

# Optimalizace provozních parametrů kotlů v návaznosti na kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie

Stále se zvyšující cena a poptávka po elektrické energii nutí provozovatele teplárenských provozů si položit otázku, zda jejich teplárenské zařízení by se nemohlo a za jakých podmínek využít pro kombinovanou výrobu. Výsledkem úvahy musí být detailní technická a ekonomická analýza bilancí a současných parametrů s co možná přesným dlouhodobým odhadem výroby a cen.

Změnou koncepce výroby a vylepšováním ekonomie provozu v teplárně se postupně snižovala spotřeba páry z původního parního výkonu přes 200 t/h (5 kotlů) na současnou spotřebu páry jen 32 t.h<sup>-1</sup>. Protože závod je i velkým odběratelem elektrické energie, hledali jsme možnosti, jak využít parní výkon kotlů na kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie.

Z výsledků našich měření kotlů jsme konstatovali, že kotle se provozují s velmi nízkou účinností a do oprav a rekonstrukcí bude třeba vložit nemalé finanční prostředky, nebo objednat nové kotle se spalováním černého paliva, s perspektivou spalování i částí biomasy. V minulém roce se uvedly do provozu 2 nové kotle o výkonu  $2 \times 16 \text{ t.h}^{-1}$  s parametry 3,48 MPa a 435 °C. Výkony páry již odpovídají skutečným potřebám pro pokrytí technologické páry, ale i ohřevu vody pro různé účely, včetně topení v zimním období.

V teplárně jsou již k dispozici pro výrobu elektrické energie i dvě protitlaké parní turbíny o výkoně 5 MW (hltnost 56 t.h<sup>-1</sup>) a 0,66 MW (hltnost 8 t.h<sup>-1</sup>). Poměrně velký pokles odběrů technologické páry způsobil, že při kolísavém odběru páry v průběhu dne, ale i roku, nelze tyto turbíny prakticky využít.

Stále se zvyšující ceny elektrické energie, ale i plynu nás vedly k tomu, že jsme doporučili doplnit ke stávající turbíně STG – II 5MW kondenzační část a umožnit tak plynulý provoz kotlů i turbín při změnách odběru páry.

Na požadavek teplárny vypracovala firma PBS Energo studii k proveditelnosti instalace kondenzační turbíny, jako třetí díl stávající STG – II. Studie byla provedena tak, aby se mohl využít stávající generátor o výkonu 5 MW. Kondenzační turbína bude připojena k vyvedenému druhému konci hřídele generátoru.

Následně si u nás teplárna objednala posouzení záměru na instalaci kondenzační turbíny. Naším úkolem bylo celkové posouzení návrhu PBS Energo, ale i vyhodnocení cen u vyrobené páry, ekonomické hodnocení stavu po realizaci kondenzační turbíny, volba optimálního technického a technicko-ekonomického řešení, včetně vyjádření se k nákladům stavby.

Na základě předaných podkladů a zjednodušených schémat provozu TG uvedených ve studii PBS jsme provedli analýzu termodynamických tepelných oběhů a provedli kontrolní a porovnávací výpočty. Tím byla ověřena a potvrzena správnost hodnot uváděných ve studii.

## Provedení bilance energií u spotřeb tepla a elektřiny a jejich vývoj

Velmi dobrý přehled o výrobě a dodávkách tepla jsme získali z podkladů, kde je zpracována bilance Teplárny za r. 2002 až 2006. V přehledu je uváděna výroba páry podle kotlů za jednotlivé měsíce a odběry páry u jednotlivých odběrných míst. Z diagramů výroby na kotlích a odběru páry jsme mohli posoudit, jaký je průběh odběru páry jak na úrovni tlaku 1,5 MPa, tak i odběru páry 0,4 MPa u ostatních odběrů. Údaje nám posloužily při hodnocení výpočtu při různých režimech provozu TG, kde byl hodnocen výkon TG podle množství odběru páry v jednotlivých stupních TG.

## Technické posouzení návrhu PBS Energo

Velmi podrobně jsme prostudovali návrh PBS na renovaci stávající protitlaké STG – II a návrh na doplnění soustrojí o kondenzační část. Nový návrh je proveden velmi fundovaně, byly provedeny výpočty pro 5 provozních režimů, u kterých se mění jak množství vstupní páry, tak i množství odběrové páry na úrovni tlaku 1,5 a 0,4 MPa. Mezioběr o tlaku 1,5 MPa je ponechán u všech propočtu režimů stejný a vychází ze skutečnosti, že i v letním období je možno počítat s minimálním odběrem 3 t.h<sup>-1</sup>. Odběr většího množství bude vždy zlepšovat ekonomii provozu TG a nebude mít vliv na další části TG včetně kondenzační části, kde se naopak sníží ztráta tepla chlazením v kondenzátoru.

