

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra technologií a měření

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Energetická bilance, možnosti, návrh a zhodnocení využití
odpadního tepla z bioplynové stanice Věžná**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš VLACH**
Osobní číslo: **E10N0064P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Energetická bilance, možnosti, návrh a zhodnocení využití odpadního tepla z bioplynové stanice Věžná**
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

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

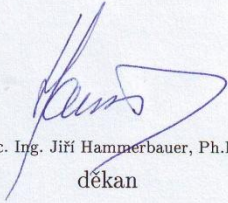
1. Popište současný stav bioplynových stanic a provozu BPS Věžná ve využívání odpadního tepla.
2. Analyzujte tento stav z hlediska energetické bilance, environmentální a ekonomické přijatelnosti.
3. Porovnejte technický stav řešení, provozní ukazatele a logistiku vybraných BPS, využijte zkušenosti ze zahraničí.
4. Navrhněte formou případové studie způsob řešení pro energetické využívání odpadního tepla z BPS Věžná.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

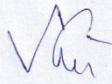
1. Biogas: Strom aus Gülle und Biomasse. Planung, Technik, Förderung, Rendite. (2000) ISBN 3-7843-3075-4.
2. Aktuální periodika: Odpadové fórum.
3. Sborníky s odborných konferencí a seminářů.

Vedoucí diplomové práce: Mgr. Eduard Ščerba, Ph.D.
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: 15. října 2012
Termín odevzdání diplomové práce: 9. května 2013


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




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Abstrakt

V této diplomové práci je řešena problematika kolem využívání odpadního tepla z bioplynových stanic. Dále obsahuje případovou studii řešení využití odpadního tepla pro konkrétní bioplynovou stanici v obci Věžná.

Klíčová slova

Bioplyn, bioplynová stanice, odpadní teplo, obnovitelné zdroje energie, kogenerace, Organický Rankinův Cyklus, teplofikace, sušení.

Abstract

In this master theses are discussed issues about the use of waste heat which is produced from biogas plants. It also includes a case study of the solutions of using waste heat in biogas plant Věžná.

Key words

Biogas, biogas plant, waste heat, energy from renewable sources, cogeneration, Organic-Rankine Cycle, central heating, drying.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou 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 diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 6.5.2013

Bc. Lukáš Vlach

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Mgr. Eduardu Ščerbovi, Ph.D. za jeho cenné rady a připomínky. Zároveň děkuji Ing. Josefu Gébovi za odborné poradenství při návrhu ORC zařízení, Ing. Janu Čihákovi za připomínky při návrhu sušičky separátu a Ing. Jiřímu Míkovi za rady při návrhu teplofikace. V neposlední řadě bych také rád poděkoval svým rodičům a přátelům za podporu při studiu.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	11
1 SOUČASNÝ STAV BIOPLYNOVÝCH STANIC	12
1.1 Bioplyn	12
1.2 Obecné rozdělení bioplynových stanic podle zpracovávaného substrátu	12
1.3 Statistické údaje (aktuální k 30.11.2012)	13
1.4 Popis zemědělských bioplynových stanic	14
1.5 Využívání odpadního tepla	16
2 BIOPLYNOVÁ STANICE VĚŽNÁ	18
2.1 Lokalita a zařazení	18
2.2 Energetická bilance	19
2.3 Objekty BPS	20
2.4 Technologie	20
2.5 Využívání odpadního tepla	22
3 MOŽNOSTI VYUŽÍVÁNÍ ODPADNÍHO TEPLA Z BPS	23
3.1 Vytápění přilehlých objektů	23
3.1.1 <i>Příklad realizace teplovodem</i>	23
3.2 Dodávka tepla do CZT	24
3.2.1 <i>Příklady realizace plynovodem</i>	24
3.3 ORC jednotky - výroba el. energie z odpadního tepla	25
3.3.1 <i>Popis ORC obecně</i>	25
3.3.2 <i>Využití ORC jednotek v BPS</i>	26
3.3.3 <i>Praktický příklad použití ORC jednotky využívající ohřev pracovní látky vodou z chladicího okruhu KGJ v BPS Moravská Třebová</i>	27
3.3.4 <i>Praktický příklad použití ORC jednotky využívající k ohřevu pracovní látky horké spaliny z motoru KGJ v BPS Jetřichovec</i>	29
3.4 Sušení pomocí odpadního tepla	32
3.4.1 <i>Sušení řeziva</i>	32
3.4.2 <i>Sušení rostlinných komodit</i>	34
3.4.3 <i>Praktický příklad realizace šachtové sušičky na obilniny</i>	35
3.4.4 <i>Sušení digestátu</i>	37

3.4.5	<i>Sušení dřevní štěpky a pilin</i>	39
4	NÁVRH VYUŽITÍ ODPADNÍHO TEPLA Z BPS VĚŽNÁ - PŘÍPADOVÁ STUDIE	40
4.1	Teplofikace	40
4.1.1	<i>Stanovení potřeby energie na vytápění a ohřev TUV</i>	41
4.1.2	<i>Stanovení nákladů na vybudování systému dálkového zásobování teplem</i>	42
4.1.3	<i>Vyhodnocení možnosti získání dotace na vybudování centrálního zásobování teplem v obci Věžná</i>	43
4.1.4	<i>Stanovení jednotkové výše ceny tepla a návratnost projektu CZT</i>	44
4.1.5	<i>Vyhodnocení možnosti využití odpadního tepla pro teplofikaci obecních objektů a objektů VOD Kámen</i>	46
4.2	ORC zařízení TRI-O-GEN	46
4.2.1	<i>Umístění ORC zařízení</i>	46
4.2.2	<i>Návrh parametrů ORC TRI-O-GEN</i>	47
4.2.3	<i>Ekonomika projektu instalace ORC zařízení</i>	48
4.2.4	<i>Vyhodnocení projektu instalace ORC zařízení TRI-O-GEN</i>	50
4.3	Sušení separátu s následnou peletizací	50
4.3.1	<i>Návrh parametrů sušárny separátu s peletizační linkou</i>	51
4.3.2	<i>Ekonomika sušení separátu a následné peletizace</i>	52
4.3.3	<i>Vyhodnocení projektu sušení separátu s následnou peletizací</i>	53
5	ZÁVĚR – ZHODNOCENÍ PŘÍPADOVÉ STUDIE	54
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	55

Úvod

Bioplyn a bioplynové systémy v podobě bioplynových stanic už nějakou dobu představují energetické zdroje s vysoce pozitivními přínosy pro ochranu a tvorbu životního prostředí. Jejich technická vyspělost se pořád zlepšuje i přesto však bioplyn zatím není schopen vytlačit fosilní paliva z jejich dominantního postavení na trhu s energiemi a dlouho tomu nebude jinak. Má na rozdíl od nich skoro neomezené perspektivy pro budoucí využití.

Tato práce je zaměřena na možnosti využívání odpadního tepla z bioplynové stanice Věžná. Tyto možnosti jsou posuzovány na základě funkčnosti v jiných bioplynových stanicích. Odpadní teplo vzniká společně při výrobě elektřiny – kogenerace tj. spojení motor – generátor. V dnešní době je toto teplo v ČR využíváno velmi zřídka a to nejen díky politice, která na toto téma ještě do nedávné doby nebrala ohledy ani při výstavbě nových bioplynových stanic. Pro provozovatele těchto moderních zařízení tedy nebylo odpadní teplo z mnoha důvodů zajímavá možnost, jak využít kompletní potenciál, jaký jsou bioplynové stanice schopny nabídnout. Doby se mění a i v tomto oboru v ČR vznikají přinejmenším velmi zajímavé projekty, které dokazují, že odpadní teplo je možné využít nejen ku prospěchu investorů a provozovatelů bioplynových stanic, ale například i obyvatel obcí v jejich blízkém okolí.

Seznam symbolů a zkratk

Wh	jednotka energie (práce)
J	jednotka energie
P	elektrický výkon [W]
t	teplota [°C]
m	hmotnost [kg]
V	objem [m ³]
%	procento
l	délka [m]
Kč	měna - Koruna česká
KGJ	kogenerační jednotka
BPS	bioplynová stanice
CZT	centrální zásobování teplem
TUV	teplá užitková voda
ORC	Organický Rankinův Cyklus
VOD	výrobně obchodní družstvo
DPH	daň z přidané hodnoty
IRR	vnitřní výnosové procento
NPV	čistá současná hodnota
EUR	měna - Euro
ČOV	čistírna odpadních vod
OZE	obnovitelné zdroje energie

1 Současný stav bioplynových stanic

1.1 Bioplyn

V Evropě se bioplyn začal po roce 1900 využívat v čističkách odpadních vod a dnes používá většina čističek vyprodukovaný plyn k výrobě technologického tepla i elektřiny.

Termín bioplyn přiřadila současná technická praxe výlučně pro plynný produkt anaerobní metanové fermentace organických látek uváděné též pod pojmy anaerobní digesce, biomethanizace, biogasifikace anebo česky vyhnívání. Bioplyn je obecně směs metanu a oxidu uhličitého [3].

1.2 Obecné rozdělení bioplynových stanic podle zpracovávaného substrátu

Bioplynové stanice (dále jen BPS) dělíme podle zužitkovávaných surovin na:

- čistírenské
- zemědělské
- ostatní (komunální, průmyslové)

Čistírenské BPS zpracovávají pouze kaly z čistíren odpadních vod (dále jen ČOV), proto jsou jejich nedílnou součástí. Tyto technologie nejsou určeny ke zpracování bioodpadů a k nakládání s odpady, ale slouží pouze jako součást kalového hospodářství ČOV jako celku. Do tohoto zařízení nevstupují jiné materiály než kaly z ČOV, žump a septiků a odpadní voda. V případě, že jsou do nádrží na anaerobní vyhnívání přidány jiné odpady, podle zákona o odpadech se již nejedná o čistírenskou BPS, ale o BPS ostatní [4].

Ostatní BPS jsou v podstatě z hlediska provozu složitější, protože suroviny přicházející ke zpracování bývají značně různorodé. U komunálních BPS je to zpravidla vybraný komunální bioodpad zejména z údržby zeleně, vytríděných bioodpadů z domácností, restaurací a jídelen. Dalším typem ostatní BPS je tzv. průmyslová (kofermentační) BPS, která zpracovává výhradně, nebo v určitém podílu rizikové vstupy, např. odpady z jatek, kaly ze specifických provozů, tuky z lapolů, masokostní moučku, apod. Takže ve většině případů ostatních BPS musí u vstupů proběhnout separace, homogenizace, případně hygienizace za vysokých teplot. Vyhnívání takto upravených bioodpadů, které přicházejí do BPS, zpravidla produkuje silný zápach. Ten se musí následně likvidovat. Ne jen pro to jsou ostatní BPS investičně nákladnější [4].

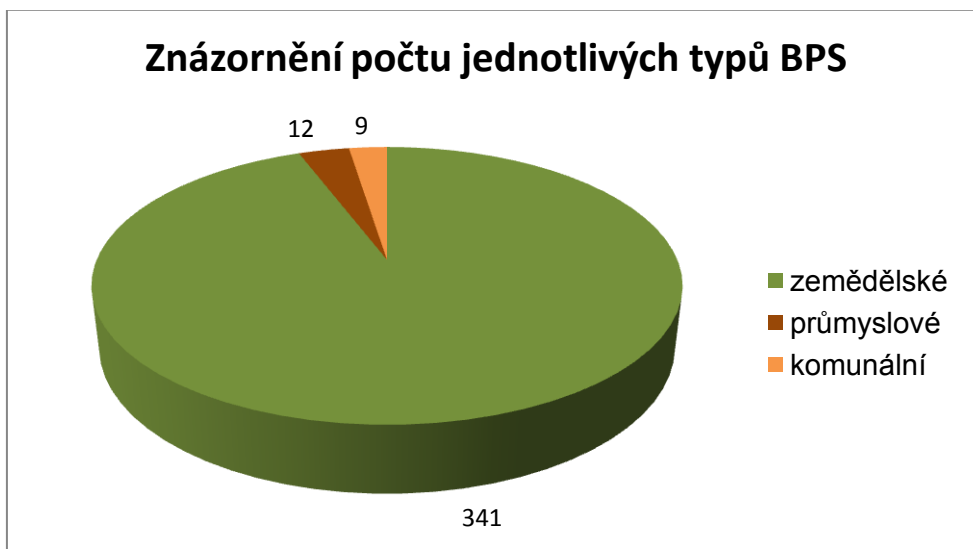
Posledním a nejrozšířenějším druhem stanic jsou BPS zemědělské. Ty jsou technologicky jednodušší a méně nákladné. Protože BPS Věžná je řazena do stanic zemědělských, budu se tímto druhem BPS zabývat podrobněji viz. níže.

1.3 Statistické údaje (aktuální k 30.11.2012)

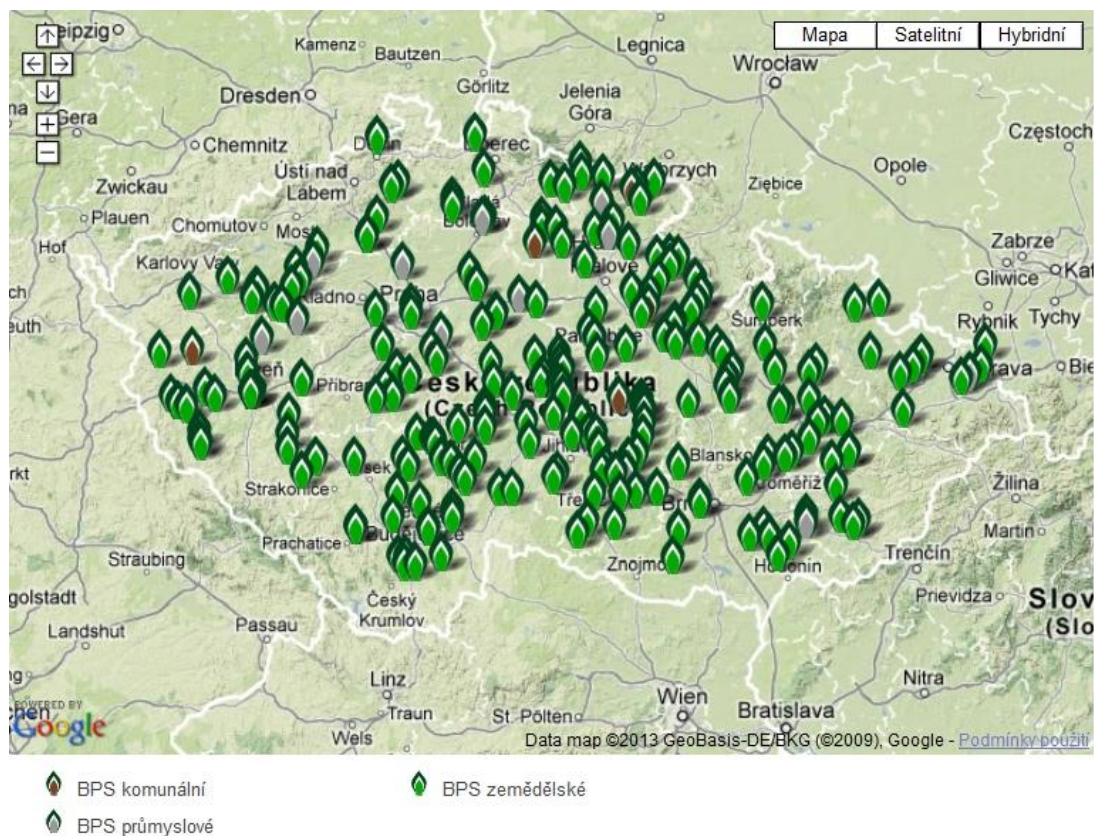
- celková výroba elektřiny: **79 976 GWh**
- celková spotřeba elektřiny v ČR: **64 070 GWh**
- celková výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů energie (OZE): **8 135 GWh**
- podíl OZE na výrobě elektřiny: **10,2 %**
- podíl bioplynu na výrobě: **1,6 %**
- **celková výroba elektřiny z bioplynu: 1 256 GWh**
- **podíl bioplynu na OZE: 15,4 %**

Aktuálně je v ČR provozováno **362** BPS z toho 341 zemědělských, 12 průmyslových a 9 komunálních (viz. obr. 1). Celkový instalovaný výkon **258 MW_e** a zhruba stejný celkový tepelný výkon cca **260 MW_t** [6].

Potenciál se přitom odhaduje na **2 TWh** elektřiny v roce 2020, což představuje pokrytí spotřeby asi dvou milionů domácností. Další **2 TWh** připadají na teplo dodané většinou na vytápění budov (to odpovídá spotřebě na vytápění krajského města).



