

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**  
**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Kombinovaná výroba tepla a elektřiny v Plzeňské  
teplárenské a.s.**

# **Kombinovaná výroba tepla a elektřiny v Plzeňské teplárenské a.s.**

## **Anotace**

Předložená bakalářská práce se zabývá kombinovanou výrobou tepla a elektrické energie v konkrétní firmě Plzeňská Teplárenská a.s. Rozebírá problematiku centrálního vytápění v Plzni, technologii výroby tepla a elektrické energie, ekonomické a ekologické aspekty teplárny. Teoretické poznatky jsou pak využity pro zhodnocení směrů ve vývoji Plzeňské Teplárenské a.s.. V závěru je návrh jiných alternativ vývoje technologií v Plzeňské Teplárenské a.s..

## **Klíčová slova**

kogenerace, teplárna, centrální rozvod tepla, dálkové vytápění, výroba elektrické energie a tepla, odsíření, kotle, synchronní generátor, primární, sekundární a terciární regulace, fosilní paliva, emise

# **Cogeneration of heat and electricity in the Plzenska teplarenska a.s.**

## **Abstract**

Thesis deals with the combined production of heat and electricity in a particular company Plzeňská Teplárenská a.s. Analyzes the central heating in Pilsen, technology of production of heat and electric energy, economic and environmental aspects of the heating plant. Theoretical knowledge is then used to evaluate trends in the development of Plzeňská Teplárenská a.s.. In conclusion is other alternatives technology development of Plzeňská Teplárenská a.s..

## **Keywords**

cogeneration, heating plant, central heat distribution, district heating, production of electricity and heat, desulphurisation, boilers, synchronous generator, primary, secondary and tertiary regulation, fossil fuels, emission

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že předložená práce je mým původním autorským dílem, které jsem vypracoval samostatně. Veškerou literaturu a další zdroje, z nichž jsem při zpracování čerpal, v práci řádně cituji a jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v univerzitní knihovně. Prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 3. 6. 2013

.....

vlastnoruční podpis

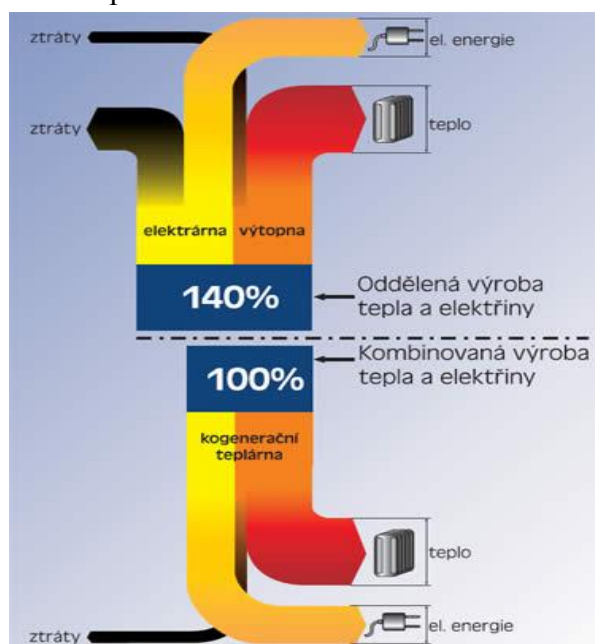
## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu práce panu prof. Ing. Škorpilovi CSc. za odborné a přínosné vedení práce dle mého vlastního výběru. Dále panu Ing. Skřivánkovi za všechna poskytnutá data ohledně mé bakalářské práce a také panu Ing. Královi za poskytnutí výukového materiál

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>CENTRÁLNÍ ZÁSOBOVÁNÍ TEPEM V PLZNI .....</b>	<b>6</b>
2.1	Základní informace o Plzeňské teplárenské .....	6
2.2	Historie a vývoj centrálního zásobování v Plzni .....	6
2.3	Rozvod a zásobování teplem .....	7
2.3.1	Princip rozvodu tepla.....	7
2.3.2	Definice topného období .....	8
2.3.3	Rozdělení a parametry potrubí PT a.s .....	9
<b>3</b>	<b>TECHNOLOGIE VÝROBY TEPLA A ELEKTRINY V PT a.s.....</b>	<b>10</b>
3.1	Vývoj a současná situace technologie v PT a.s. ....	10
3.2	Technické parametry PT a.s. ....	11
3.3	Technická zařízení v PT a.s.....	12
3.3.1	Horkovodní roštové kotle K2 a K3.....	12
3.3.2	Parní práškové kotle s granulačními ohništi K4 a K5 .....	16
3.3.3	Fluidní kotle K6 a K7 .....	18
3.3.4	Stanovení účinnosti kotlů .....	23
3.3.5	Protitlaková turbína TG1 .....	27
3.3.6	Kondenzační turbíny TG2 a TG3 .....	29
3.3.7	Odlučování pevných částí.....	32
3.3.8	Odsíření .....	33
3.3.9	Ostatní zařízení v PT a.s.....	37
<b>4</b>	<b>EKOLOGICKÉ A EKONOMICKÉ ASPEKTY PT A.S. ....</b>	<b>38</b>
4.1	Ekologické aspekty PT a.s.....	38
4.1.1	Emise .....	38
4.1.2	Emise v PT a.s. ....	38
4.1.3	Znečištění .....	41
4.2	Ekonomické aspekty PT a.s.....	43
4.2.1	Finanční směřování .....	46
<b>5</b>	<b>HODNOCENÍ TENDENCÍ VE VÝVOJI V PT A.S.....</b>	<b>48</b>
5.1	Kotle K2 a K3 a jejich výměna za plynový kotel.....	48
5.2	Změna technologie odsíření.....	48
5.3	Změna technologie odlučování.....	49
5.4	Zařízení na energetické využití komunálního odpadu ZEVO Chotíkov .....	49
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>51</b>
<b>7</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>53</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>55</b>
<b>9</b>	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>57</b>

## 1 ÚVOD

Pro téma této bakalářské práce jsem se rozhodl vzhledem k mému dlouhotrvajícímu zájmu o tento obor a do budoucna bych rád našel v tomto oboru také pracovní uplatnění. Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla je nejúčinnější možností, jak přeměnit energii paliva ve využitelnou energii. Při výrobě elektrické energie spalováním fosilních paliv nebo biomasy v klasické tepelné elektrárně vzniká velké množství odpadního tepla, které se nijak nevyužívá a odchází do ovzduší prostřednictvím chladicích věží. Principem kombinované výroby elektrické energie a tepla, jinak řečené kogenerace, je vyrábět elektrickou energii, ale také využít teplo při spalování a ohřát jím medium, které můžeme rozvést pomocí teplovodu k odběratelům. Srovnání efektivity kogenerace a oddělené výroby tepla a elektřiny je znázorněn na obr. 1 [1]. V teplárnách a dalších kogeneračních zařízeních, kde se vyrábí elektrická energie spolu s užitným teplem, bývá spotřeba paliva na jednotku vyrobené energie nižší přibližně o 1/3. To přispívá ke snižování emisí, škodlivin a poletavého prachu v ovzduší také přibližně 1/3 a to i v globálním měřítku. Kogeneraci využíváme ke zvýšení efektivity zdrojů a k decentralizaci výroby elektřiny, která s sebou nese snížení ztrát v elektrorozvodné síti a také vyšší bezpečnost dodávek. Jde o recyklaci tepla a tím je šetřeno nejen palivo, ale i životní prostředí. Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla pokrývá téměř 2/3 dodávek tepelné energie pro soustavy zásobování teplem v České republice.



Obr. 1: Srovnání účinností výroby kogenerační teplárny s oddělenými provozy [1]

## **2 CENTRÁLNÍ ZÁSOBOVÁNÍ TEPEM V PLZNI**

### **2.1 Základní informace o Plzeňské teplárenské**

Plzeňská teplárenská a.s. (dále už jen PT a.s.), jejímž většinovým vlastníkem je město Plzeň, byla založena 1. 1. 1994 zapsáním do obchodního rejstříku. Základní kapitál společnosti je 1 092 957 000,- Kč a ten je rozepsán na 1 092 957 akcií na jméno po 1000,- Kč. Je největším výrobcem energií nejen na území města Plzně, ale i v celém Plzeňském kraji. Hlavní činností PT a.s. je zajistit výrobu a distribuci tepla na vytápění a ohřev teplé užitkové vody pro více než 40 000 bytů v Plzni a velký počet komerčních, podnikatelských, správních a školských subjektů. Systém centrálního zásobování teplem provozovaný PT a.s. již pokrývá všechny plzeňské městské obvody. Kromě tepla tato společnost dále vyrábí a dodává elektrickou energii a od roku 2003 vyrábí a disponuje také chladicí technologií. PT a.s. vlastní rovněž certifikáty prokazující schopnost poskytovat primární i sekundární regulace elektřiny a i takzvanou minutovou zálohu dříve známou jako terciární regulace, což jí umožňuje účastnit se obchodu s podpůrnými službami na denním trhu s ČEPS a.s. Výrazně se také angažuje v oblasti ekologie a odpadového hospodářství. [2]

### **2.2 Historie a vývoj centrálního zásobování v Plzni**

V roce 1950 se začala psát historie teplárenství v Plzni. Začal se využívat závodní horkovod Škoda pro výtop bytů na Jižním předměstí. Později od roku 1961 až do roku 1966 se vybuďovala síť lokálních výtopen na Světovaru, Letné, Doubravce a také na Borech. Celkový výkon těchto čtyř výtopen byl 134,6 MW<sub>t</sub>. V roce 1972 započala výstavba takzvané první etapy centrální výtopny na fosilní paliva v Doubravecké ulici, tedy na místě dnešní teplárny. Byly zde vybudovány tři horkovodní kotle K1, K2, K3, každý o výkonu 35 MW<sub>t</sub>. Tato stavba byla dokončena roku 1976. Během tohoto období byly vystavěny dva horkovodní napáječe, které zásobovaly teplem Severní a Jižní předměstí. Roku 1982 byla započata druhá etapa centrální výtopny s kombinovanou výrobou tepla a elektrické energie, která byla dokončena roku 1985. Konkrétně to byly dva granulační kotle K4,K5, každý o výkonu 128 MW<sub>t</sub> a jedna protitlaková turbína TG1 s tehdejší výkonem 55 MW<sub>e</sub> dnes po úpravách turbína 70MW<sub>e</sub>.

V roce 1994 byla ukončena privatizace. Nově vznikla společnost s názvem Plzeňská teplárenská a.s. sídlící právě v Doubravecké ulici, jejímž majoritním vlastníkem se stalo město Plzeň. Později v roce 1999 proběhla třetí etapa výstavby teplárny. Spočívala v tom, že přibyl fluidní kotel K6 s výkonem  $128 \text{ MW}_t$  a u něho byla instalována kondenzační turbína TG2 o jmenovitém výkonu  $50 \text{ MW}_e$  (Maximální výkon  $70 \text{ MW}_e$ ) vyrábějící elektrickou energii. V roce 2000 byl oficiálně ukončen provoz dodatkového zdroje tepla pro Lochotín. O dva roky déle následovala demolice tohoto objektu a objektu výtopny na Letné. Roku 2003 se začala v PT a.s. spalovat první biomasa. V rámci pokusů se 24. 6. 2003 spálilo ve fluidním kotli K6 prvních 30 tun dřevní štěpky smíchané s uhlím. Rok 2003 byl významný i z jiného hlediska, protože si PT a.s. připsala další úspěch. Nabídla jako jedna z prvních společností v České republice kromě tepla a elektrické energie také chlad. První dodávka chladicí energie byla pro Plzeňský pivovar. Pro tuto příležitost byly vybudovány dvě chladicí jednotky, obě s výkony  $1,5 \text{ MW}_{ch}$ . O rok později v roce 2004 PT a.s. získala do vlastnictví skládku komunálního odpadu Chotíkov. Roku 2005 proběhla likvidace horkovodního kotle K1 v centrální teplárně v Doubravecké ulici.

V roce 2007 byla zprovozněna první sušící linka na biomasu. Výkon sušící jednotky činil  $7 \text{ tun} \cdot \text{h}^{-1}$ . Roku 2008 proběhla demolice lokální výtopny na uhlí Bory a zahájila se čtvrtá etapa výstavby teplárny, pod níž se skrývá výstavba tzv. zeleného bloku. Ten obsahoval fluidní kotel s tepelným výkonem  $15 \text{ MW}_t$  uzpůsobeným na spalování biomasy a kondenzační turbínu o výkonu  $10,5 \text{ MW}_e$ . Na přelomu roku 2009 a 2010 byl tento zelený blok dostavěn a zprovozněn.

Pro rok 2010 si PT a.s. pořídila další sušící linku na biomasu pro biomasový fluidní kotel, která má výkon sušící jednotky  $14 \text{ tun/hod}$ . V letech 2010 a 2011 se uskutečnily demolice výtopen na uhlí nejprve na Světovaru a později i na Doubravce.

K dnešnímu dni již neexistuje žádná z lokálních výtopen na uhlí na území města Plzně. O veškeré dodávky tepla se stará centrální teplárna v Doubravecké ulici. [3]

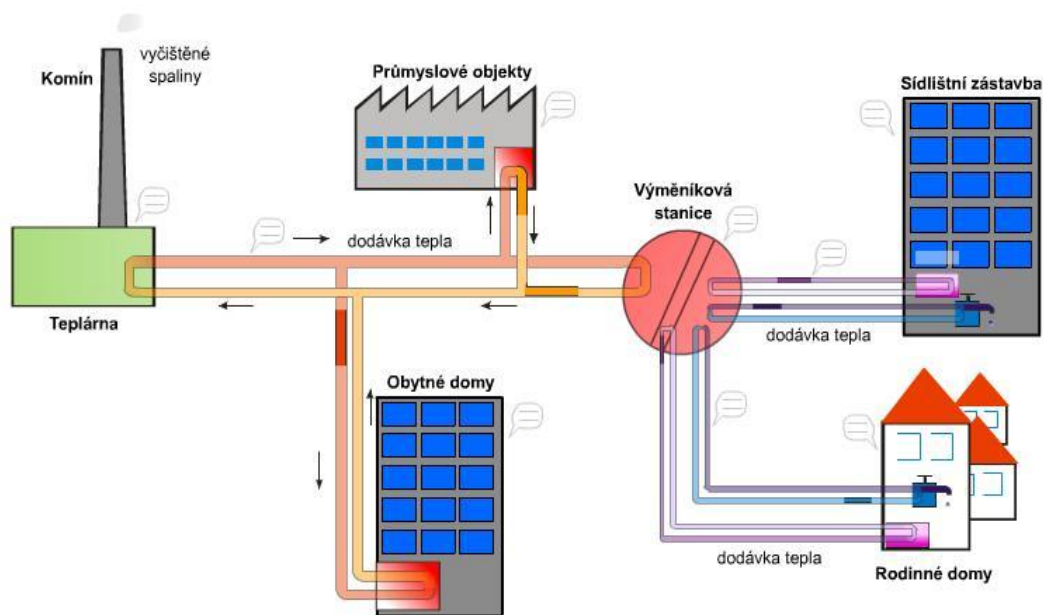
## **2.3 Rozvod a zásobování teplem**

### **2.3.1 Princip rozvodu tepla**

Principem dálkového zásobování teplem je vedení dvou potrubí k odběrnému místu, z nichž jedno je přívodní a druhé je vratné. Potrubí je naplněno teplonosným médiem, kterým je pro technologické potřeby některých odběratelů vodní pára nebo přehřátá pára. Pro potřeby vytápění a ohřevu teplé užitkové vody je to horká nebo teplá voda. Teplo



přivedené teplonosným médiem v přívodním potrubí se přenesou přes předávací stanici do vytápěného objektu k jednotlivým radiátorům a vodovodním bateriím. Teplonosné medium, které již odevzdalo teplo do výměňkové stanice, putuje zpátky přes vratné potrubí ke zdroji tepla, aby mohlo znovu absorbovat teplo, jež opět rozvádí odběratelům. Dálkové zásobování teplem je realizovatelné do vzdálenosti jednotek kilometrů. Dodávky tepla jsou nejintenzivnější v zimních měsících, kdy je hlavní část topného období.



