



Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i., Praha

Optimalizace a zvýšení efektivity výroby elektrické a tepelné energie vyráběné z biomasy

Řešeno v rámci programu podpory spolupráce podniků v Jihočeském kraji a výzkumných organizací „Jihočeské podnikatelské vouchery“



Vypracoval: Ing. Milan Herout a kol.

Praha, únor 2016

Úvod

ZEMCHEBA, s.r.o. Chelčice je od roku 2013 provozovatelem bioelektrárny o výkonu $1,25 \text{ MW}_{el}$ a dále výroby páry $12,8 \text{ t}_p/\text{h}$ pro využití ve vlastních zpracovatelských provozech. Zařízení na kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla pracuje na principu spalování biomasy lisované do velkých hranolovitých balíků. V zařízení na kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla jsou instalovány parní rozvody do odběrových míst. Celkem jsou na rozvody páry napojeny čtyři odběrná místa. Na základě dosavadních provozních zkušeností se ukázalo, že nerovnoměrnost odběru jednotlivých provozů má velmi negativní dopad na výrobu elektrické energie a v důsledku i na provozní spolehlivost a životnost technických zařízení bioelektrárny.

Cílem projektu byl návrh a ověření technického řešení distribuce páry v bioelektrárně ZEMCHEBA, s.r.o. Chelčice, které by zajistilo plynulost dodávky páry pro výrobu elektrické energie a při tom nebyl ohrožen technologický proces v potravinářské výrobě.

Dalším cílem projektu bylo vyhodnocení nákladů přínosů a ekonomické efektivity řešení.

1. Popis výchozího stavu

V kotelně jsou instalovány dva kotle na biomasu o celkovém výkonu $12,8 \text{ t}_p/\text{hod}$ a $8,4 \text{ MW}_t$. Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla slouží k dodávkám potravinářské páry a elektrické energie do areálu společnosti ZEMCHEBA, s.r.o. Dodávka potravinářské páry, do celkem čtyř odběrných míst, je dodávkou prioritní. Ze zbylé páry, nevyužité v potravinářských provozech, je vyráběna elektrická energie (viz schéma na str.4).

Výroba elektrické energie je rozdělena do dvou stupňů:

1. stupeň – výroba elektrické energie v parním motoru (viz obr. 1)
2. stupeň – výroba elektrické energie v systému ORC (viz obr. 2)

Obecně se dá říci, že první stupeň výroby elektrické energie vyrobí $2/3$ elektřiny a druhý stupeň pokrývá výrobu z $1/3$ celkové výroby elektrické energie. Toto ovšem za předpokladu, že běží oba dva stupně dohromady, jelikož není možný dlouhodobý (více než 2 hodiny) provoz každého stupně zvlášť. Tento stav nastává pouze při najíždění systému výroby elektrické energie, popř. v době výpadků výroby.

Potravinářské provozy v době najíždění, tj každý pracovní den mezi 06:30 – 07:30, spotřebují nárazově $8 - 10 \text{ t}_p/\text{hod}$. Tato nárazová spotřeba potravinářské páry způsobí nedostatek páry pro parní motor, jelikož na jeho udržení v minimálním provozu (ca 90 kW_{el}) je třeba alespoň $3,5 \text{ t}_p/\text{hod}$. Tento stav je ale pro delší provoz parního motoru nemožný, jelikož se tímto provozem parní motor udržuje pouze v tzv. „havarijním“ chodu. Při nižší dodávce páry se parní motor odstaví a s ním i systém ORC na využití zbytkového tepla z parního motoru. To způsobí finanční ztráty nejen na výrobě elektrické energie, ale zároveň se tím zvýší náklady na vlastní spotřebu elektrické energie, protože v tu chvíli je elektrárna napájena z distribuční sítě, nikoliv z vlastních zdrojů.