Graf 1: Počty jednotlivých typů BPS



obr. 1: Rozmístění BPS v ČR (k 30.11.2012); převzato z [5]

1.4 Popis zemědělských bioplynových stanic

Hlavní složkou jímaného bioplynu je metan CH_4 , který vzniká i v přírodě při samovolném rozkladu organické hmoty. Metan je hlavním skleníkovým plynem a jeho jímání má stejný efekt jako jímání 21 násobného množství CO_2 . Dalším přínosem aplikace anaerobní fermentace je významné snížení emisí amoniaku unikajícího při běžném skladování živočišných exkrementů [1]. V nařízení vlády č. 615/2006 sb. je uvedeno, že tímto opatřením dochází k 85% snížení emisí amoniaku [2].

Anaerobní fermentace je biologický proces rozkladu probíhající za nepřístupu vzduchu. Tento proces probíhá přirozeně v přírodě např. v bažiništích, na dnech jezer nebo na skládkách komunálního odpadu. Při tomto procesu směnná kultura mikroorganismu postupně v několika stupních rozkládá organickou hmotu. Produkt jedné skupiny mikroorganismu se stává substrátem pro další skupinu.

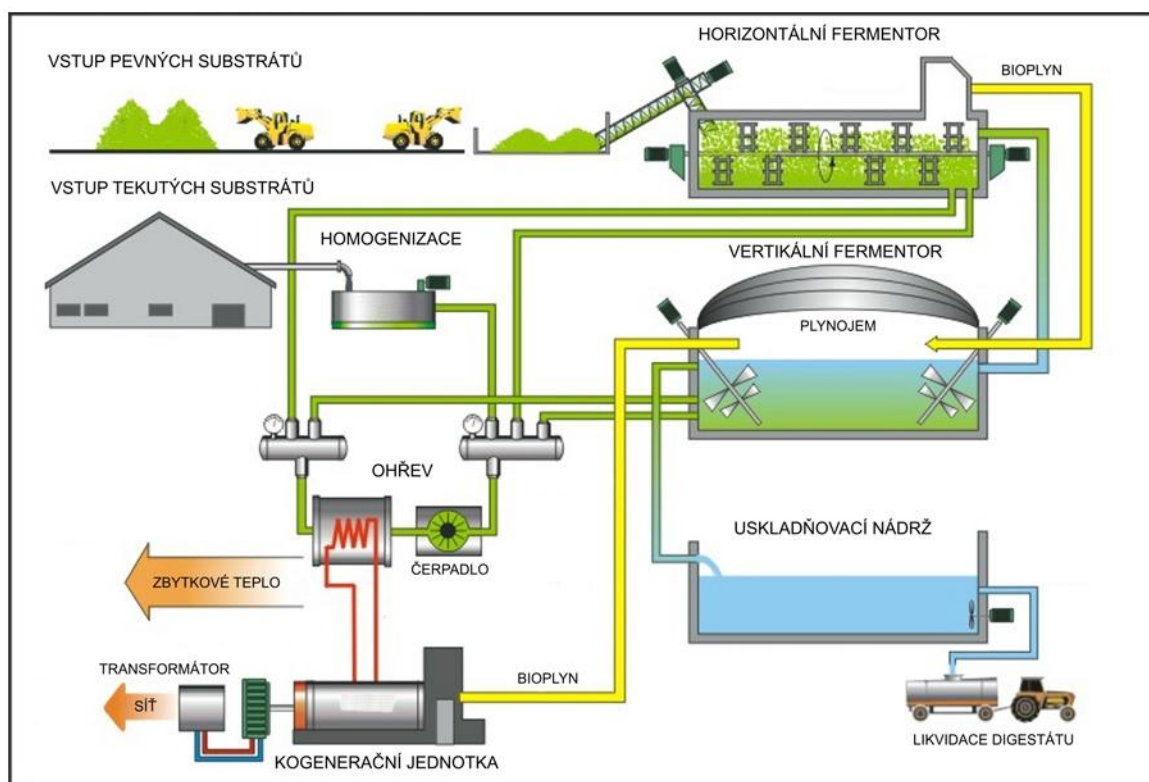
Při řízené anaerobní fermentaci dochází ke stabilizaci biomasy (zamezení dalšího rozkladu, odstranění zápachu a hygienických rizik, apod.). Naopak při samovolném rozkladu

organické hmoty by docházelo ke značné emisi pachových látek a existují i hygienická rizika (mikroby, hmyz, hlodavci atd.)

Vlastnosti fermentačního zbytku (tzv. digestátu) jsou velmi příznivé pro jeho využití v zemědělství - zachování hnojivého účinku, vazba dusíku na organické látky, velmi významná redukce choroboplodných zárodků a semen plevelu, atd.

Výrobní program BPS je založen na výrobě bioplynu anaerobní dvoustupňovou fermentací ze surovin se zemědělským původem. To znamená např. organické odpady jako hovězí hnůj, prasečí kejda, zbytky krmiva, skrývky ze silážních jam a žlabů a jiné odpady vhodné pro výrobu bioplynu. Dále pak suroviny s vyšší energetickou hodnotou jako kukuřičná siláž, travní senáž, siláž z obilí GPS.

Každý nový projekt BPS je vlastně originálem. Univerzální schéma nejde použít všude. Vzhledem k umístění v lokalitě, různému typu zpracovávaného materiálu, charakteru provozu, místnímu vybavení, technologiím atd. Pro využití bioplynu je třeba pečlivě vybírat vhodná místa s celoroční poptávkou po elektřině a teple. Taková místa jsou bezpochyby zemědělská družstva a farmy. To jen potvrzuje to, že největší počet realizovaných BPS je právě těch zemědělských.



obr. 2: Obecné schéma BPS; převzato z [14]

1.5 Využívání odpadního tepla

Asi polovina energie obsažené v bioplynu se přemění na teplo, které se využívá především pro vyhřívání fermentorů, „přebytečné“ teplo se pak využívá pro vytápění provozních budov v areálu, případně pro vytápění domů v nejbližší obci. Účinnost výroby elektřiny z bioplynu je 30 - 40 % [8].

Hlavním a nejdůležitějším příjmem BPS je bezesporu prodej elektrické energie do sítě. V současnosti je tato cena předepsána Energetickým regulačním úřadem a je zaručena po dobu 20 let (meziročním zvyšováním o inflaci). Ekonomiku provozu však může vylepšit prodej tepla, ten přináší další příjem, kde je však cena smluvní a běžně okolo 200 až 350 Kč/GJ [8]. Problém je často v tom, že bioplynová stanice se z různých důvodů nestaví blízko obytných domů, kde by se teplo dalo prodat. Vybudování teplovodu by znamenalo zvýšení ceny tepla, někdy až nad přijatelnou hranici. Proto se někdy u BPS staví sušárny nebo jiné provozy, kde se dá odpadní teplo smysluplně využít. V těchto případech se teplo využívá stejně po celý rok a jeho odběr tedy není závislý na ročním období resp. na teplotě. Pokud BPS prodává teplo pro vytápění domů, je potřeba správně stanovit cenu pro koncového odběratele (v případě, že jím není provozovatel BPS). Odhadne-li se na začátku odebírané množství tepla příliš vysoko a ve skutečnosti bude odběr tepla nižší, povede to ke zdražení tepla a následně k dalšímu snižování odběru či odpojování uživatelů.

Jakkoliv je tepelná energie rozptýlená a často obtížně využitelná z důvodu umístění BPS, s ohledem na její potenciál se jistě vyplatí uvažovat o celkové strategii jejího využití, už jen proto, jak stále citlivější diskusi vyvolává zajištění dodávek tepla v budoucnu.

Prvního ledna roku 2012 vydal Energetický regulační úřad (ERÚ) úpravu ustanovení bodu 1.6.2 *Cenového rozhodnutí ERÚ č. 7/2011*, kterým se stanovuje podpora pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů, jenž souvisí s § 6 *zákonu č. 180/2005 Sb. (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů, ve znění pozdějších předpisů)*. Do tohoto data nebylo v České republice ve všech nově vznikajících i již realizovaných projektech podmínkou pro získání dotačních titulů na výstavbu BPS využití odpadního tepla. To se v mnoha případech podepsalo i na tom, že je využití odpadního tepla spíše symbolické a nebo v horších případech žádné (kromě vlastní spotřeby BPS) [7]. Od 1. ledna roku 2012 nastala změna v podobě pohyblivé výkupní ceny za 1 kWh dodanou do sítě. Cena se liší podle množství využívání resp. spotřeby odpadního tepla. Tuto cenu určuje tzv. zelený bonus, ten se přičítá k ceně prodané kWh, bonus

se počítá právě podle množství efektivně využitého tepla (upřesněno níže). Výkupní cena vč. zeleného bonusu (pro kategorie zemědělských BPS) pro rok 2013 činí $3,04 - 4,16 \text{ Kč} / \text{kWh}$ [11].

Přesněji podle výše zmíněné úpravy ustanovení bodu 1.6.2, se stanoví, že výrobce, který nárokuje podporu formou výkupní ceny nebo tzv. zeleného bonusu pro elektřinu vyrobenou spalováním bioplynu v bioplynové stanici kategorie AF1 pro zdroj uvedený do provozu po 1. lednu 2012, je povinen splnit podmínku výroby a efektivního využití vyrobené tepelné energie. Tedy je povinen efektivně využít vyrobenou tepelnou energii v úrovni 10% vůči vyrobené elektřině v daném roce, s výjimkou elektřiny a tepla pro vlastní technologickou spotřebu BPS [7].

Od roku 2013 se zvyšuje limit efektivně využitého tepla pro získání zelených bonusů z 10 na 20 % z celkové výroby bez technologické vlastní spotřeby BPS.

Pojmem „efektivní využití tepelné energie“ se rozumí užitečné teplo vyrobené v procesu kombinované výroby elektřiny a tepla k uspokojování ekonomicky odůvodněné poptávky po teple a chlazení. Užitečným teplem není teplo spotřebované pro vlastní spotřebu BPS, ani teplo spotřebované po instalaci tzv. ORC zařízení využívajícího organický Rankinův cyklus (podrobněji viz. kapitola 3.3). Pro prokázání skutečného efektivního využití odpadního tepla nelze využít jiný způsob než reálné měření efektivně využité tepelné energie. Dokladem pro vyhodnocování množství naměřené elektřiny a užitečného tepla je měsíční nebo roční výkaz. Tento pak podléhá kontrole Státní energetické inspekce [7].

2 Bioplynová stanice Věžná

2.1 Lokalita a zařazení

Objekty BPS se nachází v katastru obce Věžná v areálu Výrobně obchodního družstva Kámen. Jedná se o zemědělský areál mimo obytnou zástavbu obce. Vzhledem k dostatečné vzdálenosti od obytné zástavby a umístění v zemědělském areálu je zaručen minimální vliv na obyvatelstvo. Dopravní trasy vstupů a digestátů probíhají mimo bytovou zástavbu.

Lokalita je výhodná zejména v možnosti využití stávajících obslužných komunikací a navazuje i na přilehlé stáje a kravíny. Přímo u BPS se potom nachází nově vybudované silážní žlaby, ve kterých jsou uskladněny vstupní suroviny. Umístění je tak výhodné i z hlediska dopravy vstupních surovin. V blízkosti jsou další stavby, kde se případně může využít odpadní teplo. Nedaleko BPS byla umístěna trafostanice, jež byla při výstavbě nahrazena modernější trafostanicí a přípojkou na stávající rozvodnou síť VN. Celkově je tedy lokalita díky navazujícímu zemědělskému provozu napojena na potřebnou infrastrukturu. V areálu BPS byly komunikace upraveny dle potřeb a jsou použitelné pro středně těžký provoz.

Zařízení plně vyhovuje charakterem zpracovávaných vstupních surovin kategorií zemědělských bioplynových stanic dle Metodického pokynu Ministerstva životního prostředí pro schvalování bioplynových stanic [4]. Provoz BPS řeší hlavně problematiku nakládání se slamnatým hnojem v areálu zemědělského družstva.



obr. 3: Fermentory a dofermentor BPS Věžná, provozovatel VOD Kámen; převzato z [10]

2.2 Energetická bilance

Tabulka 1: Technická data BPS Věžná (přehled výstupů z BPS)

denní produkce bioplynu [m ³]	8 336
roční produkce bioplynu [m ³]	3 043 198
brutto produkce energie v BP [kWh/rok]	17 752 000
typ kogenerační jednotky	2 x MAN 370
instalovaný elektrický výkon [kW]	740
elektrická účinnost [%]	39
tepelný výkon [kW]	848
tepelná účinnost [%]	44,5
celková účinnost [%]	83,5
vlastní spotřeba tepla v BPS [%]	20
vlastní spotřeba elektřiny [%]	8
brutto energie celkem [GJ/rok]	63 902
teoretická produkce elektřiny [kWh/den]	17 760
skutečná produkce elektřiny dle měření [kWh/den]	16 860
produkce elektřiny za rok 2012 [kWh]	6 153 948
produkce tepla za rok [kW]	7 052 091
teplo použité pro vlastní spotřebu [kW]	1 410 418

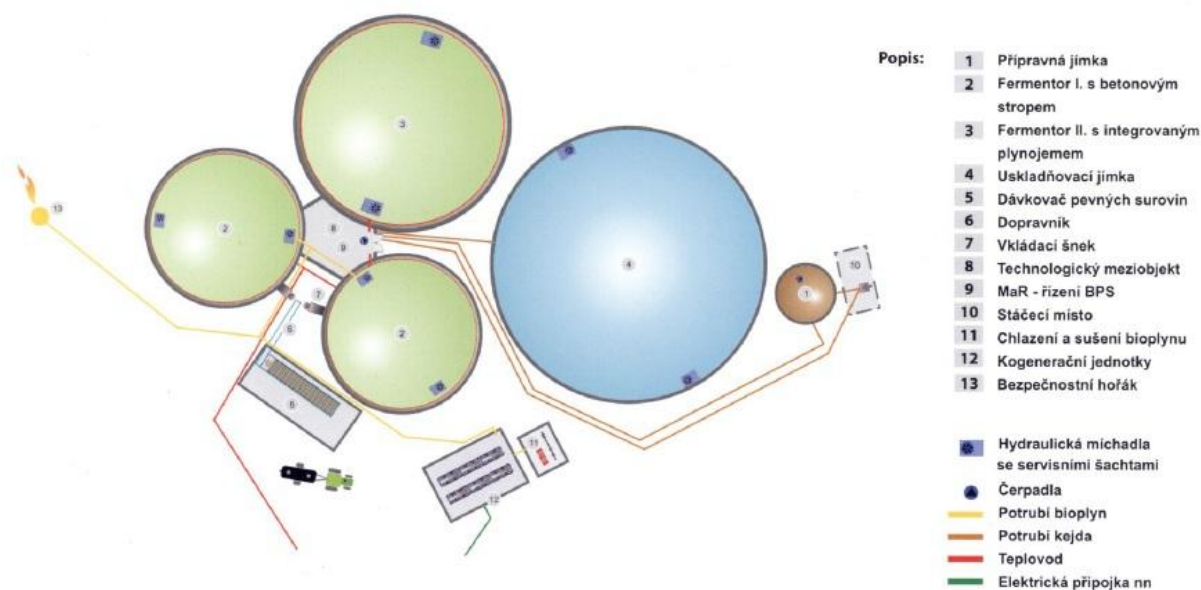
Tabulka 2: Přehled vst. surovin BPS Věžná za rok 2012, dle vlastního měření a deníku BPS [9]

Přehled vstupních surovin BPS Věžná za rok 2012							
	kuk. siláž [t]	senáž [t]	GPS [t]	hnůj [t]	brambory [t]	výpalky [m ³]	kejda [m ³]
leden	343	0	297	1377	0	600	224
únor	527	0	65	1215	32	660	24
březen	562	0	0	1402	98	808	0
duben	448	0	0	1361	144	882	0
květen	379	0	105	1389	148	860	190
červen	300	73	87	1312	125	995	112
červenec	342	0	186	1391	2	847	164
srpen	371	0	186	1384	37	872	58
září	313	0	163	1290	68	806	64
říjen	445	0	64	1473	153	800	131
listopad	595	0	0	1467	48	784	69
prosinec	590	0	0	1522	0	666	69
CELKEM [t(m³)/rok]	5215	73	1153	16583	855	9580	1105

2.3 Objekty BPS

Největšími objekty jsou čtyři nadzemní kruhové jímky - fermentory I a II o průměru 22 m, výšky 6 m vnitřních rozměrů a objemu 2270 m³ jsou zapuštěny cca 2 m pod úroveň terénu. Dále do fermentor s integrovaným plynojemem (speciální fólie s polyesterovou výztuží, která působí jako ochrana před povětrnostními vlivy a vnitřní EPDM fólie jako provozní plynojem) o vnitřním průměru 26 m, výškou 6 m a objemu 3185 m³, taktéž zapuštěn pod úroveň terénu jako fermentory a koncová uskladňovací jímka o průměru 38 m, výšce 8 m vnitřního rozměru a objemu 9050 m³. Mezi jímkami je umístěno čerpací centrum, tzv. meziobjekt. Mezi fermentorem I a uskladňovací jímkou stojí budova kogenerace včetně sociálního zázemí a kanceláře. Dávkovač pevných substrátů - zařízení pro příjem je cca 5 m od fermentorů. Flóra je v požárně bezpečnostní vzdálenosti min. 15 m od objektů. Dále zde byly vybudovány silážní žlaby pro 6750 tun silážní hmoty.