Obr. 2: Princip rozvodu a zásobování teplem [4]

### 2.3.2 Definice topného období

Topné období začíná 1. Zářím a končí 31. Květnem následujícího roku. Toto rozmezí je stanoveno vyhláškou Ministerstva průmyslu a obchodu č.194/2007 Sb. Dodávka tepla započne, když v topném období klesne průměrná denní teplota venkovního vzduchu pod  $+13\text{ }^{\circ}\text{C}$  ve dvou dnech po sobě následujících a podle vývoje počasí nelze předpokládat zvýšení této teploty nad  $+13\text{ }^{\circ}\text{C}$  v následujícím dni. Přesně tak je tomu i obráceně, tedy vytápění bytů či nebytových prostor se omezuje nebo přerušuje, pokud v topném období vystoupí průměrná denní teplota venkovního vzduchu nad  $+13\text{ }^{\circ}\text{C}$  ve dvou dnech po sobě následujících a dle vývoje počasí nelze předpokládat pokles této teploty v nadcházejícím dni. Při poklesu průměrné denní teploty venkovního vzduchu pod  $+13\text{ }^{\circ}\text{C}$  se dodávky tepla obnoví. Průměrná denní teplota venkovního vzduchu se počítá jako čtvrtina součtu venkovních teplot měřených ve stínu za vyloučení vlivu okolních ploch sálajících teplo v 7, ve 14 a dvakrát ve 21 hodin. [5]

### 2.3.3 Rozdělení a parametry potrubí PT a.s

Potrubí vede z centrální teplárny čtyřmi směry, a to na sever, na jih, na východ a pak zvláštní potrubí pro pivovar. Potrubí vedoucí na sever zásobuje teplem čtvrtě Lochotín, Bolevec, Košutku, Vinice a Roudnou. Zde je v topné sezóně největší odběr tepla, proto zde byly modernizovány tepelné výměníky nejdříve. Potrubí, které rozvádí teplo na jih, zásobuje čtvrtě Slovany, centrum města a Bory. V této části potrubního systému jsou starší výměníky, které se budou v nejbližší době vyměňovat za novější. Další potrubí vede na východ od teplárny a zásobuje tak čtvrť Doubravku. Poslední potrubí, které vede z teplárny, vede samostatně do pivovaru, kde se využívá pro vaření piva a topení v celém objektu pivovaru. Z části je Plzeň také vytápěna teplem z Plzeňské energetiky a.s. Jmenovitě jsou to čtvrtě Skvrňany a Nová Hospoda. Potrubí, které se využívá pro rozvod a distribuci tepla z PT a.s. má vnitřní průměr 80 cm. Rozvod tepla a teplé užitkové vody je po celé Plzni zajišťován přibližně 290 kilometry tohoto potrubí.

V topném období je teplota teplotnosného média v přívodním potrubí 140°C a diferenční tlak se pohybuje v rozmezí od 0,15 Mpa do 1,3 Mpa. Ve vratném potrubí se vrací toto medium s teplotou 68,5°C. Mimo topné období se teplota v teplotnosném médiu pohybuje kolem 100°C a diferenční tlak se pohybuje mezi 0,15 Mpa a 1,08 Mpa. Opět i mimo topné období je teplota ve vratném potrubí 68,5°C. Maximální přetlak v potrubí činí 2,5 Mpa. Po celém městě je přibližně 800 výměníků tepla. Návrh teplovodní sítě potrubí na území města Plzně viz příloha č. 1.

### **3 TECHNOLOGIE VÝROBY TEPLA A ELEKTŘINY V PT a.s.**

#### **3.1 Vývoj a současná situace technologie v PT a.s.**

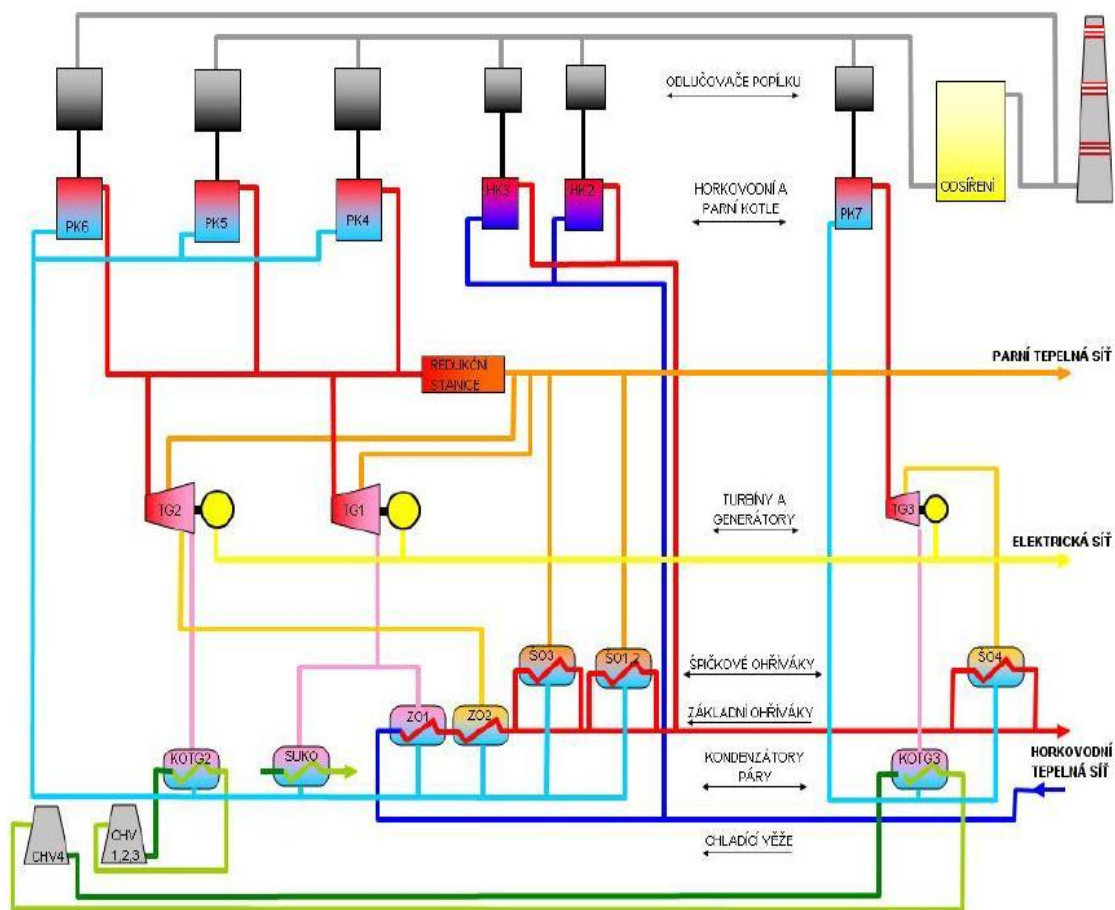
V roce 1976 začala fungovat centrální výtopna v Doubravecké ulici. Byly zde zprovozněny tři kotle K1, K2, K3. Jednalo se o kotle horkovodní, tudíž původní teplárna neměla s kogenerací nic společného. Až v roce 1985 byl v rámci druhé etapy výstavby teplárny uveden do provozu blok, který obsahoval dva granulační kotle K4, K5 a jednu protitlakovou turbínu TG1, zde už můžeme hovořit o kogenerační výrobě energií.

Roku 1997 v teplárně byla vybudována odsiřovací jednotka typu CFB, tzn. Suchá pračka s cirkulujícím fluidním ložem. V třetí etapě dostavby roku 1999 přibyl fluidní kotel K6 a k němu kondenzační turbína TG2. Roku 2005 byl zlikvidován horkovodní kotel K1. V roce 2010 proběhla třetí etapa. Díky této etapě přibyl fluidní kotel K7 a kondenzační turbína TG3.

Na obrázku č. 4 můžeme vidět rozdílnost zbarvení jednotlivých kotlů. Novější kotle K4 až K7 jsou parovodní, proto je u nich index P, zatímco starší kotle K2 a K3 jsou horkovodní, proto je u nich index H. Nejvíce vytěžovaným je nejnovější fluidní kotel K7 na spalování biomasy. A při tomto kotli je také hodně vytěžována kondenzační turbína TG3. Ostatní kotle tedy K4, K5 a K6 jsou v trvalém paralelním provozu. Nejvíce vytěžovaným kotlem s těchto kotlů je opět ten nejnovější, tedy fluidní kotel K6, který má také vyšší účinnost spalování než kotle K4 a K5, které jsou práškové. Starší horkovodní kotle K2 a K3 jsou v takzvané studené záloze a používají se jen k pokrytí největších odběrů tepla cca 14 dní v roce. Tyto kotle se nedají využívat na výrobu elektrické energie. Protitlaková turbína TG1 je provozována převážně na kogenerační výrobu elektřiny a tepla, tzv. KVET režim. U novější kondenzační turbíny TG2 je také preferován KVET režim, ovšem pokud Česká přenosová soustava, známá pod zkratkou ČEPS a.s., vydá požadavek, tato turbína se dá provozovat i v kondenzačním režimu. Kondenzační režim spočívá v tom, že se vyrábí více elektrické energie na úkor tepla a také na úkor účinnosti přeměny primární energie, viz graf č. 3. Ještě je zde využívána turbína TG3, která je provozovaná čistě v kondenzačním režimu. [3]



Obr. 3: Pohled na přední stranu teplárny



Obr. 4: Současné schéma centrální výtopy v Doubravecké ulici [6]

### 3.2 Technické parametry PT a.s.

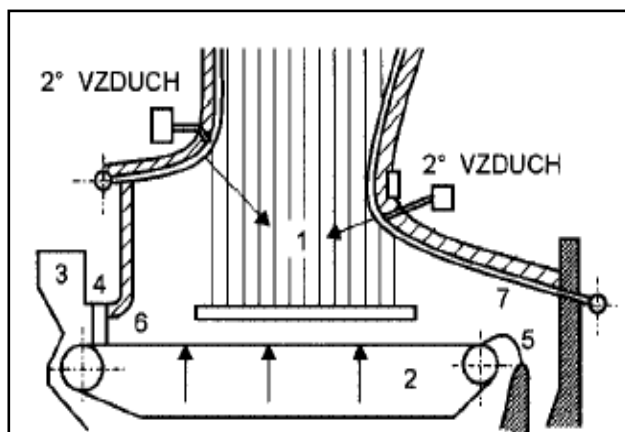
Účinnost teplárny jako celku se pohybuje kolem 60%, a to hlavně díky kogeneraci a ekonomickému provozu příslušných zařízení. Tepelný výkon všech kotlů je 430 MW<sub>t</sub>

v páře (kotle K4 až K7) a  $70\text{MW}_t$  v horké vodě (kotle K2 a K3). Maximální tepelný výkon dodávaný do horkovodního systému činí  $378\text{MW}_t$ . Maximální instalovaný elektrický výkon je  $150,5\text{MW}_e$ . Centrální odstávky teplárny se neprovádějí již od roku 2002. Odstávky jednotlivých zařízení se dělají jednou za rok v období od dubna do července, to znamená mimo hlavní topnou sezónu. Mimo jarní a letní termíny se odstávky dělají pouze v případě havárie na zařízení. V době odstávky se dělají kontroly, opravy a revize. Odstávky se provádějí tak, aby koncový odběratel tepla nic nezaregistroval. Nejvyšší bod teplárny je teplárenský komín, který měří 172 metrů. Za rok 2011 se v teplárně spálilo přibližně 835 000 tun paliva, z čehož je 550 000 tun hnědého uhlí a 285 000 tun biomasy.

### 3.3 Technická zařízení v PT a.s.

#### 3.3.1 Horkovodní roštové kotle K2 a K3

Horkovodní roštové kotle se používají převážně ke spalování kusových paliv v pevné vrstvě. Použitelnost je od nejnižších výkonů až po cca  $50\text{MW}_t$ . V současné době se nové horkovodní roštové kotle na uhlí téměř nestavějí, ovšem je jich dosti velké množství stále v provozu. Nové roštové kotle se stavějí zejména pro spalování biomasy, zejména dřevní štěpky nebo slámových peletek, a dále na spalování domácích a průmyslových odpadů ve spalovnách komunálních odpadů. [7]



Obr. 5: Schéma roštového kotle [8]

**Ohniště (1)** je ohraničeno **roštem (2)**, **přední a zadní klenbou (6 a 7)** a stěnami ohniště. Uhlí se na rošt dostává ze **zásobníku uhlí (3)** přes **hradítko výšky paliva** na rošt (4). Pevný zbytek – škvára odchází přes **škvárový jizek (5)** do škvárové výsyčky. Kotle se vyznačují poměrně velkým množstvím škváry ( $X = 0,7 - 0,8$ ).

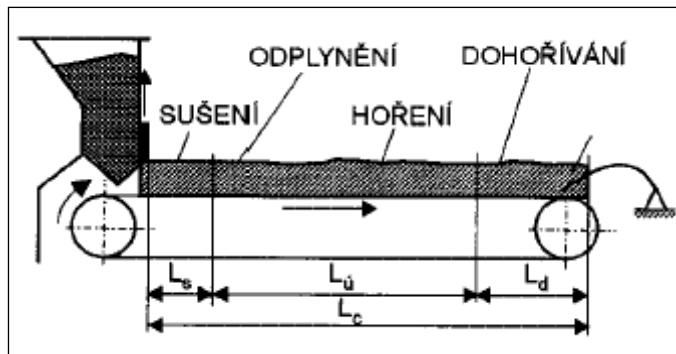
Základní součástí roštových ohnišť je samozřejmě rošt, který funguje jako podpora pro kusové palivo a umožňuje vytvoření vrstvy požadované tloušťky a prodyšnosti. Dále umožňuje postupné vysušení paliva a jeho zahřátí na zápalnou teplotu a hoření. Další věcí, kterou rošt zajišťuje, je přívod spalovacího vzduchu tak, aby spalování probíhalo při optimálním přebytku vzduchu. Potom zprostředkovává shromažďování a odvod tuhých zbytků po spálení z ohniště a také umožňuje regulaci výkonu ohniště a tím i regulaci zatížení kotle. [7]

Palivo na roštu projde postupně těmito fázemi:

- 1) Sušení, během tohoto procesu se uhlí ohřeje a vypuzuje se z sebe povrchovou a pohlčenou vodu.
- 2) Odplyňování, které probíhá intenzivně při ohřátí nad 250 °C.
- 3) Hoření prchavé hořlaviny a zapálení vrstvy tuhé hořlaviny.
- 4) Dohořívání tuhé fáze a chladnutí tuhých zbytků.

Maximální teploty v ohništi roštových kotlů mohou dosahovat 1350 – 1450 °C dle typu uhlí. Z celkové roštové plochy  $L_c$  slouží k uvolňování tepla z paliva jen účinná plocha roštu  $L_u$ . Zbývající část plochy roštu je pomocná, nebo slouží k přípravě paliva pro zapálení a sušení  $L_s$  a k dohořívání  $L_d$ . Snažíme se zajistit co nejvyšší poměr účinné plochy roštu ku celkové ploše. Tento poměr bude tím větší, čím bude menší obsah vody ve spalovaném palivu a čím bude vyšší teplota spalovacího vzduchu. [7]

Čím bude mít spalované palivo vyšší obsah vody, tím je nutno volit při návrhu nižší střední měrný tepelný výkon roštu  $q_n$ , který je podle druhu roštu 700 – 1400 kW/m<sup>2</sup>. Praktický důsledkem vyššího obsahu vody v palivu je snižování výkonu kotle. Pokud chceme snižování výkonu zabránit, musíme zvýšit plochu roštu, na níž dochází k sušení paliva. Z toho důvodu se uhlí s vyšším obsahem vody buď předsouší mimo rošt (surové dřevo, kůra, domácí odpady) nebo se používá vyšší teplota spalovacího vzduchu (limitované životností roštnic) anebo se používá takzvané pohazovací zařízení, které umožňuje částečné vysoušení paliva v letu před dopadem na rošt.