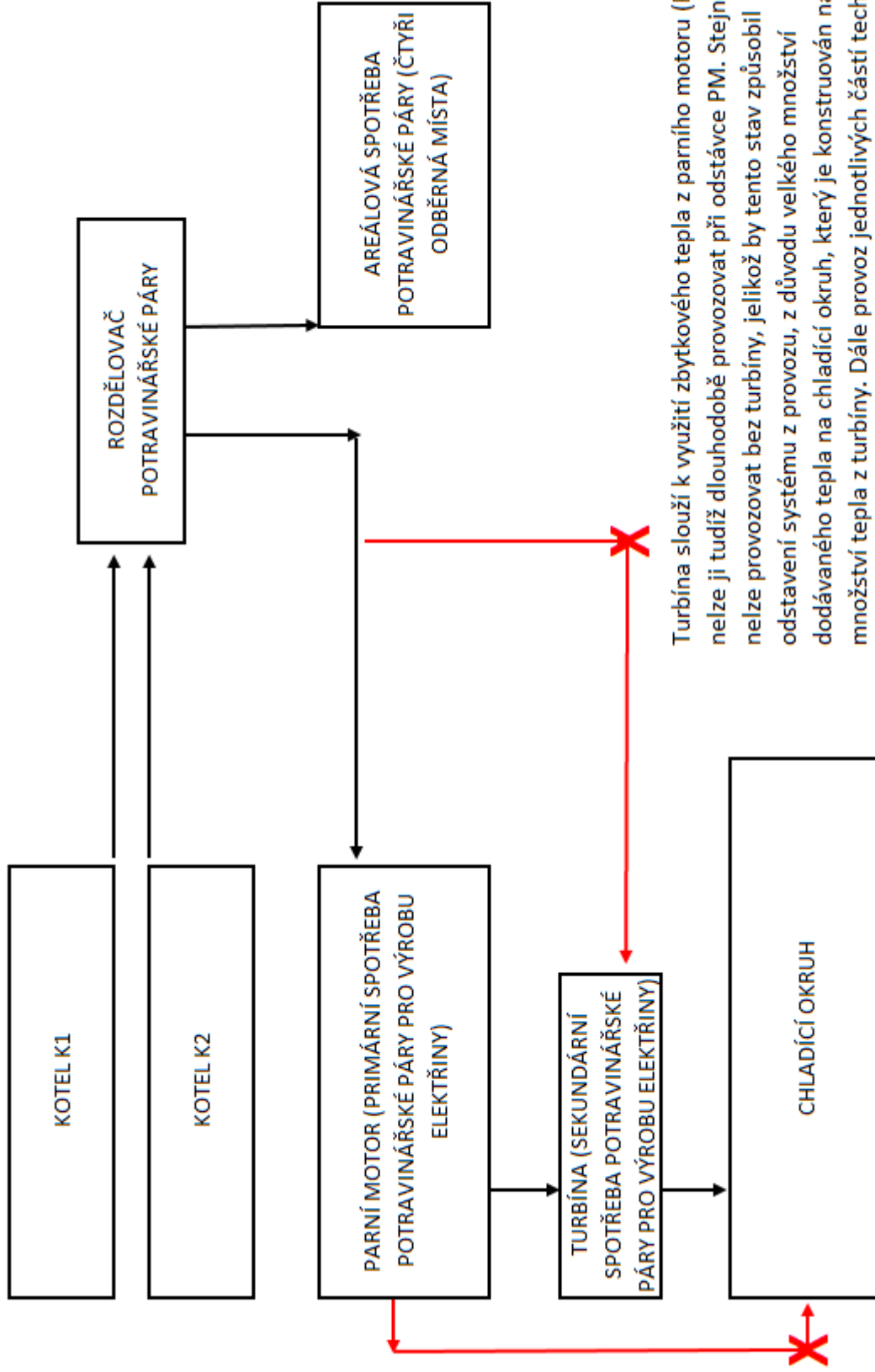


Obr.1: Parni motor Spiling



Obr.2: Turbina ORC 600

Stručné schéma a popis funkčnosti části technologie - ELEKTRÁRNA ZEMCHEBA, s.r.o. Chelčice

