

Oponentní posudek diplomové práce

Jméno diplomanta: **Bc. Michal Panuška**

Oponent diplomové práce: **Ing. Jindřich Louthan**

OPONENTNÍ POSUDEK JE PŘILOŽEN

Event. pokračování textu na přiložených listech.

Navrhovaná výsledná klasifikace: *(nehodící škrtněte)*

výborně
~~velmi dobře~~
~~dobře~~
~~nevyhovět~~

Místo, dne: *v. PLzeňi 15.6.2017*

Louthan
.....
podpis

Oponentní posudek diplomové práce

zpracované na téma

Steam tail – Optimization of cycle between HRSG and steam turbine in combined cycle power plants

Jméno studenta: **Bc. Michal Panuška**

Katedra studenta: **Západočeská univerzita v Plzni – Fakulta Strojní – Katedra energetických strojů a zařízení**

Oponent diplomové práce: **Ing. Jindřich Louthan**

Předmětem oponentního posudku je diplomová práce zpracovaná Bc. Michalem Panuškou, studentem Fakulty Strojní Západočeské univerzity v Plzni. Diplomová práce byla vypracována v rozsahu 85 stran a je členěna do 5 základních kapitol. Celá práce je psána v anglickém jazyce.

Ještě před první kapitolou je zařazen úvod, ve kterém je čtenář seznámen s motivací a obsahem diplomové práce. V první kapitole jsou uvedeny základy z teorie tepelných oběhů využívaných v energetice. Jsou vysvětleny např. pojmy tepelná účinnost cyklu, účinnost Carnotova cyklu, technická práce, Braytonův cyklus, Rankinův cyklus. V podkapitole 1.2 jsou definovány tepelné účinnosti kombinovaného cyklu.

Ve druhé kapitole je podrobněji popsán blok s paroplynovým cyklem (CCPP = combined cycle power plant). Jsou popsána jednotlivá zařízení a jejich význam v bloku CCPP.

Plynové turbíny jsou klasifikovány do pěti skupin dle velikosti výkonu (a rozměrové velikosti). Diplomová práce se zabývá první skupinou plynových turbín, tj. heavy-duty gas turbine = volně přeloženo plynové turbíny pro velká zatížení resp. plynové turbíny největších výkonů.

Dále je podrobněji popsán spalínový kotel (HRSG = heat recovery steam generator). Správně je zmíněna problematika nízkých teplot (vychlazení) spalin, kdy je nutné dbát na to, aby nebylo dosaženo rosného bodu par, jinak by vodní pára s oxidy síry obsaženými ve spalinách mohly vytvořit kyselinu sírovou, která by teplosměnné trubky korozně napadala.

Parní turbíny jsou v práci děleny dle šesti kritérií. V samotné diplomové práci je pojednáno o parní turbíně kondenzační, vícestupňové, s kombinací přetlakového a rovnotlakého lopatkování pro axiální proud páry a s přehřátou párou na vstupu, přičemž účelem dané parní turbíny je primárně výroba elektrické energie.

Dalším zařízením, u kterého je popisován jeho význam a systematické rozdělení, je kondenzátor.

Jelikož se práce zabývá zvyšováním účinnosti tepelného cyklu, jsou v kapitole 4.1 pro kondenzátor provedeny rozbory možností snížení průměrného tlaku za posledním stupněm turbíny pomocí aplikace tzv. dvoustupňového (dvoutlakového) kondenzátoru.

V kapitolách 2.2, 2.3 a 2.4 je provedeno srovnání různých konfigurací řešení paroplynového cyklu z pohledu počtu “tlakových“ okruhů v HRSG. Bylo provedeno srovnání třech konfigurací se stejnými plynovými turbínami (GE 7241FA) a se stejnými vstupními parametry plynových turbín. Bilanční výpočty v programu Thermoflow byly provedeny pro jednotlakový, dvoutlakový a třítlakový paroplynový cyklus.

V tabulce 1 jsou přehledně uvedeny charakteristické hodnoty pro všechna tři uspořádání paroplynového cyklu. S rostoucím počtem okruhů v HRSG roste tepelná účinnost cyklu a klesá měrná spotřeba tepla. Uvedené je dáno mimo jiné také tím, že u vícetlakového systému je možné v HRSG vychladit spaliny až na teplotu cca 90°C, což je o cca 50°C nižší teplota spalin, než které je možné dosáhnout u jednotlakového systému.

V kapitole 3 je proveden detailní rozbor a popis třítlakového uspořádání paroplynového cyklu se dvěma plynovými turbínami GE 7FA.03 (pro 60 Hz), dvěma HRSG a jednou parní turbínou. Byl proveden výpočet daného paroplynového cyklu při standardizovaných podmínkách okolí dle ISO (teplota 15°C, 60% relativní vlhkost a tlak odpovídající nadmořské výšce 0 m n.m.).

