

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Hodnocení provozu kogeneračních jednotek
spalujících bioplyn

Evaluation of the operation of co-generation
units with biogas combustion

2017

Tomáš Friedrich

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Friedrich**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: **Hodnocení provozu kogeneračních jednotek spalujících bioplyn**
Evaluation of the operation of co-generation units with biogas combustion
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky kombinované výroby elektřiny a tepla
2. Popis vybrané BPS s kogeneračními jednotkami
3. Zpracování dat získaných při jejím dosavadním provozu
4. Analýza a zhodnocení provozu celé BPS
5. Možnosti zefektivnění provozu hodnocené BPS

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Straka, F.: Bioplyn, Praha, 2006.
2. Schulz, H., Eder, B.: Bioplyn v praxi : teorie - projektování - stavba zařízení, Ostrava, 2004.
3. Dvorský E., Hejtmánková P. : Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie, Praha, 2005
4. Bartoš, V.: Obnovitelné zdroje energií, Grada Publishing, Praha, 2010
5. Tabašek, M.: Energetické využití bioplynu v kogenerační jednotce se spalovacím motorem, Disertační práce, Ostrava, 2007.
6. Kapitolová, M.: Bioplynová stanice s kogenerací a následné využití bioplynu, Diplomová práce, Ostrava, 2008.
7. Vyšejnová, T.: Výroba, úprava a využití bioplynu v energetice a dopravě, Diplomová práce, Plzeň, 2011.
8. Slavíková, D.: Vliv bioplynových stanic na životní prostředí, Diplomová práce, Ostrava, 2011.
9. Krbek, J., Polesný, B.: Kogenerační jednotky - zřízení a provoz, Praha, 2007
10. Česká bioplynová asociace <<http://www.czba.cz/>>
11. TDG 983 01: Vtláčení bioplynu do plynárenských sítí, Technická doporučení, Praha, 2010.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

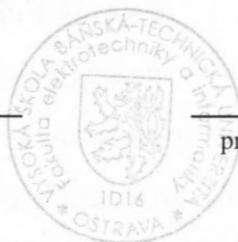
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Moldřík, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017



prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal

V Ostravě, dne: 12. dubna. 2017

Podpis.....

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Moldříkovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a metodické vedení práce. Také bych rád poděkoval panu Ing. Jaromíru Klimešovi za poskytnutí potřebných dat a informací.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou a hodnocením provozu bioplynové stanice. Úvodní část práce obsahuje základní informace týkající se kombinované výroby elektrické energie a tepla. Je zde uveden popis kogeneračních jednotek, druhy technologií i výhody spojené s využitím kogenerace. Další části se zaměřují na výrobu a využití elektrické energie a tepla na bioplynové stanici, a především na analýzu a hodnocení provozu. V poslední části jsou uvedeny metody pro vylepšení provozu bioplynové stanice.

KLÍČOVÁ SLOVA

Bioplynová stanice; kogenerace; kogenerační jednotka; bioplyn; elektrická energie; teplo;

ABSTRACT

This thesis focuses on the analysis and evaluation of the operation of biogas plants. The introductory part contains basic information regarding the combined production of electricity and heat. There is a description of cogeneration units, types of technologies and benefits associated with the use of cogeneration. Another section focuses on the production and use of electricity and heat for the biogas plant, and especially analysis and evaluation of the operation. The last section provides methods for improving the operation of biogas plants.

KEY WORDS

Biogas station; cogeneration; co-generation unit; biogas; electrical energy; heat;

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	8
Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	10
Úvod	11
1 Kogenerace	12
1.1 Kogenerační systém	12
1.2 Kogenerační jednotka	13
1.3 Druhy kogeneračních technologií	13
1.3.1 Kogenerace s parními turbínami	13
1.3.2 Kogenerace se spalovacími turbínami	14
1.3.3 Kogenerace plynovými spalovacími motory	15
1.3.4 Mikroturbíny	15
1.4 Výhody kogenerace	16
2 Výroba a využití elektrické energie a tepla BPS	17
2.1 Popis zvolené BPS	18
2.1.1 Technické údaje BPS	18
2.2 Bioplyn	20
2.2.1 Vznik bioplynu	20
2.2.2 Složení bioplynu	21
2.3 Suroviny pro výrobu bioplynu	22
2.4 Popis výroby elektrické energie a tepla BPS	22
3 Zpracování dat získaných při provozu BPS	24
3.1 Evidence údajů za rok 2013	24
3.2 Evidence údajů za rok 2014	27
3.3 Evidence údajů za rok 2015	29
3.4 Evidence údajů za rok 2016	31
4 Analýza a zhodnocení provozu celé BPS	33
4.1 Srovnání získaných dat	33
4.1.1 Elektrická energie	34
4.1.2 Teplo	34
4.1.3 Spotřeba bioplynu	35
4.1.4 Odběr elektrické energie ze sítě	35

4.2	Poruchy a havárie.....	36
5	Možnosti zefektivnění provozu hodnocené BPS.....	38
5.1	Trigenerace.....	38
5.2	Vytápění okolních budov.....	39
	Závěr.....	42
	Seznam použité literatury	43
	Seznam příloh.....	44

Seznam použitých symbolů a zkratek

BPS		bioplynová stanice
BRO		biologicky rozložitelné odpady
DKS		dolní kogenerační systém
HKS		horní kogenerační systém
KJ		kogenerační jednotka
KS		kogenerační systém
KVET		kombinovaná výroba elektřiny a tepla
E_{dod}	(kWh)	energie dodaná do distribuční sítě
E_S	(kWh)	skutečná výroba energie
E_T	(kWh)	teoretická výroba energie
E_{vl}	(kWh)	vlastní spotřeba
P_{el}	(kW)	elektrický výkon kogenerační jednotky
Q_{BPS}	(GJ)	teplo spotřebované bioplynovou stanicí
Q_S	(GJ)	teplo spotřebované pro vytápění budov a ohřev teplé vody
Q_V	(GJ)	vyrobené teplo
$Q_{zmař}$	(GJ)	zmařené teplo
d	(-)	počet provozních dnů v měsíci
h	(h)	počet hodin v provozu
η	(%)	výtěžnost

Seznam obrázků

Obr. 1 Blokové schéma kogeneračního systému.....	12
Obr. 2 Kogenerační jednotka.....	13
Obr. 3 Protitlaková turbína	14
Obr. 4 Kondenzační turbína.....	14
Obr. 5 Kogenerační jednotka s mikroturbínou	15
Obr. 6 Zemědělská bioplynová stanice.....	17
Obr. 7 Odpadová bioplynová stanice	18
Obr. 8 Jednotlivé fáze procesu vzniku bioplynu.....	21
Obr. 9 Evidence elektrické energie v roce 2013.....	26
Obr. 10 Evidence tepla v roce 2013	26
Obr. 11 Evidence elektrické energie v roce 2014.....	28
Obr. 12 Evidence tepla v roce 2014.....	28
Obr. 13 Evidence elektrické energie v roce 2015.....	30
Obr. 14 Evidence tepla v roce 2015.....	30
Obr. 15 Evidence elektrické energie v roce 2016.....	32
Obr. 16 Evidence tepla v roce 2016.....	32
Obr. 17 Celková spotřeba bioplynu	35
Obr. 18 Záznam odběru elektrické energie ze sítě	36

Seznam tabulek

Tab. 1 Srovnání statkových hnojiv	22
Tab. 2 Materiální vlastnosti substrátů	22
Tab. 3 Provoz BPS za rok 2013.....	24
Tab. 4 Provoz BPS za 1. poletí 2014.....	27
Tab. 5 Provoz BPS za 2. poletí 2014.....	27
Tab. 6 Provoz BPS za 1. poletí 2015.....	29
Tab. 7 Provoz BPS za 2. poletí 2015.....	29
Tab. 8 Provoz BPS za 1. poletí 2016.....	31
Tab. 9 Provoz BPS za 2. poletí 2016.....	31
Tab. 10 Srovnání jednotlivých ročních záznamů.....	33
Tab. 11 Množství nevyrobené energie kvůli odstávce BPS	37

Úvod

S neustále se zvyšujícím počtem obyvatel, rostou i požadavky na výrobu elektrické energie. Ve většině případů je energie vyráběna z fosilních paliv, proto se dostáváme do situace, kde je nutné brát ohled i na životní prostředí, a s ním související globální oteplování způsobené zvýšenou koncentrací skleníkových plynů. Kvůli tomu je zapotřebí zvážit i jiné metody pro výrobu elektrické energie. Jedna z možností, která vede ke snížení výskytu skleníkových plynů souvisí s bioplynovými stanicemi, které pomocí kogeneračních jednotek přemění bioplyn na elektřinu a teplo.

Společná výroba elektrické energie a tepla neboli kogenerace umožňuje efektivněji využívat energii paliva a tím snížit nejen potřebné finanční prostředky, ale i celkovou spotřebu paliva. V poslední době došlo díky dotacím z fondů EU k velkému rozmachu této technologie zejména v oblasti zemědělských bioplynových stanic. Zemědělské podniky využívají ze svých vlastních zdrojů potřebné suroviny na výrobu elektrické energie a následně mohou těžit z prodeje přebytečné energie do distribuční sítě.

Tato práce se zabývá analýzou a hodnocením provozu zvolené BPS od roku 2013 do roku 2016. První část práce se zaměřuje zejména na kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla, její princip, výhody a druhy technologií. Následně je tato část práce doplněna ještě o informace týkajících se výroby a provozu zvolené BPS. Je zde uveden například popis technického vybavení BPS, vznik bioplynu nebo popis výroby elektrické energie a tepla.

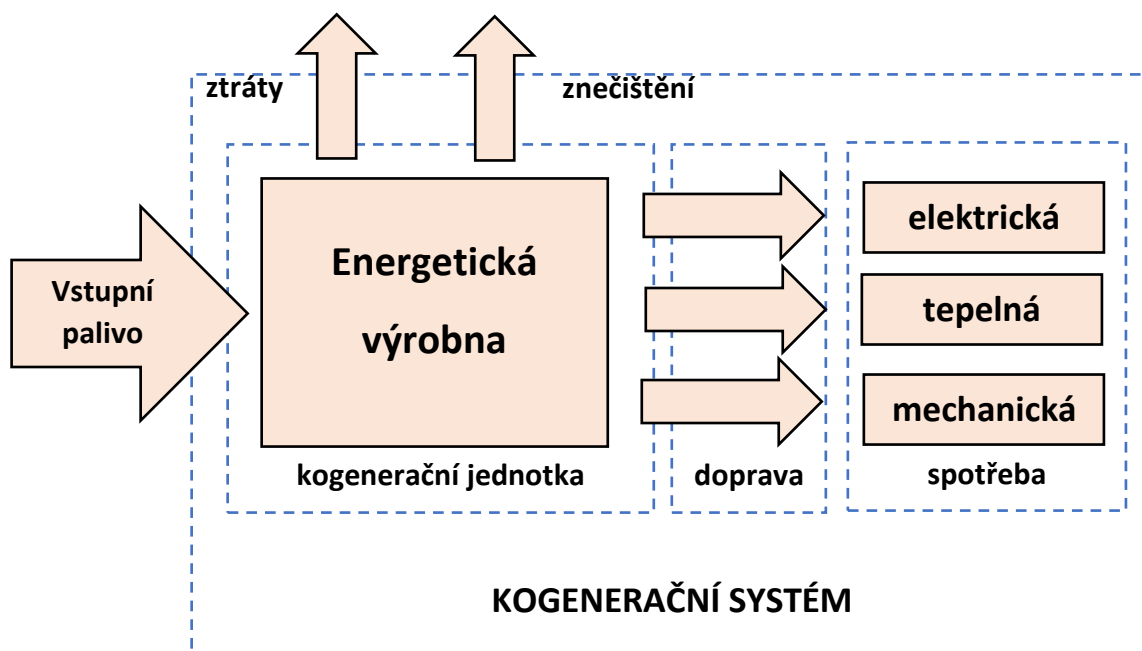
Druhá část práce je tvořena zpracováním a vyhodnocením získaných údajů o provozu BPS. Pomocí grafického vyobrazení je možné vidět kolik energie se vyrobily v jednotlivých měsících nebo kolik energie bylo dodáno do distribuční sítě. Do této části práce patří i poslední část, a to metody zefektivnění provozu BPS.

1 Kogenerace

Kogenerace neboli kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET) přeměňuje energii vstupního paliva na energii elektrickou a tepelnou. Během procesu výroby elektřiny vzniká také teplo, které je spolehlivě, ale hlavně i efektivně využíváno k ohřevu teplé vody nebo vytápění objektu. Dochází tedy nejen k šetření paliva, ale i životního prostředí. [1,2]

1.1 Kogenerační systém

Výrobu jednotlivých energií společně s jejich dopravou má na starosti kogenerační systém (KS). Ke kogeneračnímu systému patří nejen kogenerační jednotka zajišťující výrobu elektrické energie, ale i systémy pro její dopravu a spotřebu.