Objekty jsou propojeny dopravními zařízeními - pásovými zakrytými dopravníky, plastovým a nerezovým potrubím na povrchu objektů i pod zemí. [1]



obr. 4: Schéma objektů vč. jejich propojení, BPS Věžná, převzato z [10]

2.4 Technologie

BPS je akumulární průtokové zařízení. K produkci bioplynu dochází při tzv. mokré fermentaci (vlhkost substrátu 7 - 9 %) v mezofilním provozu (při teplotách 38 - 55 °C).

Suroviny s nízkým obsahem sušiny (do 12 %) jsou do fermentoru I. dávkovány z přípravné homogenizační jímky (pomocí propojovacích potrubí). Tato jímka slouží k prvotnímu promíchání suroviny a vyrovnání sušiny do hranice čerpatelnosti, tj. cca kolem 10 %. Přípravná homogenizační jímka je betonová, téměř kompletně zapuštěná do země. Jímka není vybavena vytápěním pro předehřev suroviny. Dále je zde možnost míchání resp. čerpení jejího obsahu. Materiály s vyšším obsahem sušiny jsou dávkovány přes dávkovací zařízení a soustavu pásových dopravníků. Tento dávkovač je vybaven vahou a řídicím článkem pro dávkování obsahu podle nastavených parametrů. Materiál je v dávkovači rozduřován vertikálními míchači. Suroviny jsou do tohoto podavače dávkovány pomocí kolového manipulátoru s teleskopickou lopatou. [1]

Následně jde surovina do hlavních vertikálních fermentorů I a II. V těchto vertikálních betonových kruhových fermentorech probíhá celý proces mezofilní fermentace při teplotě cca 40° C.

Hlavní fermentory jsou dva a jde o železobetonové kruhové jímky z vnější strany izolované kontaktním zateplovacím systémem a dále jsou opláštěny pohledovým plechem. Tyto fermentory jsou částečně zapuštěné do země. Fermentory jsou nejdůležitější část BPS a na jejich funkci výrazně závisí efektivita tvorby bioplynu. Fermentory jsou dále vybaveny vytápěním umístěným na vnitřní stěně a každý z nich dvěma rychloběžnými vrtulovými míchadly, která jsou výškově a směrově nastavitelná. Výhodou vrtulových míchadel je jejich snadný přístup v případě poruchy – bez toho, aby se jakýmkoliv způsobem muselo zasahovat do fermentačního prostoru. Fermentor je vybaven montážními otvory, prostupy na čerpání a dávkování suroviny a otvory pro čerpání do dalších fází postupu suroviny.

Následně je surovina čerpána do dalšího fermentoru, tzv. dofermentoru. Ten je zakryt fóliovým krytem pro zachytávání bioplynu, který zde může být ještě produkován. I dofermentor je vybaven dvěma ponornými vrtulovými míchadly. Ta pravidelným promícháváním zabraňují tvoření usazenin a plovoucího „škrálopu“. Jímací prostor je pak vybaven plynovým potrubím na odvod bioplynu, který je veden k technologii související s jeho využitím. Součástí tohoto je sušení a ochlazování plynu a jeho odsíření. Plyn je odsířován hned ve fermentorech speciálními dmýchadly. Odsíření se provádí hlavně kvůli životnosti motorů v technologii využívající upravený bioplyn, kterou nazýváme kogenerační jednotka.

Kogenerace, neboli společná výroba tepla a elektřiny, představuje velmi zajímavou aplikaci moderních technologií na známé principy. Kogenerační jednotku (dále jen KGJ) tvoří generátory na výrobu elektřiny poháněné spalovacími motory.

Výhoda kogenerace spočívá v tom, že odpadní teplo odváděné ze spalovacího motoru obvykle chladičem a výfukem, je využito pro výrobu tepelné energie. Ta je při procesu anaerobní fermentace využita jednak pro ohřev fermentorů a jednak může být její přebytek využit k dalším účelům dle záměru investora. Díky tomu může být dosaženo vysoké účinnosti celého procesu a tím dochází k úspoře paliv a ke snižování množství škodlivých emisí. [1]

V tomto případě tvoří KGJ dva motory MAN, každý o výkonu 370 kW a dva generátory s nimi spojené. KGJ je umístěna v nově postavené zděné budově. Přebytky bioplynu jsou v případě poruchy nebo odstávky kogenerace páleny na bezpečnostním hořáku tzv. fléře.



obr. 5: Kogenerační jednotka BPS Věžná

Většina produkce el. energie (700 kW) je dodávána do veřejné distribuční sítě na základě smlouvy o prodeji elektřiny s distributorem EON. Zbytek je potom spotřebován vlastním provozem BPS a provozem ostatních přilehlých budov v areálu družstva.

2.5 Využívání odpadního tepla

Co se tepelné energie týče, tak její část je spotřebována pro vlastní proces, tj. vyhřívání fermentačních jímek. Tato část činí cca 20 % roční produkce tepelné energie. Se zbytkem odpadního tepla se v současnosti nijak nehošpodaří a je chladiči a ventilátory

vypouštěno
do vzduchu, tedy mařeno.

3 Možnosti využívání odpadního tepla z BPS

Možností pro využívání odpadního tepla z BPS je v dnešní době docela mnoho, avšak jak jsem již zmiňoval, je zejména u zemědělských BPS těžké najít využití odpadního tepla, které by mělo smysl a rozumnou ekonomickou návratnost. Vše záleží na lokálních podmínkách konkrétní BPS.

Ve většině případů zemědělských BPS je nutné uvažovat nad výstavbou dalších systémů pro využití odpadního tepla (např. teplovody, výměňkové/předávací stanice, výstavba/rekonstrukce topných systémů a systémů pro ohřevy teplé užitkové vody, různé sušárenské technologie, ORC zařízení, apod.). Investiční náklady spojené s využíváním odpadního tepla bývají zpravidla nemalé, nicméně úspěšně realizovaný projekt může mít významný pozitivní přínos pro ekonomickou i environmentální efektivitu BPS. [12]

3.1 Vytápění přílehlých objektů

Odpadní teplo může být použito pro vytápění objektů v blízkosti BPS. V zemědělských družstvech se jedná hlavně o kravíny, dílenské provozy, kanceláře, sklady a jiné průmyslové budovy bezprostředně blízko BPS.

Teplo je možné přes výměníky dopravovat horkovodem nebo parovodem k odběrným místům. Čím delší je však trasa horkovodu a čím větší je počet výměníků tepelné energie, tím jsou logicky i větší ztráty na vedení. Teplotní spád takto zapojeného systému odpovídá teplotnímu spádu získanému na výměnících kogenerační jednotky, tedy obvykle 90/70 °C. Vedení teplovodem může být maximálně 2 km dlouhé, pak už neúměrně roste cena teplovodu.

Toto je asi nejjednodušší způsob, jak toto teplo zužitkovat. Bohužel se tímto stylem nedá teplá voda dovést dost daleko na to, aby stačila vytápět např. obytné domy. Pro větší vzdálenosti se musí využít systémů centrálního zásobování teplem (CZT).

3.1.1 Příklad realizace teplovodem

Velmi zajímavým způsobem se s teplovodem vypořádali ve vesnici Neumarkt in der Oberpflazt v Bavorsku, ve které se nachází 11 obytných domů. Obyvatelé této obce na vlastní náklady a svépomocí vybudovali teplovod do svých rodinných domů. Položení teplovodů

provedla odborná firma, zemní práce provedl jeden z obyvatelů vesnice svou technikou a instalaci deskových teplovodních výměníků provedl rovněž místní instalatér. Tím se zároveň podařilo snížit celkové náklady. Zemědělec vlastníci BPS se zavázal, že po dobu 10 let bude teplo bezplatně dodávat obyvatelům obce, zatímco oni se zavázali, že po uplynutí 10 let převedou plynovod na zemědělce. Zároveň se obě strany dohodly, že cena budoucího tepla, za které již budou platit, bude nižší cca. o 35 % než cena tepla z topného oleje, který byl doposud v obci používán.

3.2 Dodávka tepla do CZT

Zásadním faktorem pro dodávku odpadního tepla do CZT je dosažitelnost odběrného místa s dostatečnou spotřebou energie a vhodným odběrovým diagramem. Čím blíže se nachází odběrné místo od zdroje energie (kogenerační jednotky), tím nižší náklady představuje investice do vybudování teplovodní přípojky. Obecně platí, že nejvýhodnější dodávka odpadního tepla je vždy do již existující centrální přípojky CZT. Tím odpadají zpravidla obrovské náklady na vybudování rozvodné sítě a přípojek do systému CZT.

Možnou alternativou s ohledem na ztráty tepla v teplovodech je vybudování plynovodu na bioplyn a kogenerační jednotku umístit v místě, kde se využívá i odpadní teplo. V tomto případě bude jímáný plyn z fermentačního procesu veden přímo k odběrnému místu. Nevýhodou tohoto systému je potřeba dvou kogeneračních jednotek, jedné v místě odběru a druhé v místě BPS, která zajistí potřebnou elektrickou i tepelnou energii k pokrytí vlastní spotřeby BPS. [13]

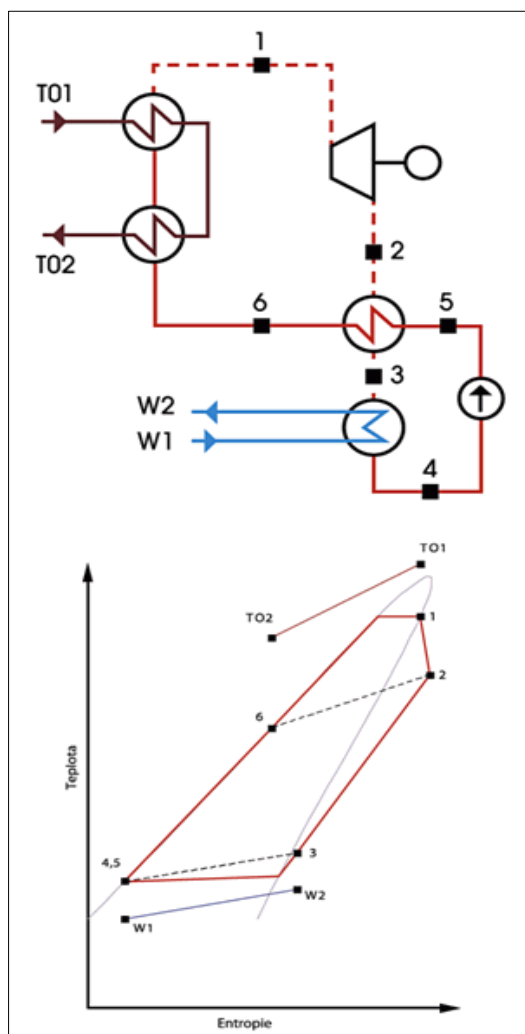
3.2.1 Příklady realizace plynovodem

Tento alternativní způsob byl realizován v roce 2009 v Třeboni. Protože je tento projekt v ČR ojedinělý, tak stojí za krátkou zmínku. Jedná se o první český bioplynovod, který je veden od BPS do 4,4 km vzdálených lázní Aurora, kde se je umístěna KGJ. Teplo se zde spotřebovává na vytápění bazénů, TUV, rašeliny a zimě i k vytápění budov. Město přešlo na vytápění odpadním teplem KGJ ze spalování zemního plynu a ušetří tím cca 1,5 mil. korun ročně. Navíc BPS s výkonem 1 MW_{el} vyrobí elektrickou energii, která pokryje 30 % roční spotřeby města.

3.3 ORC jednotky - výroba el. energie z odpadního tepla

3.3.1 Popis ORC obecně

ORC, zkratka Organický Rankinův Cyklus, je parní cyklus, podobně jako u parní turbíny, ve kterém se ale jako pracovní látka nepoužívá voda resp. vodní pára, ale organické sloučeniny. Důvodem využívání organických látek je to, že mají vyšší molekulovou hmotnost než voda a vydrží v kapalně podobě i při nižších teplotách a tlacích. ORC jednotky využívají organické látky jako např. OMTS - octamethyltrisiloxan, chladiva, toluen apod. Těchto perspektivních pracovních látek je celá řada. Hlavní výhodou ORC jednotek oproti parním turbínám je vyšší účinnost, kterou má ORC stejně vysokou i při nízkých výkonech.



obr. 6: Obecné schéma a T-S diagram vlastního ORC oběhu; převzato z [15]

Tabulka 3: Popis schématu vlastního ORC [15]

LEGENDA	
fáze	popis
1	sytá pára pracovní látky
1 - 2	expanze na turbíně
2	oblast přehřáté páry
2 - 3	ochlazení par organických sloučenin na mez sytosti (vnitřní rekuperace)
3 - 4	kondenzace par pracovní látky (přeměna z plynné na kapalnou fázi)
4 - 5	pracovní látka je dopravována čerpadlem
5 - 6	ohřev pracovní látky přes rekuperátor
6 - 1	ohřev pracovní látky ve výparníku
značka	popis
T01	teplota TO na vstupu do výparníku
T02	teplota TO na výstupu z výparníku
W1	teplota vody chladícího okruhu na vstupu do kondenzátoru
W2	teplota vody chladícího okruhu na výstupu z kondenzátoru

Popis schématu vlastního ORC oběhu (viz. obr. 6):

Tepelný zdroj (kotel, KGJ apod.) předává teplo pracovní látce uzavřeného sekundárního okruhu ORC. Vzniklá sytá pára organických sloučenin je vedena na axiální turbínu, která je přímo spojena s generátorem elektrické energie. Teplo z kondenzátoru, ve kterém náplň ORC okruhu mění své skupenství zpět do kapalné fáze, je vedeno k dalšímu využití. (V podstatě se jedná o další kogeneraci, tyto malé kogenerační jednotky také bývají nazývány jako "mikrokogenerace".) Při vhodném navržení tepelného oběhu lze toto teplo dále využít k jiným účelům. Z kondenzátoru je náplň ORC dopravována čerpadlem přes regenerátor zpět do výparníku. [15] Kondenzátor musí být dostatečně chlazen, aby byla zaručena správná funkčnost zařízení. Při nedostatečném chlazení dochází k omezení max. výkonu ORC jednotky.

3.3.2 Využití ORC jednotek v BPS

ORC zařízení mají mnoho možností aplikace a to zejména ve výtopnách na biomasu, elektrárnách a podobných zařízeních, tam se jedná o obrovské ORC jednotky s výkony přesahujícími $1 MW_{el}$. U takových ORC jednotek je pro jejich chod nutné doplnění o další uzavřený okruh, jehož pracovním médiem je termo-olej, který ohřívá výparník druhého uzavřeného okruhu s organickou látkou.

