalekých pekáren (například Tlučná, Město Touškov). Odpady z pekáren mají mnohem vyšší výnos bioplynu na tunu, což by snížilo požadované množství kukuřice a ušetřená část pole by se dala využívat k pěstování jiných plodin.



Graf 4: Výnos CH4 v závislosti na poměru vstupních surovin



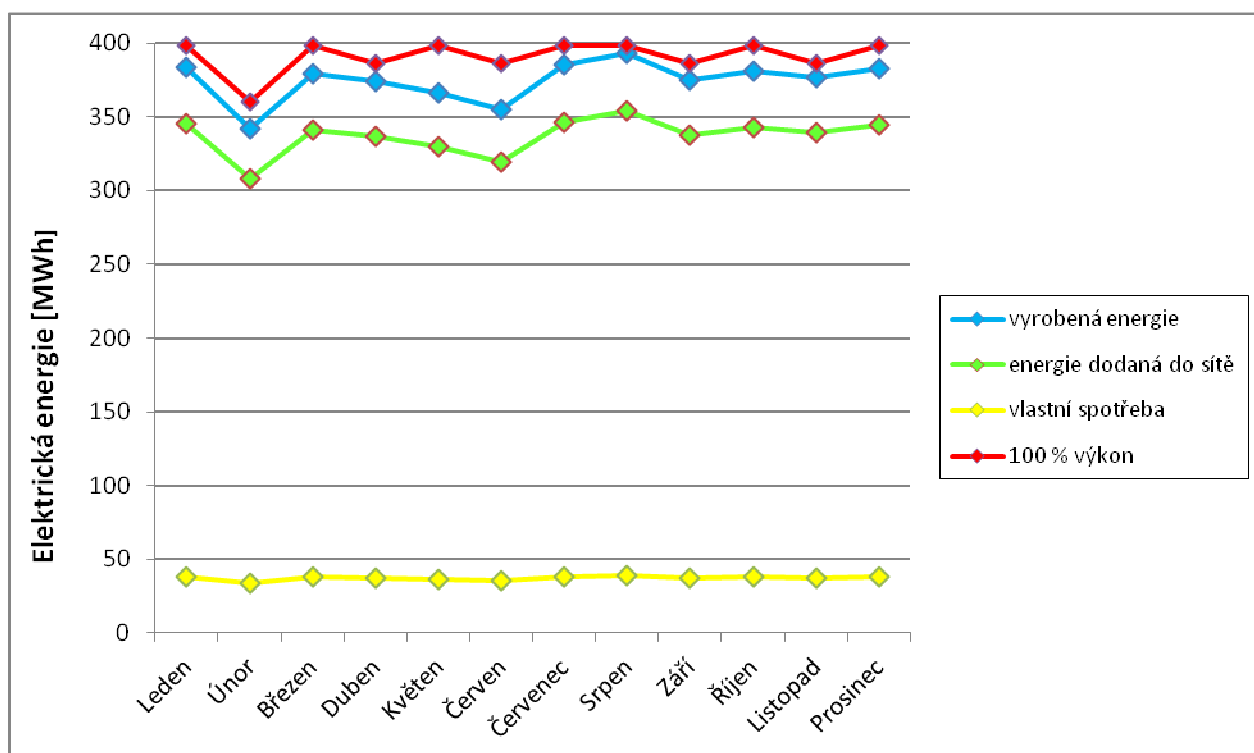
Graf 5: Výnos bioplynu na tunu vstupní suroviny [9]

4 Roční provoz BPS Vejprnice

4.1 Energetická bilance BPS Vejprnice

V minulosti byly BPS stavěny spíše pro zpracování těžko využitelných odpadů, jako je odpad z jatek nebo kejda. V současnosti jsou projektovány tak, aby provoz byl co nejvýnosnější vzhledem k prodeji elektrické energie za poměrně slušné výkupní ceny.