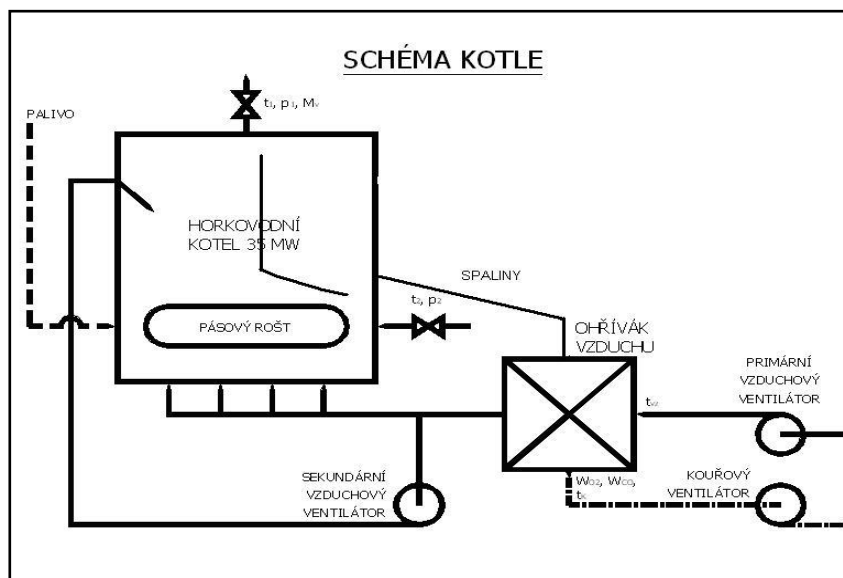


Obr. 6: Schéma jednotlivých fází paliva v roštu [8]

Dle způsobu přemísťování paliva v roštovém ohništi dělíme rošty na:

1. rošty s nehybnou vrstvou paliva (pevné rošty)
2. rošty s občasným přemísťováním paliva (rošty stupňové a posuvné)
3. rošty s trvalým přemísťováním paliva (rošty pásové a řetězové)

Oba kotle v PT a.s. mají pásové rošty. Spadají tedy do třetí skupiny. [7]



Obr.7: Schéma roštového kotle (mechanickopneumatické pohazováním paliva) [8]

**Technické parametry kotlů K2, K3**

<b>1.</b>	<b>Jmenovitý výkon kotle</b>	<b>35 MW</b>
<b>2.</b>	<b>Jmenovitá teplota vody na výstupu</b>	<b>160°C</b>
<b>3.</b>	<b>Jmenovitá teplota vody na vstupu</b>	<b>90°C</b>
<b>4.</b>	<b>Teplotní spád vody v kotli</b>	<b>70°C</b>
<b>5.</b>	<b>Jmenovité průtočné množství vody</b>	<b>428 t/h</b>
<b>6.</b>	<b>Konstrukční tlak</b>	<b>2,55 Mpa</b>
<b>7.</b>	<b>Minimální výkon kotle</b>	<b>5,8 MW</b>
<b>8.</b>	<b>Nejnižší doporučená vstupní teplota</b>	<b>70°C</b>
<b>9.</b>	<b>Nejnižší průtočné množství vody kotlem</b>	<b>343 t/h</b>
<b>10.</b>	<b>Otevírací tlak pojistných ventilů</b>	<b>2,26 Mpa</b>

Tab. 1: Parametry horkovodních kotlů K2 a K3 [9]

Palivo:

- Zrnění 0 – 30 mm.
- Podíl frakce pod 2 mm – max. 40 %.
- Největší kusy – 40 mm.
- Podíl frakce nad 20 mm – max. 5 %.
- Výhřevnost surového paliva 13,45 MJ/kg

Kotle K2 a K3 jsou dva nejstarší kotle, které jsou dosud v provozu v PT a.s.. Fungují od roku 1976. Jmenovitý výkon každého z kotlů je 35 MW<sub>t</sub>. Účinnost přeměny energie paliva na teplo je 81%. U těchto kotlů je realizováno odlučování tuhých zbytků pomocí odlučovače typu SGA, tedy suchý mechanický multicyklon se jmenovitou odlučivostí 93%. Tyto kotle mají zavedeny spaliny do odsiřovací jednotky. V těchto kotlích lze spalovat pouze hnědé uhlí. Tyto dva kotle jsou v současné době v studené záloze, to znamená, že jsou využívány pouze k pokrytí špičkových odběrů, ty nastávají cca 14 dní v roce. U těchto kotlů je problém s naběhnutím na jmenovitý výkon v daném intervalu, který není dostatečně rychlý pro kotle, jež mají pokrývat špičkové odběry. Ze studené zálohy trvá kotli náběh na jmenovitý výkon přibližně 3 hodiny, pokud je v teplé záloze tak cca 1 hodinu. Z tohoto důvodu se uvažuje o výměně těchto dvou kotlů za jeden plynový, který sice zřejmě bude mít vysoké pořizovací náklady a provozně bude dražší než současné kotle, ovšem náběh na jmenovitý výkon bude okamžitý. O této výměně se uvažuje přibližně do 5 let.



### 3.3.2 Parní práškové kotle s granulačními ohništi K4 a K5

V práškových kotlích se nejčastěji spaluje uhelný prášek namletý na velikost zrn menších než 1 mm. Díky namletí uhlí na prášek dojde ke zvětšení měrného povrchu paliva až 1000 krát, a tím také dochází i k podstatně intenzivnějšímu spalování. Práškové kotle nemají rošt, který omezuje teplotu primárního vzduchu a zatížení ohniště. Proto jsou celkově používány pro vyšší výkony. Práškové kotle se používají od přibližně  $50 \text{ t.h}^{-1}$  spalovaného materiálu. [7]

Uhlí se rozele na prášek pomocí takzvaných mlecích okruhů. Můžeme se setkat s různými typy mlecích zařízení, například ventilátorové, tlukadlové, trubnaté anebo kladkové mlýny. V těchto zařízeních také probíhá vysušení paliva. Namletý prášek se ze zásobníku přivede do ohniště pneumatickým nosným médiem, které také můžeme nazvat primární směsí. Nosným médiem bývá nejčastěji vzduch, spaliny nebo jejich směs. Směs nosného média, uhelného prášku a sekundárního vzduchu pokračuje do kotle s práškovými hořáky. V prostoru ohniště se tato směs smísí s další částí vzduchu, tzv. terciární vzduch z důvodu dokonalého spalování. Doba, po kterou se u práškových kotlů zdržuje palivo ve spalovací komoře, je od 0,5 až 3 sekund. Rozdílné je to při spalování ve fluidních kotlích, kdy je tato doba až desítky sekund. Spalovací vzduch se musí předehřívát na 300 až 450 °C, je to opět z důvodu dokonalejšího spalovacího procesu. [7]

Práškové kotle mají dvě základní nevýhody. První nevýhodou práškových ohnišť jsou vyšší investiční a pořizovací náklady na mlecí zařízení a s tím spojené snížení účinnosti celého zařízení díky vyšší vlastní spotřebě mlecího zařízení. Druhou nevýhodou práškových kotlů, ale hlavně granulačních ohnišť je vysoké znečištění spalin popílkem ze spalovacích procesů, které vytváří zvýšené požadavky na následné odlučovací zařízení. [7]

Práškové kotle se dělí na:

1. **granulační** (suchý odvod tuhých zbytků v podobě škváry)
2. **výtavné** (tekutý odvod tuhých zbytků v podobě tekuté strusky, to znamená nad bodem tečení popela)

U práškových kotlů v České republice se téměř výhradně používají granulační ohniště, která jsou vhodnější pro spalování našich hnědouhelných směsí. Nejinak je tomu i v PT a.s., kde jsou v provozu dva práškové kotle s granulačními ohništi. [7]

Granulační kotle jsou vhodnější spíše pro méněhodnotná paliva. Spalování zde probíhá za relativně nízkých teplot tak, aby nedošlo k překročení teploty, za které dochází

k tečení popele, což vyžaduje intenzivní chlazení spalovací komory. Částice popele jsou během spalování natavené, hromadí se a tvoří škváru. Škvára pokračuje do spodní části ohniště, odkud padá do výsypky, ze které je pravidelně odvážena. Stupeň zachycení popílku ve škváře bývá kolem 8 % až 20 % z celkového množství popeloviny obsažené v palivu. Zbytek popeloviny zůstává ve spalínách, ve kterých prochází teplo výměnnými plochami a je nutné popelovinu zachytávat v odlučovacích zařízeních. [7]

Teplota plamene u granulačních ohnišť se v závislosti na druhu paliva pohybuje mezi 1100 až 1500 °C. Ovšem dbá se na to, aby teplota nepřekročila teplotu tavení popela, zavádí se proto následující opatření:

- Používají se paliva s nižší výhřevností, vyšším podílem popelovin a vlhkostí.
- Uvolněné teplo z paliva se intenzivně odvádí stěnami spalovací komory. Stěny jsou tvořeny membránovými stěnami, které tvoří plochu výparníku. V horní části mohou být vestavěny další teplovýměnné plochy, jako například sálavé přehříváky atd.
- Teplota přehřívání vzduchu se nastavuje zpravidla nižší nebo se volí vyšší přebytek vzduchu anebo se do spalovací komory zavádějí recirkulované spaliny.

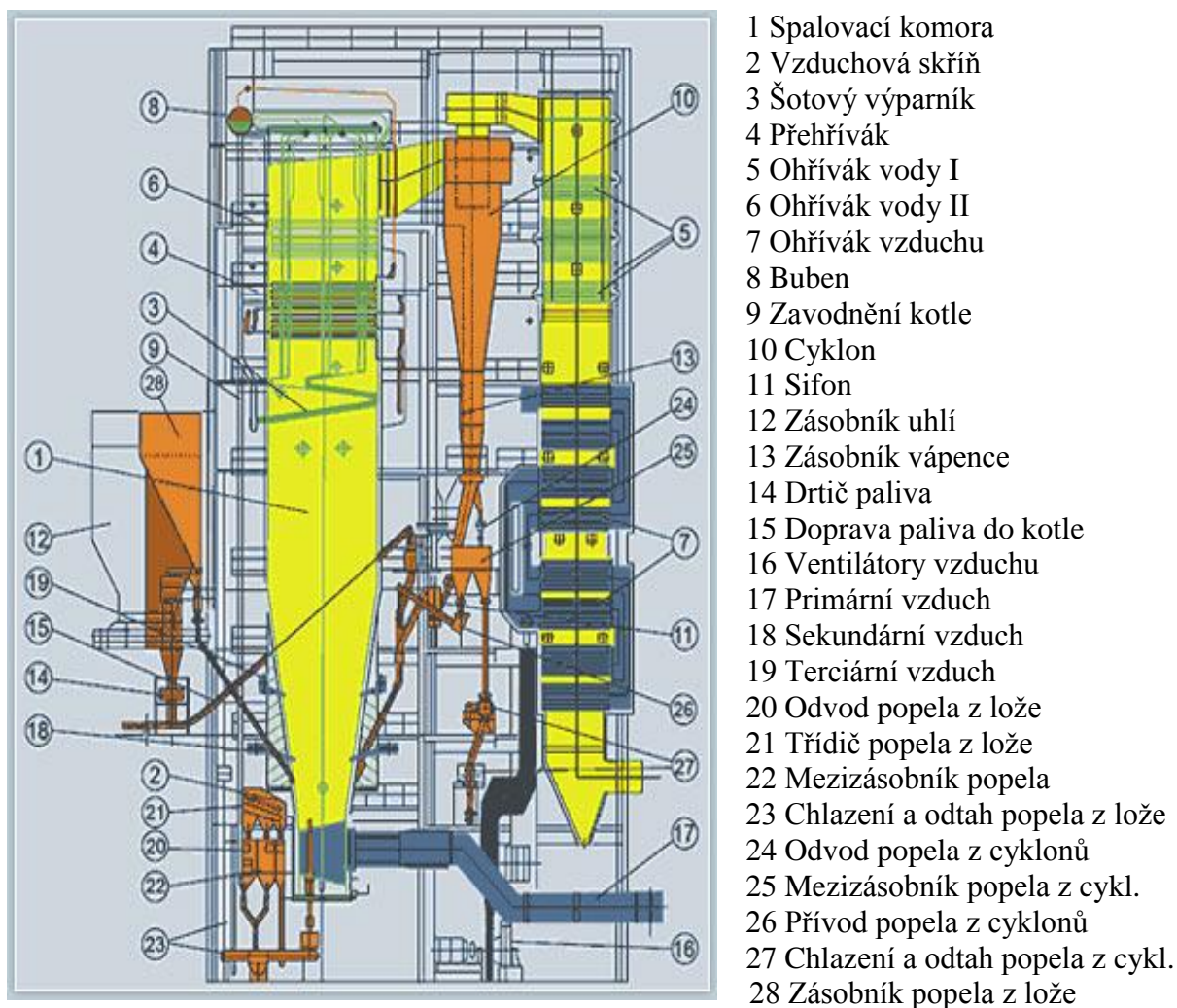
### **Technické parametry kotlů K4, K5**

Tyto dva kotle byly v teplárně vybudovány v rámci druhé etapy výstavby centrální výtopny v roce 1985. Jmenovitý výkon každého z kotlů činí 128 MW<sub>t</sub>. Účinnost primární přeměny energie je u těchto kotlů ve srovnání s horkovodními kotli vyšší o 4,5% tedy 85,5 %. Stejně jako u horkovodních kotlů je i u těchto kotlů realizováno odlučování tuhých zbytků, tj. popílku, pomocí odlučovače typu SGA, tedy suchého mechanického multicyklonu s jmenovitou odlučivostí 93%. Stejně tak jako horkovodní kotle mají i tyto práškové kotle zavedeny spaliny do odsířovací jednotky. Tyto kotle na rozdíl od horkovodních umožňují spalování hnědého uhlí spolu s biomasou. Konkrétně jsou to slámové peletky, které jsou v těchto granulačních kotlích spalovány spolu s hnědým uhlím. Poměr slámových pletek a hnědého uhlí musí být maximálně 2:3 (tedy max. 40% biomasy). Palivo se v kotli zdržuje maximálně pár sekund.

Granulační kotle K4, K5 jsou v provozu trvale (tedy celoročně). Kotle K4, K5 pracují v paralelním spojení ještě s fluidním kotlem K6. Teplota spalování u těchto granulačních kotlů je 1000 až 1100°C. Tyto vysoké teploty jsou spojeny se vznikem oxidů dusíku NO<sub>x</sub>. Tlak výstupní páry z kotlů K4 a K5 je 13,84 Mpa a teplota výstupní páry je 540°C.

### 3.3.3 Fluidní kotle K6 a K7

Princip fluidních kotlů spočívá ve spalování paliva ve fluidní vrstvě. Fluidní kotle jsou uzpůsobeny pro spalování široké škály paliva. Fluidizace je děj, při kterém je směs pevných látek udržována ve vznosu proudem plynu, který ve směsi s materiálem má vlastnosti kapaliny. Fluidní vrstva vytváří disperzní systém, který vznikne průtokem plynu vrstvou částic nasypaných pod pórovité dno, tzv. fluidní rošt. Náplň fluidní vrstvy je tvořena palivem, odsiřovacím aditivem, nejčastěji vápencem a aditivem pro stabilní fluidní vrstvu, to bývá nejčastěji inertní materiál, například písek. [7]



Obr. 8: Schéma fluidního kotle K6 typu ACFB [10]

Fluidní kotle se dělí na:

1. kotle se stacionární fluidní vrstvou (pro nižší výkony do 50 MW<sub>t</sub>)
2. kotle s cirkulující fluidní vrstvou (pro vyšší výkony nad 50 MW<sub>t</sub>)

Výhody fluidního spalování:

- Možnosti dávkovat vápenec do kotlů za účelem odsíření spalin. Účinnosti mohou u tohoto odsíření dosahovat od 40 až do 95 % dle druhu kotle, kvality mísení paliva s aditivu a na množství dávkovaného vápence. Fluidní kotle tedy nepotřebují vnější odsiřovacího zařízení.
- Díky nízkým teplotám ve fluidní vrstvě a odstupňovanému přívodu vzduchu do ohniště se snižuje obsah oxidů dusíku ( $\text{NO}_x$ ) ve spalinách.
- Ve fluidních kotlích můžeme spalovat nejrůznější paliva, například biomasu nebo i méněhodnotná paliva nebo odpady s velmi malou výhřevností, které jsou v jiných typech kotlů nespalitelné.
- Vyšší zatížení roštové plochy při spalování oproti jiným roštovým kotlům snižuje rozměry kotle.
- Fluidní kotle mají nižší komínovou ztrátu, neboť odsířené spaliny na konci kotle mohou mít v důsledku nižšího rosného bodu také nižší teplotu.
- Účinnost fluidních kotlů bývá při jmenovitých parametrech 92–94 %.