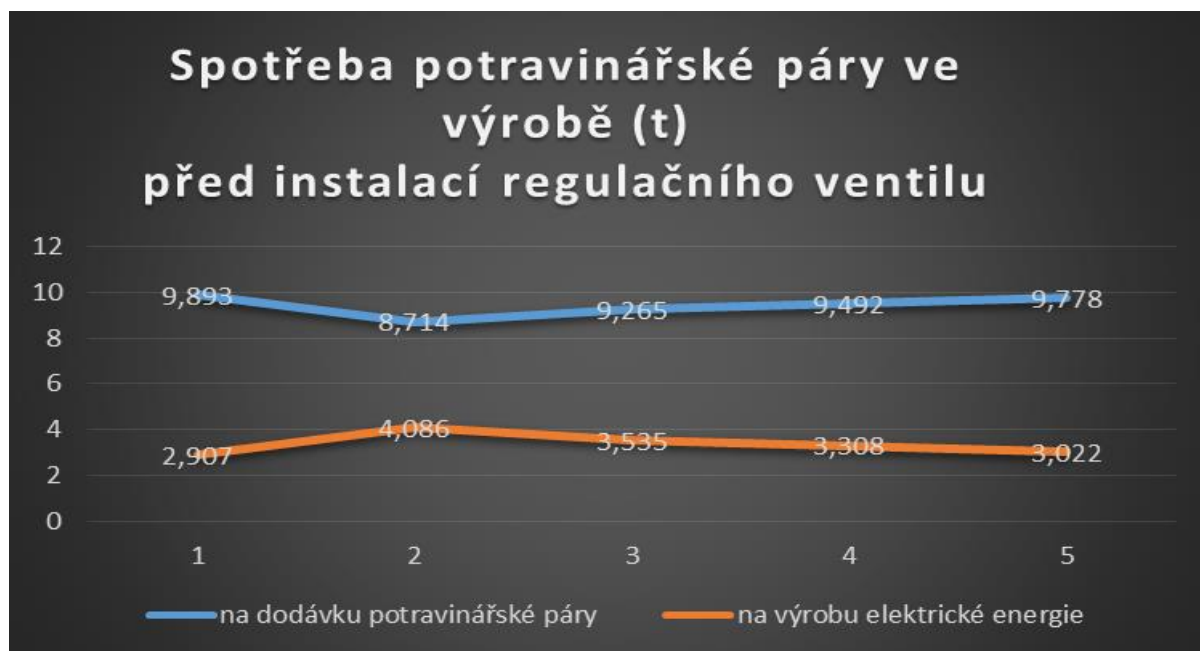


Turbína slouží k využití zbytkového tepla z parního motoru (PM), nelze ji tudíž dlouhodobě provozovat při odstávce PM. Stejně tak PM nelze provozovat bez turbíny, jelikož by tento stav způsobil odstavení systému z provozu, z důvodu velkého množství dodávaného tepla na chladicí okruh, který je konstruován na množství tepla z turbíny. Dále provoz jednotlivých částí technologie nezávisle na sobě zakazuje Vyjádření Krajského úřadu životního prostředí.

Vyhotovil a za správnost údajů odpovídá:
Dne 4.1.2016, Ing. Zdeněk Špaček

2. Analýza současného stavu

V Grafu č. 1 je uveden typický průběh spotřeby páry na potravinářskou výrobu a na výrobu elektrické energie při najíždění potravinářských provozů. Z grafu je zřejmé, že cca v 80 % případů najíždění potravinářských provozů není zajištěno minimální množství páry potřebné pro provoz parního motoru.



Graf č. 1 – Profil odběrů za dobu 8 najížděních potravinářských provozů s porovnáním zbylé páry pro výrobu elektrické energie

Prvním úkolem, bylo zjistit, z jakých důvodů k těmto stavům dochází. V tomto případě se naskytlo mnoho možností. K nejzásadnějším patřil chybně zkeslený projekt nebo parní potrubí o nedostatečné kapacitě průtoku, které by způsobovalo odsátí potravinářské páry z potrubí a tím způsobilo zkeslené informace o skutečném průtoku potravinářské páry.

Na základě porovnání projektové dokumentace a skutečného konstrukčního stavu, nebyly zjištěny žádné rozdíly. Dále bylo prováděno opakované měření průtoku potravinářské páry simulací vysokých jednorázových odběrů potravinářské páry. Toto měření prokázalo dostatečnou kapacitu potrubí na průtok potravinářské páry a tím byla vyloučena i druhá ze zmíněných variant.

Pro porovnání odběrů potravinářské páry je znázorněn Graf č. 2. Nutno brát ještě v úvahu, že v letech 2013 a 2014 byl odběr potravinářské páry nepřetržitý. Od roku 2015 došlo ke změně v technologických procesech a odběr potravinářské páry byl přeměněn pouze na všední dny od 6:00 do ca 20:00. Společně s navýšením odběrů potravinářské páry došlo ke změně průměrné spotřeby z 1,33 (2013) a 1,30 (2014) na 3,81 (2015), což znamená trojnásobek původní spotřeby potravinářské páry.



Graf č. 2: Porovnání dodávek potravinářské páry v letech 2013, 2014 a 2015

Pro přesné ověření údajů byl uskutečněn opakovaný simulovaný odběr potravinářské páry, který prokázal dostatečnou kapacitu průtoku parního potrubí a ověřil ztráty způsobené délkou parního potrubí (ca 300m). Veškerá měření simulovaného odběru potravinářské páry proběhla na nejvzdálenějším odběrném místě pro skutečné ověření tlakových ztrát v parním potrubí.