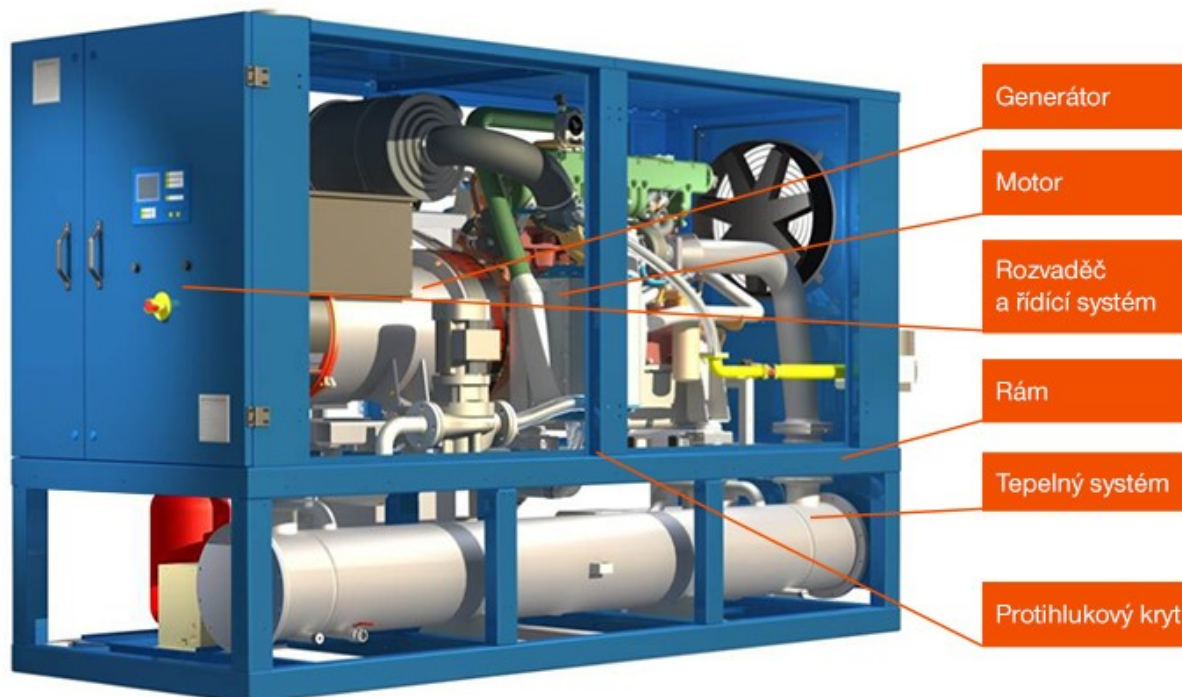
Obr. 1 Blokové schéma kogeneračního systému [1]

Dle pořadí vyráběných energií lze KS rozdělit na horní (HKS) a dolní (DKS) kogenerační systémy. U HKS se nejprve získává tepelná energie o vysokých parametrech použitelná k technologickým účelům. Následně dochází k přeměně této zbytkové energie pomocí tepelného motoru a generátoru na elektrickou. Tato metoda je kvůli potřebě vysokých vstupních teplot tepelného oběhu méně využívanou. Tento systém není moc využíván, protože k efektivnímu získání práce je potřeba vysoká vstupní teplota.

Oproti tomu u dolního kogeneračního systému se nejprve vyrobí elektrická energie a užitečná tepelná energie je získána z odváděného tepla tepelného oběhu. [1,2]

1.2 Kogenerační jednotka

Pomocí kogenerační jednotky se přemění energie vstupní suroviny na elektrickou energii a teplo. Hlavní části KJ tvoří spalovací motor, generátor, tepelný systém, rozvaděč a řídicí systém. Speciálně upraveným motorem dochází ke spalování paliva. Během tohoto procesu se uvolňuje energie, která slouží k roztočení generátoru a také teplo použitelné k vytápění objektu a ohřevu teplé vody pro odběratele nebo k absorpčnímu chlazení. Odvod tohoto odpadního tepla je realizován pomocí chladicí vody do tepelného systému tvořeného dvěma výměníky. [3]



Obr. 2 Kogenerační jednotka [4]

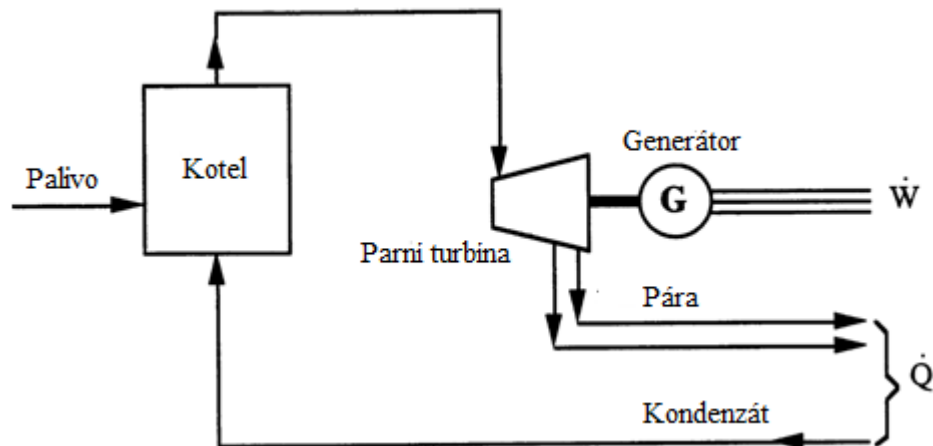
1.3 Druhy kogeneračních technologií

Podstata společné produkce elektrické energie a tepla je již několik let využívána v rámci tepláren nebo paroplynových elektráren. V poslední době došlo k velkému rozmachu technologii v oblasti kombinované výroby elektřiny a tepla. Tento rozvoj se týká zejména KJ v řádu desítek kW až jednotek MW spalujících zemní plyn nebo bioplyn. [4]

1.3.1 Kogenerace s parními turbínami

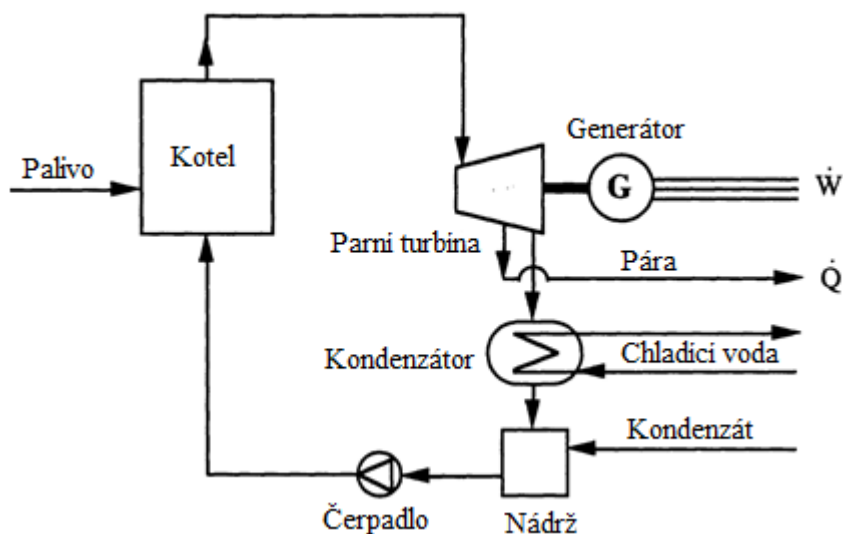
Parní turbíny během procesu kombinované výroby, umožňují spalovat libovolné druhy paliv jako uhlí, plyn nebo tuhé komunální odpady. Tyto turbíny se dělí na protitlakové a kondenzační.

Protitlaková turbína – výstupní parametry páry jsou nízké, proto lze získané teplo využít jen pro ohřev vody. U protitlakových turbín není možné vyrobit elektrickou energii bez dodání potřebného tepla. Výstupní pára expanduje v turbíně a vytváří mechanickou energii potřebnou pro pohon generátoru. Výhodou protitlakové turbíny je její jednodušší konfigurace poskytující vyšší účinnost, než je tomu u kondenzační turbíny. Její nevýhodou oproti kondenzační je potřeba větší turbíny při stejném výkonu. [1,2]



Obr. 3 Protitlaková turbína [4]

Kondenzační turbína – U těchto turbín se uplatňuje zejména výroba elektrické energie. Výstupní pára z turbíny směřuje do kondenzátoru, ale nelze ji využívat pro kogenerační účely. Tím dojde k maximalizaci zisku elektrické energie, čímž se stává nezávislou na dodávce tepla, které může být dodáváno odběrem páry v průběhu její expanze v turbíně. [1,2]



Obr. 4 Kondenzační turbína [4]

1.3.2 Kogenerace se spalovacími turbínami

Spalovací turbína je tvořena kompresorem, spalovací komorou, plynovou turbínou, elektrickým generátorem a pomocnými zařízeními. Kompresorem dojde k nasání vzduchu a následně k jeho stlačení na stanovený tlak. Tento stlačený vzduch míří do spalovací komory, v níž dojde ke spalování palivu při konstantním tlaku. Jako palivo se používá topný olej nebo zemní plyn. Výsledkem je vznik spalin o vysoké teplotě a tlaku. Tyto spaliny expandují v plynové turbíně. Touto turbínou se pohání kompresor a nadbytečný výkon se použije pro chod elektrického generátoru. [2]

1.3.3 Kogenerace plynovými spalovacími motory

Složení spalovacího motoru je podobné jako u automobilu jen je potřeba vhodně upravit palivový systém a spalovací prostor, aby bylo možné spalování zemního plynu nebo bioplynu. Spalovací motory v oblasti kogenerace se běžně vyrábějí pro výkony od 200 kW do 5MW. Využití paliva dosahuje účinnosti blížící se 90 %. Plynové spalovací motory dělíme:

- Vznětové
- Zážehové

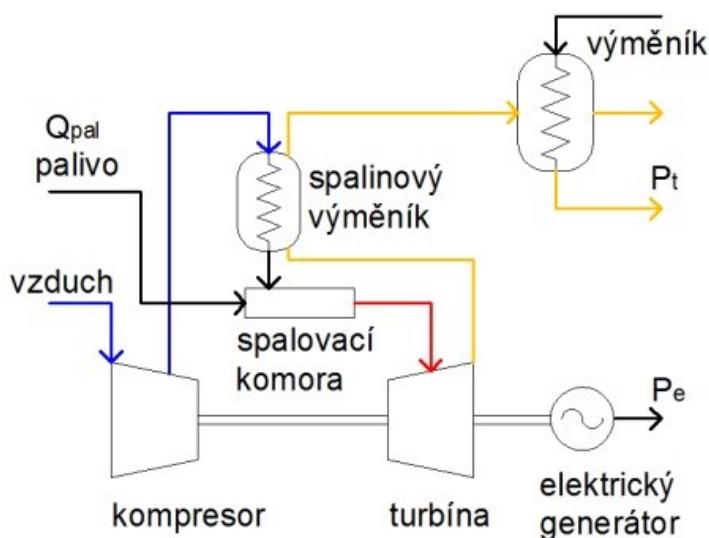
Vznětové motory – Do spalovacího prostoru je pod tlakem nasát vzduch, který je stlačován pístem. Během stlačování se vzduch ohřeje na 550–800 °C. Tryskou se pod tlakem vstříkne palivo, které začne hořet vlivem horkého stlačeného vzduchu. Vznětové motory se využívají pro instalovaný výkon nad 250 kW_{el}. Účinnost tohoto motoru se pohybuje v rozmezí 35–45 %, živostnost dosahuje zhruba 36 000 hodin.

Zážehový motor – Zapálení směsi paliva a vzduchu se provede elektrickou jiskrou, kterou vytvoří zapalovací svíčka. V porovnání se vznětovým motorem dosahuje nižší účinnosti 27–43 %. Instalovaný výkon se pohybuje v rozmezí 100 kW_{el}–1 MW_{el}. Životnost těchto motorů je zhruba 60 000 hodin [2,4]

1.3.4 Mikroturbíny

Jedná se o plynové turbíny malého výkonu pracujících při vysokých otáčkách 100 000 ot/min. Proto je nezbytné využívat vysokofrekvenční generátor s možnou úpravou parametrů elektrické energie. Oproti velkým plynovým turbínám pracují mikroturbíny s radiálním prouděním pracovního média, kterým se dosáhne větší účinnosti, menších ztrát sáláním a větší úspory místa při malých výkonech.

Rekuperátorem neboli spalínovým výměníkem pro ohřev vzduchu se dosáhne vyšší účinnosti, ale zároveň dojde i k poklesu teploty využitelné při dodávce tepla. S výkonem výměníku rostou i jeho finanční náklady. Mikroturbíny se vyrábějí od 30–350 kW dosahující účinnosti 65–80 %. Podobně jako u velkých plynových turbín je možné jako palivo použít zemní plyn nebo benzín či naftu. [1]



Obr. 5 Kogenerační jednotka s mikroturbínou [4]

1.4 Výhody kogenerace

- Využitím odpadního tepla vzniklého při výrobě elektrické energie dosahují KJ vysoké účinnosti
- Efektivní zpracování primárního paliva vede k finančním úsporám
- V případě, že kogenerační jednotky vyrobí přebytek energie, je možné tuto přebytečnou energii dodávat do rozvodné sítě nebo prodat zákazníkovi a získávat pravidelný finanční příjem.
- Decentralizací a situováním KJ v místě spotřeby energií, odpadají ztráty energie vzniklé přenosem tepla
- Většina kogeneračních jednotek je schopna ostrovního režimu
- V případě nouze lze kogeneraci využít jako záložní zdroj dodávající elektrickou energii a teplo.
- Kogeneraci lze využít nejen jako zdroj elektřiny a tepla, ale i jako chladicí jednotku tzv. trigeneraci, kterou uživatelé uvítají zejména v teplých letních měsících.
- Úspora paliva vede i ke snížení emisí, které mají dopad na životní prostředí.
- Zvýšení zabezpečení dodávek energie v dané lokalitě.
- Zlepšení vlastností substrátu vystupujícího z BPS. [5,11]

2 Výroba a využití elektrické energie a tepla BPS

Bioplynová stanice (BPS) je technologické zařízení, které pro zpracování vstupních organických materiálů či odpadů využívá anaerobní digesce neboli fermentaci. Anaerobní digesce slouží k rozkladu organických materiálů pomocí mikroorganismů bez přístupu vzduchu. Výsledkem této procedury je nejen bioplyn, který lze využít pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla, ale i digestát použitelný jako hnojivo zemědělských plodin.

