

Ústav chemického a environmentálneho inžinierstva  
Fakulta chemickej a potravinárskej technológie STU v Bratislave

Riešenie procesných problémov v praxi

Regeneračný ohrev vody

Vypracoval: Tomáš Lalík  
36. študijná skupina  
Inžinierske štúdium, 2. ročník, ZS akad. roku 2016/2017  
Študijný program: CHI

Bratislava 2016

## **Obsah:**

Zoznam literatúry: .....	2
Abstrakty článkov: .....	3
Abstrakt: .....	5
Vypracovanie: .....	6
Parný cyklus .....	6
Straty tepla.....	7
Možnosti zvýšenia účinnosti .....	7
Zníženie emisií .....	9
Dizajn kotla.....	9
Porovnanie článkov: .....	10
Možnosť doplnujúceho materiálu: .....	13
Prílohy: .....	14

## Zoznam literatúry:

- [1] LANGFELDER, I. – ŠEVČÍKOVÁ, M. – LODES, A. – DUDÁŠ, J. Energetika chemického a potravinárskeho priemyslu, Bratislava: Vydavateľstvo Alfa, 1992, 175-232 s., ISBN: 80-05-00998-4
- [2] Obnoviteľné zdroje energie, elektrárne, [online]. Bratislava 2017 [cit. 2017.1.13] Dostupné na internete: [http://www.oze.stuba.sk/wp-content/themes/ObnovitelneZdrojeEnergie/elearning/EENERGETIKA/ELEN-3\\_2.htm](http://www.oze.stuba.sk/wp-content/themes/ObnovitelneZdrojeEnergie/elearning/EENERGETIKA/ELEN-3_2.htm)
- [3] BRACCO, S. – DAMIANI, L. A non-conventional interpretation of thermal regeneration in steam cycles, University of Genova, Italy, 2012, 548-557 s.
- [4] ESPATOLERO, S. – ROMEO, L. – CORTÉS, C. Efficiency improvement strategies for the feedwater heaters network designing in supercritical coal-fired power plants, Universidad de Zaragoza, Spain, 2014, 447-458 s.
- [5] HABIB, M. – SAID, S. – AL-ZAHARNA, I. Thermodynamic optimization of reheat regenerative thermal-power plants, University of Petroleum and Minerals, Saudi Arabia, 1999, 17-34 s.
- [6] JIPING, L. – WEI, H. – XIN, W. Theoretical Investigation on the Partial Load Feedwater Heating System with Thermal Vapor Compressor in a Coal-fired Power Unit, Xi'an Jiaotong University, China, 2015, 1102-1107 s.

## Abstrakty článkov:

[1] Učebnica energetiky (bez abstraktu)

[2] Internetový zdroj (bez abstraktu)

[3] The paper aims to contribute to a better understanding of the thermodynamic concept of heat regeneration in steam power plants with a finite number of bleedings. A regenerative Rankine cycle is compared to a complex system (CHC – complete hybrid cycle) composed by one non-regenerative Rankine cycle (HEC – hybrid engine cycle) and more reverse cycles (RCs – reverse cycles), as many as the number of the bleedings, able to pump heat from the condenser to a series of surface feedwater heaters, disposed upstream of the steam plant boiler. The COPs (coefficients of performance) of the heat pumps are evaluated, and new interesting formulations of the efficiency of the regenerative steam cycle are proposed. In particular a steam cycle with two bleedings is analyzed, neglecting heat losses and pressure drops in the boiler and considering irreversibility only along the expansion line of the steam turbine and into the feedwater heaters. The efficiency and the work of the regenerative cycle are compared to the analogous values of the CHC cycle composed by one simple steam cycle (HEC) and two heat pump cycles (RCs), with steam as the working fluid. The two reverse cycles are considered completely reversible and raising heat from the condenser temperature to the bled steam condensing temperature. The paper shows the most significant results of the study in order to analyze the regenerative cycle and the CHC cycle in comparison with the non-regenerative Rankine cycle; in particular, the analysis is focused on the evaluation of the useful work, the heat supplied and the heat rejected for the examined cycles.