Popis opakovaných měření průtoku potravinářské páry

Měření bylo provedeno ve dvou variantách a to:

- bez provozu výroby elektrické energie
- s provozem výroby elektrické energie

Celkem bylo pro prokazatelnost měření provedeno 25 měření a to tak, že každé měření u jednotlivých průtoků bylo opakováno pětkrát a průtok byl regulován na 5 x 3 minuty s dvouminutovými přerušeními dodávky potravinářské páry tak, aby docházelo k co nejrealističtějšímu způsobu špičkového odběru potravinářské páry v době uvádění do výroby jednotlivých odběrných míst. Vstupem do parního potrubí byl parní rozdělovač. Výstupem z parního potrubí byl otevřený přetlakový ventil, na kterém bylo umístěno zapůjčené měřicí zařízení. Veškerá potravinářská pára, která byla při tomto měření použita, byla zmařena vypuštěním do ovzduší. Veškeré měření probíhalo bez provozu odběrných míst a to pouze od soboty do neděle.

První měření (bez provozu výroby el. energie) bylo prováděno následujícím způsobem:

Kotel K1 a kotel K2 byly nastaveny na provozní tlak 28 bar, regulační ventil na parním potrubí do potravinářských provozů byl nastaven na 8 bar.

- nastavení průtoku potravinářské páry
- zapsání tlaku na vstupu do parního potrubí
- zapsání teploty na vstupu do parního potrubí
- zapsání tlaku na výstupu z parního potrubí
- zapsání teploty na výstupu z parního potrubí

Simulace odběrů potravinářské páry bez provozu výroby elektrické energie					
Počet opakování měření	5	5	5	5	5
Průtok potravinářské páry na vstupu (t_p)	6	7	8	9	10
Tlak na vstupu (bar)	8	8	8	8	8
Teplota na vstupu ($^{\circ}\text{C}$)	180	180	180	180	180
Průtok potravinářské páry na výstupu (t_p)	5,7	5,65	7,6	8,55	9,5
Celková ztráta průtoku	5%	5%	5%	5%	5%
Tlak na výstupu (bar)	7,9	7,9	7,8	7,6	7,4
Teplota na výstupu ($^{\circ}\text{C}$)	ca 180	ca 180	ca 175	ca 175	ca 170
Celkový čas průtok (min)	5 x 3	5 x 3	5 x 3	5 x 3	5 x 3

Tab. 1: Simulace odběrů potravinářské páry bez provozu výroby elektrické energie

Druhé měření (s provozem výroby el. energie) bylo prováděno následujícím způsobem:

Kotel K1 a kotel K2 byly nastaveny na provozní tlak 28 bar, regulační ventil na parním potrubí do potravinářských provozů byl nastaven na 8 bar.

- nastavení průtoku potravinářské páry
- zapsání tlaku na vstupu do parního potrubí
- zapsání teploty na vstupu do parního potrubí
- zapsání tlaku na výstupu z parního potrubí
- zapsání teploty na výstupu z parního potrubí

Toto měření prokázalo, že při odběru potravinářské páry v množství 6 a $7t_p/h$ nedošlo ani jednou k odstavení výroby elektrické energie. Při dodávce $8t_p/h$ došlo celkem ke dvěma úplným odstávkám výroby elektrické energie a ke třem uvedením do nouzového režimu. Při dodávce 8 a $9t_p/h$ došlo pokaždé k úplnému odstavení výroby elektrické energie.

Simulace odběrů potravinářské páry s provozem výroby elektrické energie					
Počet opakování měření	5	5	5	5	5
Průtok potravinářské páry na vstupu (t_p)	6	7	8	9	10
Tlak na vstupu (bar)	8	8	8	8	8
Teplota na vstupu ($^{\circ}\text{C}$)	180	180	180	180	180
Průtok potravinářské páry na výstupu (t_p)	5,7	5,65	7,6	8,55	9,5
Celková ztráta průtoku	5%	5%	5%	5%	5%
Tlak na výstupu (bar)	7,9	7,9	7,8	7,6	7,4
Teplota na výstupu ($^{\circ}\text{C}$)	ca 180	ca 180	ca 175	ca 175	ca 170
Celkový čas průtok (min)	5 x 3	5 x 3	5 x 3	5 x 3	5 x 3
Počet úplných výpadků výroby el. energie	0	0	2	5	5
Počet uvedení výroby do nouz. režimu	0	1	3	0	0
Počet nenarušených výrob el. energie	5	4	0	0	0

Tab. č. 2: Simulace odběrů potravinářské páry s provozem výroby elektrické energie

Uskutečněné měření prokázalo, že skokovými odběry v době najíždění potravinářského provozu, dochází k výpadkům výroby elektrické energie z důvodu nedostatečného zbývajícího množství páry.