Pro aplikace jednotek ORC v bioplynových stanicích se používají zařízení podstatně menší a kompaktnější o výkonech odpovídajících tepelnému výkonu v konkrétní BPS, tedy ve většině případů výkon ORC jednotky v BPS nepřesáhne $150 kW_{el}$. Tyto jednotky postrádají okruh s termo-olejem a jsou schopny zvýšit účinnost celkové výroby elektrické energie BPS o 3 - 6 %. Pracovní organická látka je zahřívána dvěma způsoby tj. buď přímo z nízkopotenciálního tepla vody z chladicího okruhu kogenerační jednotky BPS, kde teplota vody na vstupu do výměníku dosahuje maximálně $95\text{ }^{\circ}\text{C}$. A nebo mnohem účinnější způsob ohřevu od vysokopotenciálního tepla spalin přímo z výfuků od motoru kogenerační jednotky, v tomto případě už se jedná o teploty pohybující se okolo hodnoty $500 - 600\text{ }^{\circ}\text{C}$. U těchto malých ORC jednotek, které jsou zpravidla umístěovány venku hned vedle samotného objektu s KGJ je potřeba zohledňovat vnější vlivy – tím nejdůležitějším je teplota okolního vzduchu. Ten má velký vliv na to jak se bude chladit kondenzátor ORC jednotky, resp. na teplotu chladicího média. Z toho vyplývá, že čím vyšší bude teplota venku, tím hůře se bude ORC chladit a tím menší bude mít výkon. Na tuto skutečnost jsou více citlivé hlavně ORC jednotky

využívající ohřev z vody chladicího okruhu kogenerační jednotky, ty mnohdy vykazují snížení výkonu už při okolní teplotě vyšší než 24 °C. Při povětrnostních podmínkách v České republice a průměrné roční teplotě 5,5 až 9 °C (v závislosti na konkrétní lokalitě) je tento problém aktuální jen několik týdnů v roce, avšak ztráty v podobě nevyrobené energie jsou nezanedbatelnou položkou, která se negativně podepisuje na délce doby návratnosti nemalých investic do ORC zařízení.

Druhý typ ORC jednotek, který využívá k ohřívání pracovní látky spaliny z motorů kogenerační jednotky není zdaleka tolik náchylný na okolní teploty. U tohoto typu ORC se projevuje snížení výkonu (zhoršení chlazení) až při teplotách okolí nad 33 °C. Takto teplých dnů je už v ČR mnohem méně. Navíc odpadní teplo, které vyprodukuje kogenerační jednotka resp. její chladicí okruh, zůstává v tomto případě nevyužito a je možné využít ho jiným způsobem, což opět zvyšuje potenciál dané bioplynové stanice.

Oba typy ORC jednotek díky uzavřeným, téměř bezúdržbovým pracovním okruhům neprodukuje žádné emise a jejich fungování je tedy ekologicky nezávadné.

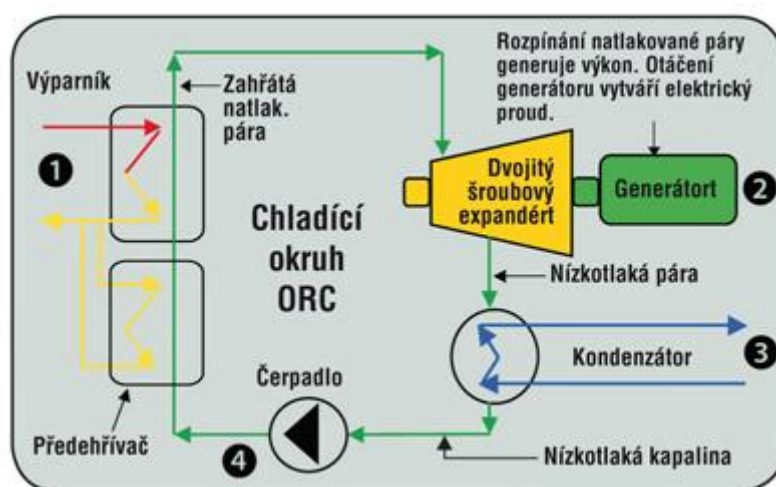
Ve však nutné dodat, že investor, který se rozhodne pro využití odpadního tepla z BPS pomocí jakéhokoliv typu ORC jednotky resp. navýšení celkového vyráběného el. výkonu, musí zohlednit další kritéria. A to kolik kW_{el.} může dodávat do veřejné distribuční sítě, což se řídí smlouvou uzavřenou se společnostmi vykupujícími tuto elektřinu. Tedy investor si musí zajistit navýšení max. el. výkonu dodávaného do sítě – tzn. změnu smlouvy. Toto je ne vždy samozřejmostí a mnohdy se tomuto kroku výkupci elektřiny brání. Tento případ nenastává u nových projektů, kde se s navýšením el. výkonu počítá dopředu, ale u již fungujících BPS, kde toto zohledněno v původní smlouvě nebylo. S tímto souvisí další nevýhoda, a to, že trafostanice, přes kterou je elektřina dodávána do sítě, také nemusí být stavěna na potřebný výkon.

3.3.3 Praktický příklad použití ORC jednotky využívající ohřev pracovní látky vodou z chladicího okruhu KGJ v BPS Moravská Třebová

Jedním z ORC zařízení využívajících tento systém ohřevu je jednotka od americké společnosti *ElectroTherm*, ta nese název *Green Machine*. Jedná se o relativně novou technologii, která oproti jiným nemá instalovanou klasickou vysokorychlostní turbínu, ale tzv. dvojitý šroubový rotační expandér, ten je patentem společnosti a funguje v nízkých otáčkách. Tím se

zvyšuje spolehlivost systému. Při aplikaci těchto ORC jednotek při teplotách chladicí vody z BPS se jejich elektrické výkony pohybují v rozmezí 35 až 65 kW.

Níže na obrázku 5 je zobrazen proces funkce Green Machine. Odpadní teplo zachycené výparníkem se používá pro “převaření” provozní kapaliny na páru. Pod tlakem se pára prožene šroubovým rotačním expandérem a tím roztočí elektrický generátor. Pára se ochladí a v kondenzátoru zkondenzuje zpět na kapalinu. Provozní kapalina ve formě kapalného chladiva se přečerpá na vyšší tlak a vrátí se zpět do odpařovačku a proces se opakuje. Jako pracovní látka se zde používá nehořlavé, netoxické chladivo R245fa s vysokým výkonem při nízkých teplotách. [16]



obr. 7: Pracovní proces Green Machine; převzato z [16]

Green Machine byla v březnu roku 2012 instalována v zemědělské BPS Moravská Třebová (viz. obr. 8), jedná se o první kus nejen v Česku, ale i v celé východní Evropě. Tam se po delším rozhodování jaké zařízení ORC vybrat nakonec rozhodli pro Green Machine, hlavně z důvodu nižší počáteční investice (cca 6 mil. Kč) [17].

Tabulka 4: Vstupní parametry Green Machine v Moravské Třebové [18]

VSTUPNÍ PARAMETRY ZAŘÍZENÍ	
Teplotní spád vstupní topné vody z KGJ	92/82 °C
Teplotní spád chladicího okruhu z chladiče	max. 38/29 °C
Průtok topné vody	10 l/s
Průtok chladicí vody chladiče kondenzátoru	max. 14 l/s
Max. tepelný příkon z KGJ	550 kW
Počet provozních hodin za rok	8200

Výkonové parametry zařízení:

Průměrný roční výkon zařízení při vstupních hodnotách uvedených v tabulce 4 je 36 kWh_e . Průměrná vlastní spotřeba vnitřního čerpadla je 2 kW/h a průměrná spotřeba chladičů je rovněž 2 kW/h . To vše platí při průměrné roční teplotě $8,6 \text{ }^\circ\text{C}$. Maximální okamžitý výkon Green Machine je až 39 kWh_e (zimní období). [18]

Výpočty

BPS Moravská Třebová má instalovaný elektrický výkon 980 kW a tepelný výkon 1040 kW . To znamená, že po instalaci Green Machine teoreticky elektrický výkon vzroste o hodnotu přibližně 32 kW , tzn. celkový el. výkon potom činí 1012 kW , čili ORC zvyšuje výkon KGJ o přibližně $3,5 \%$ při spotřebě maximálně poloviny odpadního tepla vyprodukovaného v BPS. Výkupní cena za 1 kWh dodanou do sítě je $4,12 \text{ Kč}$. Tedy teoretické doba návratnosti investice do Green Machine je zhruba 5 a půl roku. Životnost zařízení se uvádí 20 let. Pak by tedy při nulové údržbě činil čistý zisk kolem 17 mil. korun .

Avšak postupem času se ukazuje, že teoretické výpočty a odhady se nebudou ve všem ztotožňovat s praxí. A to hlavně kvůli neschopnosti dostatečného chlazení, a tedy snižování výkonu ORC zařízení při vyšších okolních teplotách, kdy je občas výkon omezen až na polovinu maximální hodnoty udávané výrobcem. Tento problém má řešení v podobě účinnějšího chladiče, ale to znamená další investice a vyšší provozní náklady.



obr. 8: Reálný pohled na zařízení v Moravské Třebové (vlevo) a pohled na potřebný chladičový systém (vpravo)

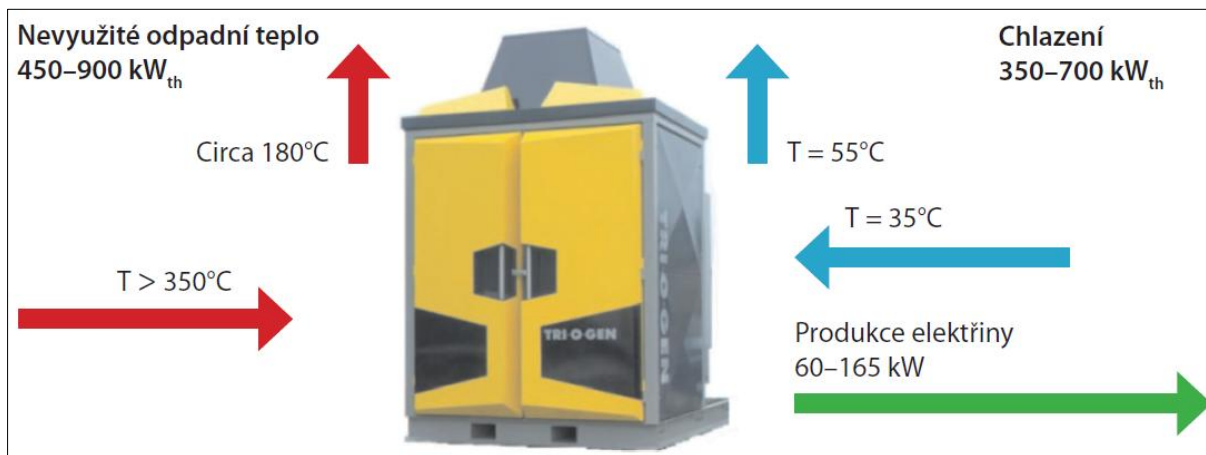
3.3.4 Praktický příklad použití ORC jednotky využívající k ohřevu pracovní látky horké spaliny z motoru KGJ v BPS Jetřichovec

Výrobně obchodní družstvo v obci Jetřichovec na Vysočině je mimo jiné také vlastníkem a provozovatelem BPS postavené v roce 2009. V této BPS fungují dvě kogenerační jednotky značky *Jenbacher* a od července roku 2012 také nově instalovaná ORC jednotka *TRI-O-GEN* od holandského dodavatele.

TRI-O-GEN ORC je mobilní zařízení, které převádí tepelnou energii na elektrickou energii – teplo z jakéhokoliv tepelného zdroje, pokud je jeho teplota vyšší než $350\text{ }^{\circ}\text{C}$. V tomto případě teplo ze spalín motoru KGJ o teplotě cca $450\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teplo proudící z tepelného zdroje se využívá k zahřívání provozní kapaliny zařízení ORC v hermeticky uzavřeném systému, čímž se pohání vysokootáčková turbína (až $28\ 000\ \text{ot./min}$), která pohání vysokorychlostní turbogenerátor, jenž vytváří elektrickou energii. Přenos tepla probíhá přes výměník bez použití zvláštního média (např. vody jako v předchozím příkladu). Spaliny jsou vedeny přímo na výměník spaliny/toluen. Toto ORC zařízení jako provozní látku využívá organickou kapalinu, toluen, vhodnou pro tepelné zdroje o teplotě mezi 350 až $600\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Zařízení je potřeba nainstalovat co nejbližší k tepelnému zdroji, aby se minimalizovala tepelná ztráta. V zařízení se ochlazuje spaliny na teplotu cca $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebo vyšší. Zařízení ochlazuje pouze proud spalín, ale nemění jeho obsah.

Jakmile je zařízení ORC připojeno k tepelnému zdroji, funguje zcela automaticky. Když je zahájen přívod tepla, zařízení se zapne. Když teplo již není přiváděno, zařízení se vypne. V případě, že obsluha chce zařízení vypnout, pak to lze provést manuálně nebo vzdáleně.

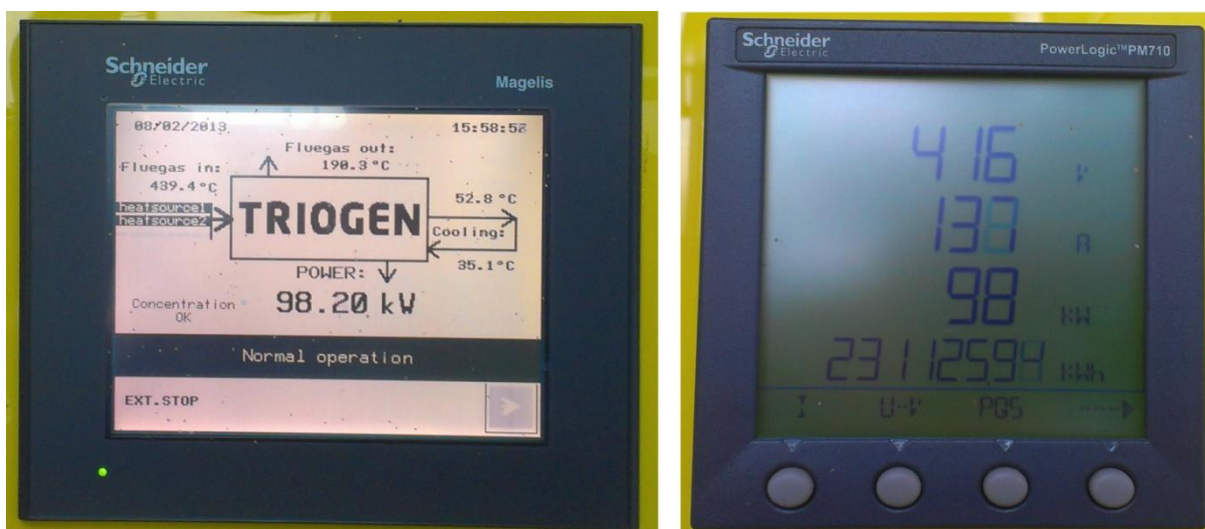


obr. 9: ORC zařízení TRI-O-GEN s popisem vstupních a výstupních teplot a el. výkonu; převzato z [19]

V podmínkách v jakých funguje TRI-O-GEN v Jetřichovci je schopen mít a má garantovaný výstupní elektrický výkon $98\ \text{kW}$. Vlastní spotřeba zařízení (čerpadla, ventily, chlazení) činí cca $5\ \text{kW}$. Z praxe přímo z místa provozu je vyzkoušeno, že tato ORC jednotka pracuje bez ztráty výkonu i při $34\text{ }^{\circ}\text{C}$ okolní teploty. Počet hodin provozu za rok je podle výrobce udáván $8500\ \text{hod./rok}$, tedy cca 10 dnů je počítáno na povinnou údržbu a případné odstávky.

Tabulka 5: Vstupní parametry ORC jednotky TRI-O-GEN [20]

VSTUPNÍ PARAMETRY ZAŘÍZENÍ	
Teplotní spád spalin z motorů KGJ	450/180 °C
Teplotní spád chladicího okruhu z chladiče	max. 35/55 °C
Max. tepelný příkon z KGJ	700 kW
Počet provozních hodin za rok	8500



obr. 10: Fotografie displejů z řídicí jednotky TRI-O-GEN

Na fotografiích displejů přímo z řídicí jednotky jsou vidět teploty přiváděných a výstupních spalin a vody z chladicího systému ORC jednotky. Dále pak právě vyráběný okamžitý elektrický výkon, el. napětí a proud. Poslední údaj na fotografii vlevo je počet kWh vyrobených od samotného spuštění systému.

BPS Jetřichovec má instalovaný elektrický výkon 1150 kW a celkový tepelný výkon 910 kW. ORC TRI-O-GEN přidalo k BPS dalších 98 kW, celkový el. výkon potom narostl na hodnotu 1248 kW. Tj. navýšení el. výkonu o skoro 8 %. Při výkupní ceně 4,12 Kč za 1 kWh a počáteční investici do zařízení 14 mil. Kč se přibližná doba návratnosti pohybuje kolem časového údaje 4,5 roku. Teoreticky za svou udávanou dobu životnosti 20 let a nulové údržbě bude mít provozovatel jednotky čistý zisk přesahující částku 50 mil. korun.



obr. 11: Zleva - ORC jednotka v reálném umístění a napojením na výfuky od motorů KGJ; přilehlé chlazení ORC jednotky

3.4 Sušení pomocí odpadního tepla

Vzhledem k množství vyprodukovaného odpadního tepla má sušení různých materiálů velký potenciál, avšak jak už jsem zmiňoval výše, tak je toto využití velice individuální a závisí na lokalitě, zaměření a místní poptávce po surovině. V této kapitole bude popsáno několik základních možností využití odpadního tepla z BPS k sušení.