Podle použitých vstupních materiálů lze rozdělit bioplynové stanice:

- Zemědělské
- Odpadové

Zemědělská bioplynová stanice – spadá do skupiny nejrozšířenějších BPS. Pro výrobu bioplynu využívá energetické vstupní suroviny jako kukuřice nebo travní senáže. Ke zvýšení účinnosti je vhodné tyto suroviny doplnit kejdou nebo hnojem. Výhody této BPS jsou poměrně levná technologie, nenáročný provoz, využití vzniklého digestátu jako hnojiva ostatních zemědělských plodin, prodej přebytečné elektrické energie do distribuční sítě, snížení emisí. Nevýhodou je odpadní teplo, které zejména v letních měsících nemá vhodné uplatnění a je vypouštěno do ovzduší. [6,7]



Obr. 6 *Zemědělská bioplynová stanice* [14]

Odpadová bioplynová stanice – slouží ke zpracování biologicky rozložitelných odpadů (BRO) jako jsou komunální odpady, zemědělské odpadky nebo prošlé potraviny. Před vstupem do fermentoru je potřeba, aby tento odpad prošel fázemi třídění, drcení a zahřátím kvůli odstranění choroboplodných zárodků. Pro správný proces fermentace je tedy nutné jeho řízení. Nevýhodami oproti zemědělské BPS jsou vysoké pořizovací náklady, náročnější technologie zpracování odpadu, nižší výkupní cena elektřiny. Výhodou je naopak získání financí nejen z prodeje energií, ale i ze zpracování již zmíněných odpadů. [6,7]



Obr. 7 *Odpadová bioplynová stanice* [6]

2.1 Popis zvolené BPS

Pro bakalářskou práci jsem si vybral bioplynovou stanici, která se nachází v Olomouckém kraji. Jedná se o zemědělskou BPS, která byla uvedena do provozu v roce 2013. Tato BPS je využívána akciovou společností, která si suroviny potřebné k výrobě elektřiny a tepla dodává z vlastních zdrojů. Jedná se především o kukuřičnou siláž a hovězí kejdu. Uplatnění vyrobené elektrické energie je zejména pro napájení hlavní kancelářské budovy, zemědělské dílny, sušárny, ale také samotné BPS. Teplo pak následně slouží k vytápění vyhřívacích nádrží a ohřevu teplé vody v budovách. Mimo těchto způsobů slouží BPS hlavně pro prodej a dodávku elektrické energie do distribuční sítě.

2.1.1 Technické údaje BPS:

Kraj:	Olomoucký
Druh:	Zemědělská BPS
Uvedení do provozu:	11. září 2013
Roční doba provozu:	Nepřetržitý provoz

Kogenerační jednotka:

Typ:	BGA 158 BRs
Motor:	SCANIA – SCHNELL
Výkon elektrický:	2x 275 kW
Výkon tepelný:	2x 290 kW
Tepelný příkon v palivu:	2x 657 kW
Účinnost elektrická:	41,8 %
Účinnost tepelná:	44,0 %
Celková účinnost:	85,8 %
Spotřeba bioplynu:	128 m ³ /hod
Jmenovité otáčky:	1 500 ot / min
Objem válců:	12.000 cm ³
Rozměry:	d 3,7 m x š 1,5 m x v 1,8 m
Váha:	3 000 kg
Generátor:	Leroy LSA47 2M7 410 Kva

Fermentor

Vstupní suroviny:	kukuřičná siláž 19,18 t/den hovězí hnůj 22,08 t/den povrchová voda 7,00 t/den
Objem:	1 630 m ³
Výška:	6 m
Průměr:	20 m
Doba zdržení:	34 dnů
Teplota:	40-45 °C
Obsah sušiny:	35 % kukuřičná siláž 18 % hovězího hnoje 7-12 % povrchové vody
Obsah metanu:	52 %

Dofermentor:

Objem:	1 970 m ³
Výška:	6 m
Průměr:	22 m
Doba zdržení:	41 dnů
Teplota:	41 °C

Skladovací jímka

Průměr:	36 m
Výška:	8 m
Objem:	7 940 m ³ stabilizovaného digestátu

Flóra pro spalování bioplynu:

Typ:	FBP-80
Průtok bioplynu:	80 m ³ /hod max. množství spal. Bioplynu
Hmotnost:	800 kg
Tepelný výkon:	480 kW
Tlak bioplynu:	0–5 kPa
Napěťová soustava:	1 PEN 50 Hz 230 V / TN-S

2.2 Bioplyn

Bioplyn neboli plynná směs metanu a oxidu uhličitého vznikající během procesu fermentace, se řadí do skupiny obnovitelných zdrojů energie. Využitelnost bioplynu je zejména jako palivo během procesu kogenerace umožňující společnou výrobu elektřiny a tepla. Bioplyn vstupuje do spalovacího motoru vytvářejícího mechanickou energii, kterou se uvede do provozu generátor, generující elektrickou energii. Dále může být bioplyn využíván při výrobě elektřiny v palivových člancích nebo jako pohon pro dopravní prostředky. [8]

2.2.1 Vznik bioplynu

Anaerobní fermentací neboli biologickým procesem rozkladu organické hmoty se zamezeným přístupem kyslíku dochází k vytvoření bioplynu. Tento děj je v přírodě běžný například v rašeliništích, na dně jezer, v sedimentech nebo v trávicích ústrojích přežvýkavců. K rozkladu organické hmoty je nutné zajistit dostatečně vlhké prostředí bez přístupu vzduchu, světla a se stálou teplotou. Celý proces vzniku bioplynu můžeme rozdělit do 4 kroků, kde produkt jedné skupiny mikroorganismů se stává substrátem pro další:

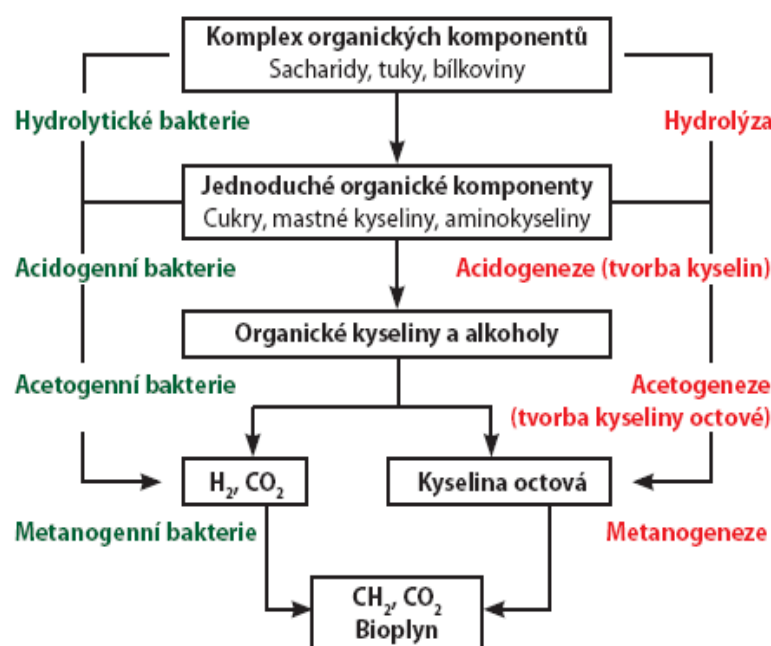
Hydrolyza – první krok celého procesu, ve kterém dochází k rozkladu látek typu polysacharidů, bílkovin a tuků na jednodušší formy jako aminokyseliny, nebo monosacharidy. Rychlost rozložení materiálů obsahujících bílkoviny a tuky je mnohem rychlejší než u polysacharidů. Během tohoto procesu se uvolňuje také vodík a oxid uhličitý.

Acidogeneze – druhý krok procesu, kde produkty hydrolyzy jsou dále rozkládány kyselinotvornými bakteriemi na jednodušší látky jako alkoholy, kyseliny. Fermentací těchto látek dojde k vytvoření redukováných produktů závislých nejen na kvalitě substrátu, ale i na prostředí.

Acetogeneze – třetí krok zajišťuje další štěpení substrátu na vodík, oxid uhličitý a tvorbu kyseliny octové sloužící jako spojovací článek během procesu vzniku metanu.

Metanogeneze – poslední krok vede k rozkladu kyseliny octové metanogenými bakteriemi na metan. Během tvorby metanu je potřeba dodržet určité pracovní podmínky, protože celý proces je závislý na teplotě, přístupu vzduchu a světla.

Anaerobní procesy lze z hlediska reakčních teplot rozdělit na psychrofilní (5–30 °C), mezofilní (30–40 °C), termofilní (45–60 °C) a extrémně termofilní (nad 60 °C). V oblasti zemědělských BPS jsou nejčastěji využívány ve vyhřívacích nádržích mezofilní procesy při teplotách (38–42 °C)



Obr. 8 Jednotlivé fáze procesu vzniku bioplynu [15]

2.2.2 Složení bioplynu

Bioplyn je plyn, který tvoří hlavně 50–75 % metan (CH_4), 25–45 % oxid uhličitý (CO_2). Mimo těchto zmíněných složek obsahuje také 6–8 % zbytkových plynů jako kyslík, dusík, vodík nebo čpavek. Poměrem metanu k oxidu uhličitému se stanoví kvalita bioplynu.

Pro výrobu kvalitního bioplynu je potřeba dosáhnout, co nejvyššího obsahu metanu a naopak co nejnižšího obsahu oxidu uhličitého. Pokud by nebyla splněna tato podmínka, docházelo by k zředování bioplynu a zhoršení jeho kvality. Množství metanu v bioplynu je možné ovlivnit pomocí těchto kritérií:

Průběh procesu – U dvoustupňových bioplynových stanic dochází k výrobě bioplynu ve dvou etapách. Plyn vzniklý v první etapě se skládá z velkého množství oxidu uhličitého a zbytkových plynů. Takto složený plyn není energeticky vhodný, a proto je potřeba jej odvádět již v této fázi. Díky této redukci je možné vyrobit ve druhé úrovni plyn obsahující velké množství metanu pohybujícího se až kolem 80 %

Skladba živin v substrátu – Strukturou a kvantitou použitého substrátu je ovlivňována nejen kvalita, ale i množství produkovaného bioplynu. Z látek, které jsou bohaté na tuky a proteiny je možné vyrobit plyn s vyšším obsahem metanu, než je tomu u uhlovodíků a bílkovin. U uhlovodíků je obsah metanu asi 50 % kdežto u proteinů a tuků 71 % respektive 68 %.

Teplota substrátu – Teplotou substrátu ve fermentorech můžeme ovlivnit celou řadu procesů majících vliv na kvalitu bioplynu. Příkladem může být rychlost vyhnívání, která je na teplotě hodně závislá. Zvýšení teploty způsobí rychlejší rozklad, vyšší produkci plynu, ale nižší obsah metanu. Dále může být ovlivněna doba kontaktu, které mají za následek snížení nebo zvýšení plynového výkonu a výnosu plynu. Proto je důležité, aby se teplota ve fermentorech pohybovala podle předem stanovených hodnot. [9]

2.3 Suroviny pro výrobu bioplynu

Bioplynová stanice, kterou jsem se rozhodl použít pro svou práci, je provozována akciovou společností zaměřující se na chov hovězího dobytka a pěstování zemědělských plodin jako kukuřice nebo obilí. Vstupní suroviny BPS pocházejí z vlastních zdrojů. Jedná se hlavně o hovězí kejdu poskytující směs tuhých a tekutých exkrementů zvířat v kombinaci s kukuřičnou siláží nabízející vysoký výnos energie a travní siláží v určitém poměru. BPS musí pro svůj provoz denně dodat 19,18 t kukuřičné siláže, 22,08 t hovězí kejdy a 7 t povrchové vody určené k ředění těchto vstupních surovin. Za jeden den se do fermentoru dopraví přibližně 11,129 t organické sušiny.

Srovnání jednotlivých surovin a jejich následný výnos bioplynu a obsah metanu jsou uvedeny v tabulce 1 a 2.

Tab. 1 Srovnání statkových hnojiv

Substrát	výnos plynu		obsah metanu
	(m ³ /t substrátu)	(m ³ /t org. sušiny)	(%)
Kejda skotu	20–30	200–500	60
Kejda prasat	20–35	300–700	65–70
Hnůj skotu	40–50	210–300	60
Hnůj prasat	55–65	270–450	60
Hnůj drůbeže	70–90	250–450	60

Tab. 2 Materiální vlastnosti substrátů

Substrát	Sušina (%)	Org. sušina (% sušiny)	Výnos bioplynu		Obsah metanu (%)
			m ³ /t čerstvé hmoty	m ³ /t sušiny	
Kukuřičná siláž	20–30	85–95	170–200	450–700	50–55
Travní senáž	25–50	70–95	170–200	550–620	54–55
Krmná řepa	12	75–85	75–100	620–850	53–54
Cukrová řepa	23	90–95	170–180	800–860	53–54

2.4 Popis výroby elektrické energie a tepla BPS

Pro ekonomicky efektivní provoz BPS je nutné zajistit dodávku kvalitního a dostatečného množství vstupních surovin. Proto akciová společnost provozuje BPS v prostorách vlastního areálu, aby byla doprava těchto materiálů co nejjednodušší.

Pro přesné dávkování kukuřičné siláže a hovězí kejdy, je použito automatizované dávkovací zařízení s posuvným čelem a kontejnerovým zásobníkem složeného ze dvou rozdružovacích šneků a jednoho šnekového podavače, jenž nasměruje tyto suroviny do fermentoru. Kromě této pevné biomasy je čerpána ještě voda ze vstupní jímky za účelem ředění. Suroviny jsou uskladněny ve fermentoru bez přístupu vzduchu 34 dní. Mechanickým zpracováním a rozmělněním vstupních surovin dochází k rychlejšímu nástupu fermentace.

Fermentor a dofermentor jsou velké, kruhové, betonové vyhnívací nádrže, ve kterých dochází k aerobní digesci. Vytápěním stěn na teplotu v rozmezí 39–42 °C a hermetickým uzavřením prostoru nádrží se dosáhne potřebného procesu vyhnívání. Zamezení přístupu vzduchu do fermentoru

a dofermentoru je realizováno pomocí 1,5 mm elastické membrány z polymerového kaučuku poležené na dřevěné konstrukci nádrže. Proces uvnitř nádoby je možno rozdělit na dvě části. Ve spodní části pravidelným promícháváním vstupního substrátu pomalu běžícím lopatkovým míchadlem dochází nejen k samotné fermentaci, ale i k zabránění vytvoření pevné krusty zamezující propustnost bioplynu. V horní polovině se skladuje vzniklý bioplyn, jenž způsobuje nafukování membránového plynojemu.