BPS Vejprnice byla navržena tak, aby využívala energetického potenciálu drůbežího trusu, který je produkován nedalekou drůbežárnou. O zpracování bioplynu se v BPS Vejprnice stará motor Deutz Power Systems s instalovaným výkonem 537 kW. Z grafu je patrný velký pokles vyrobené energie v měsících květnu a červnu. (viz Kapitola 6.1)



Graf 6: Energetická bilance

4.2 Ekonomická bilance BSP Vejprnice

4.2.1 Náklady

Vlastní energetická spotřeba BPS je přímo hrazena částí proudu přímo z KJ. Tato spotřeba zaujímá 10% z celkové vyrobené energie. Další náklady spojené s provozem BPS jsou mzdy obslužného personálu, údržba zařízení, pravidelný servis a monitoring zařízení.

Nejvýznamnější položkou jsou náklady na pořizování vstupních surovin, zejména kukuřice, protože náklady na drůbeží trus jsou takřka minimální, vzhledem k tomu, že drůbežárny se nachází v areálu BPS a travní siláž je přivážena do BPS na náklady obce Vejprnice. Celkové náklady na pěstování kukuřice jsou 1.050.000 Kč/rok, z čehož za 900.000 Kč je nakoupeno osivo a za zbylých 150.000 Kč je nakoupena nafta do zemědělských strojů obdělávajících pole s kukuřicí. Náklady na 1t kukuřice jsou zhruba 131 Kč.

4.2.2 Výnosy

Jediným zdrojem příjmů BPS Vejprnice jsou tržby z prodeje elektrické energie, protože zde ještě není využívána tepelné energie vznikající při spalování bioplynu v KJ.

Spalování bioplynu v BPS kategorie AF1 (zemědělské)	4,12 Kč za kWh
Spalování bioplynu v BPS kategorie AF2 (komunální)	3,55 Kč za kWh

Tabulka1: Výkupní ceny elektrické energie bioplynu za rok 2014

BPS Vejprnice spadá do kategorie AF1. V roce 2014 BPS Vejprnice dodala do sítě 4494 MWh za výkupní cenu 4,12 Kč za kWh, což činí čistý příjem 18.515.280 Kč.

4.2.3 Celkové zhodnocení ročního provozu BPS Vejprnice

Za rok 2014 BPS Vejprnice spotřebovala na výrobu bioplynu 8032 tun kukuřičné siláže, která je dodávána z 200 hektarového pole. Výtěžnost dostaneme podělením, což je 40,16 t/ha kukuřičné biomasy. Uvažujeme-li 35% obsah sušiny, tak se jedná o 14 t sušiny/ha.

Produkce bioplynu ze směsi dodávané do fermentoru (kukuřičná siláž, drůbeží trus, travní siláž +sláma) je $223,57 \text{ m}^3/\text{h}$ což je $5365,68 \text{ m}^3/\text{den}$. Průměrný podíl kukuřičné siláže v celkové hmotě je $66,6 \%$, ze které se vyprodukuje $3573,54 \text{ m}^3/\text{den}$. Průměrná denní spotřeba kukuřičné siláže je $21,9 \text{ t}$ s obsahem sušiny $7,67 \text{ t}$. Podělením vyprodukovaného bioplynu z kukuřičné siláže denní spotřebou sušiny dostaneme výtěžnost z tuny sušiny, která představuje $163,18 \text{ m}^3/\text{t}$ sušiny.