Nevýhoda fluidního spalování:

- Zvýšená citlivost na granulometrii neboli na zrnitost paliva [7]

### **Fluidní kotle se stacionární fluidní vrstvou**

Tyto kotle se značí AFB a jsou používány pro menší výkon do 50 MW<sub>t</sub>. Tyto kotle charakterizuje bublinkující neboli stacionární fluidní vrstva, která má velmi snadno rozpoznatelnou hladinu. Palivo přivádíme ze zásobníku paliva do spalovací komory, zde je také přiváděn spalovací vzduch. Primární vzduch se vede skrze fluidní rošt a vzniká tam při spalování paliva a působení aditiva fluidní vrstva. Spaliny obsahující popílek pak procházejí dohořivací komorou, do níž je většinou přiveden sekundární vzduch v mezitahu, který odlučuje velké částice tuhého popílku. Spaliny s menší koncentrací nečistot se dostávají do parní části kotle, kde se přes výhřevné plochy předává teplo. Výhřevné plochy jsou přehřívák, ekonomizér a ohřívák vzduchu. Popílek odvádíme na úložiště, v některých systémech zavádíme popílek zpět do fluidní vrstvy. [7]

### Fluidní kotle s cirkulující fluidní vrstvou

Kotle s cirkulující fluidní vrstvou jsou značeny ACFB a stavějí se pro relativně vyšší výkony než kotle typu AFB, řádově 50 až 700 MW<sub>t</sub>. Schéma fluidního kotle s cirkulující fluidní vrstvou typu ACFB vidíme na obr. 8. Princip těchto kotlů je cirkulace částic fluidní vrstvy neboli paliva a aditiva mezi spalovací komorou a cyklonem. Hlavní výhodou těchto kotlů je delší setrvání částic ve spalovací komoře, což vede k účinnějšímu odsíření spalin i lepšímu vyhoření uhlíku a tím i ke snížení ztráty mechanickým nedopalem. Na rozdíl od kotlů typu AFB není u těchto kotlů zřetelná hladina fluidní vrstvy, která expanduje do prostoru ohniště. V důsledku cirkulace přes sifon se pevné částice vracejí zpět do ohniště. Udává se, že průměrně velké částice paliv cirkulují 10 až 15krát, než dojde k úplnému vyhoření těchto paliv.

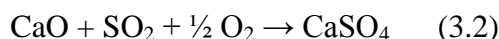
Rozmělněné uhlí je dávkováno spolu s CaCO<sub>3</sub> (uhličitanem vápenatým), který ve fluidní vrstvě funguje jako aditivum. Skrze rošt se přivádí primární vzduch, ale menší množství, než je třeba při dokonalém spalování, přibližně 70 % z celkového přivedeného vzduchu do kotle. Nad rostem se přivádí sekundární vzduch. Spalovací komora je osazena membránovými stěnami. Rychlost spalin ve výhřevných plochách se pohybuje od 4 do 8 m.s<sup>-1</sup>. Spaliny odcházejí ze spalovací komory do cyklonu, kde se odloučí až 90 % prachových částic. Tyto částice se vracejí zpátky přes sifon do fluidní vrstvy. Mimo vracení popelovin do fluidní vrstvy se sifon dá použít na prohánění zbytných spalin ještě přes externí chladič popela, v kterém jsou přidavné výhřevné plochy tlakového systému. Díky externímu chladiči je zajištěna větší regulovatelnost výkonu kotle a také parametry páry. Další nespornou výhodou externího chladiče je snadnější přechod na jiné druhy paliva. [7]

### Odsíření ve fluidní vrstvě

Výhodou fluidních kotlů je schopnost odsíření spalin ve fluidní vrstvě díky dodávání vápence jako aditiva s palivem do spalovací komory. Přivedením paliva s aditivem do fluidního lože dochází vlivem teploty k rozkladu:

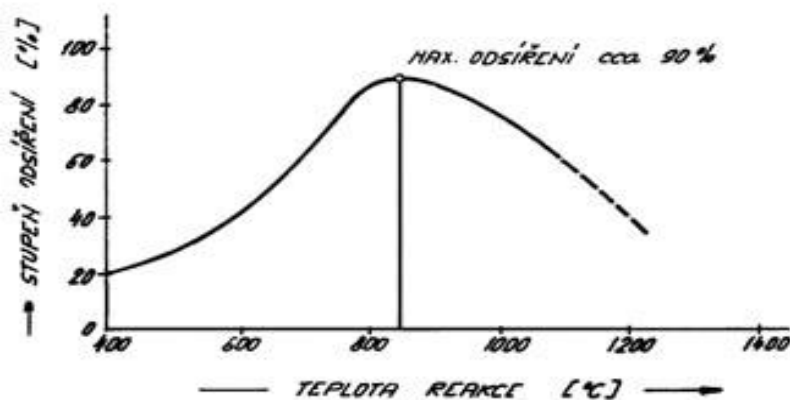


Nově vzniklý CaO reaguje následně s SO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub> za vzniku CaSO<sub>4</sub> pomocí reakcí:



a





Graf 1: Závislost odsíření na teplotě fluidního lože [7]

Síran vápenatý je potom jako pevná částice zachytávána v odlučovačích tuhých částic. Vzhledem k velmi malým rozměrům pevných zbytků musíme pro jejich zachycení používat textilních anebo elektrostatických odlučovačů. Účinnost odsíření závisí ovšem také na teplotě ve fluidním loži, dále na velikosti částic vápence a době zdržení v ohništi. Optimální teplota pro odsířování je v rozmezí 850 až 900 °C, což můžeme také vidět i na obrázku č. 8. Přesné dávkování vápence se zjišťuje pomocí poměru obsahů vápníku a síry. Pro kotle s cirkulující fluidní vrstvou se poměr dávkovaného Ca nebo přepočítaného na CaO udává tak, aby příslušná hodnota Ca nebo CaO odpovídala obsahu síry v palivu. U těchto kotlů se volí poměr (Ca/S) v molech přibližně 1,5 až 2,2. [7]

Zvýšením dávkování Ca nebo CaO můžeme zvýšit stupeň odsíření. Stupeň odsíření se značkou °S definujeme vztahem:

$$^{\circ}\text{S} = (\text{SO}_{2(t)} - \text{SO}_{2(s)}) / \text{SO}_{2(t)} = 90 - 95\% \text{SO}_{2(t)} \quad (3.4)$$

$\text{SO}_{2(t)}$  – teoretická koncentrace vypočtená z obsahu spalitelné síry [ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]

$\text{SO}_{2(s)}$  – skutečná naměřená koncentrace  $\text{SO}_2$  [ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ] [7]

Hodnoty stupně odsíření [°S] pro fluidní kotle:

- pro stacionární fluidní vrstvy se stupeň odsíření pohybuje mezi 40% až 60 %
- pro cirkulující fluidní vrstvy se stupeň odsíření pohybuje mezi 90% až 98 %

**Technické parametry kotle K6**

Tento kotel byl vystavěn v roce 1999 v rámci třetí etapy výstavby centrální výtopny. Jeho jmenovitý výkon je 128 MW<sub>t</sub>, takže stejný jako granulačních kotlů K4 a K5. Účinnost přenosu primární energie je 92%, což je lepší než u granulačních kotlů, kde účinnost je 85,5%. I u tohoto kotle je odlučování tuhých zbytků zajištěno odlučovačem SGA neboli suchým mechanickým multicyklonem, který má jmenovitou odlučivost 93%. Tento kotel se od ostatních kotlů v teplárně liší tím, že nemá zavedeny spaliny do odsiřovací jednotky.

Spaliny podléhají zvláštnímu monitoringu. U tohoto fluidního kotle funguje takzvané odsíření ve fluidní vrstvě. Kotel umožňuje spolu s uhlím spalování biomasy, přesněji dřevní štěpky. Opět pro zajištění určité výhřevnosti musí být maximální podíl biomasy 40%. U fluidního kotle je hlavní výhoda oproti granulačním v čase, který stráví palivo ve vznosu. Právě u fluidního kotle je to až 10 sekund. Díky většímu času ve vznosu je lepší účinnost spalování a vzniká méně tuhých zbytků. Fluidní kotel K6 je v provozu celoročně a funguje v paralelním spojení s granulačními kotli K4 a K5. Ovšem kotel K6 je více vytěžovaným, než jsou kotle K4 a K5. Důvod tohoto vytěžování je vyšší účinnost spalování, možnost spalování méněcenných paliv a spoluspalování biomasy. Teplota spalování u fluidního kotle je 800 až 850°C, což je nižší teplota než u kotlů K4 a K5. Tedy bude zde vznikat méně oxidů dusíku než u kotlů K4 a K5. Tlak výstupní páry z kotle K6 je 13,51 Mpa a teplota výstupní páry je 540°C.

**Technické parametry kotle K7**

Fluidní kotel K7 je dosud nejnovější kotel v provozu plzeňské teplárny. Jeho dostavba byla dokončena teprve na přelomu let 2009 a 2010 v rámci 4. Etapy výstavby centrální výtopny. Tento kotel je součástí takzvaného zeleného bloku. Jmenovitý výkon tohoto kotle je 38,5 MW<sub>t</sub> a účinnost přenosu z paliva na tepelnou energii je 92% stejně jako u dalšího fluidního kotle K6. Opět o jeho spaliny, jak je tomu i u ostatních kotlů, se stará odlučovací jednotka SGA. Tento kotel má na rozdíl od kotle K6 zavedeny spaliny do odsiřovací jednotky. V tomto kotli se spaluje výhradně biomasa. Tento kotel je v provozu celoročně a pracuje naprosto separátně od ostatních zařízení. Teplota spalování je stejně jako u kotle K6 800 až 850°C. Teplota a tlak výstupní páry činí 490°C a 6,7 MPa.

### 3.3.4 Stanovení účinnosti kotlů

Stanovení účinnosti kotle:

$$1) \text{ Přímou metodou} \quad \eta = \frac{Q_{\text{vyr}}}{Q_{\text{pal}}} \quad [\%] \quad (4.1)$$

$$2) \text{ Nepřímou metodou} \quad \eta = 100 - \sum Z \quad [\%] \quad (4.2)$$

Rozdělení ztrát

$Q_{\text{pal}}$  – teplo přivedené v palivu

$Q_Z$  – teplo ztrátové

1. Ztráty způsobené nedokonalým uvolněním tepla při spalování
  - $Z_{\text{co}}$  – Ztráta hořlavinou ve spalinách – tzv. chemický nedopal
  - $Z_c$  – Ztráta hořlavinou v tuhých zbytcích – tzv. mechanický nedopal
  - $Z_{\text{cs}}$  – Ztráta ve škváře
  - $Z_{\text{cp}}$  – Ztráta v popílku
  - $Z_{\text{ce}}$  – Ztráta v úletu
  - $Z_{\text{cr}}$  – Ztráta roštovým propadem
  
2. Ztráty způsobené nedokonalým využitím uvolněného tepla
  - $Z_k$  – ztráta citelným teplem plyných spalin – komínová
  - $Z_f$  – ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků
  - $Z_{\text{fs}}$  – ztráta fyzickým teplem škváry
  - $Z_{\text{fp}}$  – ztráta fyzickým teplem popílku
  - $Z_{\text{fc}}$  – ztráta fyzickým teplem úletu
  - $Z_{\text{fr}}$  – ztráta fyzickým teplem propadu
  - $Z_{\text{sv}}$  – ztráta sdílením tepla do okolí (sálání, vedení,...)



**Určení jednotlivých ztrát***Ztráta hořlavinou ve spalinách:*

$$Z_{co} = (100 - Z_c) \frac{126,54}{Q_i^r} W_{co} \cdot V_{ss} [\%] \quad (4.3)$$

 $Q_i^r$  [kJ/kg] – výhřevnost surového paliva $W_{co}$  [%] – poměrný objem CO ve spalinách $V_{ss}$  [m<sup>3</sup>] - objem suchých spalin vzniklých spálením 1 kg paliva

$$V_{ss} = -0,079 + 3,0183\lambda \quad (4.4)$$

 $\lambda$  - přebytek vzduchu

$$\lambda = \frac{Q_{vz}}{Q_{vz \min}} \quad (4.5)$$

 $Q_{vz}$  skutečné množství vzduchu $Q_{vz \min}$  množství teoreticky potřebného vzduchu

$$\lambda = \frac{0,1698}{W_{co2}} + 0,0376 \quad (4.6)$$

$$\lambda = \frac{1 - 0,1788 \cdot W_{o2}}{1 - 4,76 \cdot W_{o2}} \quad (4.7)$$

 $W_{CO_2}$  – poměrný objem CO<sub>2</sub> ve spalinách $W_{O_2}$  – poměrný objem O<sub>2</sub> ve spalinách

Vzorec pro  $\lambda$  platí pro uhlí o tomto složení pro 1 kg uhlí: uhlík C = 0,3353 kg, vodík H<sub>2</sub> = 0,03555 kg, síra S = 0,0097 kg, dusík N<sub>2</sub> = 0,0039 kg, kyslík O<sub>2</sub> = 0,0828 kg, voda H<sub>2</sub>O = 0,3652 kg, popel A = 0,1696 kg.

*Ztráta hořlavinou v tuhých zbytcích:*

$$Z_c = \frac{32657 \cdot A^r}{Q_i^r} \left( C_s \cdot \frac{x_s}{100 - C_s} + C_p \cdot \frac{x_p}{100 - C_p} \right) [\%] \quad (4.8)$$

 $A^r$  [%] – poměrná hmotnost popela ve spáleném palivu $Q_i^r$  [kJ/kg] – výhřevnost surového paliva $C_s$  [%] – poměrná hmotnost hořlaviny ve škváře

$C_p$  [%] – poměrná hmotnost hořlaviny v popílku

$x_s$  [kg/kg] – poměr hmotnosti škváry k hmotnosti popelovin celkem

$x_p$  [kg/kg] – poměr hmotnosti popílku k celkové hmotnosti popelovin uvažuje se pouze ztráta ve škváře a popílku, ztráta v úletu a rošt. Propad zanedbán

*Ztráty citelným teplem spalin (komínové):*

$$Z_k = (100 - Z_c) \frac{V_{sv} \cdot c_{pr} (t_k - t_{vz})}{Q_i^r} \quad [\%] \quad (4.9)$$

$c_{pr}$  [kJ/m<sup>3</sup>.°C] – střední měrné teplo vlhkých spalin při teplotě  $t_k$

$t_k$  [°C] – teplota spalin odcházejících z kotle

$t_{vz}$  [°C] – teplota vzduchu vstupující do kotle

$Q_i^r$  [kJ/kg] – výhřevnost surového paliva

$V_{sv}$  [m<sup>3</sup>] – objem vlhkých spalin vzniklých spálením 1 kg paliva spočte se:

$$V_{sv} = 0,6792 + 3,018\lambda \quad (\text{viz určení } Z_{co})$$

Tato ztráta se nejvíce projevuje na celkové účinnosti kotle, protože únik tepla skrze komín je nejcitelnější.

*Ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků:*

$$Z_f = \frac{A^r}{Q_i^r} \left( \frac{100}{100 - C_s} x_s \cdot c_s \cdot t_s + \frac{100}{100 - C_p} x_p \cdot c_p \cdot t_p \right) \quad [\%] \quad (4.10)$$

$C_s$  [%] – poměrná hmotnost hořlaviny ve škváře

$C_p$  [%] – poměrná hmotnost hořlaviny v popílku

$c_s$  [kJ/kg.°C] – střední měrné teplo škváry při teplotě  $t_s$   $c_s = 0,71 + 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot t_s$

$c_p$  [kJ/kg.°C] – střední měrné teplo popílku při teplotě  $t_p$   $c_p = 0,71 + 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot t_p$

$t_s$  [°C] – teplota škváry

$t_p$  [°C] - teplota popílku

$x_s$  [kg/kg] – poměr hmotnosti škváry k hmotnosti popelovin celkem

$x_p$  [kg/kg] – poměr hmotnosti popílku k hmotnosti popelovin celkem

Uvažuje se pouze ztráta ve škváře a popílku.