Pomocí excentrických šnekových čerpadel se fermentát po uplynutí 34 dnů přečerpává do dofermentoru. Zde je promícháván již s nižším obsahem sušiny, než je tomu u fermentoru a uchováván dalších 41 dnů. Celý proces potřebný pro vytvoření bioplynu trvá 75 dní. Mimo to zde vzniká i stabilizovaný digestát, který je přečerpáván do skladovací jímky a následně používán jako hnojivo zemědělských plodin.

Vzniklý bioplyn s průměrným obsahem 50–60 % metanu se odebírá ze zásobníku nad vyhnívací nádrží. Aby mohl být motorem kogenerační jednotky spálen a přeměněn na elektrickou a tepelnou energii je potřeba jej vhodně upravit.

Jednou z úprav je chlazení a odvlhčení bioplynu kondenzačním potrubím pod zemí, kde dojde k ochlazení a kondenzaci vlhkosti. K zamezení výskytu vysoké vlhkosti mající neblahý vliv na KJ, jsou na výstupu potrubí instalovány moduly pro úpravu bioplynu umožňující dochlazení plynu.

Další úpravou je biotechnické odsíření sloužící k odbourávání sirovodíku pomocí vhánění malého množství vzduchu přímo do fermentoru. Konečné dočištění bioplynu se provádí pomocí filtru s aktivním uhlím, jenž odstraňuje z plynu zbytek sirovodíku. Celý proces odsíření pomáhá k prodloužení životnosti motorů kogeneračních jednotek. Pro kontrolu a automatickou úpravu bioplynu je potřeba pravidelného měření obsahu metanu, oxidu uhličitého, sirovodíku a kyslíku. Tím se dosáhne vysokého stupně efektivity a bezpečnosti provozu

Po úplném očištění je bioplyn veden do kompresoru, kde dojde k jeho stlačení na potřebný tlak pro spalování a nasměrování při teplotě 5 °C do spalovacího motoru kogeneračních jednotek, jenž umožní roztočení generátoru a tím přeměnu mechanické energie na potřebnou elektrickou a tepelnou energii. Elektřina je využívána nejen pro napájení kancelářské budovy, zemědělské dílny a samotné bioplynové stanice, ale je také pomocí transformátoru 0,4 / 22 kV dodávána do distribuční sítě.

Vzniklé zbytkové teplo je v chladnějším ročním období účelně uplatněno pro vytápění hlavní kancelářské budovy, zemědělské dílny, stěn vyhnívacích nádrží nebo sušárny. V letním období je velká část tohoto tepla mařena na nouzovém chladiči.

V případech nouzového odstavení kogeneračních jednotek, je vzniklé množství bioplynu spalováno pomocí automatické stacionární fléry a vypouštěno do ovzduší.

Provoz BPS je automatizován centrálním počítačem, jenž umožňuje kontrolu a řízení veškerých zařízení a technologických procesů stanice. Je možné kontrolovat a ovládat například posuv čela dávkovacího zařízení, maximální hladinu zaplnění v jímce, čerpadla na vstupu tekutého materiálu do fermentoru nebo míchadla.

3 Zpracování dat získaných při provozu BPS

Získaná data pro vypracování bakalářské práce jsou datována od samotného začátku provozu BPS tedy od 11. září 2013 až do prosince roku 2016. Akciová společnost provozující BPS mi poskytla v několika etapách potřebné informace týkající se provozu jednotlivých částí stanice.

V první etapě jsem byl seznámen se základy provozu BPS. Díky prohlídce jednotlivých částí a odbornému výkladu jsem si udělal představu o provozu celé stanice. Další etapa byla zaměřena na získání potřebných dat ke zpracování bakalářské práce. Byly mi poskytnuty nejen evidenční údaje o provozu, ale také technické údaje jednotlivých částí BPS.

3.1 Evidence údajů za rok 2013

Tab. 3 Provoz BPS za rok 2013

Měsíc	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Teoretická výroba energie (kWh)	396 000	409 200	396 000	409 200
Spotřeba ze sítě (kWh)	810	71	37	16
Dodávka do sítě (kWh)	141 910	346 030	347 229	375 747
Výroba energie (kWh)	158 886	377 405	376 408	406 870
Vlastní spotřeba (kWh)	16 976	31 375	29 179	31 123
Výroba tepla (GJ)	603,19	1432,77	1428,98	1544,63
Spotřeba tepla (GJ)	151,86	892,38	1079,24	812,18
Zmařené teplo (GJ)	451,33	540,38	349,75	732,45
Spotřeba bioplynu (m ³)	81 624	185 424	184 872	193 440
Výtěžnost (%)	35,84	84,56	87,68	91,82

Měsíční teoretická výroba energie:

$$E_T = P_{el} \cdot d \cdot h = 2 \cdot 275 \cdot 30 \cdot 24 = 396\,000 \text{ kWh}$$

E_T – teoretická výroba energie (kWh)

P_{el} – elektrický výkon KJ (kW)

d – počet dnů v měsíci (-)

h – počet hodin v provozu (h)

Výtěžnost:

$$\eta = \frac{E_S - E_{vl}}{E_T} \cdot 100 = \frac{158886 - 16976}{396000} \cdot 100 = 35,84 \%$$

η – výtěžnost (%)

E_S – Skutečná výroba energie (kWh)

E_{vl} – Vlastní spotřeba (kWh)

Dodávka elektrické energie do sítě:

$$E_{dod} = E_S - E_{vl} = 158\,886 - 16\,976 = 141\,910 \text{ kWh}$$

E_{dod} – Energie dodaná do distribuční sítě (kWh)

Zmařené teplo:

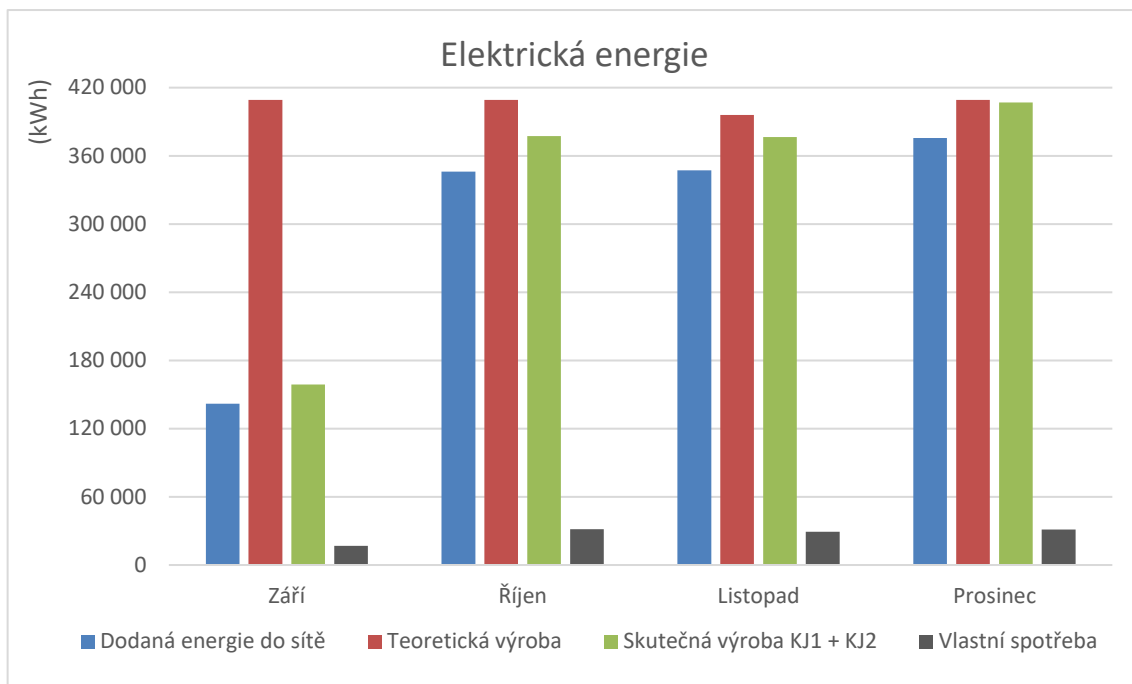
$$Q_{zmař} = Q_v - Q_{BPS} - Q_S = 603,19 - (0,25 \cdot 603,19) - 1,06 = 451,33 \text{ GJ}$$

$Q_{zmař}$ – zmařené teplo (GJ)

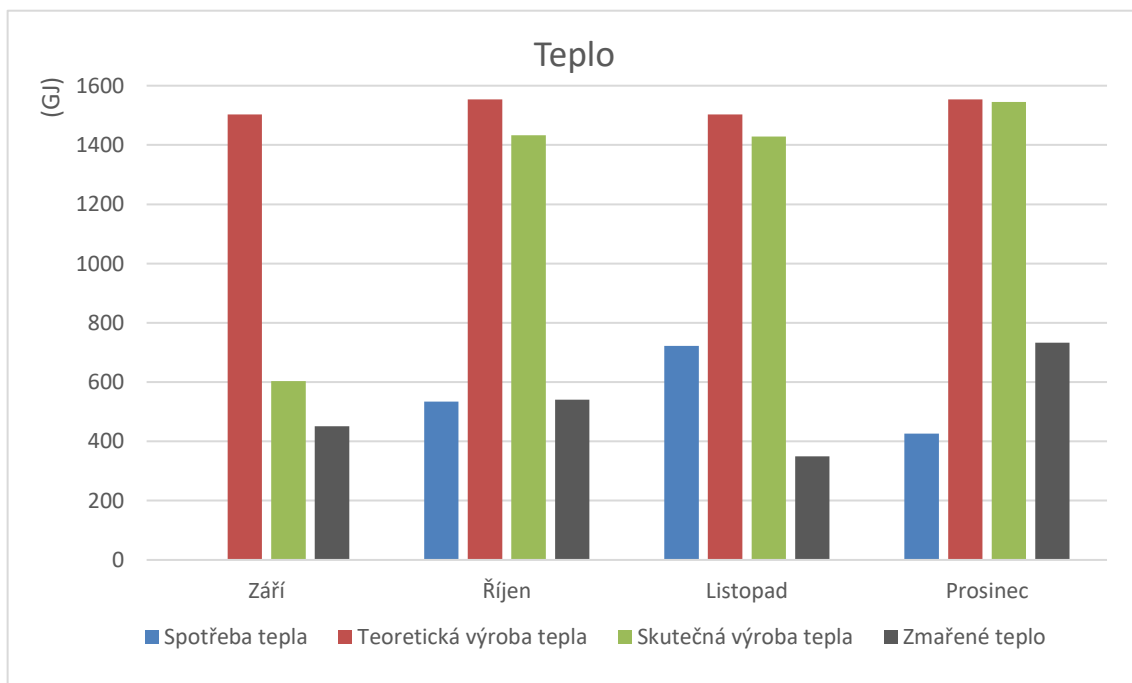
Q_v – vyrobené teplo (GJ)

Q_{BPS} – teplo spotřebované BPS (GJ)

Q_S – teplo spotřebované na vytápění a ohřev vody v budovách areálu (GJ)