Vynásobením výtěžnosti bioplynu z tuny sušiny výtěžností sušiny na hektar, dostaneme produkci bioplynu $2284,52 \text{ m}^3/\text{ha}$. Průměrná denní produkce elektrické energie je $12265,03 \text{ kWh}/\text{den}$. Tuto produkci vydělíme produkcí bioplynu za den a dostaneme $3,43 \text{ kWh}$ elektřiny/ m^3 . Vynásobením produkce bioplynu z hektaru vyrobenou elektřinou na m^3 získáme $7835,9 \text{ kWh}/\text{ha}$. Hrubý zisk při výkupní ceně $4,12 \text{ Kč}$ za kWh činí $32283,9 \text{ Kč}/\text{ha}$. Po odečtu všech nákladů je však tato částka podstatně nižší

5 Zefektivnění provozu

5.1 Využití přebytkového tepla

Při spalování bioplynu v kogenerační jednotce vzniká velké množství tepelné energie. Tato energie pochází z chlazení motoru, oleje, plnicí směsi a výměníků tepla spalin. V minulosti nebyl obecně kladen takový důraz na její využívání. Vzhledem k tomu, že tepelná energie zaujímá více než 55% z celkové výroby, je nutné se problematikou využití této energie důsledně zabývat.

5.1.1 Současný stav

Přebytkové teplo v BPS Vejprnice je kromě vlastní spotřeby (dohřívání fermentorů) používáno pro vytápění sociálních zařízení a místností s velínem. Tato spotřeba tepla se pohybuje okolo 15% z celkové tepelné energie. Zbylých 85% tepelné energie je přes chladicí jednotku uvolňováno volně do atmosféry.

5.1.2 Technologie využívající přebytkové teplo

Teplo vznikající během spalování bioplynu by se podle mého názoru dalo využít na vytápění drůbežárny, která se nachází v areálu BPS. Díky krátké vzdálenosti by náklady na teplovody byly minimální. Další variantou využití přebytečného tepla by bylo vytápění nedalekých průmyslových objektů. Bohužel v případě BPS Vejprnice je toto řešení zatím nerealizovatelné kvůli nesouhlasu majitelů pozemků, přes které by měl vést teplovod.

Mezi nejčastěji využívané technologie na využití přebytkového tepla se řadí pásové sušárny, které dokážou usušit téměř jakýkoli materiál. Jejich výhodou je právě univerzálnost. Usuší materiály jako například obilí, vojtěška, kukuřice, ovoce, zelenina, piliny, dřevní štěpka, která je výborné topivo s výhřevností 8 - 15 MJ/kg, řepné řízky, kaly z odpadních vod, separovaný či neseperovaný digestát. Pásové sušárny dokážou pracovat v kontinuálním či semikontinuálním režimu a přizpůsobí se maximálně chodu BPS, potažmo celého zemědělského podniku. V nabídce jsou pásové sušárny do interiérových provozů i do venkovního prostředí odolné vůči vlivům počasí. Na tyto sušárny v mnohých případech navazuje peletizační linka, která vysušený digestát přemění za působení vysokého tlaku a teploty do formy granulí (pelet). Pelety lze pak využívat ke krmivářským účelům či spalovat (záleží na složení) anebo používat jako kvalitní topivo [10].