Návrh řešení

Po zjištění příčin výpadků výroby elektrické energie bylo uvažováno o možnostech řešení tohoto problému. Po podrobném přezkoumání instalované technologie a plánovaných harmonogramů jednotlivých odběrných míst bylo nutné zjistit, jakým způsobem by bylo možné zajistit plynulý odběr potravinářské páry tak, aby nebyl ohrožen technologický proces odběrných míst, nebyla narušena dodávka potravinářské páry pro technologii výroby elektrické energie a bylo toto řešení nejefektivnější pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla.

K řešení se zvažovaly následující varianty:

1. Dodatečná instalace plynového parního vyvíječe, který by byl v provozu vždy jen po dobu zvýšeného odběru potravinářské páry tzn. 2 -2,5 hod. za den. Výhoda této varianty spočívá v tom, že by nebyla narušována výroba elektrické energie. Nevýhodou je vyšší investiční náročnost cca 2,7 mil. Kč. Toto řešení je navíc v rozporu s původními záměry a podmínkami realizace bioelektrárny při využití dotace.
2. Druhou variantou je upravení technologie tak, aby potravinářská pára byla vedena nejprve výrobnou elektrické energie a až v druhé fázi byla dodávána odběratelům. V tomto případě by byl ale tlak použitelné páry pouze 0,5bar s teplotou 105 - 115°C. Tento tlak i teplota jsou však nedostatečné pro provoz potravinářských technologií, které vyžadují tlak 5 – 8bar a teplotu do 185°C. Tento problém by se částečně vyřešil tím, že by byl instalován částečný „odvod“ potravinářské páry za vysokotlakou částí parního motoru (1. stupeň výroby elektrické energie), který by byl regulován pneumatickým ventilem tak, aby zajistil potřebné množství potravinářské páry pro jednotlivé provozy. Problém v této technické úpravě by byl však ten, že na konci vysokotlaké části parního motoru je tlak 5bar, což je nejnižší možný tlak pro potravinářské provozy. Tímto by byla zajištěna dodávka potravinářské páry pouze pro provoz odběrného místa s využitím 5bar potravinářské páry (1 provoz ze 4). Tato situace by se dalo vyřešit instalací přetlakové nádrže, ale tímto by tato úprava ztrácela efektivitu provozu. Celkové finanční náklady na tuto případnou úpravu by činily ca 1.000.000,-- Kč a vynutila by si asi měsíční odstávku celého zařízení. Dalším problémem spojeným s touto úpravou by byla nutná legislativní změna z důvodu jiného primárního využití tepla. Nehledě na to, že na Kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla byly čerpány dotace (netýká se rozvodů tepelné energie) a tato změna by měla zásadní vliv na podmínky, za kterých byla elektrárna realizována.
3. Třetí variantou, je regulace jednotlivých odběrných míst samostatně. Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla sice disponuje regulačním ventilem na parním potrubí ihned na vstupu do potrubí. Tento ventil však reguluje pouze celkové množství dodávané potravinářské páry a nezohledňuje skokové odběry.

Po konzultaci s provozovatelem byla varianta č. 3 doporučena k realizaci jako nejvhodnější řešení. Orientační náklady této varianty řešení se budou pohybovat 250 000 Kč.