Obr. 9 Evidence elektrické energie v roce 2013



Obr. 10 Evidence tepla v roce 2013

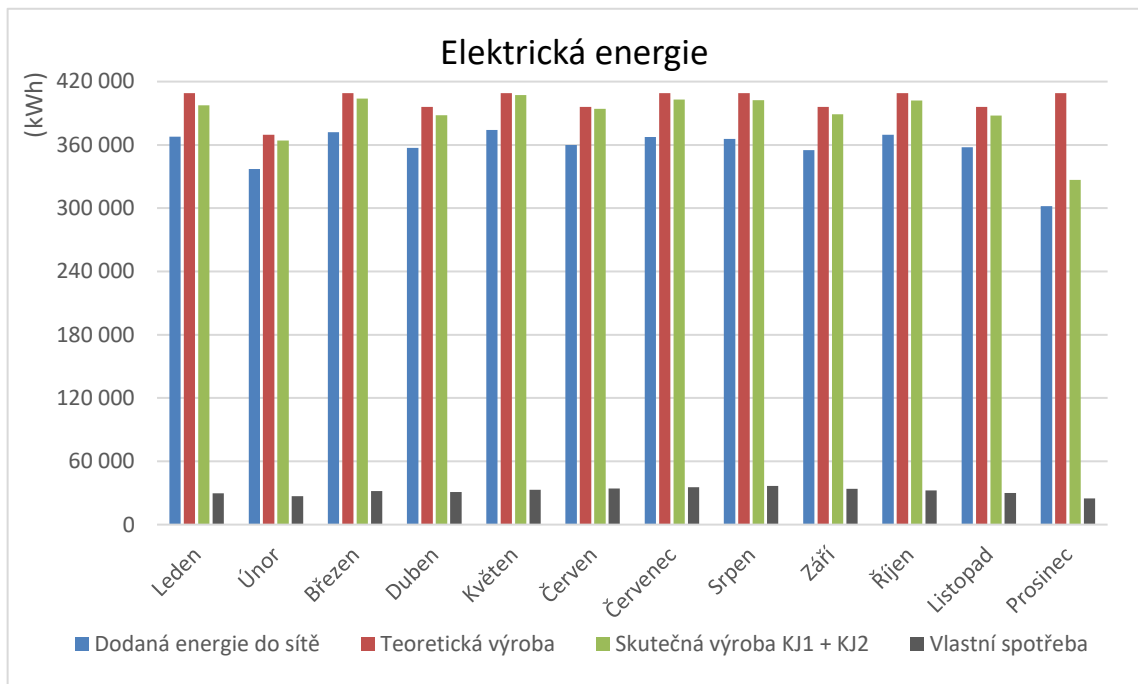
3.2 Evidence údajů za rok 2014

Tab. 4 Provoz BPS za 1. pololetí 2014

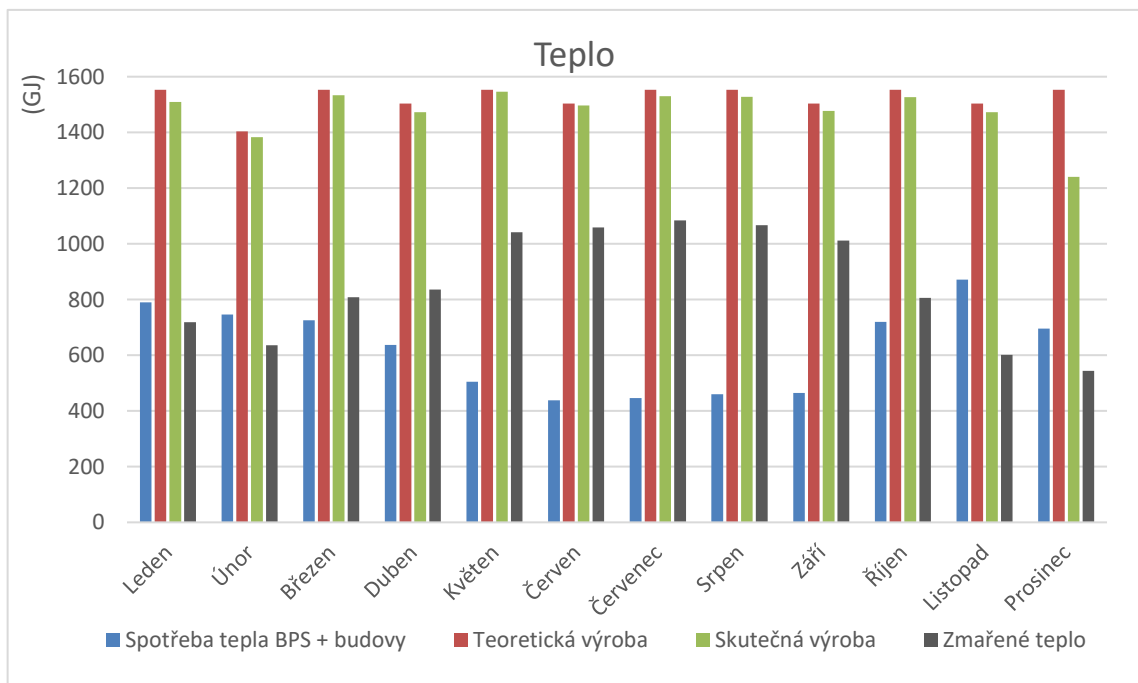
Měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen
Spotřeba ze sítě (kWh)	86	100	114	106	26	98
Dodávka do sítě (kWh)	367 884	337 188	372 113	357 197	374 106	359 799
Výroba energie (kWh)	397 483	364 242	404 042	387 969	407 237	394 152
Vlastní spotřeba (kWh)	29 599	27 054	31 929	30 772	33 131	34 353
Výroba tepla (GJ)	1508,99	1382,80	1533,89	1472,87	1546,02	1496,34
Spotřeba tepla (GJ)	790,00	746,47	725,65	636,84	505,05	437,71
Zmařené teplo (GJ)	718,99	636,33	808,24	836,03	1040,96	1058,64
Spotřeba bioplynu (m ³)	184 488	172 248	192 984	180 192	189 384	183 316
Výtěžnost (%)	89,90	91,23	90,94	90,20	91,42	90,86

Tab. 5 Provoz BPS za 2. pololetí 2014

Měsíc	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Spotřeba ze sítě (kWh)	146	139	92	24	82	1091
Dodávka do sítě (kWh)	367 607	365 764	355 173	369 644	357 748	302 024
Výroba energie (kWh)	402 314	389 088	402 053	387 748	387 748	326 751
Vlastní spotřeba (kWh)	35 359	36 550	33 915	32 409	30 000	24 727
Výroba tepla (GJ)	1529,81	1527,33	1477,12	1526,34	1472,03	1240,47
Spotřeba tepla (GJ)	445,64	460,17	464,96	719,87	871,11	696,14
Zmařené teplo (GJ)	1084,16	1067,16	1012,16	806,46	600,92	544,33
Spotřeba bioplynu (m ³)	190 368	188 760	183 048	187 608	182 340	152 466
Výtěžnost (%)	89,84	89,39	89,69	90,33	90,34	73,81



Obr. 11 Evidence elektrické energie v roce 2014



Obr. 12 Evidence tepla v roce 2014

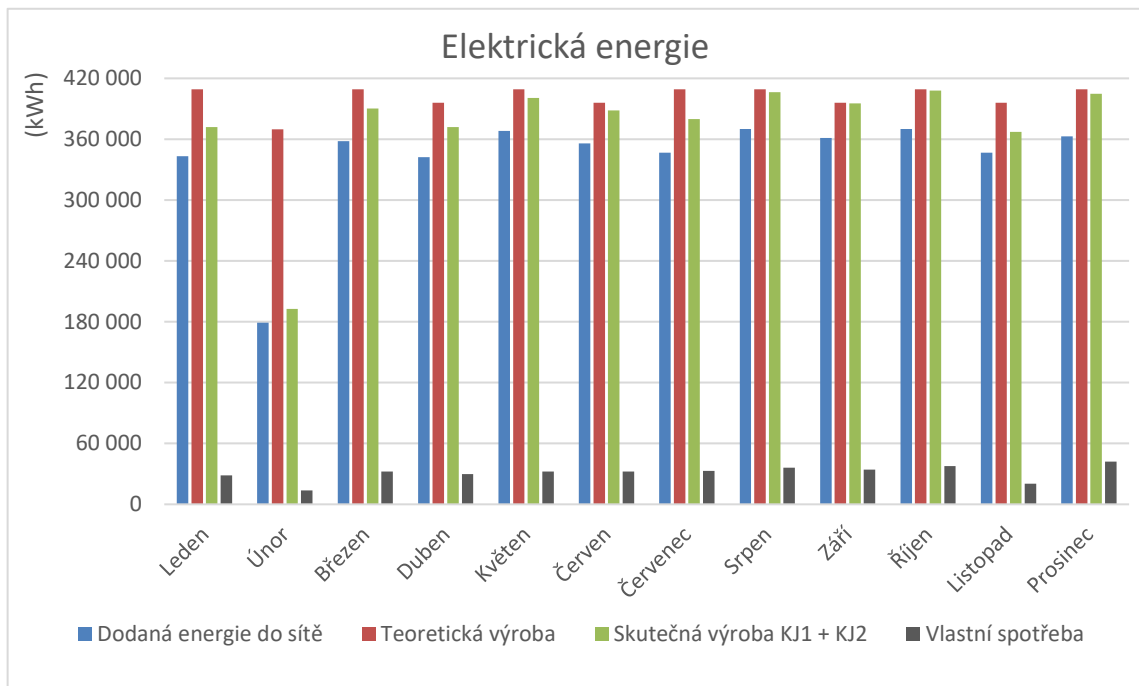
3.3 Evidence údajů za rok 2015

Tab. 6 Provoz BPS za 1. pololetí 2015

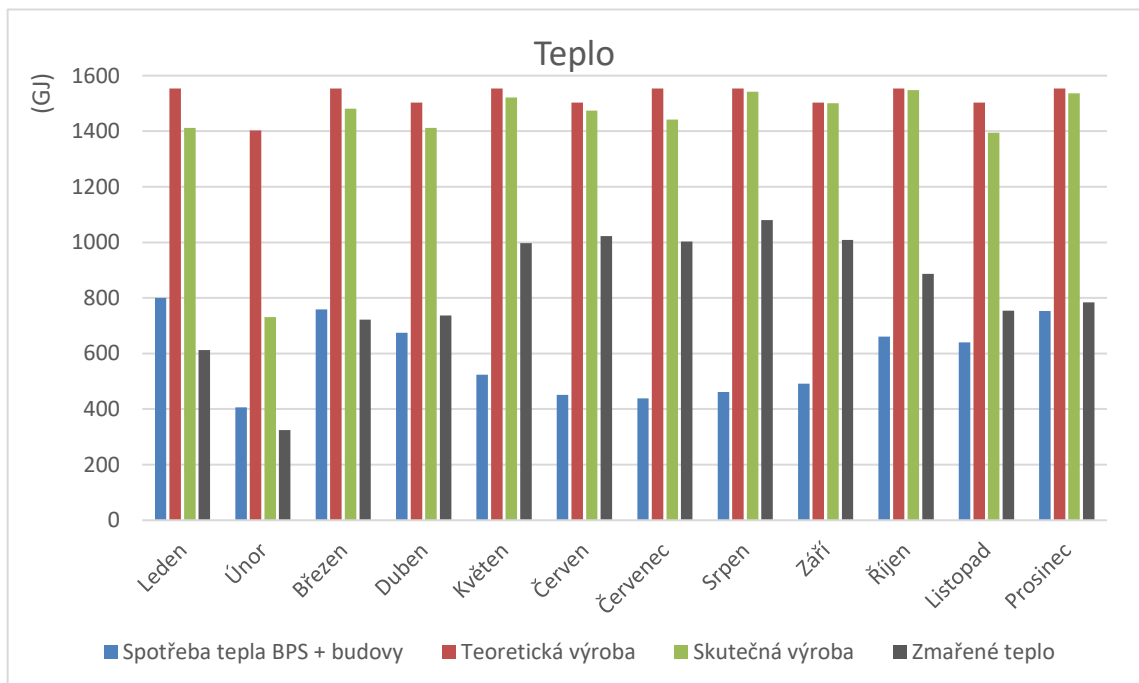
Měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen
Spotřeba ze sítě (kWh)	117	1171	58	237	108	32
Dodávka do sítě (kWh)	343 394	179 025	357 942	342 166	368 230	355 770
Výroba energie (kWh)	372 000	192 575	390 294	372 032	400 631	388 240
Vlastní spotřeba (kWh)	28 606	13 550	32 352	29 866	32 401	32 470
Výroba tepla (GJ)	1412,25	731,08	1481,70	1412,37	1520,94	1473,90
Spotřeba tepla (GJ)	800,26	406,29	759,21	675,25	523,34	450,78
Zmařené teplo (GJ)	611,99	324,79	722,48	737,12	997,61	1023,13
Spotřeba bioplynu (m ³)	180 482	109 293	192 984	196 849	170 876	183 273
Výtěžnost (%)	83,92	48,44	87,47	86,41	89,99	89,84

Tab. 7 Provoz BPS za 2. pololetí 2015

Měsíc	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Spotřeba ze sítě (kWh)	47	32	4	33	27	13
Dodávka do sítě (kWh)	346 791	370 182	361 266	370 146	346 864	362 859
Výroba energie (kWh)	379 777	406 335	395 339	407 880	367 311	404 860
Vlastní spotřeba (kWh)	32 986	36 153	34 073	37 734	20 447	42 001
Výroba tepla (GJ)	1441,77	1542,60	1500,85	1548,46	1394,45	1537,00
Spotřeba tepla (GJ)	438,76	462,07	491,78	670,70	639,73	752,92
Zmařené teplo (GJ)	1003,01	1080,53	1009,07	887,26	754,71	784,08
Spotřeba bioplynu (m ³)	180 841	194 717	194 120	196 861	185 371	197 495
Výtěžnost (%)	84,75	90,46	91,23	90,46	87,59	88,68