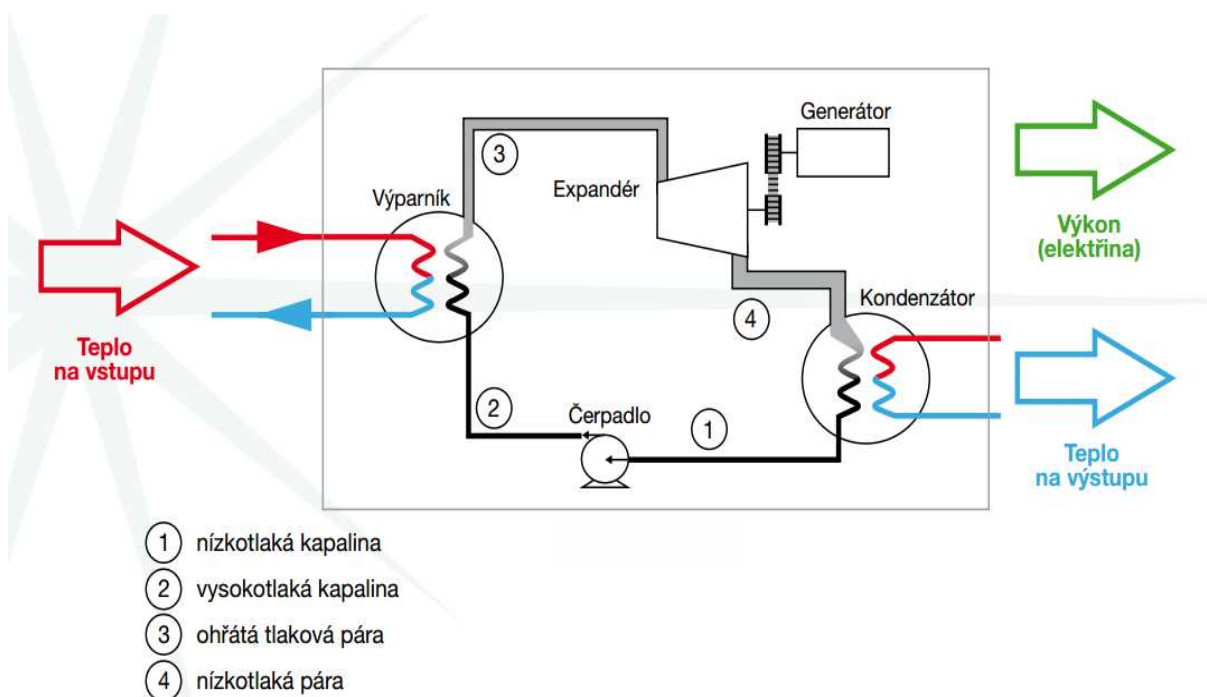
Další možností pro využívání přebytečného tepla je vytápění prostor pro chov teplomilných živočichů např. slepic a ryb. V našem případě se nabízí vytápění drůbežárny, která se nachází přímo v areálu BPS, a která je zdrojem vstupní suroviny do fermentoru.

Teplo vyprodukované kogenerační jednotkou je také možné využít na vytápění skleníků s květinami nebo zeleninou. V Nizozemsku je tato metoda velmi populární a dokonce je zde i recyklován CO₂, který je do skleníků volně vypouštěn a tím posiluje fotosyntézu a podporuje lepší růst rostlin. Tato technologie je v ekonomických podmínkách ČR nerealizovatelná, protože je velmi nákladná.

5.1.3 Jednotka s ORC turbínou

Organický Rankinův cyklus (ORC) je modifikací elektrárenského Rankine - Clausiova cyklu, od kterého se liší typem pracovního média. Namísto vodní páry pohánějící turbínu se zde používá organická kapalina s nižší teplotou vypařování při stejných pracovních tlacích. [11] Jednotka dokáže vyrábět bezemisní elektřinu z odpadního a technologického tepla již od 77 °C.

Přebytečné teplo z BPS je předáváno přes výparník pracovní kapalině, která zahřívá pracovní kapalinu na bod varu a přeměňuje ji na páru. Pára vstupuje do šroubového expandéru, který přeměňuje energii páry na energii mechanickou. Pára je dále ochlazena zdrojem studené vody v kondenzátoru a kondenzuje zpět do kapalné fáze. pracovní kapalina je čerpadlem dopravována zpět do výparníku. Poté se cyklus opakuje.



Obrázek 11: Schéma jednotky s ORC turbínou [12]

Výhody jednotky s ORC turbínou:

1. modulární a škálovatelná konstrukce
2. automatizovaný systém řízení a kontroly
3. jednoduché zapojení do hydraulického okruhu teplé (horké) vody KJ
4. maximální doba odstávky pro instalaci 6h
5. vzdálený monitoring a ovládání
6. celkové účinnosti výroby elektrické energie se zvýší o 12 %
7. stabilizaci celkové účinnosti KJ

Tato varianta využití přebytkového tepla je, domnívám se, pro provoz BPS Vejprnice nejefektivněji a nejekonomičtěji i s přihlédnutím na relativně vysoké počáteční náklady, které lze uhradit z prodeje elektrické energie vyrobené jednotkou během dvou let.