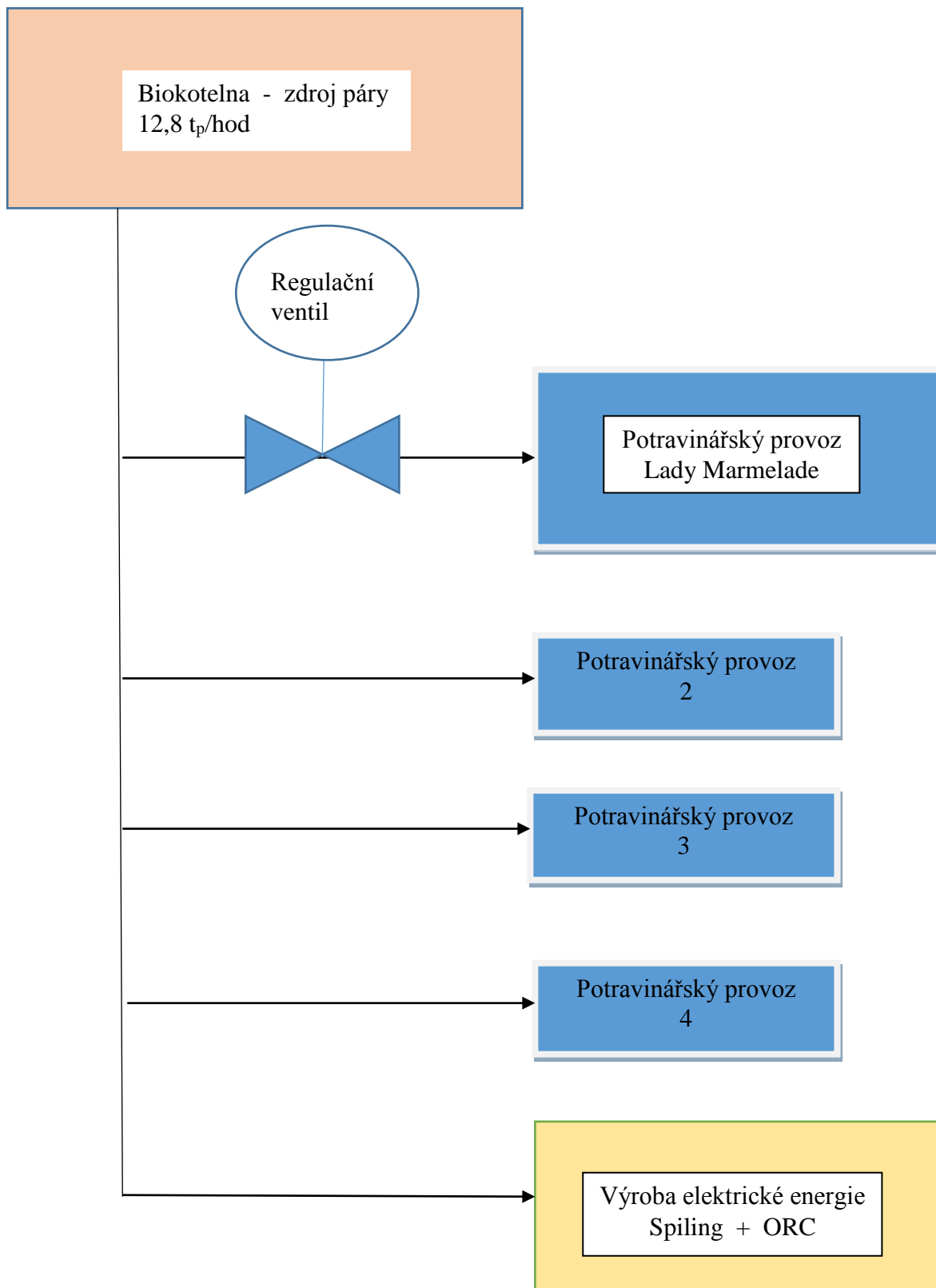
Pro ověření byl na parní potrubí instalován zkušební regulační ventil Siemens S7 s CPU řady 1212, který bude spojitě regulovat parní regulační ventil DN 80, PN16 na přívodu páry do nejkritičtějšího odběrného místa.

Měření simulovaných odběrů po instalaci zkušebního regulačního ventilu prokázalo vhodnost využití této technologie pro plynulý odběr potravinářské páry. Z celkem 25 měření, které byly provedeny byl pouze jedenkrát uveden parní motor do nouzového režimu. Zbýlých 24 měření neprokázalo výrazné narušení provozu výroby elektrické energie a tepla. Při nastavení průtoku potravinářské páry $10t_p/h$ nedocházelo ani k množstevním ztrátám za regulačním ventil. Objevovala se pouze tlaková ztráta a to 0,2 – 0,4bar. Tato tlaková ztráta byla způsobena regulačním ventilem, ale na provoz potravinářské technologie by neměla vliv. S mírnou tlakovou ztrátou byla spojena i nižší teplota dodávané potravinářské páry, jak ukazuje Tab. č.3.

Simulace odběrů potravinářské páry za provozu zkušebního automatického regulačního ventilu při provozu výroby elektrické energie					
Počet opakování měření	5	5	5	5	5
Nastavený průtok potravinářské páry na vstupu (t_p)	10	10	10	10	10
Nastavený limit průtoku regulačního ventilu (t_p)	3	3,5	4	4,5	5
Tlak na vstupu (bar)	8	8	8	8	8
Teplota na vstupu (°C)	180	180	180	180	180
Skutečný průtok na výstupu za regulačním ventilem (t_p)	3	3,5	4	4,5	5
Celková ztráta průtoku	0%	0%	0%	0%	0%
Tlak na výstupu (bar)	7,6 - 7,8	7,6 - 7,8	7,6 - 7,8	7,6 - 7,8	7,6 - 7,8
Teplota na výstupu (°C)	170 - 180	170 - 180	170 - 180	170 - 180	170 - 180
Celkový čas průtok (min)	5 x 3	5 x 3	5 x 3	5 x 3	5 x 3
Počet úplných výpadků výroby el. energie	0	0	0	0	0
Počet uvedení výroby do nouz. režimu	0	0	0	0	1
Počet nenarušených výrob el. energie	5	5	5	5	4