Keywords: Regenerative Rankine cycle, Cycle efficiency, Feedwater heaters, Heat pump COP

[4] Coal will continue playing a major role in worldwide electricity generation during next years. This trend will augment CO<sub>2</sub> emission to the atmosphere. Improving power plant efficiency could alleviate the negative effect of coal consumption on CO<sub>2</sub> emissions. Main efforts have been focused on supercritical boiler technology (once-through units) and materials development (austenitic steels) with the aim of accomplishing high steam parameters that allow this efficiency enhancement. However, improvement in supercritical steam parameters should be followed by an exhaustive review of the steam cycle design. This paper shows a strategy for the optimization of the feedwater heaters network and the flue gas heat recovery system design. Starting with the lay-out of a supercritical steam cycle using the best available technology, this paper analyses not only the steam cycle itself, but also its integration with the boiler cold-end. By means of thermodynamic optimization it is possible to propose new feedwater heat exchanger network configurations and reducing steam consumption from turbine bleeds, achieving optimum power plant efficiency. Simulations have been carried out using Aspen Plus software and optimization procedure is based on a sequential quadratic programming method that maximized overall plant efficiency taking turbine bleeds pressure as independent variables. Results show a feasible improvement of the overall plant efficiency of 0.7 points in comparison with state-of-the-art reference plant. This

increase implies a direct reduction of CO<sub>2</sub> emissions of about 1.3% compared with the best plant currently available. Moreover, an economic analysis confirms the feasibility of the proposals analysed and shows important additional yearly incomes.

Keywords: Supercritical steam cycle, Efficiency, Integration, Improvement strategy

**[5]** A first- and second-law procedure for the optimization of the reheat pressure level in reheat regeneration thermal-power plants is presented. The procedure is general in form and is applied for a thermal-power plant having two reheat pressure levels and two open-type feedwater heaters. The second-law efficiency of the steam generator, turbine cycle and plant are evaluated and optimized. The irreversibilities in the different components of the steam generator and turbine cycle sections are evaluated and discussed. Additional constraints such as the steam qualities at the exits of the different turbine stages are considered.

**[6]** When a coal-fired unit operates at a partial load, the decrease at regenerative steam pressure leads to a decrease in boiler feedwater temperature, affecting not only the thermal economical efficiency, but also the selective catalytic reduction (SCR) denitrification effect and the boiler combustion stability. A feedwater system with the thermal vapor compressor has been studied in the present paper. The high pressure regenerative steam is injected by the live steam to heat boiler feedwater to increase its temperature. Mathematical models of the thermal vapor compressor, boiler and turbine regenerative system are established to calculate the performance of a 660MW supercritical air cooling unit at a 60% load. It was found that although the energy-saving effect is small, it is positive to improve the SCR denitrification effect and stabilize the boiler combustion.

Keywords: regenerative cycle, thermal vapor compressor, thermo-economical analysis

## **Abstrakt:**

The actual work is focused on regenerative feedwater heating. It consists of several parts. Introduction and conclusion includes articles on which work is based and which are discussed in the core of the work. The core of work is divided into two parts. The first part implies a short familiarization with the issues. It is dedicated to steam cycle (Clausius-Rankine cycle) which is part of the steam power plant, heat loss from the process and also the possibility of increasing the efficiency of the cycle which we will increase the production of electricity, reducing the amount of releasing emissions into the atmosphere, reducing the consumption of fuel into the boiler, and ultimately increase profits from the sale of electricity. Included in the first part is the modification and distribution of boilers according to various criteria. The second part is devoted to detailing individual articles. It involve every article from what is this paper based, and is studied in terms of its utility, competence, mathematical models and others. The second part tells us what the content of articles which can't be found and on what is the actual article focused.