5.2 Využití přebytkové suroviny

5.2.1 Digestát

Stabilizovaný materiál v kapalné podobě - tzv. digestát je hlavním výstupem fermentačního procesu. Během fermentačního procesu přijde biomasa o velké množství organických látek (bílkoviny, uhlovodíky) díky bakteriím, které tyto látky spotřebovávají. Je redukováno i velké množství rozložitelného uhlíku, ale v materiálu zůstává žádoucí forma organického uhlíku (prekurzor humusových látek), a většina anorganických látek. Toto složení umožňuje použít digestát jako organominerální hnojivo, surovinu pro výrobu kompostu nebo rekultivační materiál. Lze ho převést i do tuhé formy, čímž se dají snížit náklady na skladování a zlepšit manipulaci. Vlastník BPS, který nemá pro digestát žádné využití, musí mít smluvně sjednaného odběratele. V BPS Vejprnice je veškerý digestát používán jako jediné hnojivo na pole, kde je pěstována biomasa, protože omezuje klíčivost semen plevelů, má požadovaný obsah živin (P, K, N), zlepšuje odolnost plodin. Toto využití digestátu je nejekonomičtěji a je jím zajištěn koloběh živin. Doba pro hnojení pole je omezena a je vždy prováděna dvakrát za rok, a to na konci léta a na začátku jara. V době mezi těmito obdobími je digestát skladován v koncovém skladu, který je popsán v kapitole 2.7.

5.2.2 Odpadní šťávy

Tyto šťávy vytékají jen v období, kdy je uskladňována kukuřičná siláž, která je při uskladňování udusávána. Tyto šťávy spolu s dešťovou vodou jsou svedeny do silážní jímky (viz kapitola 2.8). V případě naplnění silážní jímky je možno tyto šťávy přečerpat do koncového skladu anebo je podle potřeby postupně přidávat do fermentoru k naředění substrátu. Tyto šťávy musí být bezpečně skladovány. V případě úniku do povodí výrazně zvýší BSK₅, čímž se vyčerpá kyslík potřebný pro dýchání vodních živočichů a dojde k úhynu.