3.4.1 Sušení řeziva

Odpadním teplem lze sušit i truhlářské a stavební řezivo. To se nejčastěji provádí ve zvláštních teplovzdušných komorových sušárnách, což jsou v podstatě komory různých rozměrů (podle individuálních potřeb a druhu sušeného materiálu). Většinou se jedná o haly s výměrem plochy podlaží do 100 m^2 . Tyto sušárny mají minimální náklady na provoz a při správném využití tepelné energie z BPS mohou sušárny dlouhodobě zajistit stabilní celoroční přínos svému provozovateli. Jejich provoz je vlastně omezen pouze odbytem sušeného materiálu.

Popis sušáren: [21]

Sušárny řeziva jsou jedno až dvouhráňové, neprůjezdné nebo průjezdné sušící komory, s čelním zavážením řeziva uloženého na kolejových vozících. Komory jsou celo-hliníkové s tepelnou izolací. Na místo určení jsou dodávány jako kompletně smontovaný celek

(podobně jako ORC jednotky) na základovou desku. Na základě požadavků investora lze také dodat technologie určené do zděných prostor.

Objemová kapacita řeziva v sušárnách je podle tloušťky řeziva a typu sušárny od 1,5 do 160 m³. V sušárnách se řezivo suší při teplotách 50 až 70 °C.

Uvnitř sušárny je situován energetický blok, ve kterém jsou umístěny axiální ventilátory, vyhřívací bimetalické výměníky a vzduchotechnika automatického odvětrávání komory. Na zadní stěnu komory je vyvedeno do přípojovacího panelu napojení topné a studené vody, vnitřní el. rozvody a propojení měřících a regulačních prvků. Sušárny jsou dle výběru řízeny polo nebo plně automatickým systémem regulace sušícího procesu. Jako zdroj tepla se tu tedy používá voda z chladicího okruhu kogenerační jednotky, která je v energetickém bloku přiváděna na výměník voda/vzduch. Ohřátý vzduch se pak ventiluje pomocí ventilátorů.

Výhody teplovzdušných sušáren:

- malá vstupní investice a kratší doba návratnosti
- nízké provozní náklady
- možnost kontinuálního celoročního využití odpadního tepla
- prostorově nenáročná a rychlá realizace sušárny
- sušení řeziva lze provozovat formou služby dalším subjektům, případně s řezivem dále aktivně obchodovat
- u BPS uvedených do provozu po 1.1.2012 dokáže sušárna svým instalovaným tepelným příkonem zajistit požadované desetiprocentní využití tepla pro zajištění nejlepší možné výkupní ceny elektřiny z BPS

Tabulka 6: Technické parametry vybrané sušárny řeziva od firmy Farmtec a.s. (typ SR-12) [21]

TECHNICKÉ PARAMETRY SUŠÁRNY SR-12	
Délka hráně	12,5 m
Šířka hráně	2 x 1,2 m
Objem řeziva podle tloušťky prken	29 - 40 m ³
Délka sušárny	12,8 m
Výška sušárny	3,3 m
Šířka sušárny	4,2 m
Instalovaný tepelný příkon	120 kW
Instalovaný elektrický příkon	7,2 kW



obr. 12: Komerové sušárny řeziva typu SR s kolejnicovou zavázkou řeziva; převzato z [21]

3.4.2 Sušení rostlinných komodit

Zajímavou možností pro využití tepla přímo v zemědělském podniku je dosoušení produktů rostlinné výroby. Jednou z možností, jak lze efektivně využít horkou vodu o teplotě $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ a navíc splnit požadovaný úkol pro získání dotace, tedy využít odpadní teplo z BPS, je sušení rostlinného materiálu. Důležité je, že v zemědělských šachtových sušičkách lze takto využít teplo i během letních měsíců.

Sušení jednotlivých surovin závisí na jejich druhu a době sklizně, obvykle probíhá od července do listopadu. V případě zajištění dostatečných skladovacích kapacit je teoreticky možné zajistit i kontinuální celoroční provoz sušárny. Nejčastěji jsou sušeny: ječmen, řepka, pšenice, kukuřice, senáž, mláto a další. Dostatek tepla je možné využít i k sušení sena nebo slámy. V tomto případě je sušárnou hala s rozvodem teplotvzdušných kanálů. Středotlaký ventilátor vhání teplo z bioplynové stanice do kanálu pod objektem sušárny. [13]



obr. 13: Vnitřek haly s teplovzdušnými kanály pro sušení balíků; převzato z [13]

Pro dosoušení „tekoucích“ obilnin se používají dva druhy sušiček. Jedním typem jsou sušičky pásové, ty jsou spíše univerzálnější a dají se na nich sušit i jiné materiály, jako např. digestát nebo dřevní štěpka. O tomto typu se budu podrobněji zmiňovat v dalším bodu. Tím hlavním typem sušiček výhradně na obilniny jsou tzv. šachtové sušárny.

Výrobou šachtových sušáren (a nejen jich) se zabývá německá firma STELA, ta je v podstatě průkopníkem a prvním, kdo se začal zabývat šachtovými sušárnami nejen na teplo z kotlů (což je běžná praxe), ale i sušárnami pro nízkoteplotní dosoušení pomocí odpadního tepla z BPS.

3.4.3 Praktický příklad realizace šachtové sušičky na obilniny

V České republice již existuje jedno oceněné řešení sušičky na obilí. To dokonce vyhrálo soutěž *E.ON energy globe award ČR 2010*. S tímto řešením přišla do města Kralovice a tamního zemědělského družstva firma *PAWLICA s.r.o.* specializující se na návrhy posklizňových linek a skladových areálů zrnin a mimo to zastupuje firmu STELA v ČR.

Prvním cílem projektu tak bylo využít odpadní teplo ze zdejší BPS v co možná nejvyšší míře i v letních měsících. Dalším cílem bylo vyměnit starou sušičku SSZ 2 z roku 1975 a instalovat novou moderní sušičku. Původní sušička byla tedy nahrazena sušičkou na plyn STELA GDB-TN 1/5 S, která byla navíc doplněna zařízením na předeřev vstupního vzduchu GDB-BIO-TN 1/5 S. Sušička byla v sezóně 2009 využita asi 30 dní na sušení

pšenice a řepky. V případě sušení kukuřice by se využití mohla dostat až na 90 dní. Jako další možnost zvýšení využití sušičky se nabízí sušení pro okolní podniky.

Nově instalovaná sušička má výměník, který je osazen na celém profilu vstupu vzduchu do komory teplého vzduchu a tudíž má maximální účinnost vstupního vzduchu. Výkon sušičky je 17,2 t/h u pšenice (při snížení vlhkosti z 19 % na 15 %) a 12,9 t/h u řepky (při snížení vlhkosti z 12 % na 9 %). Pro případ výpadku BPS je sušička osazena ještě hořákem na plyn o výkonu 921 kW. [23]

Tato sušička během sezóny 2009 pouze s využitím odpadního tepla 400 kW z BPS usušila 2000 t pšenice a 1000 t řepky. To samozřejmě přineslo zemědělskému podniku Kralovice nemalou úsporu v podobě menších výdajů za zemní plyn. To potvrzuje fakt, že zatímco v sezóně 2008 bylo ve staré sušce usušeno cca 2700 t obilovin se spotřebou 10337 m³ zemního plynu, tak v sezóně 2009 se v nové sušičce usušilo výše zmíněných 3000 tun, při čemž se spotřebovalo pouze 700 m³ zemního plynu. [23] Vzhledem k průměrné ceně zemního plynu (při osvobození z platby daně) 14 Kč/m³ činí úspora za zemní plyn cca 135 tis. korun za rok [22].



obr. 14: Šachtová sušička STELA na obilniny v Kralovicích; převzato z [24]

3.4.4 Sušení digestátu

Sušení digestátu, což je vlastně výstupní substrát z BPS resp. materiál, ve kterém už proběhla fermentace, je jedním z častých způsobů využití odpadního tepla. Výstupní materiál má hned několik možností dalšího využití. Ty záleží na jeho výstupním zpracování (pelety, hnojivo, podestýlka). Toto zpracování digestátu je doprovázeno celou zpracující linkou. Digestát má po vypuštění do uskladňovací jímky podíl sušiny 6 - 10 % v separátoru je rozdělen na kapalnou část s podílem sušiny 2 - 4 % (fugát) a pevnou část s obsahem sušiny větším než 29 %. Zatímco fugát se bez dalších úprav nechá dále použít jako kapalné hnojivo, tak zbylý separát je právě vstupním materiálem pro pásovou neboli kontinuální sušičku separátu. Separát by měl mít na výstupu ze sušičky vlhkost asi 10 - 15 %, a to z energetického hlediska, znamená že výsledný produkt by se měl držet podílu sušiny nejlépe 88 %. Takto usušený separát se nejčastěji dále lisuje na pelety nebo brikety, které jsou předmětem dalšího obchodu.

Kontinuální sušárny jsou tvořeny dopravníkem v sušícím tunelu, po kterém je sušený materiál nesený od vstupní násypky do výstupního vynášecího dopravníku. Při posunu je materiál sušený ohřátým vzduchem. Sušící vzduch je ohříván v teplovodních ohřivačích, kde je jako zdroj tepla využíváno odpadní teplo z chladicího okruhu KGJ. Cirkulaci vzduchu zajišťují ventilátory. Vstupní separát je dopraven přes vstupní násypku do sušícího tunelu, kde je sušen na požadovanou vlhkost. Ze sušícího tunelu je expedován pomocí vynášecího dopravníku. Napájení a ovládání celého zařízení je zajištěno vlastním rozvaděčem s ovládacím panelem. [21]

V některých případech se může stát, že se na trhu objeví sušený digestát prodáváný jako hnojivo. To dle oficiálního stanoviska CzBA (česká bioplynová asociace) není efektivní. CzBA nedoporučuje sušení digestátu určeného k přímé aplikaci na zemědělskou půdu a tento způsob jeho zpracování nepovažuje za efektivní využití vyrobené tepelné energie. Sušení digestátu určeného pro přímou aplikaci na pole není efektivní způsob využití vyrobené tepelné energie. Při sušení sice snižujeme obsah vody v digestátu a roste tím obsah organické sušiny, čímž se sníží náklady na dopravu a skladování takového materiálu, dochází však i k výraznému snížení obsahu dusíku (až o 95 %), především v amoniakální formě, která je snadno využitelná rostlinami. [25]

Tabulka 7: Příklad tech. parametrů pásových sušáren SD500 a SD1000 od firmy FARMTEC a.s. s tep. výkonem 500 - 1000 kW; lze sušit nejen separát, ale i obilniny, olejninu, kukuřici a dřevní štěpku. [26]

TECHNICKÉ PARAMETRY PÁSOVÉ SUŠÁRNY (příklad pro typové sušárny s tep. výkonem 500 - 1000 kW)	
Hlavní rozměry sušícího tunelu	
šířka	4,8 m
výška	2 m
délka	13 - 17,5 m
vlhkost na vstupu	max. 70 %
vlhkost na výstupu	dle potřeby
sušící teplota	60 - 70 °C
Energie	
množství mokrého materiálu na vstupu	500 - 10 000 kg/hod (dle vlhkosti)
zdroj tepla	voda o spádu 90 / 70 °C
množství vody	17,5 m ³ /hod
tepelný příkon	500 - 1000 kW
vlastní spotřeba el. energie	28 - 42 kW

Dimenzování sušáren vždy závisí na konkrétních podmínkách dané BPS a požadavcích investora. Níže jsou pro příklad uvedeny orientační výkony sušáren od firmy FARMTEC a.s.

Orientační výkon pro sušení separátu z BPS při sušení ze 70 % na 15 % vlhkost [26]:

- 0,5 t/h při teplotě sušícího vzduchu 70 °C

Orientační výkon pro sušení pšenice při sušení z 20 % na 15 % vlhkost [26]:

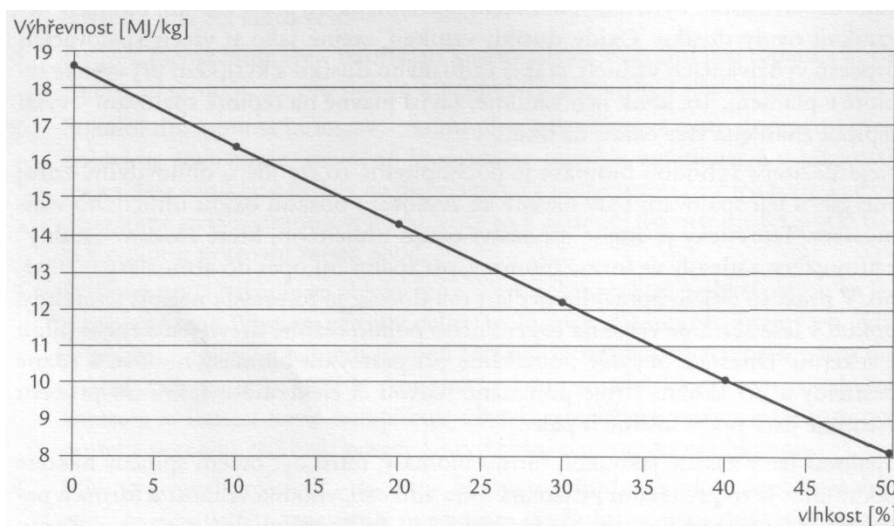
- 4,6 t/h při teplotě sušícího vzduchu 70 °C



obr. 15: Pásová sušárna SD500; převzato z [26]

3.4.5 Sušení dřevní štěpky a pilin

Sušení těchto materiálů je možno provádět ve více druzích sušáren, ale i v halách s teplovzdušnými kanály (viz. předchozí části). Nejčastěji se využívá sušáren na řezivo a pásových sušáren. Hlavní rozdíl mezi sušením pilin, případně štěpky a sušením produktů rostlinné výroby nebo digestátů je ten, že v tomto případě je potřeba využít sušárny na nejvyšší výkony vzhledem k větší energetické náročnosti. Sušárny totiž musí snížit vlhkost vstupního materiálu o více než 50 %. Za optimální výslednou vlhkost je považována vlhkost do 20 %. Vysušené piliny i dřevní štěpku lze také využít i pro výrobu pelet a briket to však vyžaduje ještě nižší obsah vody (cca 5 - 10 %). Výsledná vlhkost je velice důležitá z hlediska výhřevnosti. Pokud budeme například spalovat štěpku s vlhkostí 50 %, je to z energetického hlediska značně nevýhodné, protože využijeme pouze necelou polovinu energie v palivu obsažené [27].



Graf 2: Závislost výhřevnosti dřevní štěpky na obsahu vody [27]

S dosušením dřevní štěpky se můžeme velice často setkat v blízkosti rakouských bioplynových stanic. Tam se toto ukázalo jako velmi efektivní metoda, jak uložit tepelnou energii z letního období, kdy KGJ produkuje mnohem více tepla než v zimě. [27]

Orientační výkon pásové sušárny pro sušení dřevní štěpky při sušení z 50 % na 15 % vlhkost [26]:

- 3,75 m³/h při teplotě sušícího vzduchu 90 °C

4 Návrh využití odpadního tepla z BPS Věžná - případová studie

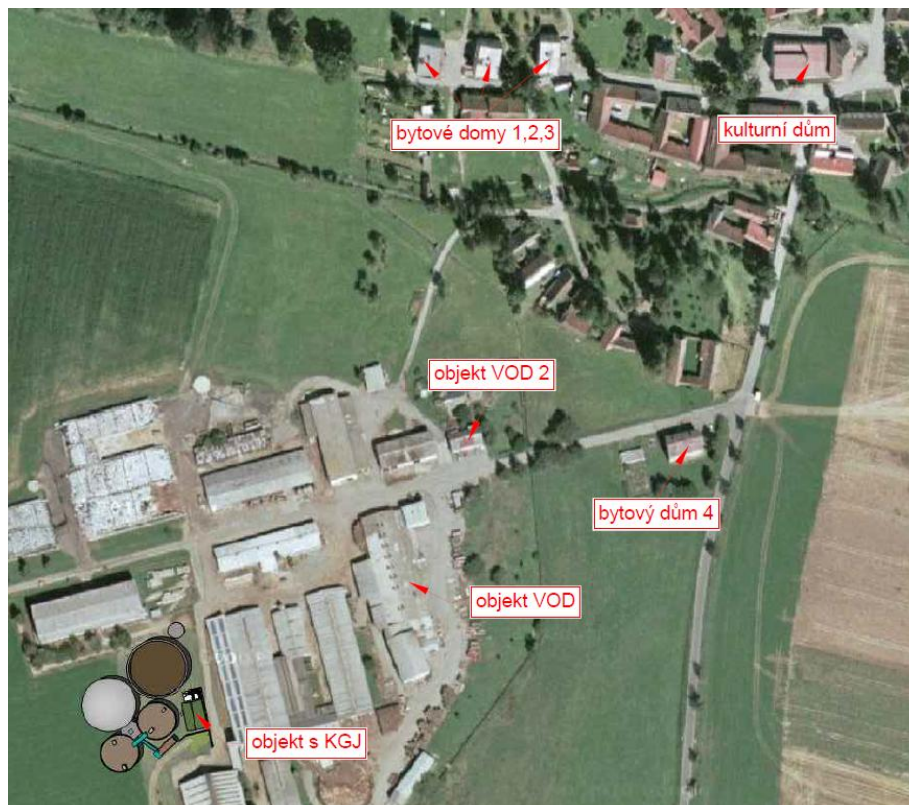
Z předchozích možností využití odpadního tepla jsem podle umístění a potenciálu BPS Věžná vybral tři varianty využívání. Tyto jsou vzhledem k ekonomice a filozofii provozovatele BPS nejvhodnější a také mají pro investora - VOD Kámen největší význam v případě budoucí realizace. První možností využití odpadního tepla je vytápění několika budov v areálu VOD a dalších budov v obci Věžná. Zde ještě vzniká další varianta v kombinaci s možností číslo 2, což je využití tepla ze spalín motorů pro ORC jednotku. Třetí možností je potom sušení separátu a následná peletizace na peletizační lince.