Použité údaje v odběrech páry a výpočet je proveden tak, aby perspektivně bylo možno provoz vést k vyšší ekonomii výroby. Nakonec režim č. V je spočítán tak, že nové uspořádání TG by mohlo být provozováno i s malým odběrem páry na úrovni 0,4 MPa. Kvůli ceně výroby energie by ale tento stav měl být jen mimořádný.

## Cena vyrobené páry v teplárně

Základní údaje:

Výkon kotlů	$2 \times 16 \text{ t.h}^{-1}$
Účinnost kotle	83 %
Výhřevnost paliva	24,628 MJ.kg <sup>-1</sup>
Tlak kotlů	3,48 MPa
Teplota páry	435 °C
Minimální výkon kotle	4 t/h
Cena paliva	1 620 Kč/t

Z uvedených údajů byl proveden výpočet tepelného obsahu páry, výroba množství tepla, cena vyrobené tuny páry i cena tepla v GJ. Skutečná cena energií při účinnosti kotle 83 % vychází 80 Kč/GJ a 260 Kč/t páry.

Do nákladů při výrobě páry je třeba ještě zahrnout energetickou spotřebu napáječek, pohony na dopravu paliva až do kotle, odstruskování, pohony roštu a ventilátorů atd., takže skutečná cena bude vyšší cca o 10 % a u dalších výpočtu budeme počítat s cenami: 90 Kč / GJ a 300 Kč/na tunu vyrobené páry.

## Režimy provozu STG – II + kondenzace

Pro přehled a hlavně čitelnost jednotlivých režimů jsme provedli výpočet cen výroby elektrické energie v protitlaké části, kondenzační části, přepočtem cen na vyrobenou jednu MWh a v konečné fázi jsme se dopracovali k výsledným cenám v Kč na vyrobenou MWh. V konečném výsledku pro všech 5 režimů máme v Kč vyhodnocenou hospodárnost provozu turbín s klasifikací 1 až 5.

## Zkráceně to vypadá takto – viz tabulka 1.

Výpočet elektrických výkonů byl proveden z podkladů zhotoveného i-s diagramu, kde jsou uvedeny všechny rozhodující údaje o účinnostech, využití adiabatických spádů, pro jednotlivé díly turbíny. V příloze č. 1 je vidět, jak důležitý prvek ve využití páry má kondenzační část, kde podíl adiabatického spádu na výkonu TG je nejvyšší ze všech částí turbíny.

## Co z toho je důležité?

Největší přínos a nejohospodárnější provoz je u režimu č. I s celkovým odběrem páry 23 t.h<sup>-1</sup>. Z tohoto výpočtu vyplývá, že do dalšího rozvoje je třeba v první fázi v zimním období nabídnout co největší dodávky z odběru 0,4 MPa. Je třeba uvažovat i s malými odběry pro ohřev teplé užitkové vody pro mytí a koupání. V současné době jsou na trhu deskové výměníky vody s nucenou cirkulací, které dokážou při poměrně nízkých nákladech ohřát značné množství TUV.

Na druhém místě je režim IV, kde je reálná cena výroby el. Energie 976 Kč/MWh. Tento režim pracuje s nižším výkonem kotle – 28,6 t.h<sup>-1</sup> a předpokládá kromě technologického odběru další nízkotlaký odběr 0,4 MPa ve výši 15 t.h<sup>-1</sup>.

Nejdražší režim s výkonem 4,48 MW je režim č. V. Předpokládá se, že bude se odebírat jen 3 t/h páry s odběrem 1,5 MPa. Cena vyrobené energie vychází na 1 364 Kč/MWh.

Tabulka 1

	Režim I	Režim II	Režim III	Režim IV	Režim V
Výroba páry v t/h	32	32	28,6	28,6	24,7
Odběr páry 1,5 MPa v t/h	3	3	3	3	3
Odběr páry 0,4 MPa v t/h	20	10,9	4	15	0
Elektrický výkon v MW	3,92	5,02	5,0	3,86	4,48
Cena za vyrobenou MWh v Kč	860	1099	1250	976	1364
Stupeň hodnocení	1	3	4	2	5

Propočet jednotlivých režimů až na cenu elektrické energie jsme provedli proto, aby se dal vybrat vhodný režim při různých odběrech tepla a sledovat i cenu výroby el. energie, která v příštím období bude mít značný vliv na z hospodárnění celkového provozu.

### Hodnocení ceny za nakupovanou elektrickou energii

Předpokládá, jaká bude cena elektrického výkonu nakupovaného z rozvodné sítě ČEZ, nebo od jiných dodavatelů, je úkol velmi nesnadný. V současném období, kdy se obchoduje s energií na burzách, lze jen odhadnout další vývoj. V minulém roce jsme měli určité podklady z r. 2005, z kterých by se dalo vycházet. Po započítání všech dílčích plateb za připojení odběr elektrického výkonu, jsme dospěli k výsledkům, že ve vysokém tarifu vycházela cena 1 665 Kč/MWh a v nízkém tarifu cena 747 Kč/MWh. Za celý rok 2005 se zaplatilo za odběr el. energie 168 mil. Kč.