Obr. 13 Evidence elektrické energie v roce 2015



Obr. 14 Evidence tepla v roce 2015

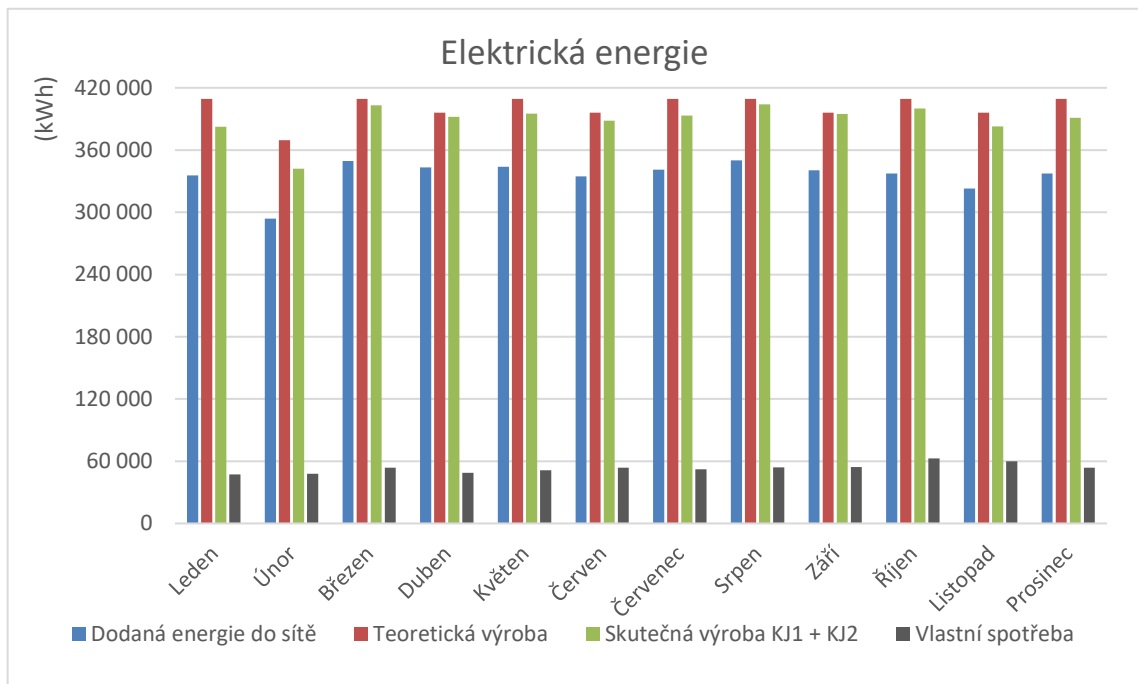
3.4 Evidence údajů za rok 2016

Tab. 8 Provoz BPS za 1. pololetí 2016

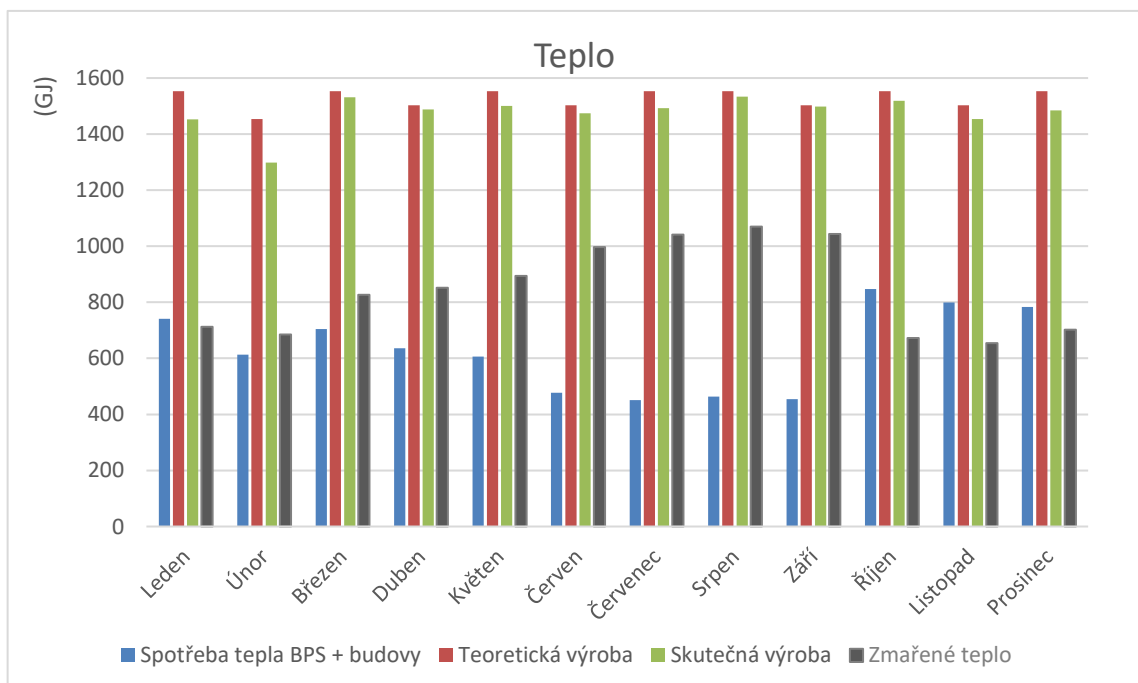
Měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen
Spotřeba ze sítě (kWh)	25	179	8	106	194	109
Dodávka do sítě (kWh)	335 436	293 958	349 423	343 375	343 930	334 535
Výroba energie (kWh)	382 582	341 960	403 278	392 042	395 111	388 378
Vlastní spotřeba (kWh)	47 146	48 002	53 855	48 667	51 181	53 843
Výroba tepla (GJ)	1452,42	1298,20	1530,99	1488,33	1499,99	1474,42
Spotřeba tepla (GJ)	740,48	613,55	704,75	636,08	606,00	477,61
Zmařené teplo (GJ)	711,95	684,65	826,24	852,25	893,99	996,82
Spotřeba bioplynu (m ³)	189 862	168 440	199 591	194 620	194 528	188 540
Výtěžnost (%)	81,97	76,79	85,39	86,71	84,05	84,48

Tab. 9 Provoz BPS za 2. pololetí 2016

Měsíc	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Spotřeba ze sítě (kWh)	194	150	38	52	174	694
Dodávka do sítě (kWh)	341 019	349 905	340 438	337 445	322 893	337 475
Výroba energie (kWh)	393 139	403 920	394 708	400 115	382 913	391 152
Vlastní spotřeba (kWh)	52 120	54 015	54 270	62 670	60 020	53 677
Výroba tepla (GJ)	1492,50	1533,43	1498,46	1518,98	1453,68	1484,96
Spotřeba tepla (GJ)	451,12	463,36	454,61	846,75	799,42	783,24
Zmařené teplo (GJ)	1041,37	1070,07	1043,84	672,24	654,26	701,72
Spotřeba bioplynu (m ³)	191 384	196 180	195 522	197 174	185 900	191 113
Výtěžnost (%)	83,34	85,51	85,97	82,46	81,54	82,47



Obr. 15 Evidence elektrické energie v roce 2016



Obr. 16 Evidence tepla v roce 2016

4 Analýza a zhodnocení provozu celé BPS

Zvolená bioplynová stanice používá kogenerační jednotky o elektrickém výkonu $P_{el} = 2 \times 275 \text{ kW}$ a tepelném $Q_t = 2 \times 290 \text{ kW}$. Každý den je potřeba na provoz BPS dopravit 22,08 t hovězího hnoje, 19,18 t kukuřičné siláže a přibližně 7 t povrchové vody určené k ředění biomasy. Z instalovaných výkonů se při celoročním provozu BPS předpokládá výroba 4 818 000 kWh / rok elektrické energie a 18 291 GJ / rok tepla.

4.1 Srovnání získaných dat

V tabulce č. 6 je provedeno srovnání provozu BPS dle jednotlivých období. Je zde uvedeno kolik by BPS měla vyrobit elektrické a tepelné energie, kolik skutečně vyrobila nebo kolik kWh dodala do distribuční sítě.

Tab. 10 Srovnání jednotlivých ročních záznamů

Rok	2013	2014	2015	2016	Celkem
Teoretická výroba (kWh)	1 372 800	4 818 000	4 818 000	4 831 200	15 840 000
Vyrobená energie (kWh)	1 319 569	4 666 045	4 477 274	4 669 298	15 132 186
Dodaná energie (kWh)	1 210 916	4 286 247	4 104 635	4 029 832	13 631 630
Vlastní spotřeba (kWh)	108 653	379 798	372 639	639 466	1 500 556
Spotřeba ze sítě (kWh)	934	2 104	1 879	1 923	6 840
Teoretická výroba (GJ)	5 212	18 291	18 291	18 341	60 135
Vyrobené teplo (GJ)	5 009	17 714	16 997	17 726	57 446
Spotřeba tepla (GJ)	1 683	3 071	2 812	3 145	10 711
Spotřeba tepla BPS (GJ)	1 252	4 429	4 249	4 432	14 362
Zmařené teplo (GJ)	2 074	10 214	9 936	10 149	32 373
Spotřeba bioplynu (m ³)	645 360	2 187 202	2 183 162	2 292 854	7 308 578
Výtěžnost (%)	74,98	88,96	85,19	83,64	83,20
Provozní hodiny (h)	2 399	8 484	8 159	8 490	27 532

4.1.1 Elektrická energie

Od 11. září 2013, kdy byla BPS uvedena do provozu vyrobila 15 142 186 kWh elektrické energie. Celkem 13 631 630 kWh tedy 90 % z této vyrobené energie bylo dodáno do distribuční sítě. Je tedy zřejmé, že hlavní uplatnění BPS spočívá v prodeji elektřiny. Zbýlých 10 % tvoří vlastní spotřeba zahrnující samotný provoz BPS a od roku 2016 i provoz ostatních budov v areálu.

Ze srovnání jednotlivých let uvedených v tabulce č. 6 je patrné, že v roce 2016 se vyrobilo nejvíce elektrické energie celkem 4 669 298 kWh. Je to dáno tím, že byla BPS oproti předchozím rokům v provozu 8 490 hodin., ale i přes tento údaj nelze rok 2016 považovat za nejuspěšnější při porovnání s teoretickou roční výrobou. V tomto ohledu byl rok 2014 s 96,85 % úspěšnější. Naopak nejméně energie se vyrobilo v roce 2015. Důvodem byla havárie motorů KJ, jenž způsobila odstavení BPS z provozu na několik dní. Porovnání dalších parametrů týkajících se nejen výroby, ale i dodané energie, vlastní spotřeby či výtěžnost přineslo zjištění, že rok 2014 byl nejuspěšnějším. Jednak se dodalo do distribuční sítě nejvíce energie celkem 4 286 247 kWh. Jednak vlastní spotřeba byla nejnížší 379 798 kWh a v neposlední řadě jeho výtěžnost tedy poměr skutečně vyrobené energie s uvažováním vlastní spotřeby ku předpokládané výrobě byla nejvyšší 88,96 %. Od roku 2016 začala akciová společnost využívat vyrobenou elektrickou energii i pro napájení budov v areálu, čímž se zvýšila celková hodnota vlastní spotřeby zhruba na dvojnásobek v porovnání s předchozími roky a snížila se dodávka energie do sítě o 5 %.

V kapitole 3 jsou uvedeny nejen záznamy provozu BPS podle jednotlivých měsíců, ale i jejich grafické znázornění. Z těchto hodnot, je patrné, že nejvíce elektrické energie bylo vyrobeno v říjnu 2015 a květnu 2014. V obou případech hodnota vyrobené energie překročila hranici 407 MWh. Co se týká vyvedení jejího výkonu do distribuční sítě, tak v prosinci 2013 a květnu 2014 bylo do sítě dodáno nejvyšší množství elektrické energie. Zároveň bylo v těchto měsících dosaženo i nejvyšší výtěžnosti.

V příloze č.2 je grafické zobrazení výroby elektrické energie jednotlivých kogeneračních jednotek. Vlivem rozdílného intervalu údržby je možné zaznamenat odlišné množství vyrobené elektrické energie na jednotlivých KJ. V roce 2014 vyrobila KJ 2 o 1,02 % více elektřiny než KJ 1. Následující rok to bylo o 2,06 % a v roce 2016 došlo k opětovnému seřízení motorů a zde již vyrobila KJ 1 o 1,4 % elektrické energie více než KJ2.

4.1.2 Teplo

Jak už jsem popisoval v dřívějších kapitolách, tak pojem kogenerace spočívá v kombinované výrobě elektřiny a tepla. Pomocí KJ s instalovaným výkonem 580 kW vyprodukovala BPS od svého uvedení do provozu přibližně 57 480 GJ tepla. Zvolená BPS využívá vzniklé teplo hlavně na vyhřívání vyhnívacích nádob a pro ohřev teplé vody v budovách areálu. Dále je toto teplo použito v chladnějších měsících pro vytápění hlavní kancelářské budovy a dílny. Celkové spotřebované teplo od zahájení provozu BPS bylo 25 083 GJ z toho přibližně 17,5 % bylo využito pro vytápění budov a ohřev vody a 25 % pro vytápění vyhnívacích nádob. Proto značná část takto vyrobeného tepla konkrétně 32 401 GJ byla zmařena, protože nenašla vhodné uplatnění.

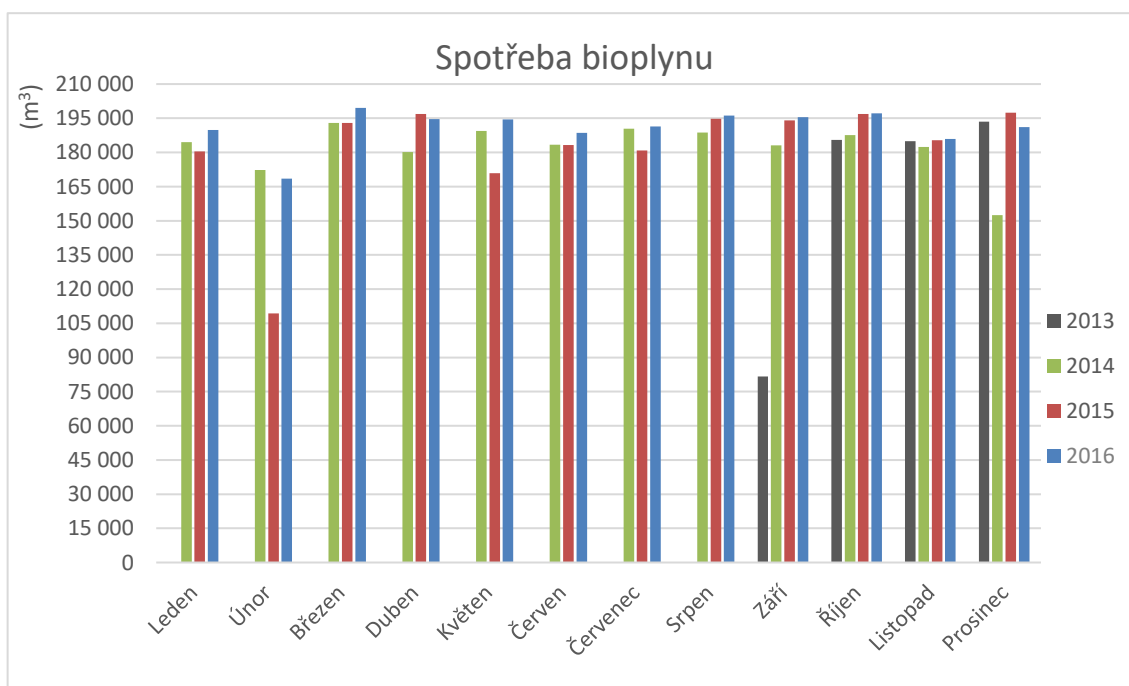
Co se týče výroby tepla, tak je to stejné jako u elektrické energie. Tedy nejvíce tepla se vyrobilo v roce 2016, ale opět platí, že v poměru mezi teoretickou a skutečnou výrobou je lepší rok 2014. Z hlediska tepelné energie jsou dalšími hodnotícími parametry, spotřeba tepla v budovách areálu

i v samotné BPS nebo množství zmařeného tepla. Například v roce 2016 spotřeba tepla i s provozem BPS přesáhla hranici 7 500 GJ, ale i přesto bylo zmařeno celkem 10 149 GJ tepla.

Pohledem na grafické znázornění jednotlivých měsíců obsažených v kapitole 3, je možné vypočítat, jak se mění množství spotřebovaného a zmařeného tepla dle ročních období. Začátkem topné sezóny dochází k patrnému nárůstu spotřeby tepelné energie. Nejvyšší zaznamenaná spotřeba 721,99 GJ byla v listopadu 2013 kvůli klimatickým podmínkám. Naopak v letních měsících, kdy klesá spotřeba tepla je zase rapidní nárůst množství zmařené tepelné energie, která se pohybuje v okolí 70 % z celkové výroby. Nejvíce zmařeného tepla bylo v červenci 2014 přesně 1084,16 GJ.