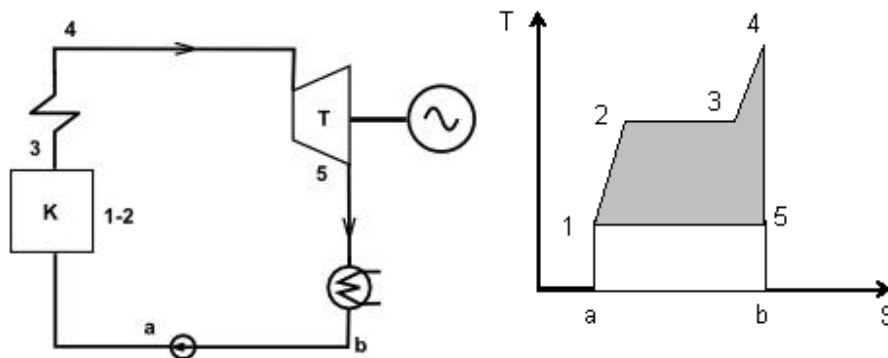
Keywords: steam cycle, regenerative feedwater heating, boiler, efficiency of the cycle

## Vypracovanie:

Kondenzačná elektráreň (parná elektráreň) ako taká predstavuje komplex zariadení, v ktorých sa uskutočňuje premena chemicky viazanej energie v tuhých, kvapalných alebo plyných palivách na tepelnú energiu a následne na elektrickú energiu alebo priemyselne využiteľné teplo. Tepelný obeh je sústava niekoľkých za sebou nasledujúcich termodynamických zmien, po ktorých sa pracovná látka nesúca tepelný obsah (para) vráti do pôvodného stavu z termodynamického hľadiska (takýto priebeh je možné popísať Clausio-Rankinovým cyklom). [2]

### Parný cyklus

Tepelný ohrev, pri ktorom sa používa ako pracovná látka voda resp. vodná para možno teoreticky realizovať v tepelných elektrárnach, je to Clausiov-Rankinov cyklus, ktorý predstavuje ideálny cyklus pre vodnú paru (Obr. 1). [1,2]



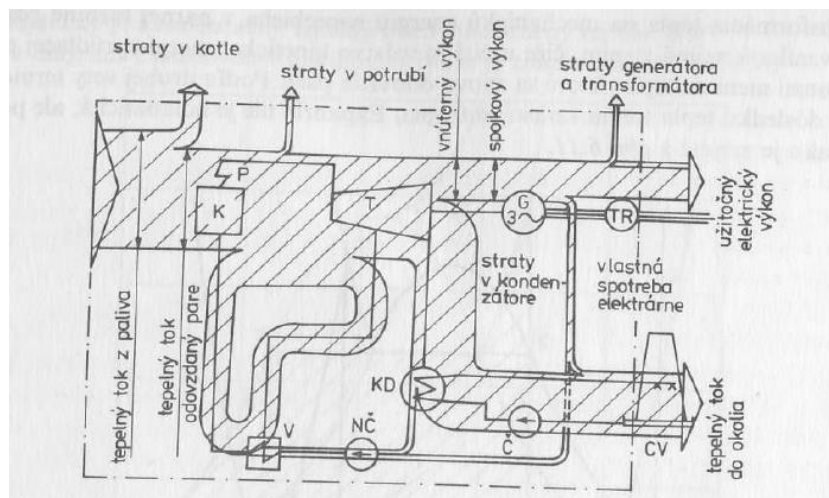
Obr. 1.: Rankin-Clausiov cyklus v T-S diagrame

Priebeh cyklu je možné stručne popísať nasledovne (Obr. 1). Napájacia voda sa v kotly, v ktorom sa spaľuje palivo, ohreje až po bod varu (bod 2) a následne sa vyparuje pri stálom tlaku (2->3) až do nasýtenia. Nasýtená para sa prehreje v predhrievači až do bodu 4. Vytvorená prehriata para je privádzaná do turbíny (kde sa časť tepla premení na mechanickú energiu a následne v generátore na elektrickú energiu), v ktorej expanduje na stav 5. Následne je para prevádzaná cez kondenzátor a upravená na stav 1. Kondenzát je prečerpávaný naspäť do napájacej nádrže. [1,2]

Samotný proces je možné charakterizovať pomocou termodynamickej účinnosti, ktorá je daná ako podiel výkonu skutočného a teoretického stroja pracujúceho pri rovnakých podmienkach a termickej účinnosti definovanej ako podiel získanej práce a tepla potrebného na jej vykonanie. [1,2]

## Straty tepla

Straty tepla sú neoddeliteľnou súčasťou každého procesu. Z obrázku 2 je možné vidieť, aké straty sú prítomné pri spomínanom parnom cykle.