Tab. č. 3: Simulace odběrů potravinářské páry za provozu zkušebního automatického regulačního ventilu za provozu výroby elektrické energie

Tato varianta se jeví jako finančně nejméně náročná a ekonomicky nejefektivnější, jelikož nezpůsobí dlouhodobou odstávku dodávky potravinářské páry a umožní efektivnější a plynulejší výrobu elektrické energie. Pro nižší finanční zatížení bylo doporučeno instalovat pouze jeden regulační ventil na nejdůležitější a nejrizikovější odběrné místo potravinářské páry. Viz schéma na následujícím obrázku.



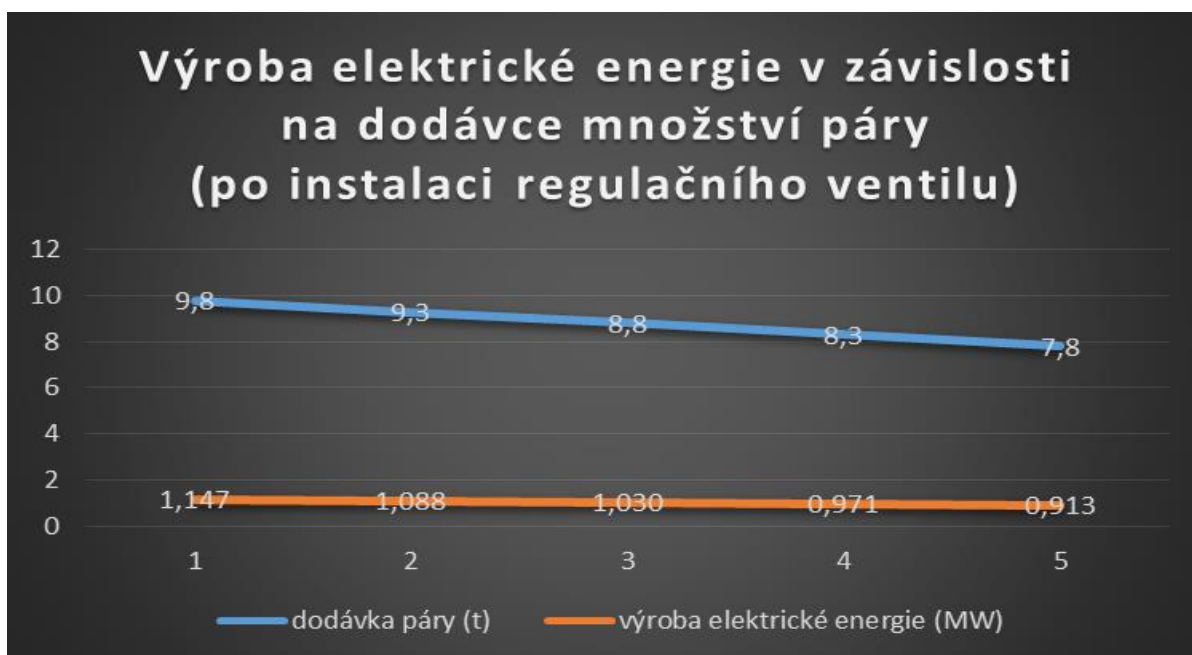
Teoretické výpočty výroby elektrické energie při použití automatického regulačního ventilu

V souvislosti se zjištěním možnosti regulace odběrů potravinářské páry jsou níže uváděny grafické výpočty možností výroby v porovnání s dodávkou potravinářské páry.