6 Spolehlivost bioplynové stanice

6.1 Výpadky z provozu

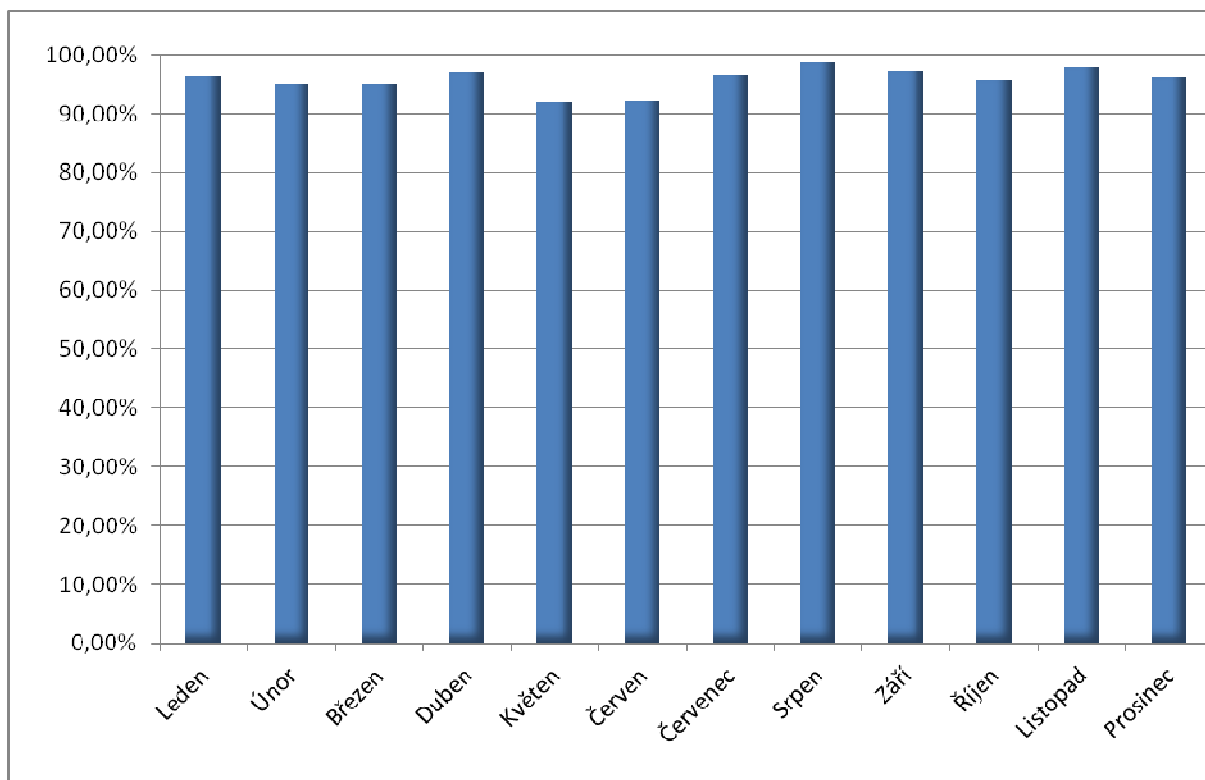
Výpadky z provozu BPS Vejprnice způsobují především výpadky kogeneračních jednotek. Proces probíhající ve fermentorech je pomalý a je závislý pouze na konstantní dodávce vstupních surovin. Na vnějších podmínkách je zcela nezávislý, proto zde výpadky z provozu nejsou možné. Nejčastěji dochází k výpadkům z provozu kvůli přepětí v síti. V tomto případě je aktivována ochrana v rozvodné skříni, která odstává kogenerační jednotku. K znovu nastartování jednotky je třeba dojezd do BPS, jinak lze celou technologii řídit přes mobilní telefon, pomocí speciální aplikace. Dojezd pověřených osob do BPS činí přibližně 10 minut a doba najetí jednotky na plný výkon je také 10 minut, když nejsou jiné problémy, tak celková doba výpadku se pohybuje mezi 20-30 minutami. Další výpadky může zapříčinit poškození některého z čidel. Výměna poškozeného čidla včetně dojezdu se pohybuje mezi 30-40 minutami. Přesný počet výpadků se v BPS Vejprnice neeviduje.

Kromě neočekávaných výpadků, musíme počítat i s výpadky spojené s pravidelnou údržbou kogenerační jednotky. Firma Deutz Power Systems uvádí v manuálu plán údržby jednotlivých součástí po určitých pracovních hodinách (viz Tabulka2).

V případě výpadku je každá BPS vybavena plynojemem (zásobníkem plynu), do kterého je zachytáván nadbytečný bioplyn. Po naplnění je třeba zásobník opět vyprázdnit. K vyprázdnění tohoto zásobníku je třeba, aby KJ jely na zvýšený výkon a tím postupně zásobník vyprázdnily, jinak by mohlo dojít k nechtěnému úniku bioplynu. Plynojem je schopen skladovat bioplyn velice krátkou dobu, a to maximálně 1 hodinu. V případě delšího výpadku se aktivuje na snížení přetlaku (fléra viz kapitola 2.6.2.), a také lze snížit produkci bioplynu přerušením přívodu živin do fermentoru.