*Ztráta sdílením tepla do okolí*

Z ČSN 07 03 05 dle jmenovitého výkonu kotle se odečte ztráta např. pro jmenovitý výkon 35 MW je  $Z_{sv} = 0,6 \%$

**Příklad výpočtu účinnosti u horkovodního kotle K2 nepřímou metodou***Ztráta hořlavinou ve spalínách – tzv. chemický nedopal –  $Z_{co}$* 

$$Z_{co} = (100 - 4,738) * (126,54/13450) * 0,1 * 4,19928 = \underline{0,376 \%} \quad (4.11)$$

$$V_{ss} = -0,079 + 3,0183 * \lambda = 0,079 + 3,0183 * 1,3651 = 4,19928 \text{ m}^3 \quad (4.12)$$

$$\lambda = Q_{vz} / Q_{vz \min} = (1 - 0,1788 * W_{O_2}) / (1 - 4,76 * W_{O_2}) = 1,3651 \quad (4.13)$$

*Ztráta hořlavinou v tuhých zbytcích –  $Z_c$* 

$$Z_c = ((32657 * 16,69) / 13450) * (9 * (0,68/(100 - 9)) + 13 * (0,32/(100 - 13))) = \underline{4,738 \%} \quad (4.14)$$

*Ztráta teplem spalín – komínová ztráta –  $Z_k$* 

$$Z_k = (100 - 4,738) * (4,7996 * 1,36 * (188,75 - 3,7)) / 13450 = \underline{8,897 \%} \quad (4.15)$$

$$V_{sv} = 0,6797 + 3,018 * \lambda = 0,6797 + 3,018 * 1,3651 = 4,7996 \quad (4.16)$$

*Ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků –  $Z_f$* 

$$Z_f = (16,96/13450) * (100 * 0,68 * 600 * 1,01 / (100 - 9) + 100 * 0,32 * 180 * 0,8 / (100 - 13)) = \underline{6,3 \%} \quad (4.17)$$

$$c_s = 0,71 + 0,5 * 10^{-3} * t_s = \underline{1,01 \text{ kJ/kg} \cdot \text{°C}} \quad (4.18)$$

$$c_p = 0,71 + 0,5 * 10^{-3} * t_p = \underline{0,8 \text{ kJ/kg} \cdot \text{°C}} \quad (4.19)$$

*Ztráta sdílením tepla do okolí –  $Z_{sv}$* 

Výkon kotle [MW]	10	15	20	25	30	35
$Z_{sv}$ [%]	2,0	1,4	1,1	0,83	0,72	0,6

Tab. 2: ztráty sdílením tepla do okolí pro výkony kotle

$$\text{Pro } Q_k = 35 \text{ MW} \rightarrow Z_{sv} = 0,6 \%$$

*Účinnost kotle –  $\eta$* 

$$\eta = 100 - Z_{sv} - Z_f - Z_k - Z_c - Z_{co} = 100 - 0,6 - 6,3 - 4,7996 - 4,738 - 0,376 = \underline{83,19 \%} \quad (4.20)$$

Nepřímou metodou byla spočtena **účinnost kotle 83,19 %**.

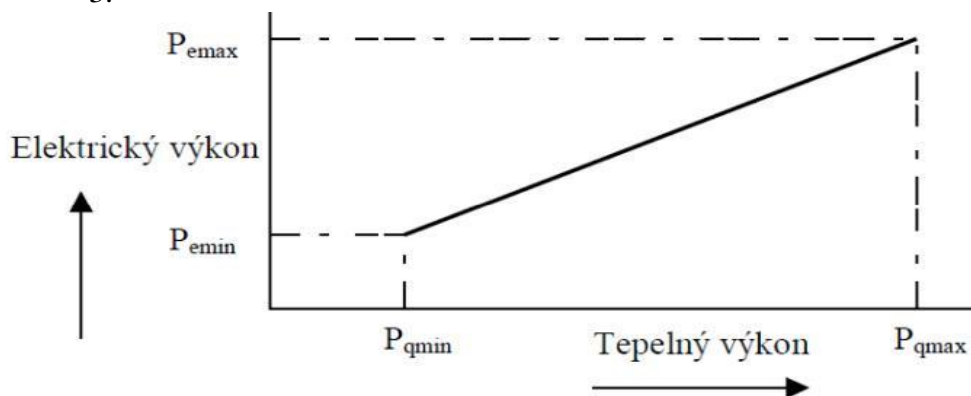
### 3.3.5 Protitlaková turbína TG1

Parní protitlakové turbíny jsou specifické tím, že veškerá pára vystupující z turbíny je používána pro topné účely. Je to turbína pracující v axiálním směru. Tato pára je v podstatě teplotné médium. Zvýšením protitlaku, tedy emisních parametrů páry, klesá výroba elektrické energie a roste dodávané teplo. U těchto turbín roste elektrický výkon se zvyšujícím se tlakem a s rostoucí teplotou admisní páry, to znamená, že roste takzvaný teplotní modul.

Protitlakové parní turbíny se vyrábějí od výkonů 10 kW až do 100 MW. Elektrická účinnost protitlakových turbín roste spolu s tlakem anebo teplotou vstupní páry. Tepelná účinnost zůstává konstantní, tedy roste celková účinnost. Tyto turbíny pokrývají především základní zatížení odběrového diagramu. Pro pokrývání špičkových odběrů jsou potřebné další dodatekové zdroje. [11]

Protitlakové turbíny mohou pracovat podle doby využití ve dvou režimech:

1. **celoroční provoz** (nepřetržitý provoz)
2. **sezónní provoz** (snížení doby využití)
- 3.



Graf 2: Závislost elektrického výkonu na tepelném výkonu u protitlakové turbíny [11]

Využití protitlakových turbín:

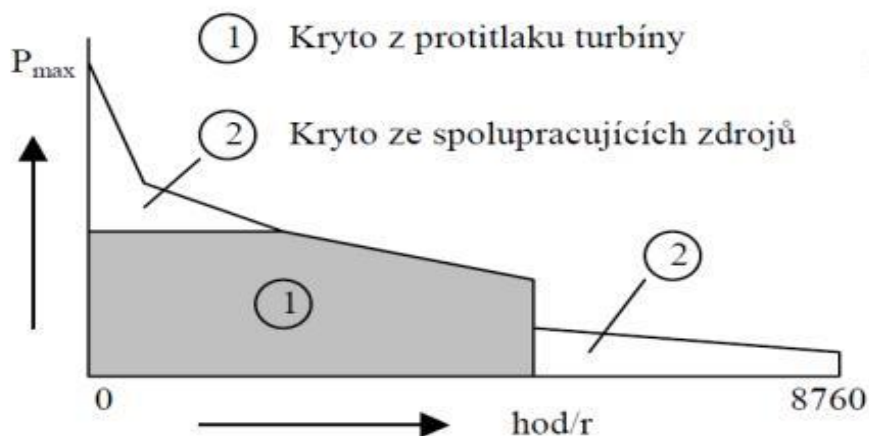
- základní zdroje ve velkých teplárnách a pro rozsáhlé parovodní rozvody
- v podnicích se stálou potřebou tepla i elektrické energie
- pro dodávky páry o různých tlakových úrovních

Výhody protitlakových turbín:

- vysoká účinnost v režimu KVET
- dlouhá doba životnosti
- možnost dodávat jak páru, tak i horkou vodu
- lze využívat i pro méně hodnotná paliva

Nevýhody protitlakových turbín:

- přímá závislost vyrobené elektrické energie a dodávaného tepla
- menší podíl výroby elektrické energie
- požadavek na kontinuální provoz bez odstávek [11]



Graf 3: Podíl páry z protitlakové turbíny na pokrývání diagramu potřeb tepla [11]

Parametry protitlakových turbín dle výkonů:

Výkony turbín [MW]	0,01-1	1-6	6-35	>35
Admisní tlak páry [MPa]	0,5-2	2,3-6	9-13	13-16
Admisní teplota páry [°C]	200-300	360-480	540	540
Emisní tlak páry [MPa]	0,1-0,8	0,1-1,3	0,1-1,8	0,1-1,8
Teplářenský modul [-]	0,05-0,2	0,1-0,35	0,15-0,42	0,2-0,45
Účinnost výroby el. en. [%]	5-15	10-20	15-25	20-30
Účinnost výroby tepla [%]	55-70	55-70	55-70	60-65
Celková účinnost[%]	65-75	75-80	80-85	85-90

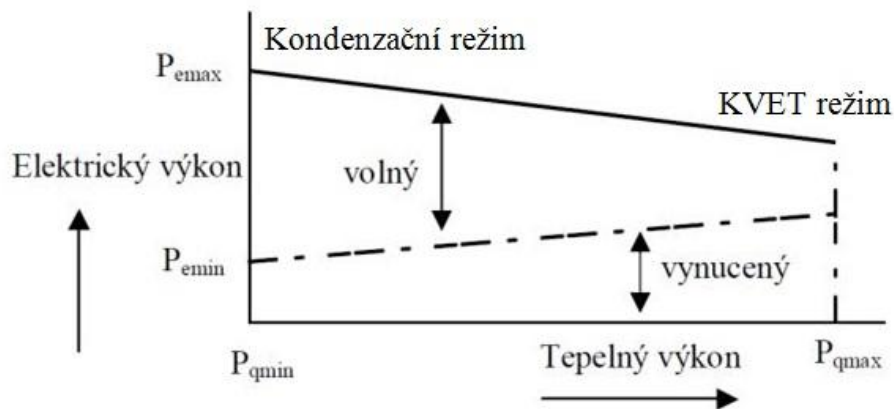
Tab. 3: Provozní parametry protitlakových turbín různých výkonů [11]

### **Technické parametry turbíny TG 1**

Tato protitlaková turbína byla instalována v teplárně roku 1985 v rámci druhé etapy výstavby centrální výtopny. Díky této turbíně se obyčejná výtopna vyrábějící pouze teplo změnila na kogenerační teplárnu tím, že se kromě tepla začala v teplárně vyrábět i elektrická energie. Jmenovitý výkon této turbíny byl zpočátku 55 MW<sub>e</sub>. Ovšem postupem času tato turbína prošla řadou úprav. Například proběhla rekonstrukce vstupních dýz, strojovny a přidání dalších oběžných stupňů. V současné době je jmenovitý výkon této turbíny 67 MW<sub>e</sub> (max. 70MW<sub>e</sub>). Účinnost u této turbíny dosahuje až 30% u výroby elektřiny a přibližně 60% u výroby tepla. Takže díky kogeneraci je celková účinnost turbíny až 90%. Tato turbína je v provozu celoročně v režimu KVET. V zimě pracuje na maximum výkonu a v létě na minimum. Na tuto turbínu je napojen dvoupólový synchronní turbogenerátor. Pára, která jde do turbíny, je z paralelního spojení kotlů K4, K5 a K6. Tlak na začátku turbíny je 13,6 Mpa a teplota 540°C.

### **3.3.6 Kondenzační turbíny TG2 a TG3**

Kondenzační turbína je funkčně shodná s protitlakovou turbínou a je také axiální. Pro kondenzační turbíny je specifické rozdělení páry pro topné účely a pro kondenzační výrobu elektřiny. Toto vede ke zvýšení regulovatelnosti vůči parovodu. Regulovatelnost odebírané páry je od nuly (čistě kondenzační režim) až do maximálního výkonu odběru. Díky této regulovatelnosti odebírané páry se částečně eliminuje závislost výroby elektřiny na dodávce tepla. Odbíraná pára může být dodávána v různých tlakových úrovních. Můžeme dostat buď vyšší tlak pro technologickou páru, nebo nižší tlak pro dodávky tepla pro vytápění nebo ohřev. Pro menší výkonový rozsah se vyrábějí turbíny na vyšší výkony a naopak. Výkony těchto turbín se vyrábějí od několika MW do několika 100 MW. Účinnost kondenzační turbíny závisí na tom, v jakém režimu je tato turbína provozována. Při režimu KVET je dosahováno maximální účinnosti, zatímco při kondenzačním režimu se dosahuje minimální účinnosti. U kondenzačních turbín jsou všeobecně větší ztráty než u protitlakových. Důvodem jsou kondenzační ztráty. [11]



Graf 3: Závislost elektrického výkonu na tepelném výkonu u kondenzační turbíny [11]

Kondenzační turbíny se využívají:

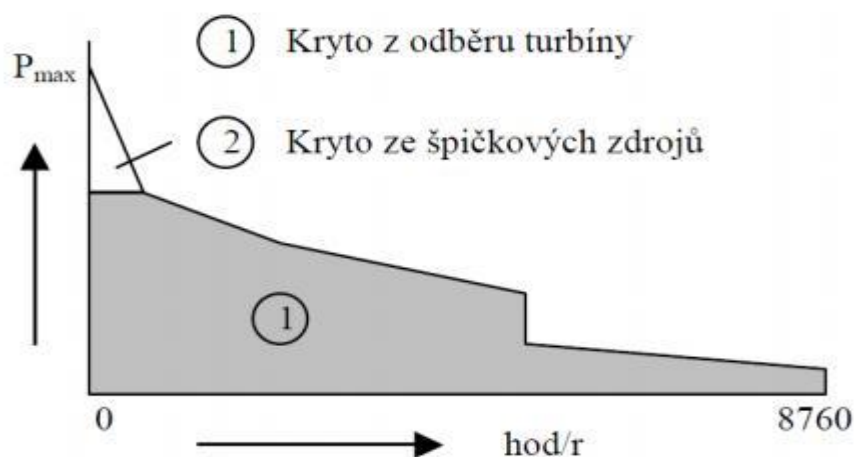
- pro velké veřejné teplárny pro rozsáhlé soustavy rozvodů tepla
- v podnikových teplárnách s velkou potřebou elektrické energie
- pro elektrárny s blízkým a koncentrovaným odbytem tepla

Výhody kondenzačních turbín:

- schopnost výroby elektřiny nezávisle na dodávce tepla
- možnost vykryvání diagramů spotřeby elektrické energie
- dlouhá doba životnosti
- možnost dodávat jak páru, tak i horkou vodu
- možnost využití méně hodnotných paliv

Nevýhody kondenzačních turbín:

- nižší celková energetická účinnost vlivem kondenzačních ztrát
- požadavek na chladicí systém – odvod kondenzačního tepla
- požadavek na kontinuální provoz bez odstávek [11]



Graf 4: Podíl páry z kondenzační turbíny na pokrývání diagramu potřeb tepla [11]

Parametry kondenzačních turbín dle výkonů:

Výkony turbín [MW]	6-30	30-60	60-200	>200
Admisní tlak páry [MPa]	3,5-9	9-13	13	16
Admisní teplota páry [°C]	440-540	540	540	540
Tlaky páry v odběrech [MPa]	0,1-1,3	0,1-1,8	0,1-3,6	0,1-3,6
Tlak páry do kondenzace [MPa]	0,035-0,04	0,035-0,04	0,035-0,04	0,035-0,04
Teplárenský modul [-]	0,2-0,38	0,34-0,46	0,38-0,48	0,4-0,5
Celková účinnost kondenzační rež. [%]	25-30	30-34	34-38	38-42
Celková účinnost KVET rež. [%]	65-75	60-70	55-65	50-60

Tab. 4: Provozní parametry kondenzačních turbín různých výkonů [11]

### Technické parametry turbíny TG 2

Kondenzační turbína TG2 byla zprovozněna v teplárně v roce 1999 v rámci třetí etapy výstavby centrální výtopy. Díky této turbíně se stala teplárna lépe regulovatelnou v dodávkách elektřiny, tedy mohla začít obchodovat na denním trhu ČEPSu a.s.. V současné době je regulovatelnost teplárny od 35 do 125 MW<sub>e</sub>. Jmenovitý výkon této turbíny je stejně jako u turbíny TG1 67 MW<sub>e</sub> a maximální dosažitelný výkon je opět 70MW<sub>e</sub>. Účinnost u této turbíny je závislá na režimu, ve kterém je provozována. Pohybuje se mezi 30 % až 70 %. Turbína TG 2 je provozu celoročně, a to je-li v režimu KVET, anebo v kondenzačním režimu. To určuje ČEPS a.s. podle toho, zdali má přebytek nebo nedostatek elektřiny v síti. Na tuto turbínu je stejně jako na TG1 napojen dvoupólový synchronní turbogenerátor. Pára, která jde do turbíny, je opět z paralelního spojení kotlů K4, K5 a K6. Tlak na začátku turbíny je 13,6 Mpa a teplota 540°C.



### Technické parametry turbíny TG3

Tato kondenzační turbína začala fungovat na přelomu let 2009 a 2010 v rámci čtvrté etapy výstavby centrální výtopny. Turbína TG3 spolu s kotlem K7 jsou nazývány zeleným blokem a jsou odděleny od ostatních zařízení. Důvodem je to, že kotel K7 spaluje pouze biomasu a dotace z vyrobené elektřiny pomocí biomasy jsou dostatečně vysoké. Proto je tato turbína celoročně provozována v kondenzačním režimu. Jmenovitý výkon turbíny je 10,5 MW<sub>e</sub> a maximální výkon je 13,5 MW<sub>e</sub>. Účinnost u této turbíny je dána tím, že je provozována v kondenzačním režimu, tedy přibližně 30%. Na tuto turbínu je napojen čtyřpólový synchronní turbogenerátor s převodovkou. Důvodem použití vícepólového stroje je vyšší účinnost výroby elektřiny. Tlak na začátku turbíny je 6,7 Mpa a teplota 490°C.