Obr. 2.: Toky energie v kondenzačnej elektrárni

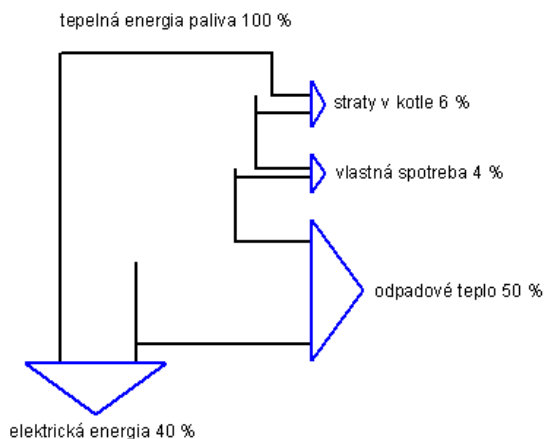
K- parný kotol, P- prehrievač, T- turbína, KD- kondenzátor, NČ- napájacie čerpadlo, V- regeneračný výmenník tepla, CV- chladiaca veža, G- generátor, Č- čerpadlo kondenzátu, TR- transformátor

Podľa článku 5 je možné tieto straty rozdeliť na straty z kotla a straty z turbínového cyklu. Straty z kotla je možné rozdeliť na straty z kúreniska (z radiačnej časti pece) a straty z výmenníkov tepla (konvekčnej časti pece). Straty z kúreniska, ktoré sú trojnásobne menšie ako straty z výmenníkov tepla, v sebe zahŕňajú takzvané termomechanické, chemické straty a straty, ktoré spôsobujú odchádzajúce vysoko horúce spaliny. Straty z turbínového cyklu v sebe zahŕňajú straty z vysokotlakej, strednotlakej, nízkotlakej turbíny, kondenzátora a ohrievačov napájacej vody.

## Možnosti zvýšenia účinnosti

Elektráreň ako taká za normálnych podmienok a parnom cykle popísanom vyššie je schopná len 40 % z tepla vyprodukovaného v peci premeniť na elektrickú energiu. Prevažná časť energie predstavuje straty v kondenzačnom obeh, keďže asi 50% strát tvorí teplo odovzdané chladiacej vode v kondenzátore (Obr. 3). Takáto účinnosť je pomerne dosť nízka preto sa kladie otázka možnosti zlepšenia účinnosti. Na základe rôznych článkov zvýšenie môže byť dosiahnuté viacerými metódami. [2]





Obr. 3.: Celková energetická bilancia elektrárne

1. Znížením tlaku v kondenzátore sa dosiahne zmenšenie množstva odvedeného tepla. Realizovateľné to je prostredníctvom zníženia teploty chladiacej vody, zväčšením prietoku chladiacej vody, zväčšením teplovýmennej plochy v kondenzátore. [2]
2. Zvyšovaním teploty a tlaku pary vstupujúcej do turbíny sa zväčšuje užitočná plocha v T-S diagrame a teda aj účinnosť. [2]
3. Regeneráciou tepla spočívajúcou v tom, že v kotly sa neohrieva voda od stavu 1 v T-S diagrame, ale napájaciú vodu prihrejeme parou odoberanou z turbíny, tým sa zvýši teplota, pri ktorej privádzame teplo do obehu, čím sa zvýši jeho účinnosť. [2,3,4]
4. Prihrievaním pary pričom para, ktorá prešla prvým stupňom turbíny, sa znovu vedie do kotla, do zvláštneho prihrievača. Tu sa pri stálom tlaku zvyšuje jej teplo približne na pôvodnú hodnotu, ale už pri nižšom tlaku. [2,3]
5. Využitím tepla spalín odchádzajúcich z pece. Tým že spaliny majú ešte vysoký entalpický obsah je možné to využiť pomocou súboru výmenníkov tepla a ich teplotu znížiť na čo najnižšiu hodnotu (90 °C). [4]
6. Zavedenie nových členov do parného cyklu. Konkrétne to môžu byť čerpadlá ich zavedenie na presné a vhodné miesta má pozitívny vplyv na účinnosť parného cyklu. [3,4]
7. Využitie zariadení TVC (thermal vapor compressor) spolu s FWHS (feedwater heating system), ktoré nám zabezpečia zvýšenie teploty napájacej vody o 20 °C a zníženie teploty spalín z ekonomizéra o 10 °C, teploty vzduchu o 5 °C a v konečnom dôsledku zníženie spotreby paliva o 0,78 g/kWh (v závislosti od pomeru pár vstupujúcich do kompresora). [6]

Kombináciou jednotlivých bodov je možné dosiahnuť zvýšenie účinnosti aj o 0,7 % (podľa článku 4). Tento vzrast je ale v rôznych literatúrach rôzny.