Popis údržby	1500 prov. hodin	3000 prov. hodin	12000 prov. hodin	24000 prov. hodin	48000 prov. hodin
Kontrola vůle ventilu	X	X			
Údržba baterie	X	X	X	X	X
Kontrola ústrojí reg. Otáček	X	X	X	X	X
Výměna zapal. Svíček		X	X	X	X
Výměna vložky filtru oleje		X	X	X	X
Výměna filtru nasávacího vzduchu			X	X	X
Výměna nebo oprava hlav válců			X	X	X
Výměna vložek válců			X	X	X
Vyčištění turbodmychadla			X		
Čištění spalovacích prostor			X		
Výměna pryžových kompenzátorů					X
Kontrola hadicových vedení					X

Tabulka 2: Opatření údržby závislá na provozních hodinách motorů firmy Deutz Power Systems



Graf 7: Procentuální hodnota dodané elektrické energie z maximální možné

Celkovou dobu odstavení KJ lze zhruba vypočítat vydělením vyrobené energie energií, kterou by KJ vyrobila, kdyby jela celý rok bez výpadků. Z celkové roční doby 8760 h byla KJ v provozu 8384 h, což znamená, že byla odstavena 15dní 15hodin a 36 minut. Z grafu 6 lze pozorovat v měsících únoru, květnu a červnu pokles ve výrobě elektrické energie zapříčiněné výpadky z provozu. V měsíci květnu došlo k několika větším výpadkům, způsobených přetížením sítě a výměnou čidla. V měsíci červnu byla prováděna celková údržba a odstávka trvala 24 h.

6.2 Schopnost regulace sítě

Z hlediska technické úrovně a řízení patří Elektrická rozvodná soustava v České Republice k jedněm z nejlépe fungujících v Evropě. V minulém století nebyla otázka stability sítě zásadním problémem, protože OZE tvořili nepatrnou část energetických zdrojů elektrické energie. V posledních letech však došlo k rapidnímu nárůstu využívání OZE, zejména fotovoltaiky. Zásadním problémem těchto zdrojů je jejich závislost na počasí. Jejich výkon spolu s větrnou energií nelze předvídat. Touto nestabilní dodávkou vyvstává problém udržet poptávku po elektřině, její výrobu a distribuci ve vzájemné souhře. Při plném výkonu neřízených OZE se množství vyrobené energie dostává nad možnou spotřebu, což může vést až k celkovému zhroucení sítě tzv. Blackoutu.

Tato nadbytečná energie se musí neefektivním způsobem spotřebovávat. BSP, i když využívají OZE, dodávají elektrickou energii do sítě konstantně po celý den a nepodléhají vlivům počasí. Dokonce jej v určitých mezích regulovat.

Použití BPS pro regulaci sítě lze, ale vzhledem k současné legislativě by to znamenalo časové posunutí výroby elektrické energie a s tím spojené finanční ztráty. Současná legislativa podporuje jen velké regulační zdroje, jako jsou vodní přehradní elektrárny, které za malou chvíli dokážou vyprodukovat velké množství elektrické energie. Proto majitelé BPS nemají důvod investovat do zásobníků na bioplyn, které dokážou zadržovat bioplyn i několik hodin.

Za předpokladu vytvoření vyhovující legislativy by šel vytvořit tento model. Při nízké poptávce po elektrické energii by se snížil jmenovitý výkon, na 20-40% jmenovitého výkonu a po vytracení přetížení sítě by KJ najela např. na 120% jmenovitého výkonu, na což jsou tyto jednotky konstruovány. Toto opatření by zredukovalo špičkové výkony a tím stabilizovalo výrobu elektřiny v dané oblasti. Menší produkce bioplynu znamená ušlý zisk, který by dorovnaly vyšší výkupní ceny regulačního proudu. Aby BPS regulovaly potřeby sítě, je třeba perfektní provázání systému.

7 Závěr

Hlavním cílem této bakalářské práce byl rozbor provozu bioplynové stanice Vejprnice. Výstupy z tohoto rozboru mi posloužily k navržení některých opatření pro zefektivnění celého provozu a tím i zlepšení ekonomického stavu bioplynové stanice.

V práci jsem postupně popsal jednotlivé chemické procesy potřebné pro vznik bioplynu a podmínky, které ovlivňují jeho kvalitu. Poté jsem celou technologii na výrobu bioplynu rozebral na jednotlivé technologické celky, které jsem podrobně popsal, a tím jsem zjistil jejich úlohu v BPS.