#### 3.3.7 Odlučování pevných částí

Odlučování pevných částí je důležité především z hlediska ekologie a také z hlediska složení spalin. Když spaliny z kotle projdou určitým technologickým procesem, mohou být vypouštěny do atmosféry. Díky těmto technologickým postupům se spaliny zbavují pevných zbytků paliva v nich obsažených. Technologické postupy, o kterých je tady řeč, jsou vlastně druhy technologií odlučovačů. Tyto odlučovače mohou využívat různé principy odlučování pevných látek. Jsou to například:

- **Gravitační princip** (částice jsou těžší než proudící vzduch)
- **Elektrostatický princip** (částice jsou elektricky nabitě a jsou přitahovány k elektrodě s oklepy o opačném náboji)
- **Setrvační princip** (změna proudu spalin, pevné zbytky setrvávají ve směru původního pohybu)
- **Intercepční** (přímé zachycení spalin na nějakou překážku)
- **Difuzní** (rozptyl částic do prostoru)
- **Odstředivý** (kruhová dráha spalin zajistí usazování zbytků na stěnách)

U odlučovačů nás zajímají tyto aspekty:

- Celková odlučivost [%]
- Celková tlaková ztráta [kPa]
- Pořizovací cena a náklady na obsluhu
- Vhodnost pro zachycení specifického prachu

Odlučovače mohou být buď suché, anebo mokré. Výhodou mokrých odlučovačů oproti suchým je lepší odlučivost. Nevýhodou mokrých odlučovačů je nutnost zřízení tzv. kalového hospodářství a to je spojeno určitými dodatečnými náklady. Každý odlučovač odlučuje pouze v určitém rozmezí velikosti zrn prachu, proto se tyto odlučovače často kombinují, aby byla dosažena potřebná odlučivost a dostatečné rozmezí velikosti zrn částic.

### **Odlučovač SGA**

Odlučování pevných částí ze spalin se začalo v teplárně používat v 70. letech minulého století. V současné době je v teplárně odlučování zajištěno pomocí odlučovače typu SGA. Jedná se o odlučovač na odstředivém principu odlučujícím pevné zbytky ze spalin. Proud spalin je tangenciálně vháněn do cyklonu a rotuje mezi tělesem cyklonu a výstupní trubkou. Na částice ve spalinách tak začne působit odstředivá síla, která způsobí pohyb pevných zbytků ke stěně cyklonu tělesa. Částice, která narazí na stěnu, následně spadá do zásobníku pod cyklonem. Vyčištěné spaliny po několika obrátkách v cyklonu odcházejí centrální trubkou. Na odlučivost cyklonu mají vliv vzájemné poměry jednotlivých geometrických rozměrů odlučovače a také rychlost spalin převedených do cyklonu. Odlučivost tohoto odlučovače je 93% a velikosti nejmenších odlučitelných částic se pohybují řádově v desítkách až jednotkách mm.

#### **3.3.8 Odsíření**

Metody odsířování se dělí [12]:

- 1) dle obsahu vody v procesu:
  - Suchá metoda
  - Polosuchá metoda
  - Mokrý metoda

2) dle regenerace činidla

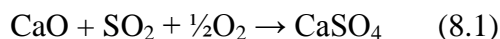
- Regenerativní metody
- Neregenerativní metody

3) dle odsiřovacího místa

- Odsiřování přímo v kotli – fluidní spalování s aditivy
- Odsiřování za kotlem

### Suchá metoda

Tato metoda je založena na nástřiku suchého aditiva do ohniště nad zónu plamene. Suchým aditivem se rozumí látka, která váže  $\text{SO}_2$ , například  $\text{CaO}$  nebo  $\text{CaCO}_3$ . Dostaneme reakci:



Je to metoda neregenerativní. Síra se ze spalin dostává v podobě síranu vápenatého  $\text{CaSO}_4$ . Spaliny se síranem jsou většinou zachytávány v elektrostatických odlučovačích. Účinnost suché metody není nijak vysoká. Obvyklá účinnost bývá kolem 50%. Proto tato metoda není tolik používaná jako zbývající dvě. [12]

### Polosuchá metoda

Při polosuché metodě se v odsiřovacím reaktoru díky rotačnímu rozprašovači vytváří velmi jemná mlha suspenze. Přes tuto mlhu procházejí spaliny. Při tomto procesu  $\text{SO}_2$  obsažený ve spalinách reaguje se suspenzí tvořenou  $\text{Ca(OH)}_2$  jako aditivem. Částičky vody se odpařují a granulky suchého reakčního  $\text{CaSO}_3$  jsou přiváděny přes absorbér a dostáváme tedy reakci.



Tyto částice se zachytávají ve filtrech. Nejčastěji se používají tkaninové filtry z důvodu dokončení zbytku chemických reakcí, které probíhají ještě ve vrstvě popílku a nezreagovaného vápence usazeného ve filtrační tkanině. Filtr bývá řazen za reaktor a zachycený prach je směsí popílku a produktů reakce mezi  $\text{SO}_2$  a  $\text{Ca(OH)}_2$  tedy  $\text{CaSO}_3$ . Polosuchá metoda má účinnosti kolem 80%. Při použití tkaninového filtru to je až 90%. V případě použití elektrostatických filtrů bývá účinnost přibližně o 10% nižší. Účinnost odsiřování je také závislá na dosažení optimální teploty zchlazených spalin v absorbéru, při teplotě blízké rosnému bodu je nejvyšší účinnost odsiřování. Je nežádoucí přibližovat se

pracovní teplotou teplotě rosnému bodu z důvodů možné kondenzace spalin. Správné nastavení by mělo být vždy kompromisem mezi těmito dvěma stavy. V případě neočekávané události musíme filtry vybavit obtokovou technologií, která dle potřeby odstaví filtr, když poklesne teplota spalin pod danou mez. [12]

Výhody:

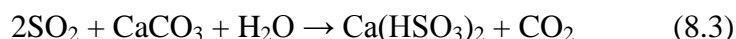
- Investičně a provozně levnější než mokrá metoda odsíření
- Výsledný suchý produkt

Nevýhody:

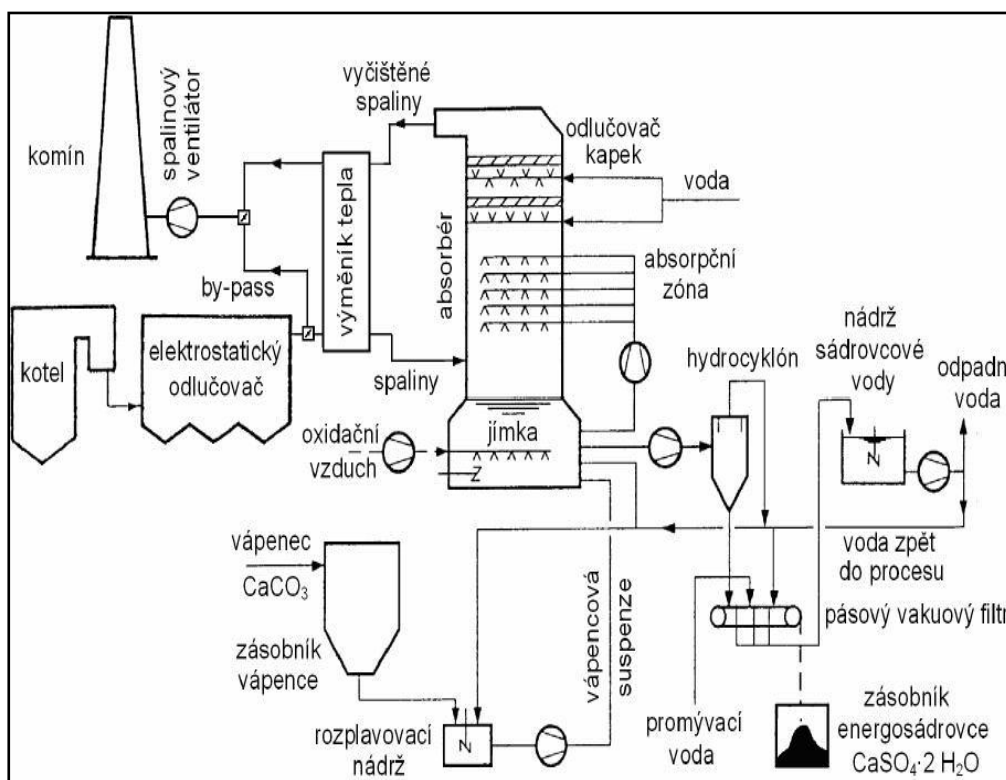
- Málo využitelný produkt
- Nákladnější provoz
- Vysoká spotřeba aditiva
- Náročnější údržba filtrů

### **Mokrá metoda**

Tato metoda je v současné době nejrozšířenější po celém světě. Aditivum, na které se oxid siřičitý  $\text{SO}_2$  zachytává, je vodní suspenze jemně mletého vápence  $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$  a produktem odsíření je hydrát síranu vápenatého  $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$  neboli energosádrovec. Účinnost zachytávání  $\text{SO}_2$  je relativně vysoká, dosahuje až 96 % a současně je zde vysoké využití reakčního činidla vápence. Produkt odsíření, tedy energosádrovec, je hojně využitelný zejména ve stavební výrobě, kde nahrazuje přírodní sádrovec. Energosádrovec může být také využíván jako přísada při výrobě cementu nebo sádry. Principem mokré metody odsířování je postupné vypírání plynného oxidu siřičitého  $\text{SO}_2$ , obsaženého ve spalinách vodní vápencovou suspenzí  $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$  za vzniku roztoku hydrogensířičitanu vápenatého  $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$ . Dostáváme reakci:



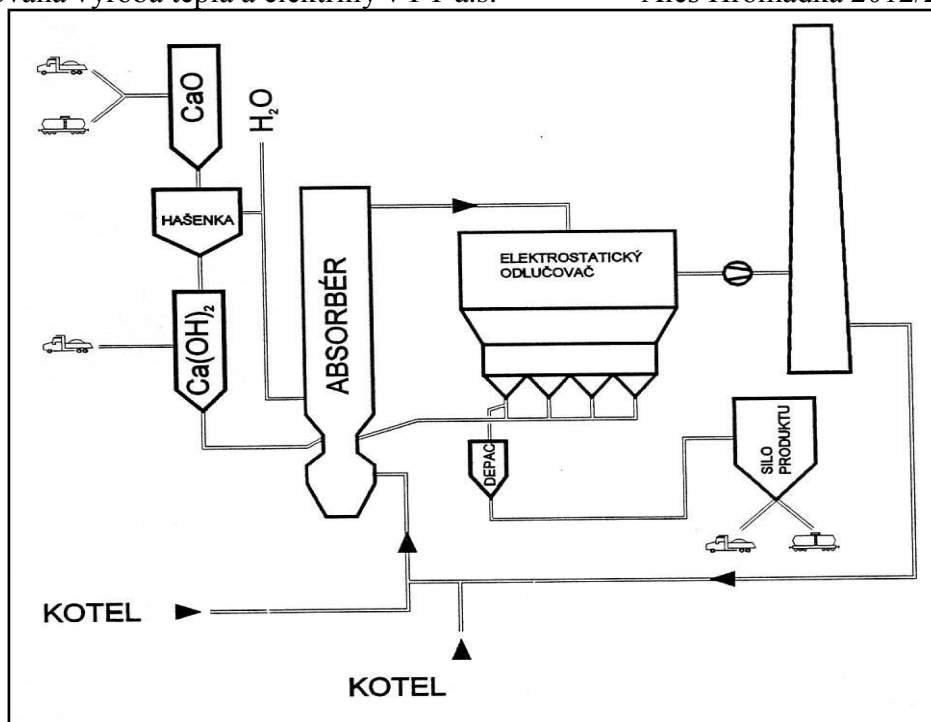
Čistota energosádrovce je vysoká, protože zde se jedná o krystalizaci z roztoku. Aby popsaný princip úspěšně fungoval a produktem odsíření byl požadovaný energosádrovec, je důležité ve vodní suspenzi odsiřovacího zařízení udržovat „kyselé prostředí“ s hodnotou pH pohybující se od 3,5 do 5. Vliv tohoto prostředí, má za následek silné korozní napadání ocelových částí odsiřovacího zařízení a jejich znehodnocování. Ochrana zařízení stojí značné úsilí a značné prostředky. [12]



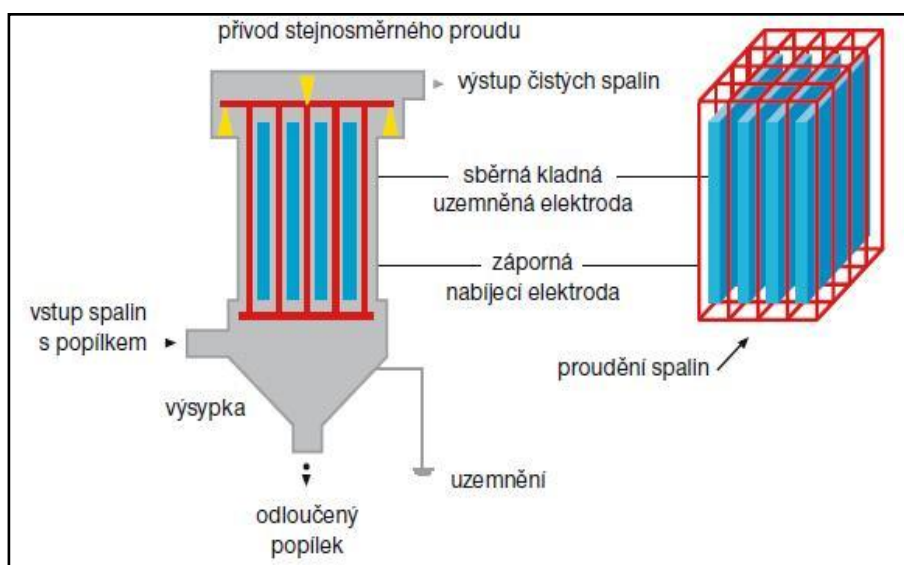
Obr. 9: Schéma odsíření – mokrá metoda [13]

### Odsíření v Plzeňské teplárně

Odsíření bylo zprovozněno v teplárně v roce 1997. Využívá se zde technologie polosuché metody a jako aditivum oxid vápenatý  $\text{CaO}$  nebo hydroxid vápenatý  $\text{Ca(OH)}_2$ . Absorbér je typu CFB, tedy cirkulující fluidní lože. Odlučování spalin je zajištěno pomocí elektrostatického odlučovače. Odsiřovány jsou všechny kotle kromě K6. Kotel K6 je fluidní a probíhá v něm fluidní spalování s aditivem, a proto nemusí být odsířen. Účinnost odsíření je kolem 80%.



Obr. 10: Schéma odsíření v PT a.s. [13]



Obr. 11: Schéma elektrostatičkého odlučovače [13]

### 3.3.9 Ostatní zařízení v PT a.s.

Další důležitá zařízení v PT a.s. jsou špičkové ohříváky. Tři z těchto ohříváků jsou u kotlů K4, K5 a K6. Každý z nich má výkon  $100 \text{ MW}_t$  a další je u kotle K7 a ten má výkon  $15 \text{ MW}_t$ . Jako přídatné zařízení k sušení biomasy jsou zde instalovány dvě sušičky na biomasu. První starší je z roku 2007 s objemem  $7 \text{ tun.h}^{-1}$  a mladší je z roku 2010 s objemem  $14 \text{ tun.h}^{-1}$ .

## 4 EKOLOGICKÉ A EKONOMICKÉ ASPEKTY PT A.S.

### 4.1 Ekologické aspekty PT a.s.

#### 4.1.1 Emise

Emise jsou znečišťující látky vypouštěné do ovzduší komínem nebo chladicí věží. Emise, které jsou vypouštěny v PT a.s., jsou kontinuálně měřeny a průměrovány vždy po půl hodině. V PT a.s. se měří dle zákona oxid siřičitý (SO<sub>2</sub>), oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>), tuhé znečišťující látky (TZL) a oxid uhelnatý (CO). Tyto zprůměrované hodnoty nesmějí překročit emisní limity. Emisní limity jsou dány rovněž zákonem a jsou to hodnoty nejvyšší přípustné koncentrace znečišťujících látek u zdroje. Pokud se tyto emisní limity překročí a pokud firma nemá emisní povolenky, dostává sankce od ministerstva životního prostředí. Jelikož teplárna má dlouhodobě limity v pořádku, může si dovolit prodávat emisní povolenky jiným větším znečišťovatelům. Tendence, co se týče emisí, dlouhodobě vede ke snižování emisí a tím i ke snižování zátěže na životní prostředí. Z důvodu tohoto má v roce 2016 dojít k dosti velkému zpřísnění těchto emisních limitů. Toto bude mít za následek velké přestavby a změny technologie odlučování a odsiřování, především na uhelných elektrárnách a výtopnách po celé České republice.