V polovině minulého roku jsme obdrželi orientační hodnoty o cenách energie, kde jsou porovnány nákupní ceny silové elektřiny k základnímu ročnímu pásmu tzv. žluté elektřiny. Lze vycházet z údajů za rok 2005 až 2007, kde je vidět, že nárůst cen elektrické energie v každém roce podstatně roste. Pro naše další úvahy budeme brát údaj za rok 2007, i když se předpokládá, že cena ve žlutém pásmu se může zvýšit až na 1 500 Kč/MWh již v roce 2008.

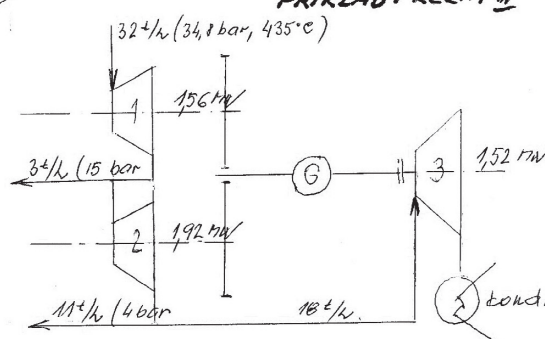
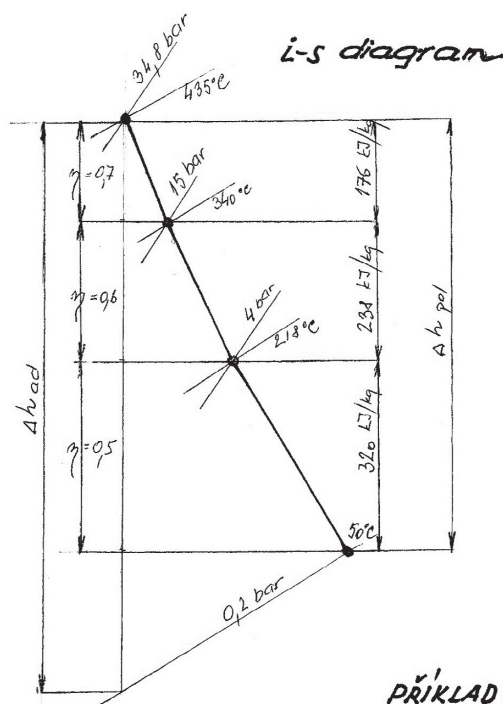
Pokud by platilo, že cena 1 MW · h<sup>-1</sup> u tzv. žluté energie (dodávka elektřiny s konstantní hodnotou el. výkonu ve všech hodinách všech dnů v roce) bude 1 500 Kč/MWh, byla by cena ve všech spočítaných režimech s kondenzační turbínou nižší než nákup od ČEZ.

### Vývoj vlastní výroby elektrické energie v teplárně

Po realizaci záměru doplnit STG – II o kondenzační část, měla by se situace podstatně změnit. Máme názor, že po zařazení kondenzační části Tg bude možno využívat pro výrobu el. energie na TG v průměru 3,5 MW výkonu v průběhu celého roku a tím vyrobit za rok nejméně 30 000 MWh.

Podle provedeného rozboru cen u vlastní výroby se nám podaří udržet průměrnou cenu z pěti variant 1 109 Kč/MWh. Při průměrné nakupované el. energii za 1 500 Kč/MWh ušetříme za rok při vlastní výrobě 30 000 MWh × (1 500 – 1 109) Kč celkem 11,73 mil Kč. Doba splatnosti investice vychází přibližně na 7 let. Při dalším zdražování dodávané el. energie se bude doba splatnosti ještě zkracovat.

Po zařazení do provozu kondenzační části turbíny se nám otevírají možnosti, jak postupně zajistit vyšší odběry páry. Platí zásada, že každé zvýšení odběru páry znamená snížení ceny vyrobené el. energie. Je třeba uvažovat tak, že teplo na kotlích se dá vyrobit za 90 Kč/GJ. V současné době se běžně dodává teplo pro cizí odběratele za 300 Kč/GJ a více,



OSTRAVA, 3. 2. 2008  
ZPRAVIL: ZAGATA

**PŘÍLOHA č. 1**

*i-s diagram*

ve všech tepelných soustavách. Bylo by proto vhodné hledat další odběratele tepla, protože takto vyrobené teplo se může prodat za zcela konkurenční cenu a ještě se slušným ziskem.

Aleš Dobrozemský,  
www.dobrozemsky.cz