## **Zníženie emisií**

Podľa článku 4 ak sa dosiahne zvýšenie účinnosti o 0,7 % prostredníctvom využitia tepla odchádzajúcich spalín a taktiež zavedením štyroch čerpadiel na vhodné miesta (okrem vysokotlakových oblastí), tak takáto zmena má vplyv aj na zníženie vypúšťaných emisií. Množstvo vypúšťaného CO<sub>2</sub> poklesne o 1,3 percenta. Tým že sa zvýši tvorba elektrickej energie zníži sa pomer z 0,737 t(CO<sub>2</sub>)/MWh na hodnotu 0,727 t(CO<sub>2</sub>)/MWh čo predstavuje o 52 000 t(CO<sub>2</sub>)/ rok menej v ovzduší.

## **Dizajn kotla**

Neoddeliteľnou súčasťou parného cyklu sú kotly, ktoré premieňajú vodu na vlhkú alebo nasýtenú paru s vyšším tlakom, než je atmosférický tlak (následne sa v prehrievači mení na prehriatu paru). Je možné ich rozdeliť do viacerých skupín podľa rôznych hľadísk a to podľa hmotnostného prietoku pary, konštrukčného tlaku, podľa druhu použitého paliva, podľa druhu spaľovacieho zariadenia alebo podľa konštrukcie vlastného telesa kotla. [1]

Podľa usporiadania kotlového zariadenia a kúreniska sa postupne uplatňovali rôzne konštrukcie kotlov. Valcové kotly, ktoré patria medzi najstaršie konštrukčné kotly s veľkými stratami tepla sálaním do okolia a nevyužitím celého tepelného obsahu spalín. Plameňové kotly využívané niekoľko vodorovných rúr a rovinné rošty. Na rozdiel od valcových majú väčšiu životnosť a účinnosť. Žiarorúrkové kotly s veľkým počtom rúrok, v ktorých prúdia spaliny až do komína pričom rúrky sú obmývané vodou. Kombinované kotly, ktoré vznikli kombináciou predošlých troch kotlov. Vodorúrkové kotly vyznačujúce sa tým že voda prúdi v rúrkach a spaliny v medzirúrkovom priestore. [1]

Samotná práca je zameraná na oboznámenie sa s priebehom parného cyklu a možnosťami zvýšenia jeho účinnosti, pričom jedna z možností v sebe zahŕňa aj regeneračný ohrev napájacej vody. Taktiež sa zameriava na straty tepla, ktoré môžu vzniknúť pri kolobehu pary a sú neoddeliteľnou súčasťou každého procesu. V závere je priblížená možnosť voľby parného kotla podľa rôznych kritérií a konštrukcií.

## Porovnanie článkov:

V tejto kapitole je stručne popísaný každý zdroj z ktorého boli čerpané údaje do práce.

[1] LANGFELDER, I. – ŠEVČÍKOVÁ, M. – LODES, A. – DUDÁŠ, J. Energetika chemického a potravinárskeho priemyslu, Bratislava: Vydavateľstvo Alfa, 1992, 175-232 s., ISBN: 80-05-00998-4

Predstavuje učebnicu energetiky. Je v nej samostatná kapitola venovaná vodnej pare. Zahŕňa všetky podstatné a dôležité informácie týkajúce sa vodnej pary, od jej termodynamiky cez jednotlivé stavy vodnej pary (mokrú, nasýtenú a prehriatu paru), parný cyklus a s ním spojené podklady. Taktiež sa zaoberá vodou a parou ako pracovnou látkou a možnosťami výroby pary v parných kotloch. Je to zdroj informácií, ktorý by mal byť prečítaný pri spracovaní takejto témy. Oboznámi čitateľa so základnými zákonitosťami týkajúcimi sa vodnej pary. Na základe toho môže čitateľ si vytvoriť hrubú stavbu preberanej problematiky, na ktorú potom môže nadväzovať čítaním rôznych článkov, s tým že bude mať prehľad o čom sa diskutuje a o čo sa v článkoch jedná.