Znečišťující látka	Emisní limit [mg/m <sup>3</sup> ] v současnosti	Emisní limit [mg/m <sup>3</sup> ] od roku 2016
SO <sub>2</sub>	1700	200
NO <sub>x</sub>	650	200
TZL	100	20
CO	250	40

Tab. 5: Vývoj emisních limitů

#### 4.1.2 Emise v PT a.s.

Emise na vstupu jsou proměnlivé a jsou dány výkonem kotlů a především spalovaným palivem. V tabulkách č. 6 a 7 jsou zobrazeny hodnoty emisí měřených vždy po půl hodině kontinuálně mimo i v topné sezóně. Tyto hodnoty jsou pak graficky znázorněny v grafu 5. Tabulky 8 a 9 ukazují hodnoty ročních vypouštěných emisí v tunách a poplatky za tyto emise v poledních čtyřech letech. V grafu č. 6 je znázorněno vypouštění CO<sub>2</sub> za jednotlivé měsíce v tunách za rok 2012 a bilance. V současné době se v teplárně řeší problém s dodávaným uhlím, protože od ledna 2012 vzrostla síra v původním vzorku (S<sub>d</sub>) ze 1,3 %

až na 2% (v extrémě až na 3%). Emisní povolenky byly nakoupeny pro rok 2011 za přibližně 252 milionů korun.

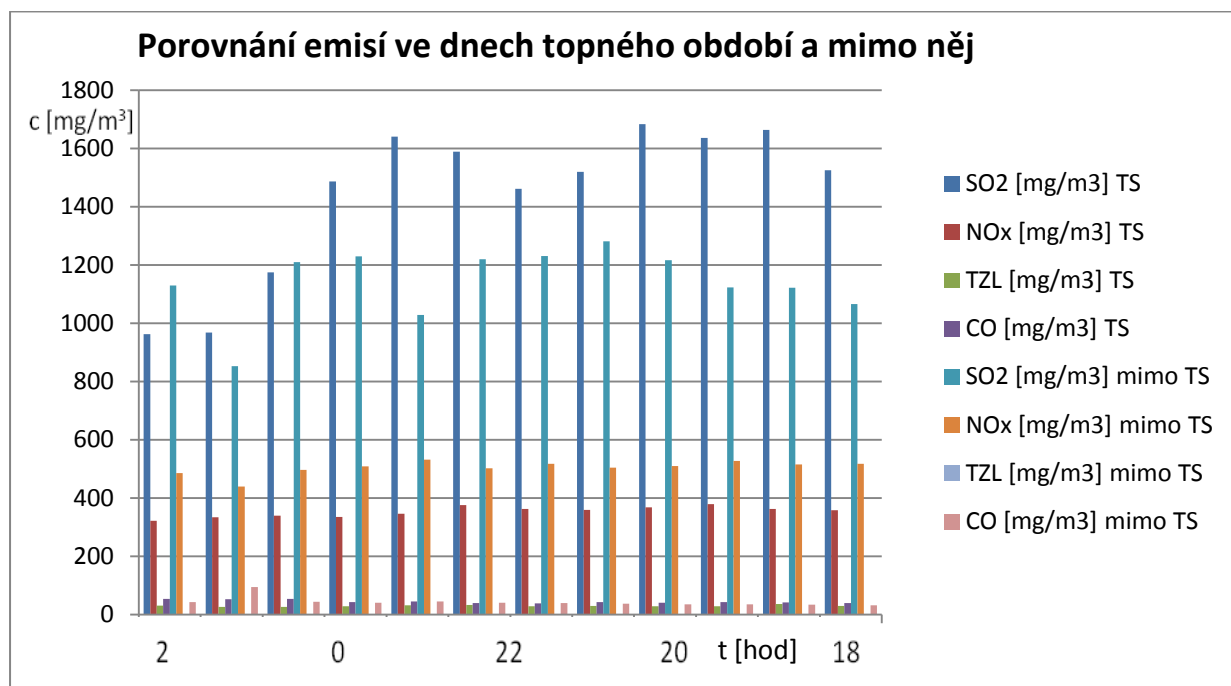
čas	SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	TZL [mg/m <sup>3</sup> ]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]
25.2.2013 2:00	963,1828	322,3072	31,2549	53,7546
25.2.2013 1:30	968,5457	334,0327	26,853	52,9293
25.2.2013 1:00	1174,4802	339,4762	26,6461	54,4454
25.2.2013 0:00	1487,1943	335,7189	28,6749	43,002
24.2.2013 23:30	1640,5499	345,9339	32,39	45,4254
24.2.2013 22:30	1589,1333	375,7627	32,5588	39,3926
24.2.2013 22:00	1461,4712	362,3001	29,1696	38,3961
24.2.2013 21:00	1519,9597	359,562	30,2808	42,728
24.2.2013 20:30	1683,8806	367,6891	28,8106	40,2907
24.2.2013 19:30	1636,715	379,6982	28,5139	42,3834
24.2.2013 19:00	1664,0597	363,1119	35,8629	41,7603
24.2.2013 18:30	1525,3212	358,1169	29,5546	39,9037

Tab. 6: Skutečná emise v PT a.s. z přelomu dne 24.2 a 25.2.

Čas	SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	TZL [mg/m <sup>3</sup> ]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]
1.9.2012 2:00	1129,4341	485,7408	0,1472	42,6864
1.9.2012 1:30	852,3447	439,749	0,1302	94,3101
1.9.2012 1:00	1209,5345	497,1929	0,1527	43,82
1.9.2012 0:00	1229,6924	508,6638	0,1482	40,8122
31.8.2012 23:30	1028,2657	531,9823	0,1548	45,1485
31.8.2012 22:30	1219,6044	502,4592	0,1409	40,4929
31.8.2012 22:00	1230,821	517,336	0,1477	39,512
31.8.2012 21:00	1281,5255	504,2279	0,1436	37,075
31.8.2012 20:30	1216,1544	509,9267	0,1386	35,0709
31.8.2012 19:30	1123,086	527,8257	0,1385	35,7587
31.8.2012 19:00	1121,433	515,3385	0,1384	33,8381
31.8.2012 18:30	1066,4152	517,8875	0,1388	32,302

Tab. 7: Skutečná emise v PT a.s. z přelomu dne 31.8 a 1.9.





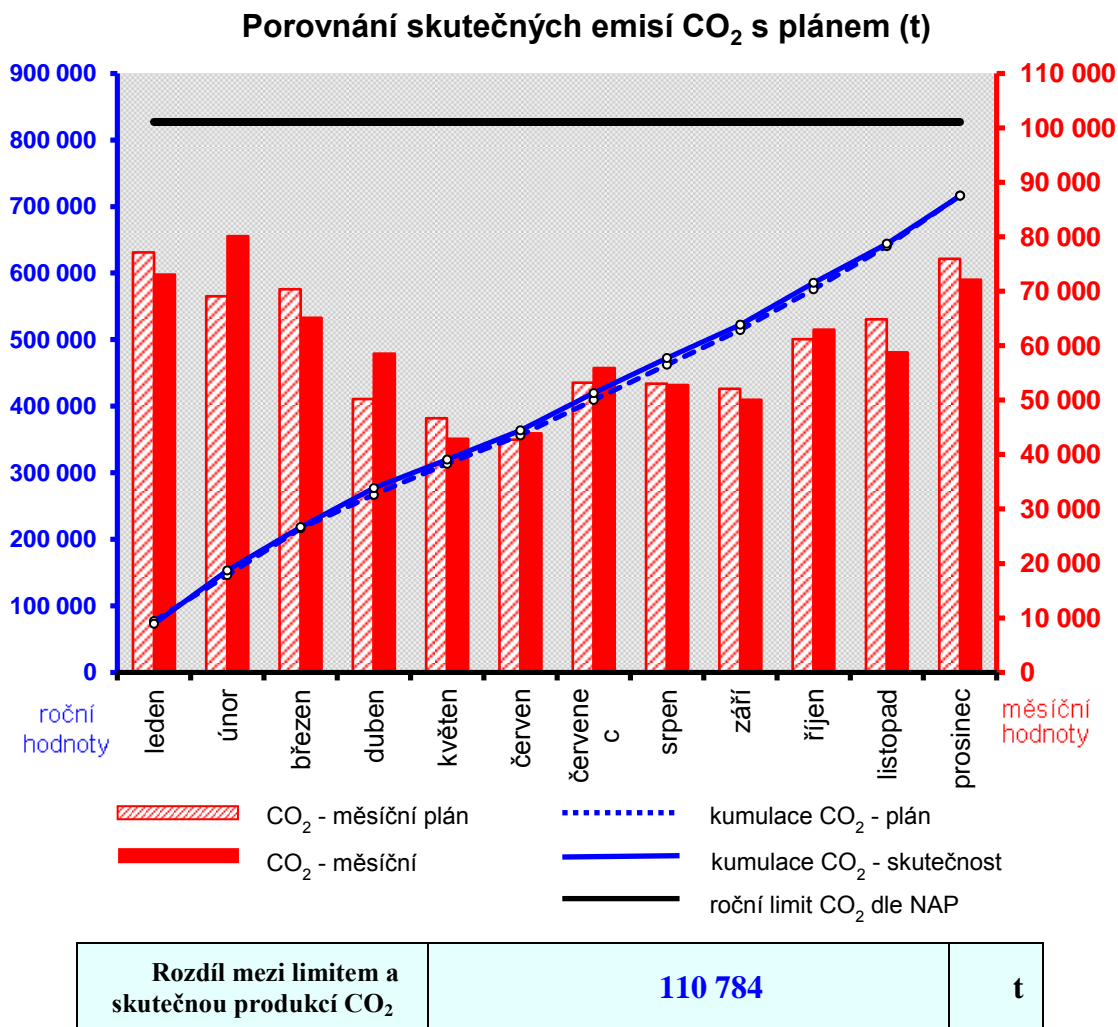
Graf 5: Skutečné emise v PT a.s.

rok	2009	2010	2011	2012
SO <sub>2</sub> [t]	3247,444	3172,52	3158,998	3221,953
NO <sub>x</sub> [t]	1045,657	1326,626	1143,455	1341,706
TZL [t]	31,358	50,572	35,833	70,363
CO [t]	65,881	158,835	115,98	236.862

Tab. 8: Vypouštěné emise za poslední 4 roky

rok	2009	2010	2011	2012
SO <sub>2</sub> [Kč]	3 247 444	3 172 520	3 158 866	3 269 866
NO <sub>x</sub> [Kč]	836 525	1 061 300	914 764	1 073 364
TZL [Kč]	94 074	151 716	107 499	211 089
CO [Kč]	39 528	95 301	69 588	98 190
Celkem	4 217 572	4 480 837	4 250 849	4 652 509

Tab. 9: Poplatky za emise za poslední 4 roky



Graf 6: Skutečné emise CO<sub>2</sub> z roku 2012 v PT a.s.

Díky kladnému rozdílu emisí CO<sub>2</sub> může teplárna prodávat emisní povolenky. Má jich tedy více, než by potřebovala.

#### 4.1.3 Znečištění

Při spalování uhlí a v průběhu odsíření spalin vznikají odpady, které nazýváme **vedlejší energetické produkty**. Existuje celá řada těchto energetických produktů a lze je využívat jako druhotné suroviny. Pokud podnik získá certifikaci k dalšímu využívání vedlejších energetických produktů, může je dále prodávat například stavebním firmám. Za odpady se tak dají považovat jen nevyužité vedlejší energetické produkty, které je třeba ukládat na skládky.

Popílek a škvára ze spalovacích procesů jsou využitelné při výrobě betonů či malt. Popílek může působit jako aktivní či neaktivní složka ve směsích. Pokud přispívá ke tvrdnutí, je aktivní, pokud ne, tak je neaktivní. Struska a škvára se především používá jako plnivo. Popílek a škvára se také používají při výrobě cementu, cihel, umělého kameniva nebo se mohou přidávat do asfaltu. Popílek je možné také použít pro výrobu náplní filtrů do čistíren odpadních vod nebo pro zneškodňování nebezpečných odpadů. Produkt odsíření u polosuché metody je povětšinou materiál vhodný pro použití ve stavebnictví: zaplňování výkopů, zásypy, konstrukční vrstvy silnic a dálnic. PT a.s. produkuje odpady naprosto stejné jako jiné elektrárny nebo teplárny a nijak nevybočuje z průměru. Největší zatížení životního prostředí jsou zde zejména plynné emise, které jsou limitovány pomocí emisních limitů uvedených v tabulce č. 5. Dále jsou zde tuhé zbytky po spalování a po odsíření polosuchou metodou. Na tuhé zbytky má teplárna certifikaci výrobků a přibližně 40% těchto vedlejších energetických produktů se prodává na stavební využití. Zbytek je odkládán na skládkách. Teplárna produkuje také odpadní vody, které jsou taktéž hlídány a jsou stanoveny na konkrétní limity, aby mohly být vypouštěny do řeky.

## 4.2 Ekonomické aspekty PT a.s.

Srovnání příjmů a výdejů za rok 2011

### Příjmy

Položky	Hodnoty v tisících Kč
Distribuce tepla	869 779
Distribuce elektřiny	1 382 098
Distribuce chladu	15 890
Prodej investic městu	22 723
Prodej produktů teplárny	52 362
Ostatní tržby	153 005
Aktivace	1 631
Ostatní provozní výnosy	319 042
Finanční výnosy	9 477
<b>Výnosy celkem</b>	<b>2 826 007</b>

Tab. 10: Celkové příjmy PT a.s. [14]

### Výdaje

Položky	Hodnoty v tisících Kč
Spotřeba energií a materiálu	940 084
Náklady vynaložené na prodané zboží	52 558
Veškeré služby	412 563
Osobní náklady	177 384
Daně a poplatky	24 855
Další provozní náklady	417 101
Odpisy	352 655
Finanční náklady	29 668
Daň z příjmu splatná	89 490
Daň z příjmu odložená	-2 049
<b>Náklady celkem</b>	<b>2 494 309</b>

Tab. 11: Celkové výdaje PT a.s. [14]

**Aktiva**

Položky	Hodnoty v tisících Kč
Dlouhodobý hmotný majetek	4 246 516
Dlouhodobý nehmotný majetek	261 326
Dlouhodobý finanční majetek	73 177
Zásoby	48 073
Dlouhodobé pohledávky	22
Krátkodobé pohledávky	249 019
Krátkodobé finanční majetek	728 511
Ostatní aktiva	53 373
<b>Aktiva celkem</b>	<b>5 660 017</b>

Tab. 12: Celkové aktiva PT a.s. [14]

**Pasiva**

Položky	Hodnoty v tisících Kč
Základní kapitál	1 092 957
Kapitálové fondy	38 015
Fondy ze zisku	229 747
Výsledek hospodaření minulých let	2 261 966
Výsledek hospodaření	331 698
Rezervy	63 170
Krátkodobé závazky	682 247
Dlouhodobé závazky	313 595
Bankovní úvěry	628 408
Ostatní pasiva	18 214
<b>Pasiva celkem</b>	<b>5 660 017</b>

Tab. 13: Celkové pasiva PT a.s. [14]