Pro stanovení nejobektivnějších závěrů budou porovnávány použité vypočítané ukazatele, a to vnitřní výnosové procento investice (IRR), resp. doba návratnosti a čistá současná hodnota (NPV). Ale i při rozhodování v posuzování jednotlivých variant je nutné brát ohledy na požadavky investora VOD Kámen.

4.1 Teplofikace

Tato studie je zaměřena na vytápění části areálu VOD a dále pak na napojení bytových domů a kulturního domu v obci Věžná, čili tam, kde se předpokládá největší odběr tepla a také zájem místních obyvatel o připojení k síti.

Dle technických dat uvedených v technické specifikaci dosahuje maximální jmenovitý tepelný výkon jedné kogenerační jednotky 424 kW . Celková hodnota maximálního tepelného výkonu tedy dosahuje hodnoty 848 kW , resp. 678 kW po odečtení vlastní technologické spotřeby tepla (viz. Tabulka 1). V rámci této studie bude posouzena možnost využití tohoto tepla pro vytápění celkem čtyř bytových domů, kulturního domu a části areálu VOD. Všechny objekty určené k vytápění a jejich poloha jsou zobrazeny na obr. 16 a označeny červenou šipkou.



obr. 16: Situace BPS a objektů určených k vytápění

4.1.1 Stanovení potřeby energie na vytápění a ohřev TUV

Stanovení potřeby energie na vytápění a ohřev TUV bylo provedeno odhadem po konzultacích s odborníkem. V případě kladného výsledku bude posouzení nutné ověřit potřebu energie na vytápění a ohřev TUV prostřednictvím energetického vyhodnocení jednotlivých objektů, na základě skutečné spotřeby energie (faktur za dodané energie a paliva), případně prostřednictvím výpočtu tepelných ztrát objektů a stanovení potřeby TUV.

Celková potřeba energie na vytápění bytových domů a kulturního domu byla stanovena dopočtem z odhadu tepelných ztrát a potřeby množství TUV objektů (viz. Tabulka 8).

Tabulka 8: Potřeba energií na vytápění a ohřev TUV v obci

	Tepelné ztráty [kW]	Vytápění [GJ/rok]	TUV [GJ/rok]	Celkem [GJ/rok]
bytový dům 1	35	208	25	233
bytový dům 2	35	208	25	233
bytový dům 3	35	208	25	233
bytový dům 4	25	149	25	174
kulturní dům	60	356	15	371
celkem	190	1129	115	1244

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že celková roční potřeba tepla pro vytápění bytových domů a kulturního domu bude dosahovat cca *1250 GJ* ročně.

V případě areálu VOD je možné počítat se spotřebou vycházející ze spotřeby propanbutanu, který se v současnosti využívá na vytápění a musí se na místo dovážet, jelikož obec nemá plynofikaci. Dle údajů VOD dosahuje spotřeba PB za jednu topnou sezónu hodnoty kolem *100 000 Kč* bez DPH, což představuje množství *4 000 kg* plynu, tedy *187 GJ*. Dále je uvažováno se spotřebou tepla na ohřev TUV ve výši *54 GJ*. Celková spotřeba tepla v rámci areálu družstva pro vytápění a přípravu TUV tedy dosahuje cca *241 GJ*. Do této spotřeby nebyly započítány možnosti vytápění dalších objektů, v současnosti nevytápěných. Při jejich započtení by celková roční spotřeba tepla na vytápění a ohřev TUV mohla dosáhnout hodnoty až *400 GJ*.

4.1.2 Stanovení nákladů na vybudování systému dálkového zásobování teplem

Stanovení nákladů na vybudování systému dálkového zásobování teplem vychází z jednotkových cen za běžný metr dálkového vytápění a dále pak z průměrných nákladů na připojení jednoho odběrného místa. Pro stanovení nákladů na vybudování systému byly použity následující jednotkové ceny.

- cena za běžný metr rozvodů *4 000 Kč/bm*
- cena za objektovou předávací stanici *300 000 Kč/ops*

Celkové náklady na vybudování centrálního systému zásobujícího teplem čtyř bytové domy a objekt kulturního domu v obci Věžná byly stanoveny následovně (viz. Tabulka 9).

Tabulka 9: Náklady na vybudování CZT v obci

	ks/m	náklady bez DPH/ks	Náklady celkem
počet OPS	5	300 000 Kč	1 500 000 Kč
síť	850	4 000 Kč	3 400 000 Kč
vedlejší náklady	plus 5% z celk. nákladů		245 000 Kč
		Celkem:	5 145 000 Kč

Náklady na vybudování systému CZT pro bytové domy tedy dosahují výše *5 145 000 Kč* bez DPH což představuje *6 225 450 Kč* včetně DPH.

Náklady na napojení objektů bramborárny a domku v areálu družstva dosahují při zachování stejných jednotkových cen výše 840 000 Kč bez DPH (viz. Tabulka 10).

Tabulka 10: Náklady na vybudování CZT v areálu družstva

	ks/m	náklady bez DPH/ks	Náklady celkem
počet OPS	2	300 000 Kč	600 000 Kč
síť	50	4 000 Kč	200 000 Kč
vedlejší náklady	plus 5% z celk. nákladů		40 000 Kč
Celkem:			840 000 Kč

4.1.3 Vyhodnocení možnosti získání dotace na vybudování centrálního zásobování teplem v obci Věžná

Vybudování systému zásobování teplem čtyř bytových domů, kulturního domu a objektů v areálu VOD odpovídá svým charakterem oblasti podpory 2.1.2 Snížení příspěvku k imisní zátěži obyvatel omezením emisí z energetických systémů včetně CZT z Operačního programu Životní prostředí. Pro možnost posouzení vhodnosti navrženého řešení je nezbytně nutné stanovit výši úspory emisí znečišťujících látek do ovzduší prostřednictvím realizace projektu. Pro stanovení výše úspory emisí je nejdříve nutné odvodit výši úspory paliv a energií v stávajícím stavu. Odhad množství a druhu paliva ve stávajícím stavu byl proveden na základě dopočtu z množství energie na vytápění objektů uvedených v kapitole 4.1.1. Do množství nebude započítána energie na přípravu TUV, neboť tato je připravována primárně prostřednictvím elektrických boilerů a tudíž odpovídající snížení emisí se neprojeví v posuzované lokalitě. Celková potřeba tepla na vytápění objektů dosahuje 1 129 GJ, čemuž odpovídá spotřeba cca 677 GJ z hnědého uhlí a 451 GJ ze dřeva. Při užití následujícího přepočtu: 1 GJ = 277,8 kWh = 55,6 kg hnědého uhlí = 66,8 kg suchého palivového dřeva zjistíme, že by se teoreticky ročně ušetřilo téměř 38 tun hnědého uhlí a 30 tun suchého palivového dřeva. Pro stanovení výše emisí znečišťujících látek byla předpokládaná potřeba tepla rozdělena v poměru 6:4 ve prospěch spalování uhlí. Rovněž spotřeba plynu pro vytápění bramborárny nebyla uvažována, neboť se jedná z hlediska emisí znečišťujících látek do ovzduší o relativně čistý zdroj tepla. V případě připojení objektů na CZT zásobovanou z odpadního tepla z KGJ tedy nebude v připojených objektech spalováno žádné fosilní palivo a množství vylučovaných emisí se zmenší o hodnotu celých 100 %. [28]

Při splnění výše uvedeného snížení emisí je stanovení přípustné výše dotace de minimis, která je omezena výší 200 000 EUR za tři roky. Tato částka při kurzu 25 Kč/EUR představuje možnou výši dotace 5 000 000 Kč. V případě, že investorem bude VOD Kámen,

dosáhnou celkové náklady výše 5 985 000 Kč, takže dotace ve výši 5 000 000 Kč bude představovat 83,5 % investičních nákladů. V případě, že investorem bude přímo obec a předmětem žádosti bude pouze napojení bytových domů a kulturního domu, dosáhnou investiční náklady včetně DPH výše 6 225 450 Kč, přičemž dotace bude v tomto případě tvořit 80,3 % investičních nákladů. Z těchto informací je zřejmé, že s ohledem na výši dotace se jako vhodnější investor jeví VOD Kámen.

4.1.4 Stanovení jednotkové výše ceny tepla a návratnost projektu CZT

Stanovení jednotkové výše ceny tepla v případě realizace projektu bude vycházet z investičních a provozních nákladů (30 Kč/GJ). Cílem je stanovení takové jednotkové ceny, která v případě realizace projektu bez poskytnutí podpory dosáhne nulové čisté současné hodnoty v 30. roce provozu projektu, což odpovídá zhruba životnosti zařízení. Pro stanovení ceny tepla je tedy rozhodující i typ investora, neboť v případě obce budou investiční náklady navýšeny o DPH. Přehled stanovení cen tepla, při kterých bude dosaženo nulové současné hodnoty v posledním roce provozu zařízení je patrný z následující tabulky.

Tabulka 11: Ekonomika a ukazatele systému CZT

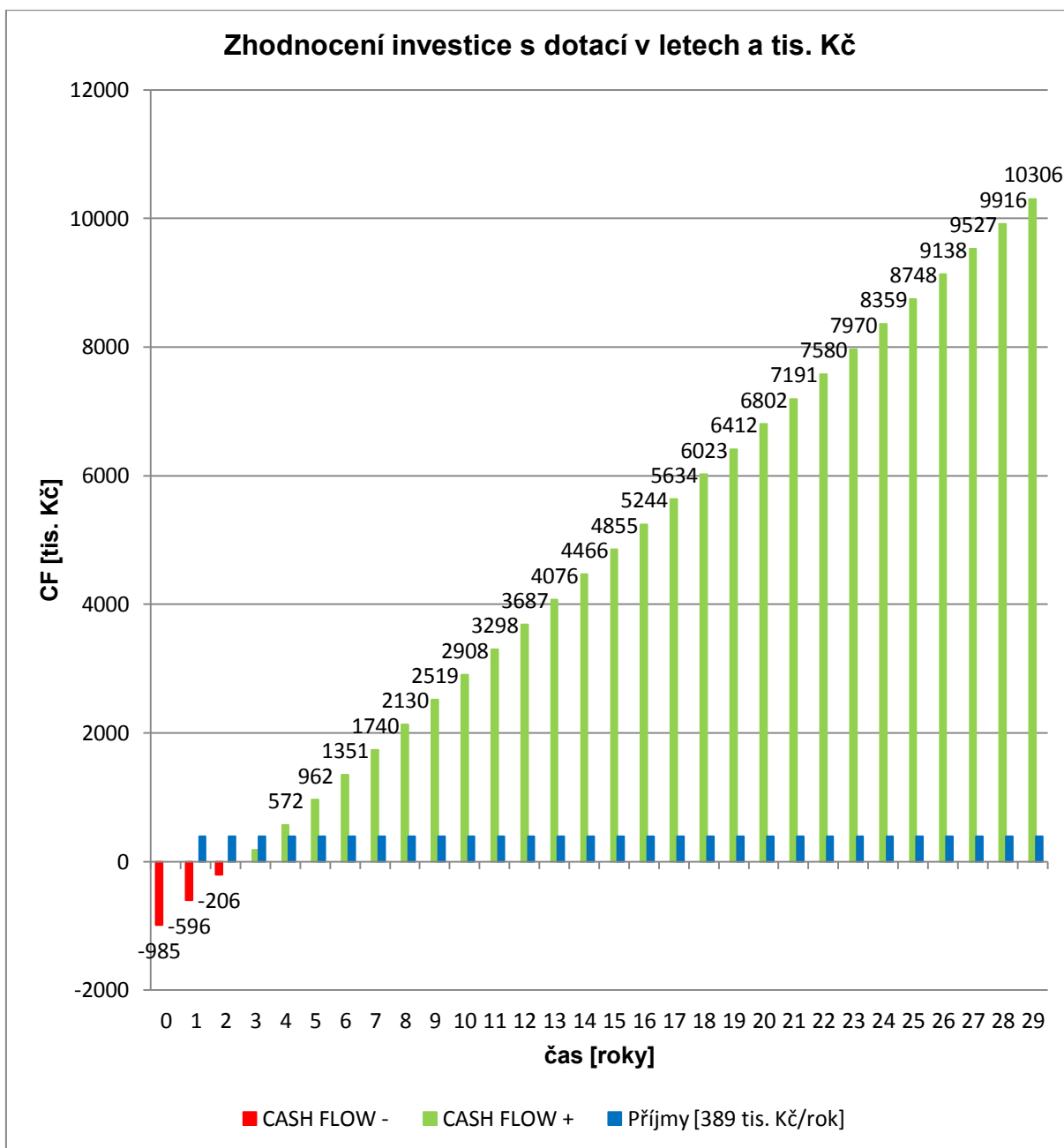
investor	investice [tis. Kč]	dotace [tis. Kč]	cena tepla [Kč/GJ]	NPV s dotací [tis. Kč]	IRR s dotací [%]
obec	6225	5000	355,65	5311	33,05
VOD Kámen	5985	5000	292,25	5289	39,53

V tabulce jsou dále uvedeny hodnoty pro NPV (čistá současná hodnota) a IRR (vnitřní výnosové procento) při zachování ceny tepla dle předchozího výpočtu v případě přiznání dotace ve výši 5 000 000 Kč. Tyto hodnoty jsou nejčastější hodnotící kritéria pro hodnocení a výběr investic. Obecně platí, že čím vyšší tyto hodnoty jsou, tím výhodnější je investice do daného projektu. [29] K výše uvedenému je třeba dále poznamenat, že do ekonomiky projektu nebyl započítán možný bonus pro využití tepla z obnovitelného zdroje energie v systému centrálního zásobování teplem ve výši 50 Kč/GJ. Relativně vyšší cena tepla v případě obce je způsobena jednak vyššími investičními náklady a dále pak nižší spotřebou tepla (nezapočítána spotřeba tepla v areálu družstva).

Pokud by nebyla na projekt poskytnuta dotace, tak se bude jednat o zcela nevýhodný projekt, vzhledem k tomu, že při zisku z prodeje tepla by návratnost překročila 30 let, tedy dobu životnosti teplovodu. Potom by se mohla pouze zvýšit cena tepla, ale to už by

převyšovala cenu za stávající paliva. V případě poskytnutí dotace se projekt naopak jeví jako velice ekonomicky výhodný. Jako vhodnější investor z ekonomického hlediska rovněž vyplývá VOD Kámen, neboť dosažená hodnota IRR je mírně vyšší. Do ekonomiky projektu nejsou započítány u VOD úspory za propan-butan a úspory ve spotřebě elektrické energie, které dále zvyšují ekonomickou výhodnost projektu teplofikace.

Další zvýšení ekonomické efektivity může být dosaženo napojením dalších objektů v uvažované trase teplovodu a snížením nákladů na výstavbu například provedením výkopových prací vlastními silami.