[2] Obnoviteľné zdroje energie, elektrárne, [online]. Bratislava 2017 [cit. 2017.1.13] Dostupné na internete: [http://www.oze.stuba.sk/wp-content/themes/ObnovitelneZdrojeEnergie/elearning/EENERGETIKA/ELEN-3\\_2.htm](http://www.oze.stuba.sk/wp-content/themes/ObnovitelneZdrojeEnergie/elearning/EENERGETIKA/ELEN-3_2.htm)

Predstavuje internetový zdroj s názvom „elektrárne“. Zahŕňa viacero kapitol (viacero typov elektrární) pričom jedna je venovaná kondenzačnej elektrárni, kde je využitá para ako teplotné médium. Zdroj je spracovaný stručne a výstižne s množstvom obrázkov (slúžia na lepšie predstavenie konkrétneho parného cyklu) predstavujúcich modifikácie parného cyklu, ktoré môžu zvýšiť samotnú účinnosť elektrárne. Taktiež zdroj obsahuje aj informácie o hlavných častiach elektrárne: turbíny (ich použitie a delenie), kotolňa (typy palív) ako aj okruh napájacej vody a okruh chladiacej vody. Súčasťou internetového zdroja je aj kapitola paroplynovej elektrárne, kde je možné na výrobu elektrickej energie využiť prepojenie parnej a spaľovacej turbíny.

[3] BRACCO, S. – DAMIANI, L. A non-conventional interpretation of thermal regeneration in steam cycles, University of Genova, Italy, 2012, 548-557 s.

Tento článok bol podľa môjho názoru jeden z tých náročnejších. Zaoberá sa možnosťami zvýšenia účinnosti pričom porovnáva neregeneračného parného cyklu s regeneračným parným cyklom a hybridným cyklom. Cieľom je zvýšenie účinnosti a to buď zvýšením teploty vody v kotly alebo zavedením výmenníkov tepla do vykurovacieho telesa.

V závere článku sú navrhnuté dve možné riešenia ako zvýšiť účinnosť týkajúce sa malých elektrární.

[4] ESPATOLERO, S. – ROMEO, L. – CORTÉS, C. Efficiency improvement strategies for the feedwater heaters network designing in supercritical coal-fired power plants, Universidad de Zaragoza, Spain, 2014, 447-458 s.

Článok bol pomerne rozsiahly a zložitý, ale poskytol pomerne dostatočný zdroj informácií. Tiež je zameraný na zvýšenie účinnosti parného cyklu pričom sú navrhované dve riešenia a to využitie tepelného obsahu spalín, ktoré vychádzajú z kotla (ich rekuperáciou cez výmenníky tepla) a pridanie nových zariadení do parného cyklu (prevažne čerpadiel). Toto druhé riešenie je možné dobre pochopiť porovnaním obrázku 3 s obrázkom 6, kde je vidieť prevádzku bez vytvoreného opatrenia a s vytvoreným opatrením. Taktiež zaujímavý je aj obrázok 4, ktorý nám hovorí o tom aké zariadenia a kam ich treba umiestniť, aby sa dosiahla čo najväčšia účinnosť. Samotný proces zvýšenia účinnosti podľa článku je komplexný problém, ktorý je možné riešiť využitím a pospájaním viacerých optimalizačných riešení, aby sa dosiahlo zvýšenie účinnosti čo najväčšie. Článok obsahuje aj konkrétne čísla a to 0,7 % (predstavuje o koľko je možné zvýšiť účinnosť pri použití takýchto opatrení).

[5] HABIB, M. – SAID, S. – AL-ZAHARNA, I. Thermodynamic optimization of reheat regenerative thermal-power plants, University of Petroleum and Minerals, Saudi Arabia, 1999, 17-34 s.