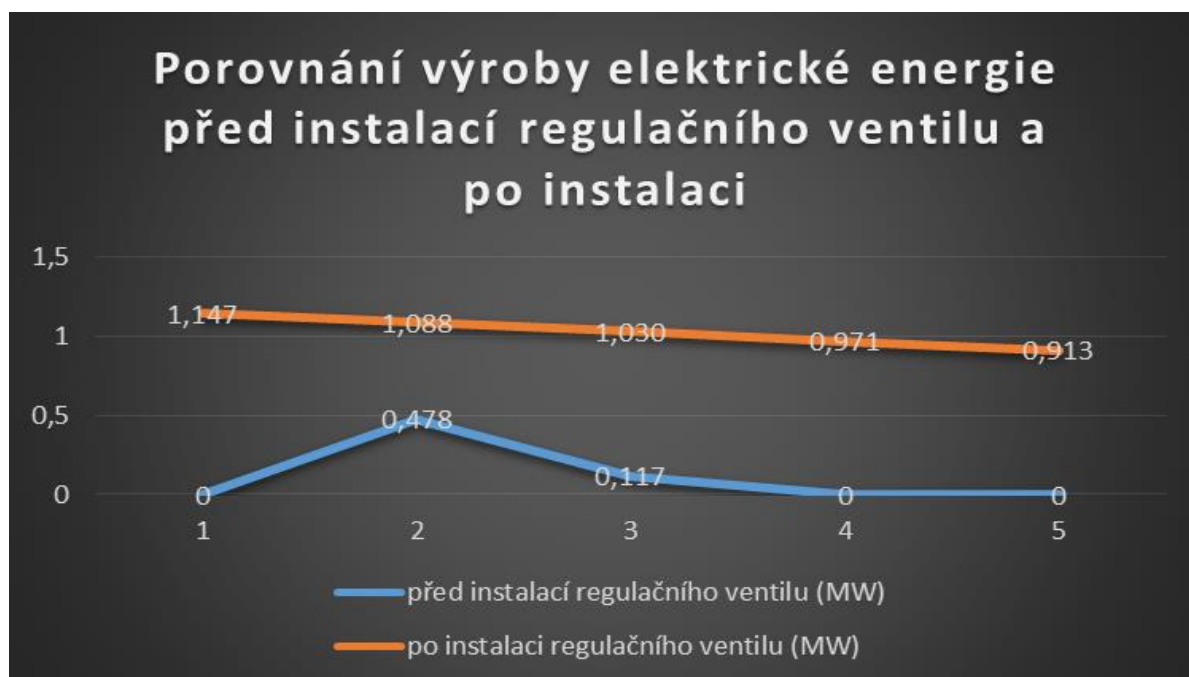
Graf č. 3: Spotřeba potravinářské páry ve výrobě po instalaci zkušebního regulačního ventilu

Graf č. 4 znázorňuje poměr vyrobené elektrické energie k dodané páře do parního motoru a koresponduje s vyobrazením na Grafu č. 3.



Graf č. 4: Výroba elektrické energie v závislosti na dodávce množství potravinářské páry – po instalaci zkušebního regulačního ventilu

Graf č. 5 znázorňuje porovnání výroby elektrické energie za dobu před instalací a po instalaci regulačního ventilu. Z tohoto grafu je patrné, že instalace regulačního ventilu, by bylo správným řešením daného provozu.



Graf č. 5 – Porovnání výroby elektrické energie před instalací regulačního ventilu a po jeho instalaci

3. Závěr

Na základě výsledků měření je možné konstatovat, že výše uvedeným řešením lze dosáhnout požadovaného výsledku. Regulací odběru páry do potravinářských provozů by byla zajištěna plynulost dodávky páry pro výrobu elektrické energie a tím bude vyřešena problematika přerušování a odstavení výroby elektrické energie.

Společnost ZEMCHEBA, s.r.o. touto instalací dosáhne zefektivnění celkového provozu výroby elektrické energie, aniž by omezila jednotlivé potravinářské provozy, čímž bude dosaženo maximální efektivity využití energie z biomasy v daném provozu a byly by eliminovány ztráty způsobené odstavením výroby elektrické energie v případě výpadku výroby elektrické energie ve výši 1.989,-- Kč/hod až 2.556,-- Kč/hod (v závislosti na druhu spalované biomasy – O1 nebo O2).

VYHODNOCENÍ NÁKLADŮ NA POSKYTNUTÍ SLUŽBY

Rozpočet na poskytnutí služby (bez DPH)

Schválená výše dotace od JVTP, a.s.	150 000 Kč
Výše spolufinancování bez DPH	50 000 Kč
Celková cena služby bez DPH	200 000 Kč

Skutečné náklady projektu (bez DPH)

OSOBNÍ NÁKLADY	65 600,00
Měření a diagnostika výchozího stavu, návrh variant řešení	
Měření a analýza odběru potravinářské páry po instalaci zkušební ventilu	
Vyhodnocení přínosu navrhovaného řešení	
MATERIÁL	18 720,00
Nezbytný konstrukční materiál pro instalaci zapůjčeného ventilu (přívodní potrubí od přetlakového ventilu, přírubové spoje, těsnění,...)	
SLUŽBY	62 470,00
Zapůjčení zkušební ventilu	
Náklady na provoz bioelektrárny mimo běžný provoz (víkendy), po dobu zkoušek (palivo, napájecí voda, obsluha elektrárny,...)	
<u>CELKEM</u>	<u>146 790,00</u>