Graf 3: Zhodnocení investice při uvažování dotace v letech a tis. Kč

4.1.5 Vyhodnocení možnosti využití odpadního tepla pro teplofikaci obecních objektů a objektů VOD Kámen

Projekt teplofikace části obce Věžná je technicky realizovatelný, přičemž potřeba tepelného výkonu dosahuje zhruba poloviny využitelného tepelného výkonu BPS Věžná. Náklady na vybudování systému zásobování teplem pro čtyři bytové domy a kulturní dům dle předběžného odhadu dosahují *5 145 000 Kč bez DPH* a v případě napojení dvou objektů VOD se hodnota navyšuje na *5 985 000 Kč bez DPH*.

Na realizaci projektu je možné využít dotaci z Operačního programu Životní prostředí, přičemž dotace může dosáhnout maximální výše 200 000 EUR, tedy cca *5 000 000 Kč*. Jak naznačuje Graf 3, tak prostá doba návratnosti investice do teplofikace činí *3 roky* v případě poskytnutí dotace a doba hodnocení je *30 let*. Roční příjmy z prodeje *1481 GJ* tepla budou *389 tis. Kč* při uvažování ceny tepla *292,25 Kč/GJ* a nákladech *30 Kč/GJ*. Jako vhodnější investor, z hlediska ekonomického vyhodnocení, se jeví VOD, které je vlastníkem zdroje tepla a které může při výstavbě uplatnit odpočet DPH.

4.2 ORC zařízení TRI-O-GEN

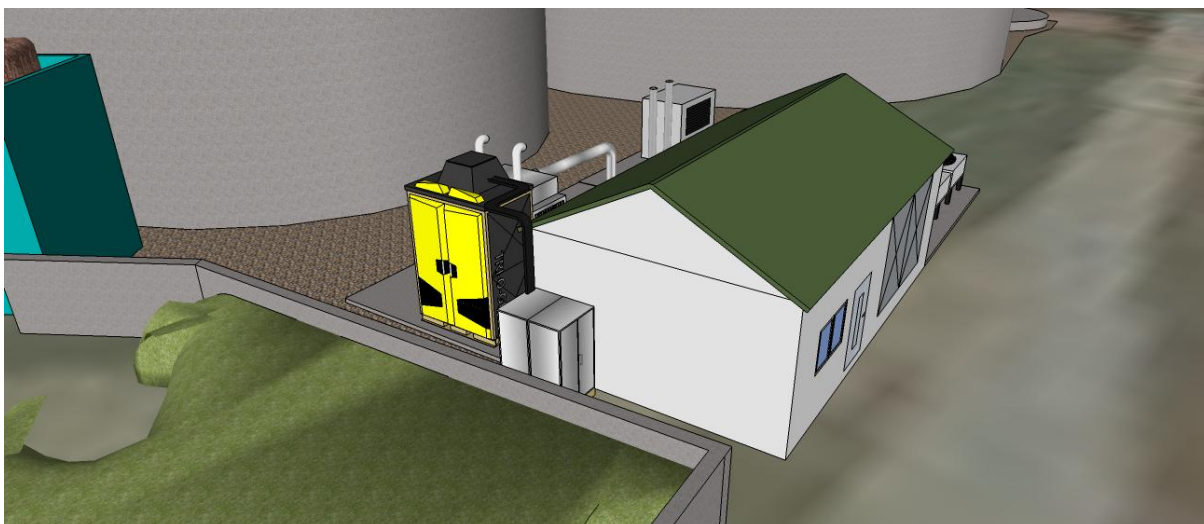
Vlastní popis zařízení je uveden v podkapitole 3.3.4. Jedná se tedy o využití odpadního tepla ze spalin motorů KGJ. Z toho vyplývá, že existuje možnost paralelního běhu ORC jednotky a teplofikace, jenž nespotřebuje všechno odpadní teplo ani z chladicího systému KGJ.

4.2.1 Umístění ORC zařízení

Vhodná lokalizace ORC zařízení bude co nejblíže objektu s KGJ, resp. výfukovému potrubí a chladicímu systému BPS. Jako nejlepší umístění jsem zvolil pozici, tak jak je naznačeno na 3D modelech viz. obr. 17 a obr. 18.



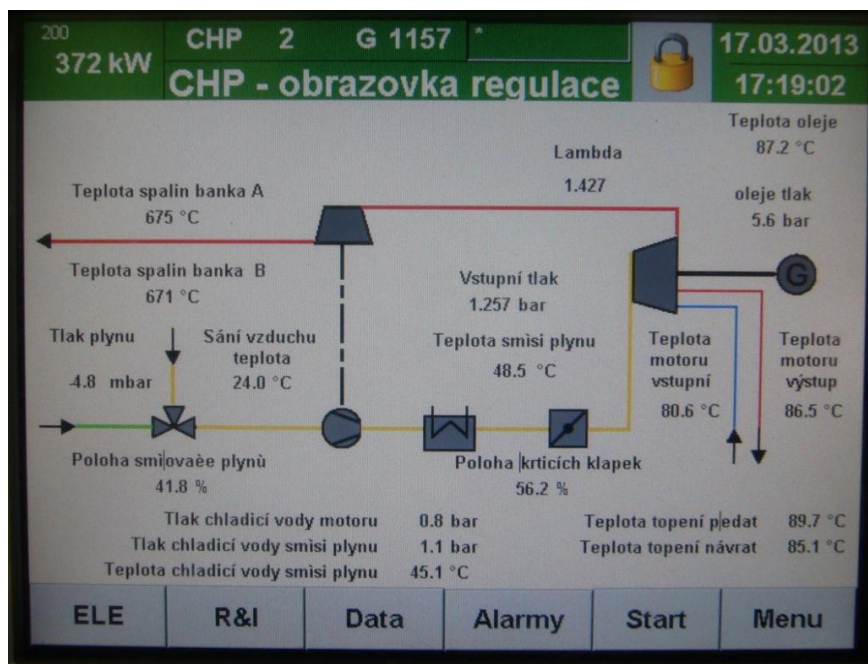
obr. 17: Situace objektu s KGJ a vhodného umístění ORC jednotky včetně napojení na výfukovou soustavu



obr. 18: Situace objektu s KGJ a vhodného umístění ORC jednotky včetně kontrolní a ovládací skříně

4.2.2 Návrh parametrů ORC TRI-O-GEN

V případě BPS Věžná je instalovaný el. výkon 740 kW , což není úplně ideální stav pro instalaci tohoto ORC. K tomu, abychom mohli správně navrhnout garantovaný výkon z ORC, potřebujeme primárně znát teplotu spalin a průtok spalin. V případě motorů MAN, vzhledem k typu motoru, bude po ochlazení za turbodmychadlem motoru teplota spalin a po předání tepla ve výměníku spaliny/toluen cca $500 \text{ }^\circ\text{C}$ (viz. obr. 19), avšak vzhledem k menšímu výkonu motorů bude průtok spalin podle odborného odhadu jen cca $1\,800 \text{ kg/s}$, což představuje tep. výkon cca 400 kW_t ze spalin.



obr. 19: Obrazovka z ovládacího panelu BPS Věžná vč. hodnot teplot spalin

Tyto parametry lze samozřejmě měřením zpřesnit. Což se i v praxi děje, vychází se vždy z měřených údajů z Emisního protokolu apod. Tento jsem však při návrhu neměl k dispozici. V tomto případě by ORC bylo schopno dodávat elektrický výkon cca 64 kW_{el} . Jedná se o hrubý výkon. Pro garantovaný parametr čisté produkce je nutno odečíst 5 kW vlastní spotřeby bez okruhu chlazení. Chlazení lze využít stávající. Tj. 59 kW_{el} čistého garantovaného výkonu. V chladícím okruhu ORC má investor k dispozici dalších cca 250 kW_t tepla ve spádu $55 \text{ °C} - 35 \text{ °C}$. Toto lze přidat na případnou teplofikaci.

Tabulka 12: Shrnutí parametrů ORC TRI-O-GEN v případě instalace v BPS Věžná

PARAMETRY ZAŘÍZENÍ ORC	
Teplotní spád spalin z motorů KGJ	500/180 °C
Teplotní spád chladícího okruhu z chladiče	max. 35/55 °C
Max. tepelný příkon ze spalin KGJ	400 kW
Počet provozních hodin za rok	8400
Hrubý el. výkon ORC	64 kW
Vlastní spotřeba ORC	5 kW
Čistý el. výkon ORC	59 kW
Výkupní cena el. energie	4,16 Kč/kWh

4.2.3 Ekonomika projektu instalace ORC zařízení

Co se týče ekonomiky, tak prodejní cena el. energie za 1 kWh se sestavuje: zelený bonus + KVET + silová složka elektřiny = $2,49 + (0,05+0,455) + 1,1$ (silová složka je

komodita, kterou prodává každý investor za jiné peníze, v tomto případě 1,165 Kč). [7] Cena vlastního ORC včetně rozvodů a montáže „na klíč“ je 16 250 000 Kč.

Tabulka 13: Ekonomika a ukazatele ORC

investor	investice [tis. Kč]	cena el. en. [Kč/kWh]	NPV [tis. Kč]	IRR [%]
VOD Kámen	16250	4,16	11924	12

- Stanovení výkupní ceny el. energie:

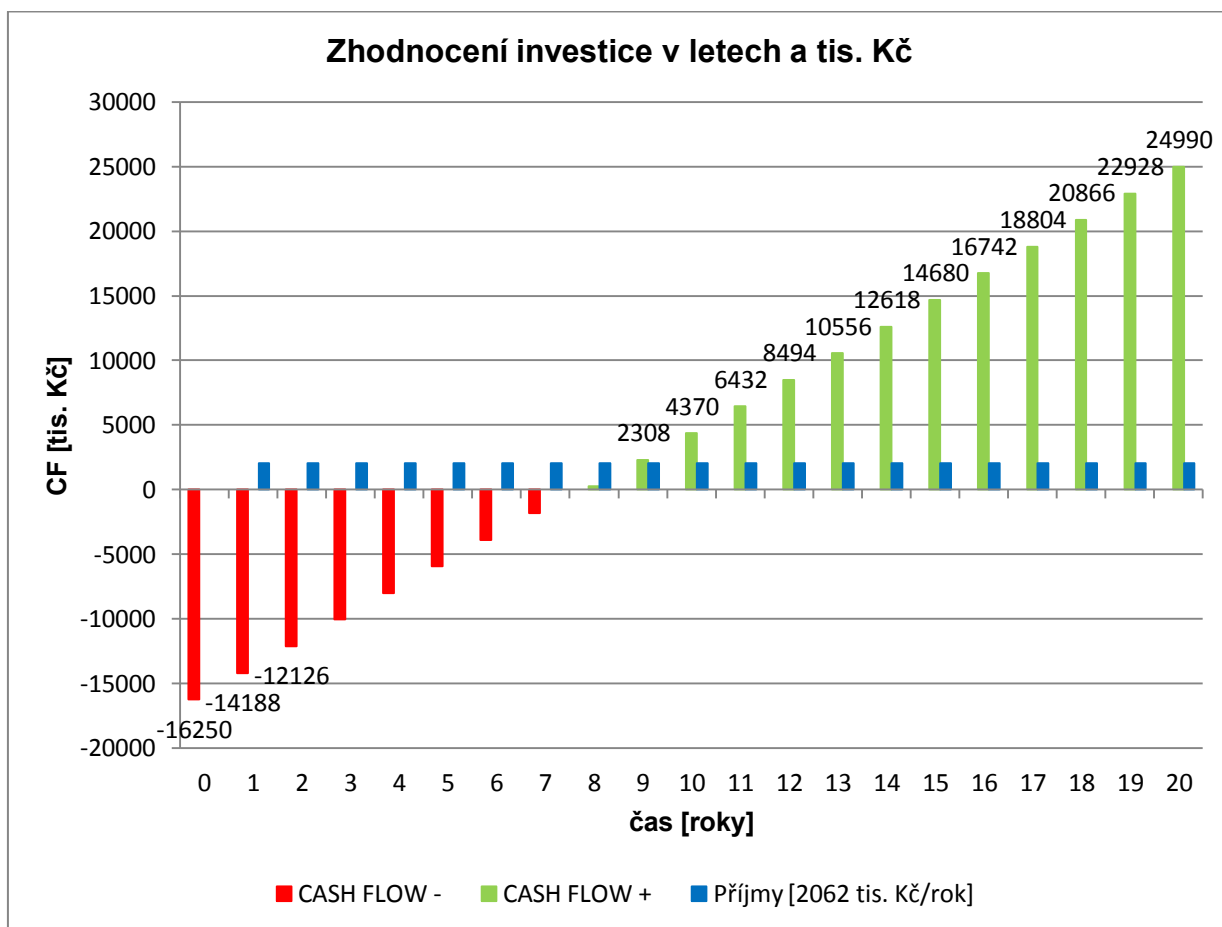
$$Cena = 2,49 + 0,505 + 1,165 = 4,16 \text{ Kč}$$

- Výpočet výroby el. energie za 1 rok (počet provoz. hod. za rok násobeno čistým výkonem ORC)

$$P / rok = 8400 \cdot 59 = 495600 \text{ kWh} / rok$$

- Výpočet ročního hrubého výnosu (roční Cash Flow)

$$Výnos / rok = P / rok \cdot Cena = 495600 \cdot 4,16 = 2061696 \text{ Kč} / rok \xrightarrow{\text{zaokrouhlo}} 2062 \text{ tis. Kč} / rok$$



Graf 4: Zhodnocení investice v letech a tis. Kč

4.2.4 Vyhodnocení projektu instalace ORC zařízení TRI-O-GEN

Cena při realizaci projektu bude 16,25 mil. Kč. Z grafu je patrné, že prostá doba návratnosti bude necelých 8 let s ročním hrubým výnosem 2 062 000 Kč, což není moc atraktivní pro tento konkrétní případ. Ani vnitřní výnosové procento IRR s hodnotou 12 % není zdaleka tak vysoké jako v předchozím projektu teplofikace. Je to dáno právě menším výkonem BPS. Avšak i při těchto podmínkách dokáže tento projekt zajistit za 20 let životnosti bezmála 25 mil. Kč.

Zajímavé ovšem může být to, pokud se VOD Kámen rozhodne instalovat další motor k BPS. V tu chvíli s ním ORC „roste“, tj. přidáním energie do spalín naroste i výkon z ORC. Není třeba žádných úprav (kromě přivedení spalín do ORC). To ovšem závisí i na možnosti prodávat větší množství elektřiny do sítě.

4.3 Sušení separátu s následnou peletizací

Tuto možnost jsem zahrnul do studie proto, že se v družstvu k tomuto řešení přiklání hlavně z jednoho důvodu – VOD se potýká s problémem nedostatku slámy aj. ke stlaní ve velkokapacitních kravínech. Separát z digestátu se totiž mimo jiné dá využít také jako stelivo a to i při vyšší vlhkosti, než je nutná k peletizaci. V blízkosti BPS Věžná je velká hala na uskladnění sena (viz. obr. 20), tam by se pásová sušička a peletizační linka nechala umístit bez dalších nákladů na stavbu nové haly.



obr. 20: Situace objektů haly a BPS

4.3.1 Návrh parametrů sušárny separátu s peletizační linkou

Aby bylo sušení a peletizace co nejeftivnější, je potřeba sušárnu navrhnout tak, aby její vytížení bylo v rozmezí 80 - 90 %. Znamená to, že sušička poběží téměř souběžně s KGJ, tedy cca 8 300 h/rok. Peletárna pak podle poptávky a možností, ale ideální provoz by znamenal provoz na 2 směny 252 dní v roce (přibližně pracovní roční fond) a 14 hodin denně.