V následující kapitole jsem se věnoval vstupním surovinám, kde jsem porovnal výnosy bioplynu jednotlivých vstupních surovin a zhodnotil jejich vliv na celý proces fermentace. V BPS Vejprnice je nejvíce spotřebovávána kukuřičná siláž, v menší míře drůbeží trus a travní siláž spolu se slámou jsou jen doplňkovou surovinou.

V další kapitole jsem se zabýval hospodařením BPS. Na základě údajů o vyrobené elektrické energii jsem stanovil veškeré náklady a výnosy spojené s výrobou bioplynu. Pomocí jednoduchých vzorců jsem spočítal teoretický energetický a finanční zisk na hektar kukuřice.

V další kapitole jsem hledal řešení pro využití přebytkového tepla, protože v BPS Vejprnice je využívána jen minimální část této energie pro vytápění kanceláře a sociálních zařízení. Uvedl jsem několik návrhů opatření vhodných přímo pro BPS Vejprnice.

V poslední kapitole jsem popsal důvody výpadků z provozu a zhodnotil celkovou spolehlivost dodávky elektrické energie do sítě, a tím i schopnost regulovat síť.

Bohužel zatím v České Republice není legislativa, která by podporovala BPS jako malý zdroj pro regulaci sítě.

Bioplynové stanice vyrábí čistou ekologickou energii a skvěle podporují koloběh živin v přírodě. Navrhoval bych proto vyšší výkupní ceny regulačního proudu na pokrytí finančních ztrát, a také i větší podporu na výstavbu nových BPS, které by se mohly začlenit mezi zdroje pro regulaci sítě.

Použitá literatura

- [1] Tvorba bioplynu. Bioplyn Schaumann [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://bioplyn.schaumann.cz/vyroba/vznik-bioplynu/>
- [2] Koukal F. - Bouda Z. - Bačáková M.: Energetický audit BPS Vejprnice, 2008
- [3] Agrobiomasa. Bioplynové stanice [online]. 2010 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.agrobiomasa.sk/index.php?s=8.2.1>
- [4] Biom. Bioplyn z odpadů živočišné výroby [online]. 2009 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: http://df.biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplyn-z-odpadu-zivocisne-vyroby?add_disc=1
- [5] Kombinovaná výroba elektřiny. Kombinovaná výroba [online]. 2010 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.kombinovana-vyroba.cz/?id=1505#>
- [6] Biom. Legislativa [online]. 2009 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/legislativa/fyto-legislativa/180-2005-sb>
- [7] Biom. Jan MOTLÍK a Jaroslav VÁŇA. Biomasa pro energii [online]. 2009 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-pro-energii-1-zdroje>
- [8] TZB info. Přehled energetických plodin, jejich vlastnosti a přepočty jednotek [online]. 2012 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/98-prehled-energetickyh-plodin-jejich-vlastnosti-a-prepocety-jednotek>
- [9] Biom. Teoretická výtěžnost surovin [online]. 2009 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/obrazek/obr-teoreticka-vyteznost-surovin>
- [10] Energie 21. Využití tepla z bioplynové stanice pro sušení [online]. 2013 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://energie21.cz/vyuziti-tepla-z-bioplynove-stanice-pro-suseni/>
- [11] Biom. Bioplynové stanice – podmínky a možnosti využití tepla [online]. 2009 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynove-stanice-podminky-a-moznosti-vyuziti-tepla>
- [12] Green Machine. Výroba elektrické energie z technologického a odpadního tepla bioplynových stanic [online]. 2011 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://www.gbconsulting.cz/dokumenty/slide-mail-cz.pdf>

Přílohy

Přílohy na CD:

Příloha 1: Evidence provozních hodnot 2014 BPS Vejprnice

Příloha 2: Evidence výroby el. energie 2014 BPS Vejprnice