4.1.3 Spotřeba bioplynu

Od uvedení do provozu byla BPS spotřebováno na výrobu elektrické a tepelné energie celkem 7 308 578 m³ bioplynu. Na obrázku č. 18 zobrazena spotřeba za jednotlivá období. Nejvyšší spotřeba byla zaznamenána v březnu 2016 a prosinci 2015. V obou měsících došlo k překročení 197 000 m³ spotřebovaného bioplynu, což umožnilo vyrobit přes 403 MWh elektrické energie. V roce 2014 byla průměrná měsíční spotřeba bioplynu 182 266 m³ v následujícím roce způsobila porucha anaerobního procesu sníženou průměrnou spotřebu na 181 930 m³. Naopak rok 2016 poskytl navýšení průměrné měsíční spotřeby na 191 071 m³ z důvodu, že BPS je na plný výkon. Hodinová spotřeba v jednotlivých obdobích se pohybovala v rozmezí 125–130 m³/hod.

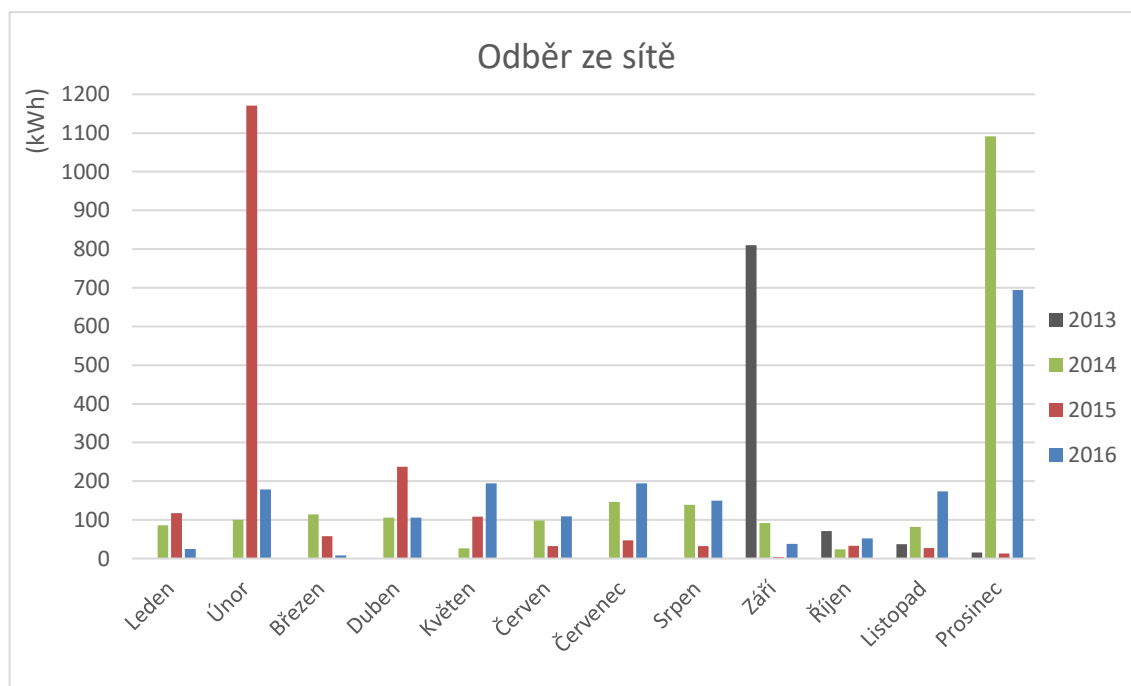


Obr. 17 Celková spotřeba bioplynu

4.1.4 Odběr elektrické energie ze sítě

Celková spotřeba elektrické energie ze sítě za dobu provozu činí 6 840 kWh. BPS využívá tuto energii hlavně v situacích, kdy dojde k nucenému odstavení způsobenému například havárií nebo poruchou zařízení. Slouží tedy k opětovnému uvedení stanice do provozu. Na grafickém znázornění souhrnné spotřeby je možno vypočítat několik hodnot, které rapidně převyšují ostatní. První z nich je zaznamenaná v září 2013. Důvodem vyšší spotřeby bylo prvotní uvedení stanice do provozu, odebíraná energie ze sítě se vyšplhala na hodnotu 810 kWh. Další zvýšení spotřeby oproti normálnímu

stavu bylo v prosinci 2014. V tomto měsíci došlo k havárii anaerobního procesu, což měla za následek odstavení BPS z provozu. Po odstranění tohoto incidentu byla BPS uvedena do chodu s celkovou odebranou energií 1091 kWh. Následující záznam zvýšené spotřeby byl v únoru 2015. Opět došlo k odstavení provozu BPS způsobené zadřením motorů KJ na klikové hřídeli. Následovala výměna motorů a pro znovu najetí do provozu bylo spotřebováno 1 171 kWh energie. Poslední záznam zvýšené spotřeby je z prosince 2016. Hodnota odebírané energie přesáhla hranici 690 kWh.



Obr. 18 Záznam odběru elektrické energie ze sítě

4.2 Poruchy a havárie

Od samotného zahájení provozu postihlo BPS několik mimořádných havárií projevujících se na celém chodu stanice a znemožnily tak výrobu elektrické a tepelné energie v řádu několika dnů až týdnů.

K první havárii došlo na přelomu roků 2014–2015. Jednalo se o kolaps anaerobního procesu uvnitř vyhnívací nádrže, což vedlo k pozastavení provozu BPS. Neznámá látka, která se dostala do vstupní jímky určené pro uchování povrchové vody byla dopravena spolu s ostatními vstupními surovinami do fermentoru a způsobila zabití bakterií potřebných k rozkladu organické hmoty. Bylo nutné odebrat a zaslat vzorek do laboratoře. Z výsledků vyplynula nutnost nejen likvidace obsahu nádrže, ale i obstarání nových bakterií potřebných pro výrobu bioplynu. Odstavení BPS zamezilo i dodávku tepelné energie do vytápěných objektů, a proto bylo nutné tyto budovy vytápet externě. Chod BPS byl pozastaven přibližně na 9 dní. Nové najetí BPS do provozního režimu bylo realizováno pomocí odběru elektrické energie ze sítě.

Další havárie na sebe nenechala dlouho čekat. V únoru 2015 došlo k výměně motorů KJ, důvodem bylo zadření klikové hřídele. Důsledkem této havárie bylo nutné odstavení BPS. Dále bylo potřeba

odjímat přebytečný bioplyn z jímačů a za pomoci stacionární fléry ho spálit. Celá situace byla o to horší, že výpadek motorů znemožnil nejen výrobu elektrického proudu, ale i tepla potřebného pro vyhřívání vyhřívacích nádob a vytápění objektů. Aby nedošlo k zamrznutí nádrží zajistili zaměstnanci akciové společnosti náhradní vytápění pomocí externího kotle zavěšeného na rameno jeřábu.

Prosinec roku 2016 zapříčinil, že BPS byla provozována v ostrovním provozu. Což vedlo k tomu, že KJ pracovaly autonomně bez připojení k nadřazené distribuční síti. I přes tuhle situaci, ale KJ se sníženým výkonem umožnily vyrábět elektřinu, která byla dále využita pouze formou vlastní spotřeby.

Havarijní stavy je možno vypořádat z grafického zobrazení odběru elektrické energie ze sítě obr. 18. Mimo tyto havárie provázelo BPS od uvedení do provozu i několik menších poruch. Příkladem může být únor 2016, kdy došlo k zamrznutí výpustě skladovací jímky. Ovšem tyto menší poruchy už neměly, tak rapidní dopad na provoz BPS, jako předešlé havárie. Odstavení BPS z provozu došlo i v několika případech kvůli plánované údržbě a servisním pracím.

Tab. 11 *Množství nevyrobené energie kvůli odstávce BPS*

Havárie	Počet dnů (-)	Ztráta elektřiny (kWh)	Ztráta tepla (GJ)	Bioplyn zmařený flérou (m ³)
Prosinec 2014	9	118 800	451	41 550
únor 2015	13	171 600	651	61 051

5 Možnosti zefektivnění provozu hodnocené BPS

Produktem zvolené BPS není pouze elektrická energie, ale i teplo. Pohledem na evidenci údajů elektrické energie je patrné, že hlavní uplatnění vyprodukované elektřiny spočívá v dodávce do distribuční sítě. Celkem dochází k prodeji 90 % vyrobené energie.

Opačná situace nastává v případě využití zbytkového tepla. Vzniklé teplo je sice využíváno pro vytápění budov, vyhřívacích nádob a ohřev teplé vody, ale tato skupina čítá pouze 43,63 % z celkové výroby. Zbýlých 56,37 % tvoří zmařené teplo, které je odváděno přes vzduchotechnický systém do ovzduší.

5.1 Trigenerace

Jednou z možností, jak lépe využít zbytkové teplo produkované BPS nabízí kombinace kogenerační a absorpční chladicí jednotky umožňující nejen kombinovanou výrobu elektřiny, tepla a chladu, ale i celoroční využití odpadního tepla, které by jinak v letních měsících nenašlo vhodné uplatnění.

Trigenerace využívá teplo z vysokoteplotního zásobníku jako primární zdroj chladu. V absorpčním chladicím oběhu krouží chladivo společně s absorpční látkou. Jako chladivo může být použit například čpavek nebo bromid lithný. Odpařováním chladiva se odebírá teplo ze systému, a to způsobuje následné ochlazení. Pro správnou cirkulaci je potřeba zajistit následnou přeměnu plynné fáze chladiva na kapalnou. K získání ekonomického zefektivnění provozu je vhodné kombinovat absorpční jednotku s kompresorovou.

Princip kombinované výroby elektřiny, tepla a chladu je následující. Spalovacím motorem dojde k transformaci paliva na tepelnou energii a mechanickou práci, která je přeměněna na elektrickou za pomoci generátoru. Vzniklé teplo se přes chladicí okruh odvádí do tepelného výměníku. Zde je předáno médiu ve formě vody v otopné soustavě. Z výměníku putuje ohřáté médium do chladicí absorpční jednotky a ke spotřebiteli následně se vrací do otopné soustavy. Absorpční jednotka přemění dodané teplo na chlad. [13]

Pro lepší představu, jak by mohla absorpční jednotka zefektivnit stávající provoz BPS přikládám výpočet, ve kterém odhaduji, že zvolená chladicí jednotka BDH 15 – TGA 130 o chladicím výkonu $P_{CH} = 178$ kW, by celkem za 60 dnů a 8 hodinovém provozu mohla snížit množství zmařené tepla o zhruba 10 %.

$$Q_{CH} = P_{CH} \cdot n \cdot d \cdot h \cdot 3600 = 178 \cdot 3 \cdot 20 \cdot 8 \cdot 3600 = 307,6 \text{ GJ}$$

Q_{CH} – množství chladu (GJ)

P_{CH} – chladicí výkon jednotky (kW)

n – počet měsíců v provozu (-)

d – počet dnů v provozu (-)

h – počet hodin v provozu (h)

$$Q_T = Q_{zmař} - Q_{CH} = 3108 - 307,6 = 2800,4 \text{ GJ} \approx 9,9 \%$$

Q_T – zmařené teplo snížené o množství chladu při použití chladicí jednotky (GJ)

Výhody zavedení Trigenerace:

- Efektivní využití odpadního tepla z KJ i v letních měsících
- Klimatizované pracovní prostředí
- Neelektrický zdroj chladu nezatěžuje elektrickou distribuční síť
- Absorpční chlazení nabízí velmi nízkou hlučnost, malé nároky na servis, dlouhou životnost
- Větší úspory za dodávku energie
- Ekologická nezávadnost

Nevýhody zavedení Trigenerace:

- Investiční náklady
- Chladicí věže o vyšším výkonu, než u kompresorového chlazení
- Větší rozměry a hmotnost zařízení
- Potřeba vyšší teploty tepelného okruhu, než kogenerace nabízí vede ke snížení výkonu a tím i účinnosti chladicí jednotky

5.2 Vytápění okolních budov

V okolí BPS je situováno několik domovních prostorů, které by mohly vzniklé teplo využít pro vytápění svých domácností a ohřev teplé vody. Pro realizaci této metody by bylo zapotřebí zvážit jak technické, tak i hlavně ekonomické možnosti proveditelnosti. Nezbytné pro realizování této metody by bylo získání údajů týkajících se výši spotřeby tepelné energie jednotlivých domácností. Dále by bylo potřeba zajistit záložní zdroj tepla, protože jak ukázaly záznamy z předchozích let, tak provoz zvolené BPS není stoprocentní.

Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody:

Vytápěcí denostupně:

$$D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) = 231 \cdot (19 - 3,8) = 3511 \text{ d} \cdot \text{K}$$

D – denostupně (d.K)

d – délka topného období (-)

t_{is} – průměrná vnitřní výpočtová teplota (°C)

t_{es} – průměrná teplota během otopného období (°C)

Roční spotřeba tepla pro vytápění:

$$Q_{VYT} = \frac{\varepsilon}{\eta_0 \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_C \cdot D}{t_{is} - t_e} = \frac{0,765}{0,95 \cdot 0,95} \cdot \frac{24 \cdot 12500 \cdot 3511}{19 - (-15)} = 26,3 \text{ MWh/rok} \approx 94,5 \text{ GJ/rok}$$

Q_{VYT} – roční spotřeba tepla pro vytápění (MWh/rok)

ε – opravný součinitel (-)

η_0 – účinnost obsluhy (-)

Q_C – tepelná ztráta objektu (kW)

Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody:

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = (1 + 0,5) \cdot \frac{1000 \cdot 4186 \cdot 0,328 \cdot (55 - 10)}{3600} = 25,7 \text{ kWh}$$

$Q_{TUV,d}$ – denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody (kWh)

z – koeficient energetických ztrát systému (-)

ρ – měrná hmotnost vody ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

c – měrná tepelná kapacita vody ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)

V_{2p} – celková potřeba teplé vody za 1 den (m^3/den)

t_2 – teplota ohřáté vody ($^{\circ}\text{C}$)

t_1 – teplota studené vody ($^{\circ}\text{C}$)

Roční potřeba tepla pro ohřev teplé vody:

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d) =$$

$$= 25700 \cdot 231 + 0,8 \cdot 25700 \cdot \frac{55 - 15}{55 - 5} \cdot (365 - 231) = 8,2 \text{ MWh/rok} \approx 29,4 \text{ GJ/rok}$$

$Q_{TUV,r}$ – roční potřeba tepla pro ohřev teplé vody (MWh/rok)

t_{svl} – teplota studené vody v létě ($^{\circ}\text{C}$)

t_{svz} – teplota studené vody v zimě ($^{\circ}\text{C}$)

N – počet pracovních dnů soustavy v roce (-)

Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody:

$$Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TUV,r} = 26,3 + 8,2 = 34,5 \text{ MWh/rok} \approx 123,9 \text{ GJ/rok}$$

Množství zmařeného tepla během otopné sezóny 2016:

$$Q_{zmař} = 7041,13 \text{ GJ}$$

Počet možných domácností vytápěných BPS zmařeným teplem

$$n = \frac{Q_{otop}}{Q_r} = \frac{7041,13}{123,9} = 57 \text{ domácností}$$

Výhody vytápění okolních budov:

- Efektivní využití odpadního tepla
- Snížení emisí skleníkových plynů
- Další zisk pro BPS

Nevýhody vytápění okolních budov:

- Investiční náklady
- Tepelné ztráty
- Potřeba zajištění kotle při výpadku BPS
- Nižší odběr tepla v letních měsících

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo analyzovat a vyhodnotit provoz kogeneračních jednotek zvolené bioplynové stanice. Akciová společnost provozující tuto zemědělskou stanici mi umožnila získat nejen údaje datovány od samotného zahájení provozu, ale poskytla i přehledné informace týkající se provozu a procesu výroby.

Teoretickou část práce tvoří v první řadě kombinovaná výroba elektrické energie a tepla neboli kogenerace. Je zde popsán její princip, části tvořící kogenerační jednotku a samozřejmě i výhody, které způsobily rozmach kogenerace zejména v oblasti zemědělských bioplynových stanic. Mimo kogeneraci je v této části práce zahrnuta ještě kapitola na výrobu a využití elektrické energie a tepla obsahující nejen popis zvolené BPS, ale i popis výroby elektřiny a tepla a jednotlivých fází vzniku bioplynu.

Praktická část se skládá ze zpracovaných údajů poskytnutých provozovatelem BPS, a hlavně analýzou a hodnocením těchto dat. Předpokládá se, že zvolená BPS by měla být schopná pomocí kogeneračních jednotek s elektrickým výkonem $2 \times 275 \text{ kW}_{el}$ a tepelným $2 \times 290 \text{ kW}_{th}$ při celoročním provozu vyprodukovat 4 818 MWh elektrické energie a 18 291 GJ tepla. Od roku 2013, kdy byla BPS uvedena do provozu se vyrobilo nejvíce elektřiny a tepla v roce 2014 konkrétně 4 666 045 kWh elektřiny a 17 714 GJ tepla, což dělalo 96,85 % předpokládané výroby.

Hlavní uplatnění zvolené BPS spočívá v prodeji elektrické energie do distribuční sítě. Do roku 2015 bylo zhruba 90 % celkové vyrobené energie dodáváno do distribuční sítě a zbylých 10 % využito na provoz BPS. V roce 2016 začala akciová společnost využívat vyrobenou energii i pro provoz svých budov v areálu. Došlo tedy ke snížení dodávané energie o zhruba 5 %. Opačná situace nastává v případě tepla a jeho následného využití. Od zahájení provozu v roce 2013 se vyrobilo celkem 57 484 GJ tepla. Z toho bylo využito jen asi 25 083 GJ na vytápění vyhnívacích nádob a budov v areálu a také pro ohřev teplé vody. Je tedy zřejmé, že velká část vyrobeného tepla nenašla vhodné uplatnění a byla vypuštěna do ovzduší.

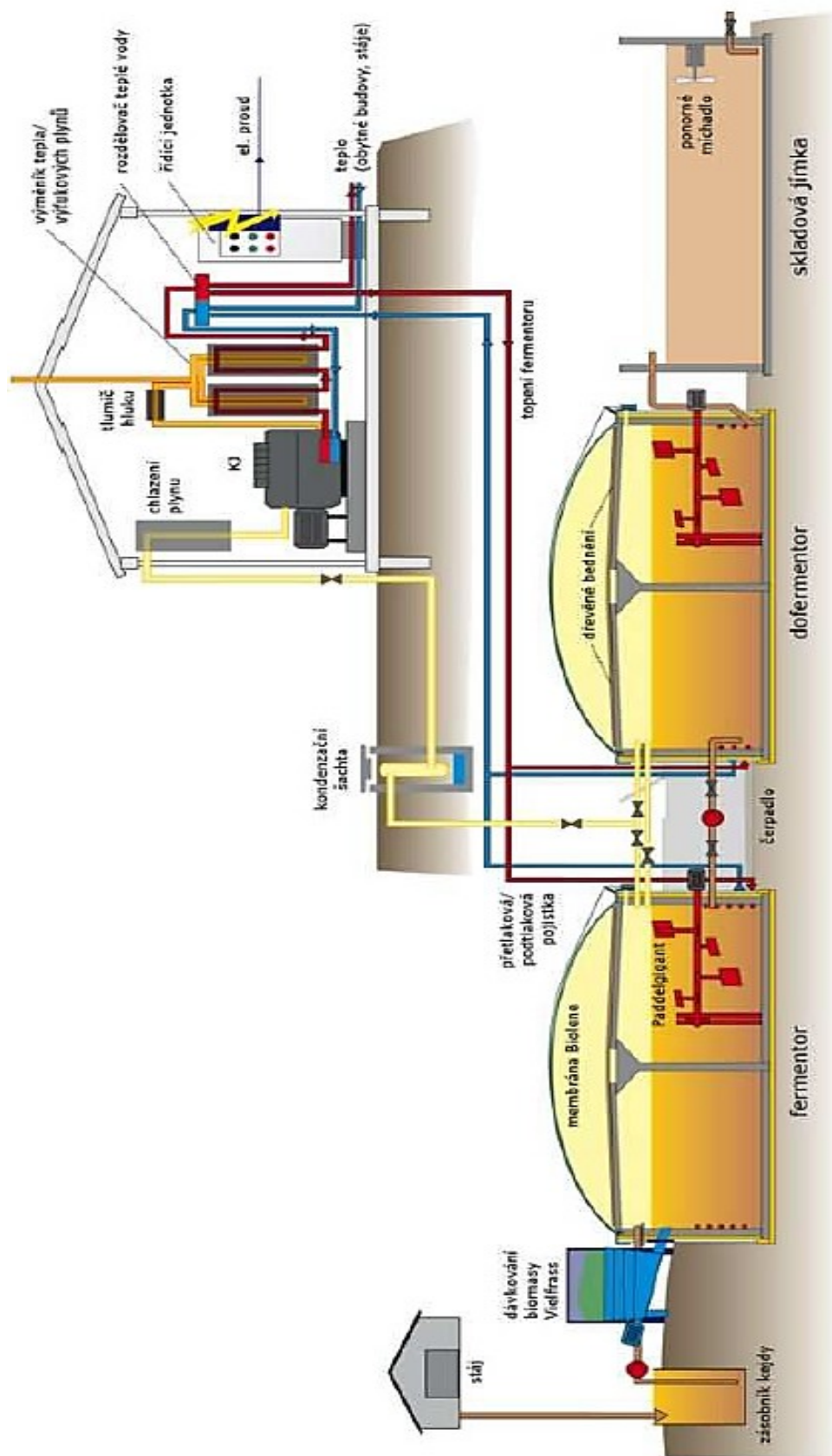
Poslední část této práce je věnována metodám, jak využít odpadní teplo a zefektivnit, tak provoz BPS. Jedna z možností, která se nabízí je doplnění BPS absorpční chladicí jednotkou. Tato metoda umožňuje zejména v teplých měsících vytvořit příjemné pracovní prostředí přeměnou nevyužitého odpadního tepla na chlad.

Seznam použité literatury

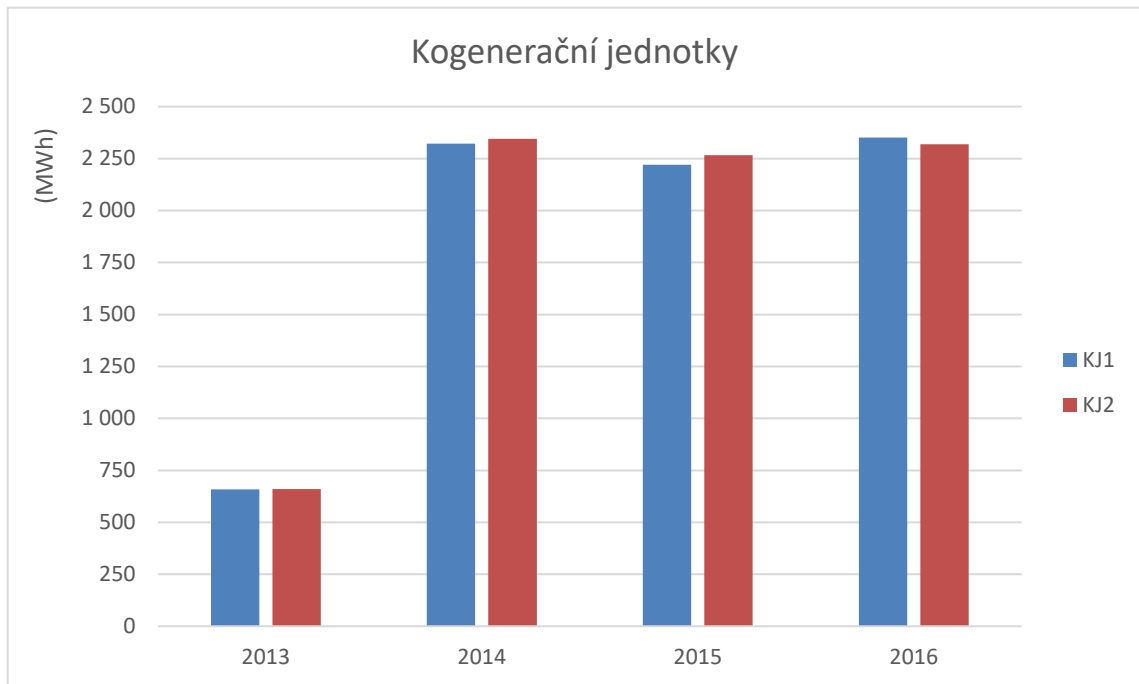
- [1] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. 1. vydání. Praha: BEN-technická literatura, 2005, 288 s. ISBN 80-7300-118-7.
- [2] KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. *Kogenerační jednotky zřizování a provoz*. 1. vydání. Praha: GAS s.r.o., 2007, 202 s. ISBN 978-80-7328-151-9.
- [3] *Kogenerační jednotka* [online]. 2016 [cit. 2016-10-31]. Dostupné z: <http://www.cezenergo.cz/cs/o-kogeneraci/kogeneracni-jednotka.html>
- [4] *O Energetice* [online]. BUDÍN, Jan. 2015 [cit. 2016-11-08]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/kogenerace-princip-technologie-a-vyhody/>
- [5] Výhody kogenerace. *Karla Energize* [online]. [cit. 2016-11-12]. Dostupné z: <http://www.karlaenergize.com/cz/o-kogeneraci/vyhody-kogenerace>
- [6] Členění BPS. *Bioplynové stanice* [online]. [cit. 2016-11-20]. Dostupné z: <http://www.bioplynovestanice.cz/cleneni-bps/>
- [7] Co je to bioplynová stanice? *EnwiWeb* [online]. [cit. 2016-11-20]. Dostupné z: http://www.enwiweb.cz/page/co_je_to_bioplynka
- [8] Technologie bioplynových stanic. *Bioplynové stanice* [online]. [cit. 2016-11-21]. Dostupné z: <http://www.bioplynovestanice.cz/technologie-bps/>
- [9] SCHULZ, Heinz, Barbara EDER a Marie ŠEDIVÁ. *Bioplyn v praxi*. Ostrava: HEL, 2004, 168 s. ISBN 80-86167-21-6.
- [10] KÁRA, CSC, Ing. Jaroslav a Ing. Zdeněk PASTOREK, CSC. *Výroba a využití bioplynu v zemědělství*. 1. Praha-Ruzyně: VÚZT, 2007, 117 s. ISBN 978-80-86884-28-8.
- [11] Energetické stavby: Bioplynové stanice. *Tenza* [online]. [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <http://www.tenza.cz/cz/aktivity/energetika/energeticke-stavby/bioplynove-stanice/>
- [12] Anaerobní technologie. *Bioplyn* [online]. 2007 [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: http://www.bioplyn.cz/at_popis.htm
- [13] RUTZ, Dominik, a Tomáš VOŘÍŠEK. *Udržitelné využívání tepla z bioplynových stanic*. Mnichov, Německo: WIP Renewable Energies, 2012.
- [14] Bioplynová stanice Lesonice. In: *ADW* [online]. [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://www.adw.cz/cs/mobile/564-bioplynova-stanice-lesonice.aspx?sid=157&lid=572>
- [15] Vznik bioplynu. In: *Schaumann-úspěch ve stáji* [online]. [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://bioplyn.schaumann.cz/vyroba/vznik-bioplynu/>

Seznam příloh

Příloha č. 1 <i>Funkční schéma zvolené BPS</i>	45
Příloha č. 2 <i>Přehled vyrobené elektrické energie KJ</i>	46
Příloha č. 3 <i>Fermentor a dávkovací zařízení</i>	46
Příloha č. 4 <i>Motor kogenerační jednotky</i>	47
Příloha č. 5 <i>Fléra</i>	47



Příloha č. 1 Funkční schéma zvolené BPS [11]



Příloha č. 2 Přehled vyrobené elektrické energie KJ



Příloha č. 3 Fermentor a dávkovací zařízení



Příloha č. 4 *Motor kogenerační jednotky*



Příloha č. 5 *Fléra*