Odpadní teplo z BPS Věžná je ideální pro využití typové sušárny s tep. výkonem 500 kW od firmy Farmtec. Ta při deklarovaném vytížení a požadavku na snížení vlhkosti separátu ze 75 % na 14 % pro výrobu pelet zvládne vyprodukovat cca 1273 tun suchého separátu za rok. Více parametrů sušárny a peletizační linky viz. Tabulka 14. [30]

Tabulka 14: Technické parametry přepočtené podle typových hodnot jednotlivých zařízení [30]

TECHNICKÉ PARAMETRY PÁSOVÉ SUŠÁRNY (příklad pro typovou sušárnu s tep. výkonem 500 kW)	
množství mokrého materiálu na vstupu	527 kg/hod
množství mokrého materiálu na výstupu	153 kg/hod
celkové množství separátu k sušení	4 380 tun/rok
celkové množství separátu po vysušení	1 273 tun/rok
vstupní / výstupní vlhkost separátu	75/14 %
zdroj tepla	voda o spádu 90 / 70 °C
spotřeba energie na vysušení 1 kg separátu	0,79 kW
celková energie potřebná na vysušení separátu	3 452 MWh/rok
tepelný příkon	500 kW
vlastní spotřeba el. energie	28 kW
spotřebovaná elektrická energie za rok	232 512 kW
spotřebovaná tepelná energie za rok	4 152 000 kWh/rok
využití sušárny	83%
celkové využití tepla z BPS (bez vl. spotřeby BPS)	59%
TECHNICKÉ PARAMETRY PELETIZAČNÍ LINKY (příklad pro typovou řadu s max. výkonem 420 kg/h)	
množství zpracovávaného materiálu ze sušárny	1273 tun/rok
množství zpracovávaného materiálu z odpadu zem. produkce	100 tun/rok
celkové množství zpracovávaného materiálu	1373 tun/rok
vyrobené množství pelet za 1 hodinu	389 kg/hod
vlastní spotřeba el. energie	40 kW
spotřebovaná elektrická energie za rok	141 120 kW
CELKOVÁ ROČNÍ SPOTŘEBA	
celková roční spotřeba elektrické energie	373 632 kW
cena za spotřebovanou el. energii z vlastního zdroje	1,90 Kč/kWh

4.3.2 *Ekonomika sušení separátu a následné peletizace*

Pořizovací cena sušárny vč. separátoru je 4 200 000 Kč, cena peletizační linky je potom 1 350 000 Kč, dalších cca 320 000 Kč bude stát teplovod od KGJ k hale s linkou. Celkové náklady na kompletní sestavu jsou 5 870 000 Kč. S takovou linkou ale souvisí i další dvě pracovní místa pro udržení správného provozu. Budeme uvažovat, že tato místa budou investora stát cca 20 000 Kč/osoba/měsíc za mzdu a pojištění, tedy 40 000 Kč na dvě místa za měsíc, celková suma bude 480 000 Kč/rok. Cena za tuny takto vyrobených pelet bude kolem 2 500 Kč a samozřejmě bude záležet i na odbytu pelet. Tato studie počítá s prodejem všech 1 373 tun vyrobených pelet za každý rok provozu. Linka má vlastní spotřebu energie 373 632 kWh_{el} za rok, cena této energie je však poměrně nízká (1,90 Kč/kWh), protože se jedná o energii vyrobenou z vlastního zdroje. Dále musíme uvažovat, že údržba linky bude stát cca 50 000 Kč ročně a v neposlední řadě bude potřeba dalších nákladů (na naftu, stroje, reklamu apod.) při výrobě pelet, tyto jsou tabulkovým průměrem stanoveny na 130 000 Kč za rok. Navíc musíme připočítat i cenu za separát, ta je podobná ceně za hnůj jako hnojivo tzn. 300 Kč za 1 tunu. Náklady na zbylých 100 tun materiálu pro výrobu pelet jsou v podstatě nulové, protože se jedná o odpadní materiál ze zemědělské produkce (plevy, slupky, poškozené zrno apod.).

- teoretický hrubý roční výnos z prodeje pelet:

$$\text{Výnos / rok} = 1373 \cdot 2500 = 3432500 \text{ Kč / rok} \xrightarrow{\text{zaokr.}} 3433 \text{ tis. Kč / rok}$$

- cena za suroviny pro výrobu pelet:

$$\text{Cena / rok} = 1273 \cdot 300 = 381900 \text{ Kč / rok} \xrightarrow{\text{zaokr.}} 382 \text{ tis. Kč / rok}$$

- vlastní spotřeba elektrické energie celé linky:

$$\text{Cena / rok} = 373632 \cdot 1,9 = 709901 \text{ Kč / rok}$$

- roční náklady na provoz linky:

$$\text{Náklady / rok} = 50000 + 130000 + 709901 + 480000 + 381900 = 1751801 \text{ Kč / rok}$$

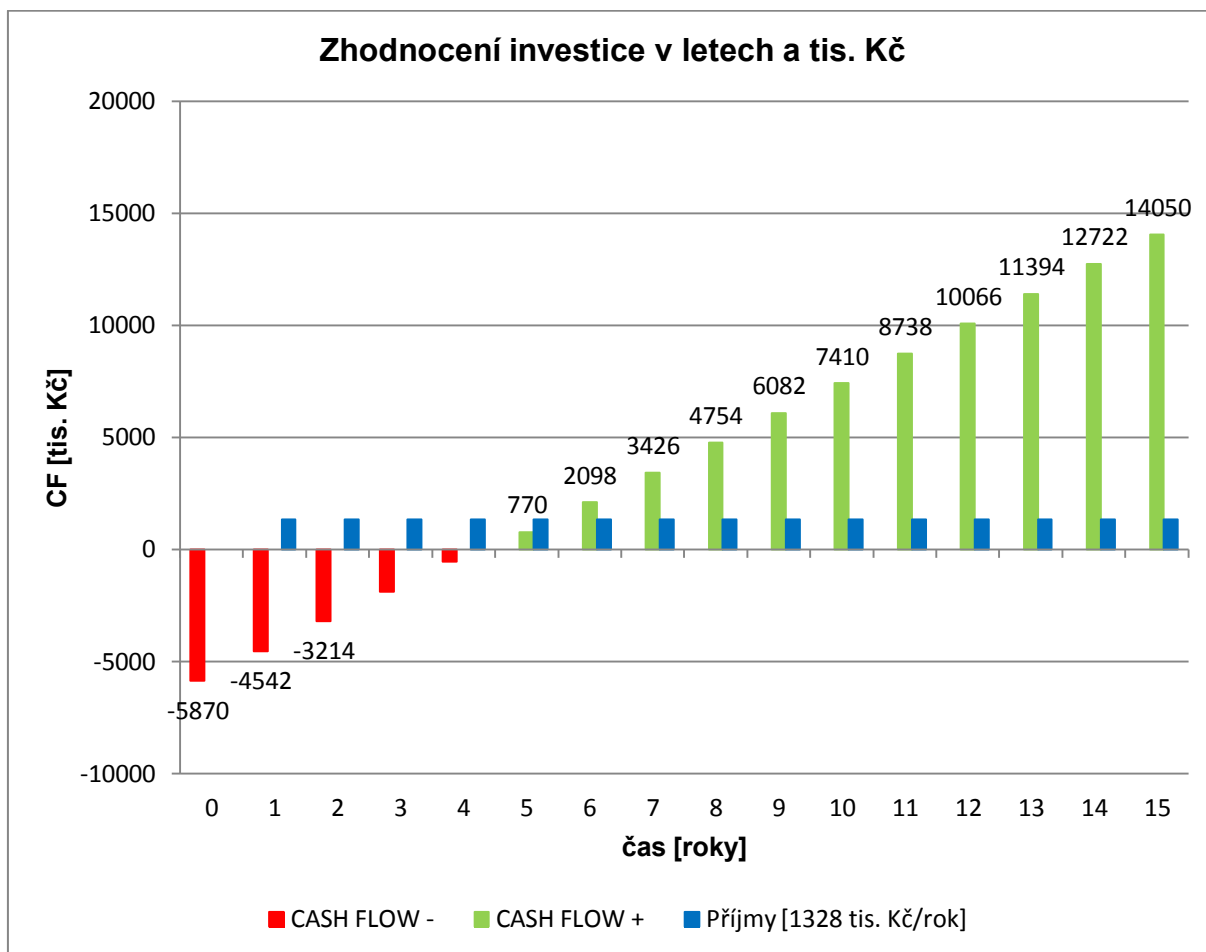
$$\text{Náklady / rok} \xrightarrow{\text{zaokr.}} 1752 \text{ tis. Kč / rok}$$

- teoretický čistý výnos linky (zdaněný):

$$\text{Výnos / rok} = (3433 - 1752) \cdot 0,79 = 1328 \text{ tis. Kč / rok}$$

Tabulka 15: Ekonomika a ukazatele sušení digestátu s následnou peletizací

investor	investice [tis. Kč]	cena pelet [Kč/t]	NPV [tis. Kč]	IRR [%]
VOD Kámen	5870	2500	7537	21



Graf 5: Zhodnocení investice v letech a tis. Kč

4.3.3 Vyhodnocení projektu sušení separátu s následnou peletizací

Pokud budeme uvažovat s návratností celkové investice 5,870 mil Kč pouze z výnosu z prodeje pelet, pak bude prostá doba návratnosti kolem 4,5 roku (viz. Graf 5). Hodnota ukazatele vnitřního výnosového procenta IRR je 21 % a životnost projektu je 15 let. Investici lze při těchto podmínkách doporučit. Pokud ale bude investor využívat separát i k podestýlce a nebude vyrábět a prodávat pelety nebo bude sušárnu v sezóně využívat s dosoušením obilnin (pásová sušárna toto umožňuje), pak se bude investice vracet jiným způsobem a může se v závislosti ke stylu užívání prodloužit i na dvojnásobek. Dalším faktorem, který může

návratnost ovlivnit je i změna ceny pelet nebo jejich špatný odbyt. Pro místní obyvatele však může tato varianta nabídnout i dvě nová pracovní místa.

5 Závěr – zhodnocení případové studie

Závěr je konstruován na základě případové studie možností využití odpadního tepla z BPS Věžná provedené v kapitole 4. Z dílčích vyhodnocení jednotlivých projektů (viz. podkapitoly 4.1.5, 4.2.4 a 4.3.3) dle mého názoru zcela jednoznačně vyplývá, že nejlepší investicí jak z hlediska ekonomického ($IRR = 39,5 \%$ a doba návratnosti necelé 3 roky), tak i environmentálního (snížení emisí v obci) bude nejvýhodnější projekt teplofikace. To pouze v případě poskytnutí dotace, avšak za současných podmínek a požadavků pro její získání je velice pravděpodobné, že by byla dotace poskytnuta. Tento projekt sice nepřináší nejvyšší zisky, ale při pohledu do budoucnosti asi nejlepší využitelnost a rozšiřitelnost.

Projekt instalace ORC zařízení není nevýhodný, avšak ukazatel IRR je ze všech variant nejmenší, tedy doba návratnosti je nejvyšší - 8 let. Tato varianta bude mít větší smysl při zvyšování instalovaného výkonu BPS, to se může stát pouze při příslibu možnosti dodávky většího množství elektrické energie do sítě distributora elektřiny. ORC navíc vyprodukuje dalších $250 \text{ kW}_{rep.}$ odpadního tepla, které nebudou v nejbližší budoucnosti nijak využitelné. Dá se využít při paralelním chodu ORC jednotky a rozšířené teplofikace, kde by mohlo být využito pro vytápění dalších objektů v obci (rodinné domy, obecní úřad, objekty bývalé fary) i v areálu investora (dílny, sklady zemědělských komodit).

Sušení separátu s následnou peletizací sice nemá nejhorší ukazatele a sušárna se nechá využít i pro jiné účely. Pro slušnou dobu návratnosti (do pěti let) je ale potřeba využívat veškerý potenciál sušárny k sušení separátu a následné výrobě pelet. I životnost projektu je nejmenší - 15 let. Navíc při sušení se ze separátu uvolňují látky způsobující mírný zápach. Proto bych při požadavku VOD Kámen na využití separátu ke stlaní doporučil investovat pouze do samotného separátoru (pořizovací náklady jsou asi 1 mil. Kč), který oddělí pevnou složku digestátu od kapalné. Pevná složka s vlhkostí kolem 75 % se poté může míchat se slámou a používat jako stelivo i bez většího dosoušení.

Seznam použité literatury

- [1] AGROPROJEKT JIHLAVA. *Projektová dokumentace ke stavebnímu řízení: Provozní soubory stavby*. Jihlava, 2009.
- [2] Nařízení vlády o stanovení emisních limitů a dalších podmínek provozování ostatních stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší. In: *č. 615/2006 Sb.* Praha, 2006.
- [3] Bioplyn. *Česká bioplynová asociace* [online]. 2012 [cit. 2012-12-14]. Dostupné z: <http://www.czba.cz/bioplyn/>
- [4] MŽP. *Metodický pokyn Ministerstva životního prostředí - sekce ochrany klimatu a ovzduší a sekce technické ochrany ŽP*. Praha 10, 2007.
- [5] Mapa bioplynových stanic v České republice. *Česká bioplynová asociace* [online]. 2012 [cit. 2012-12-20]. Dostupné z: <http://www.czba.cz/mapa-bioplynovych-stanic/>
- [6] Bioplyn v ČR. *Česká bioplynová asociace* [online]. 2012 [cit. 2012-12-20]. Dostupné z: <http://www.czba.cz/aktuality/aktualni-statistiky-bioplynu-v-ceske-republice.html>
- [7] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Výkladové stanovisko Energetického regulačního úřadu: Ustanovení právního předpisu č. 7/2011*. Praha, 2013.
- [8] MŽP ČR. *Obnovitelné zdroje energie: Ekonomika a možnosti podpory*. Praha, 2009, 23 s. ISBN 978-80-7212-518-0.
- [9] VOD KÁMEN. *Deník provozu BPS Věžná*. Věžná, 2012.
- [10] BGS BIOGAS, a.s. *Výstavba a provoz bioplynových stanic: Bioplynová stanice VOD Kámen 740 kW*. Světlá nad Sázavou, 2011.
- [11] Bioplynové stanice: Ekonomika bioplynových stanic. SKUPINA ČEZ. *Bioplyn* [online]. 2012 [cit. 2013-1-10]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/bioplyn.html>
- [12] CZ Biom, : Využití odpadního tepla z výroby bioplynu. *Biom.cz* [online]. 2013-12-18 [cit. 2013-02-19]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-odpadniho-tepla-z-vyroby-bioplynu>>. ISSN: 1801-2655.
- [13] ŠAFAŘÍK, Miroslav: Bioplynové stanice – podmínky a možnosti využití tepla. *Biom.cz* [online]. 2012-03-13 [cit. 2013-02-19]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynove-stanice-podminky-a-moznosti-vyuziti-tepla>>. ISSN: 1801-2655.
- [14] Bioplynové stanice. *Suninvest* [online]. 2007 [cit. 2013-03-06]. Dostupné z: <http://www.suninvest.cz/bio.html>

- [15] Biomasa - efektivní palivo pro ORC technologii. *TZB-info* [online]. 2005 [cit. 2013-03-06]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2455-biomasa-efektivni-palivo-pro-orc-technologie>
- [16] Green Machine. *GB Consulting* [online]. 2010 [cit. 2013-03-09]. Dostupné z: <http://www.gbconsulting.cz/elektricka-energie-greenmachine.html>
- [17] RŮŽIČKA, Jiří. Ve Třebové začali elektřinu vyrábět z odpadního tepla. *DNES: Pardubický kraj*. 2012, 4B.
- [18] GB CONSULTING. *Prezentace technologie ORC*. Brno, 2010.
- [19] ING. GÉBA, Josef. ORC zařízení pro využití odpadního tepla. *Časopis BIOM*. 2012, č. 2.
- [20] B:POWER. *Zelená elektřina z nevyužitého tepla*. Havlíčkův Brod, 2011.
- [21] FARMTEC A.S. *Využití tepla*. Jistebnice, 2012.
- [22] ERÚ. *Energetický regulační věstník*. Jihlava, 2012. Dostupné z: http://www.eru.cz/user_data/files/ERV/ERV7_2012.pdf
- [23] Dožínky v nové posklizňové lince: Rostlinná výroba. *Zemědělec*. 2012, č. 38.
- [24] Využití tepla z kogenerační jednotky. *AGROWEB* [online]. 2012 [cit. 2013-03-17]. Dostupné z: http://www.agroweb.cz/files/image/Technika/jit/26-teplo-web_750x725.jpg
- [25] CzBA. *Sušení digestátu není efektivní využití tepelné energie* [online]. 2011 [cit. 2013-03-18]. Dostupné z: <http://www.czba.cz/aktuality/suseni-digestatu-neni-efektivni-vyuziti-tepelne-energie.html>
- [26] FARMTEC A.S. *Kontinuální pásové sušárny*. Jistebnice, 2012.
- [27] MURTINGER, Karel a Jiří BERANOVSKÝ. *Energie z biomasy*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2011, 106 s. Stavíme. ISBN 978-80-251-2916-6.
- [28] Tabulky a výpočty. *TZB-info* [online]. 2013 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/129-vypocet-vyhrevnosti-biopaliva-a-hnedeho-uhli>
- [29] Hodnocení investic: Vnitřní výnosové procento (IRR). *BusinessVize* [online]. 2011 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://www.businessvize.cz/rizeni-a-optimalizace/hodnoceni-investic-vnitri-vynosove-procento-irr>
- [30] FARMTEC A.S. *Dimenzování sušárny digestátu*. Jistebnice, 2013.