Článok je zameraný na dve analýzy (first-low a second-low analýza) pričom jeho účelom je ich porovnať a určiť, ktorý tlak P2 (high reheat pressure) alebo P1 (low reheat pressure) má na ne väčší vplyv. Článok danú problematiku rieši formou „grafov“, ktoré vyjadrujú účinnosť parného cyklu podľa prvého zákona podľa druhého zákona, účinnosť samotného turbínového cyklu, kotla od P1 a P2. Taktiež obsahuje grafy závislosti strát tepla z jednotlivých častí (parný generátor, výmenníky tepla v kotly, pec, termomechanické a chemické straty, kondenzátor, VT, ST a NT turbína, VT a NT výmenník napájacej vody) od tlaku P2 a P1. Na základe tohto článku bolo možné povedať že straty vo výmenníkovej časti kotla sú trojnásobne väčšie ako v peci a taktiež tlak P2 silnejšie ovplyvňuje účinnosť podľa prvého a druhého zákona ako tlak P1.

[6] JIPING, L. – WEI, H. – XIN, W. Theoretical Investigation on the Partial Load Feedwater Heating System with Thermal Vapor Compressor in a Coal-fired Power Unit, Xi'an Jiaotong University, China, 2015, 1102-1107 s.

Posledný článok podľa mňa bol stručný výstižný a veľmi dobre spracovaný. Dá sa povedať že presne zodpovedal otázke ako zvýšiť účinnosť elektrárne. Myšlienkou článku je, že ak máme čiastočné zaťaženie a poklesne prietok pary dôjde k poklesu tlaku regenerovanej

pary následne k zníženiu teploty napájacej vody k zníženiu termodynamickej účinnosti a v konečnom dôsledku k zvýšeniu spotreby uhlia. Opatrenia boli navrhnuté dve a to selektívna katalytická redukcia, ktorá zvýši investíciu a komplikáciu prevádzky, a zavedenie TVC spolu s FWHS. Toto riešenie je poukázané aj graficky a jeho výsledkom bolo, že ak máme 60% zaťaženie a pomer pár vstupujúcich do kompresora sa pohybuje od 0,45-1,2 dôjde k poklesu spotreby paliva o cca 0,6 g/kWh.

## **Možnosť doplnujúceho materiálu:**

[7] Electrical engineering study, [online]. 2011-2017 [cit. 2017.1.13] Dostupné na internete: <http://www.electrical4u.com/steam-boiler-working-principle-and-types-of-boiler/>

Internetová stránka poskytuje základné informácie o parnom cykle a regeneračnom ohreve napájacej vody. Je možná a boku v tabuľke rozkliknúť podobné a súvisiace články.

[8] CONOR, S. Firetube Boiler Design, Construction and Engineering [prezentácia]. 2015

Zdroj zahŕňa prezentáciu pána Conora a je v nej popísaný presný postup výroby parného kotla s obrázkovými prílohami.

[9] SEONG, P. – MANNO, V. – GOLAY, M. Application of a Power Plant Simplification Methodology: the Example of the Condensate Feedwater System, Massachusetts Institute of Technology, Medford, USA, 1988, 33-46 s.

[10] STEVANOVIC, V. – WALA, T. – MUSZYNSKI, S. – MILIC, M. Efficiency and power upgrade by an additional high pressure economizer installation at an aged 620 MWe lignite-fired power plant, University of Belgrade, Belgrade, Serbia, 2014, 907-918 s.

[11] SRINIVAS, T. – GUPTA, A. – REDDY, B. Generalized Thermodynamic Analysis of Steam Power Cycles with 'n' Number of Feedwater Heaters, 2007, 177-185 s.

[12] HAYWOOD, W.R. Thermodynamic Study of the Number and Positioning of the Feed Pumps in the Feed Train Of a Regenerative Steam Cycle, 1956, 747-756 s.

[13] SZEGA, M. – NOWAK, T. G. An optimization of redundant measurements location for thermal capacity of power unit steam boiler calculations using data reconciliation method, Silesian University of Technology, Poland, 2015, 1-7 s.

## **Prílohy:**

Zahŕňajú jednotlivé články a sú priložené ako osobitné súbory k práci.