Kapitola 4 pojednává o optimalizaci paroplynového cyklu – přesněji o optimalizaci té části kombinovaného cyklu, ve které se nachází parní turbína. Optimalizace řešeného paroplynového bloku zahrnuje následující:

- 1) změnu konfigurace kondenzátoru z jednotlakového provedení na dvoutlakové provedení s cílem snížit tlak za posledním stupněm turbíny
- 2) optimalizaci dispozice strojovny parní turbíny s cílem ušetřit objem betonu v základu turbosoustrojí

V kapitole 4.1 je nejprve proveden návrh jednotlakového kondenzátoru dle HEI Standards (Heat Exchange Institute). Ve druhém kroku byly navrženy alternativy k jednotlakovému kondenzátoru v podobě dvou variant dvoutlakových kondenzátorů:

- 1) zachována shodná velikost teplosměnné plochy jako v případě jednotlakového kondenzátoru
- 2) zachován shodný koncový teplotní rozdíl (TTD) jako v případě jednotlakového kondenzátoru

Do srovnání variant kondenzátorů byl brán správně v potaz dopad do spotřeby čerpadel chladicí vody při nárůstu tlakových ztrát na vodní straně kondenzátoru.

Zásadní shrnutí dopadů použití různých variant kondenzátorů přináší tabulka 5, ze které je zřejmý přínos dvojtakového uspořádání kondenzátorů. Použitím dvojtakového kondenzátoru lze v případě dané parní turbíny získat více než 1 MWe (dokonce po odečtení zvýšené spotřeby čerpadel chladicí vody vlivem zvýšených tlakových ztrát na vodní straně kondenzátoru).

V kapitole 4.2 je pojednáno o optimalizaci dispozice strojovny parní turbíny s cílem snížení nákladů na stavbu dané strojovny. Výchozí dispozice strojovny pracovala s výstupem páry z NT dílu turbíny směrem dolů, přičemž podlaží s parní turbínou byly na úrovni + 12,0 m. Změnou konfigurace pro boční výstup páry z NT dílu turbíny, došlo k výraznému snížení podlaží s parní turbínou až na úroveň + 5,5 m. Snížená stavba strojovny přinese kromě úspory v objemu betonu ve sloupech turbínové stolice také snížení haly/pláště celé strojovny a s nížením počtu pracovních hodin při výstavbě strojovny.

V páté kapitole jsou počítány investice do dvojtakového řešení NT dílu a kondenzátoru. Dále jsou počítány návratnosti investic pro jednotlivé varianty dvojtakových kondenzátorů.

V závěru jsou přehledně shrnuty výsledky diplomové práce. Přílohami diplomové práce jsou:

- Teplotní diagram HRSG
- P&ID diagram pro původní řešení strojovny parní turbíny s jednotlakovým kondenzátorem
- Dispozice upraveného řešení strojovny parní turbíny

K předložené diplomové práci mám tyto připomínky:

- Na straně 41 by při praktickém výpočtu kromě aktivní délky teplosměnných trubek měla být počítána konstrukční délka teplosměnných trubek zahrnující délku trubek v trubkovnici. S konstrukční délkou teplosměnných trubek by mělo být počítáno v hydraulickém výpočtu a při naceňování (costing) kondenzátorů.
Pozn.: Jelikož mezi variantami kondenzátorů bylo použito metody srovnání vycházející z rozdílů, nemá chybějící výpočet konstrukční délky teplosměnných trubek dopad do výsledku optimalizace.
- V tabulce 3 je uveden mírně rozdílný průtok chladicí vody pro kondenzátor 1. stupně a kondenzátor 2. stupně. Průtoky chladicí vody oběma stupni kondenzátorů musejí být zcela shodné.
- Na straně 49 je zmíněno, že kondenzátor je uprostřed rozdělený na dva prostory s různými tlaky pomocí přepážky z nerezové oceli. Přepážka v kondenzátoru by byla vyhotovena z uhlíkové oceli, mimo jiné i kvůli zajištění bezproblémové svařitelnosti s pláštěm kondenzátoru a s přepážkou v NT dílu turbíny.
- V kapitole 5.2 ani v závěru není v obecném výčtu dopadů zmíněna problematika řešení kompenzací teplotních dilatací v soustavě NT dílu turbíny – kondenzátor. Ve zvýšení investičních nákladů by měl být zmíněn alespoň kompenzátor mezi turbínou a kondenzátorem, který je na obrázku 27 znázorněn. Kompenzátor obdobného typu a velikosti se cenou pohybuje mezi 6 až 9 mil. Kč.

Předložená diplomová práce je po formální stránce v naprostém pořádku. Jazyk diplomové práce byl zvolen anglický, což lze kvitovat s povděkem. Práce je vhodně strukturovaná a dostatečně popisná. Co se týče grafického zpracování diplomové práce, nemám žádných výtek. Student prokázal hlubokou teoretickou znalost řešené problematiky. Práce je svou strukturou a popisným jazykem vhodná jako pedagogický podklad pro mladé inženýry.

Na základě výše uvedeného posudku diplomovou práci **doporučuji k obhajobě.**

Diplomovou práci hodnotím známkou **v ý b o r n ě .**

V Plzni dne 15.6.2017

Ing. Jindřich Louthan