**Celkový výsledek hospodaření společnosti PT a.s. za rok 2011 a srovnání s rokem 2010**

Položky	Hodnoty v tisících Kč 2011	Hodnoty v tisících Kč 2010
Prodej produktů teplámy	52 362	40 753
Náklady vynaložené na prodané zboží	52 558	40 897
<b>Obchodní marže</b>	<b>-196</b>	<b>-144</b>
Celková výroba	2 374 190	2 375 719
Výrobní náklady	1 334 528	1 223 176
Přidaná hodnota	1 039 466	1 152 399
Osobní náklady	205 657	225 471
Odpisy dlouhodobého hmotného i nehmotného majetku	363 593	311 306
Zúčtování konsolidačního rozdílu (odpis)	1 015	1 015
Zúčtování rezerv, opravních položek a časové rozlišení provozních nákladů	2 259	16 226
Jiné provozní příjmy	423 296	316 584
Jiné provozní náklady	441 740	307 850
<b>Konsolidovaný provozní výsledek hospodaření</b>	<b>450 528</b>	<b>609 145</b>
Finanční výnosy	9 792	9 775
Finanční náklady	30 458	13 221
Konsolidovaný výsledek hospodaření z finančních operací	-20 666	-3 466
Daň z příjmu za běžnou činnost (odložená i splatná)	89 015	97 558
<b>Konsolidovaný výsledek hospodaření za běžnou činnost</b>	<b>340 847</b>	<b>508 121</b>
Mimořádné příjmy	5 894	0
Mimořádné náklady	8 645	0
<b>Konsolidovaný mimořádný výsledek hospodaření</b>	<b>-2 751</b>	<b>0</b>
Konsolidovaný výsledek hospodaření za účetní období bez podílu ekvivalence	338 096	508 121
Výsledek hospodaření bez menšinových podílů	338 096	508 121
Menšinový výsledek hospodaření	0	0
Podíl na výsledku hospodaření v ekvivalenci	-70	0
<b>Konsolidovaný výsledek hospodaření</b>	<b>338 026</b>	<b>508 121</b>

Tab. 14: Výsledek hospodaření PT a.s. [14]

**Financování aktivit pro rok 2011**

Aktivita	Hodnoty v Kč
Nákup tepelné ho majetku od města Plzně	363 842 000
Rozvoj teplených sítí a předávacích stanic tepla	98 044 000
ZEVO Chotíkov	53 011 000
Rekonstrukce odškvárování a samostatná trase paliv K4	60 723 000
Nová administrativní budova	28 055 000
Dávkování uhelných kalů do kotle K6	23 393 000
Zásobní silo suché strusky	9 496 000
Nová elektronapáječka EN2	11 400 000
Rekonstrukce R25	9 069 000
Ostatní investice do výrobních technologií	22 300 000
Ostatní investice	14 772 000
<b>Celkové investice</b>	<b>694 105 000</b>

Tab. 15: Investice PT a.s. [14]

**4.2.1 Finanční směřování**

PT a.s. již od svého vzniku hospodaří se ziskem. Jelikož jejím jediným vlastníkem je město Plzeň, vyplácí mu každoroční dividendu. Teplo, které produkuje teplárna, je dlouhodobě jedno z nejlevnějších v České republice. Tuto skutečnost si bude chtít teplárna i do budoucna udržet i za cenu nižších investic do stávající technologie. Teplárna v současnosti velmi dobře ekonomicky hospodaří. Hlavně díky kogeneraci a pohybu firmy na denním trhu s elektřinou a také díky zelenému bloku, který vyrábí pouze elektřinu, na kterou dostává významnou dotaci, protože je to elektřina čistě z biomasy.

Kategorie spalování čisté biomasy podle dotací za vyrobenou elektřinu 1 MW/h

O1 (cíleně pěstované plodiny)	1 860 Kč
O2 (poškozené dřevo z polomu)	1 160 Kč
O3 (staré stavební dřevo)	490 Kč

Tab. 16: Dotace za čisté spalování biomasy

Z těchto aktivit plyne PT a.s. nejvýznamnější část zisku, ovšem jsou tu i další aktivity, ze kterých PT a.s. má určitý zisk. Myslí se tím například výroba chladu či prodej produktů z odsíření. Současným trendem je nahrazování fosilních paliv alternativními palivy, například dřevní štěpkou, slámovými peletkami či pivovarským mlátem. Kromě dvou horkovodních kotlů K2 a K3, které se budou v budoucnu měnit za jeden plynový kotel

především kvůli efektivitě, se ve všech ostatních kotlích nahrazuje část spalovaného uhlí alternativními palivy kvůli dotacím za takto vyrobenou elektřinu.

Kategorie spoluspalování biomasy podle dotací za vyrobenou elektřinu 1 MW/h

S1 (cíleně pěstované plodiny)	1 370 Kč
S2 (poškozené dřevo z polomu)	700 Kč
S3 (staré stavební dřevo)	50 Kč

Tab. 17: Dotace za spoluspalování biomasy

Další zisky generuje teplárně od roku 2007 kogenerační jednotka pro energetické využívání skládkového plynu na skládce v Chotíkově. Elektřina vyrobená touto cestou je naprosto ekologická (se žádným dopadem na prostředí). Pomocí této efektivní metody se tak PT a.s. zbavuje nežádoucího plynu vznikajícího rozkladem spodních vrstev ve skládce. Skládkový plyn obsahuje přibližně 50% metanu ( $\text{CH}_4$ ). Při objemu plynu za hodinu  $77 \text{ m}^3/\text{h}$  a účinnosti přeměny na elektřinu zařízení  $\eta = 32\%$  je jmenovitý výkon  $120 \text{ kW}_e$ .

Velké finanční prostředky se chystá vydat PT a.s. na výstavbu zařízení pro energetické využití odpadu ZEVO Chotíkov, které má stát kolem dvou a půl miliardy korun. Je zde možnost využití peněz z regionálního operačního programu, a to až jednu miliardu korun na kofinancování, ale v současnosti jsou peníze z ROP velmi nejisté. Toto zařízení na energetické využití odpadu by mělo mít jmenovitý výkon  $35 \text{ MW}_t$ . Po zavedení teplovodu do Chotíkova by těchto  $35 \text{ MW}_t$  mohlo spoluzásobovat teplem Košutecké sídliště a tím by se odlehčilo centrální výtopně. Srovnání cen tepla PT a.s. a ostatních producentů viz příloha D.



## 5 HODNOCENÍ TENDENCÍ VE VÝVOJI V PT A.S.

### 5.1 Kotle K2 a K3 a jejich výměna za plynový kotel

V blízké budoucnosti, tedy do dvou tří let, dojde v teplárně k likvidaci dvou horkovodních kotlů K2 a K3. Tyto dva kotle byly vybudovány už v roce 1972 ještě s kotlem K1, který byl už dříve zbourán. V současnosti již tyto kotle nesplňují požadavky moderních tepláren. Dá se v nich spalovat pouze uhlí bez spoluspalování biomasy. Teplo vyrobené v těchto kotlích nejde využít na kogenerační výrobu elektřiny a tepla, protože jsou to kotle horkovodní a ne parní (pára může pohánět turbínu). V současnosti jsou tyto kotle využívány při špičkových odběrech cca 14 dní v roce, ale ani na tuto činnost nejsou příliš vhodné. Jejich nedostatkem pro tuto činnost je především velmi pomalý náběh na jmenovitý výkon kotle, který za současných podmínek trvá z teplé zálohy jednu hodinu a ze studené zálohy až tři hodiny. Výkon těchto kotlů by měl nahradit jeden plynový kotel, který by byl využíván stejně, jako jsou kotle K2 a K3. Nevýhodou proti stávajícím kotlům je dražší provoz, protože co do objemu je plyn dražší než uhlí. U tohoto kotle jsou ještě dodatečné náklady na zavedení plynovodu do teplárny. Vzhledem k tomu, že kotel bude v provozu stejně jako kotle K2 a K3 14 dní v roce, nejedná se o téměř žádné zvýšení nákladů z pohledu celé teplárny. Výhod tohoto nového kotle je ale hned několik. Tou hlavní je jistě rychlý náběh na jmenovitý výkon, což je hlavní požadavek na tento kotel. Dalšími výhodami může být například bezezbytkové spalování, vyšší účinnost kotle, žádná nebo jen velmi malá ekologická zátěž a nižší prostorové nároky, než mají stávající kotle.

### 5.2 Změna technologie odsíření

V roce 2016 dojde ke dramatickému zpřísnění emisních limitů. Stávající odsíření a odlučování bez problému plní současné limity. Ovšem když se změní emisní limit například u oxidu siřičitého ( $\text{SO}_2$ ) ze  $1700 \text{ mg/m}^3$  na  $200 \text{ mg/m}^3$ , stávající zařízení nebudou schopna plnit nové limity. Současná technologie odsíření v teplárně je polosuchá metoda. Odsíření vzniklo v teplárně v roce 1997. Účinnost tohoto typu odsíření se pohybuje kolem 80%. Trendem je v současné době u tepelných elektráren a tepláren mokrá metoda. Do budoucna se tato varianta s mokrou metodou nabízí i v PT a.s.. Pokud by v teplárně proběhla přestavba technologie odsíření, bude to spojeno s velkými náklady na samotnou přestavbu a zřízení kalového hospodářství. Nevýhodou může být velká spotřeba vápence a také to, že je to neregenerativní metoda. Výhodami této metody jsou vysoké účinnosti až

96%, běžně kolem 90% - 95%, snižování obsahu dalších nežádoucích látek, např. popílek (TZL), oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ), těžké kovy, aromatické uhlovodíky, snadno prodátný produkt v podobě síranu vápenatého ( $\text{CaSO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$ ), tzv. energieosádrovec. Energosádrovec je využitelný zejména ve stavebnictví, kde plně nahrazuje přírodní sádrovec. Energosádrovec je využíván jako přísada při výrobě cementu nebo sádry.

### 5.3 Změna technologie odlučování

Současné odlučování funguje již od 70. Let minulého století. Jedná se o SGA odlučovač, tedy suchý mechanický multicyklon. Odlučivost toho odlučovače je relativně vysoká, a to kolem 93%, a velikosti nejmenších odlučitelných částic se pohybují řádově v desítkách až jednotkách mm. Od roku 2016, kdy dojde ke zpřísnění emisních limitů u tuhých znečišťujících látek (TZL) ze stávajících  $100 \text{ mg/m}^3$  na  $20 \text{ mg/m}^3$ , se budu muset technologie inovovat. Ke zlepšení odlučivosti lze dojít několika způsoby. První způsob by spočíval v tom, že zavedeme do stávajícího odlučovače vodní trysky a tím ze suchého odlučovače uděláme mokrý. Toto je opět spojeno s náklady na zřízení a provoz kalového hospodářství. Druhý způsob by spočíval ve zvětšení geometrických rozměrů odlučovače. Tento způsob by zase vyžadoval zakoupení nového většího odlučovače a likvidaci stávajícího. Další nevýhodou je prostorová náročnost tohoto řešení.

### 5.4 Zařízení na energetické využití komunálního odpadu ZEVO

#### Chotíkov

Současný trend je nahrazování při spalování fosilního paliva (uhlí, ropa nebo plyn) jinými druhy paliv (biomasa, komunální odpad). PT a.s. jde v tomhle ohledu s trendy. V současnosti se v teplárně spaluje z celkového objemu paliva více než 33% biomasy. Biomasa se v teplárně buďto spaluje, anebo je samostatně spalována ve fluidním kotli K7. Další potvrzení tohoto trendu je současný plán PT a.s. vystavět u skládky v obci Chotíkov vzdálené od středu města 8,6 km zařízení na energetické využití odpadu. Tuto skládku získala do svého vlastnictví PT a.s. v roce 2004. V roce 2007 byla na této skládce uvedena do provozu kogenerační jednotka pro energetické využívání skládkového plynu o elektrickém výkonu  $120 \text{ kW}_e$ . Tento způsob využití skládkového plynu je efektivní a velmi ekologický. Zařízení na energetické využití odpadů má stát cca dvě a půl miliardy korun s možností využití peněz z regionálního operačního programu, a to až jedné miliardy korun na kofinancování. Tepelný výkon tohoto zařízení by měl být  $35 \text{ MW}_t$  a po přivedení

teplovodu do Chotíkova by se mělo podílet na zásobování teplem pro Plzeň. Trend nahrazování části uhlí spalovaného v teplárně za směsný komunální odpad spalovaný v tomto zařízení je velmi lákavý. Důvodem ke spalování odpadů je úprava odpadů tak, aby se snížil jejich objem a nebezpečnost a současně byly zachyceny (a tím koncentrovány) nebo zneškodněny potenciálně škodlivé látky. Spaliny ze spalování jsou následně čištěny výrazně účinněji než u jakýchkoli jiných oxidačních procesů včetně domácích topenišť. Proto je spalování odpadu v zařízeních na energetické využití odpadů nejlepší řešení z hlediska ochrany životního prostředí. Např. produkce dioxinů všech tří spaloven v ČR činí cca 1 % z množství, které produkují lokální topeniště. [17]



Obr. 12: Návrh ZEVO Chotíkov [16]

## 6 ZÁVĚR

Práce se zabývá zhodnocením provozu Plzeňské teplárenské a.s. z pohledu teplovodné sítě, teplárenské technologie, ekologických či ekonomických aspektů a budoucího směřování společnosti.

V první části jsou rozebírány základní informace o teplárenském provozu včetně historie od roku 1950 po současnost a dále je zde nastíněna problematika rozvodu a zásobování teplem.

Druhá část práce je věnována teplárenské technologii. Na začátku je popsán vývoj teplárny a její technické parametry. Následuje popis všech druhů kotlů, od horkovodních přes granulační až po fluidní kotle, a to dle hlediska parametrů páry, účinnosti a spalovaného paliva. Za popisem kotlů je uveden popis zjišťování účinnosti kotlů, příslušných ztrát a příklad jejich výpočtu. Dalším tématem jsou turbíny. Oba typy turbín, které jsou v teplárně, jak protitlaké, tak kondenzační, jsou hodnoceny z hlediska vhodnosti použití v provozech a účinnosti při daných parametrech páry a regulace. Následujícím tématem je odlučování tuhých zbytků. Jsou zde popsány jednotlivé principy odlučování a dopodrobna je vysvětlena současná technologie odlučování používaná v teplárně. Předposledním tématem je odsíření, které je rozebráno z hlediska metod odsiřování. V posledním tématu této části jsou uvedena ostatní zařízení v teplárně i s udáním jejich důležitých parametrů.

Ve třetí části jsou shrnuty všechny aspekty moderní teplárny z hlediska ekologie a ekonomiky podniku. Na začátku této části jsou popsány emise a emisní limity i se zpřísnujícím dodatkem v roce 2016 a také s dopady, které bude mít na teplárenské a elektrárenské provozy. Dále tento bod obsahuje srovnání produkce emisí v topné sezóně i mimo ni a popis znečištění produkovaného teplárnou za poslední léta zahrnující vyčíslení poplatků. Je zde také popsána produkce emisí CO<sub>2</sub> za určité časové úseky. Dále jsou uvedeny tabulky příjmu, výdajů, investic a celkového hospodaření za rok 2011 dle výroční zprávy. Posledním tématem této části je takzvané finanční směřování společnosti. Zde jsou popisovány plánované investice PT a.s. v budoucích letech a vývoj ceny tepla za poslední roky.

V závěrečné části jsou popisovány tendence ve vývoji technologie jak uvnitř teplárny, tak i mimo ni. Tyto tendence jsou rozebrány z různých pohledů.

Směry vývoje, ke kterým teplárna inklinuje, hodnotím velmi pozitivně. Vidím v nich velká pozitiva do budoucna. S těmito pozitivy jsou ale spojeny nemalé investice.

V současné době je na teplárně, čemu dá přednost, zdali zachování cen tepla nebo dřívejším investicím do inovací. Stavba ZEVO Chotíkov už je schválená a Plzeňský kraj potřebuje do budoucna toto zařízení. Chystá se legislativa, která bude zakazovat v jisté míře skládkování. Vybudování ZEVO Chotíkov se uskuteční jako první z mnoha investic. Potom jistě budou v dalších letech následovat investice do inovací v centrální výtopně, například do odsíření, odlučování či výměny kotlů apod.. V delším časovém horizontu by se měly zbourat práškové kotle a být nahrazeny fluidními kotli.

## 7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] BERANOVSKÝ, J., et al. EkoWATT, [online]. Úspory energie: Kombinovaná výroba elektřiny a tepla 2007. Dostupné z WWW:

<http://www.ekowatt.cz/cz/informace/uspory-energie/kombinovana-vyroba-elektriny-atepla>.

[2] Plzeňská teplárenská a.s., [online]. Informace o společnosti. Dostupné z WWW:

<http://www.pltep.cz/index.php?goto=text&sekce=woSHATMo&lng=cz>.

[3] Plzeňská teplárenská a.s., [online]. Vývoj společnosti. Dostupné z WWW:

<http://www.pltep.cz/index.php?goto=text&sekce=woSHATMo&tid=i56EpUJC&lng=cz>[4]

Král, Výukový materiál o PT a.s. vydaný pro ZČU, 2012, Schéma dodávky tepla.

[5] Klatovská teplárna a.s., [online]. Kdy začíná topná sezóna. Dostupné z WWW:

<http://www.klatep.cz/klatep/fr.asp?tab=klatep&id=9&burl=>.

[6] Plzeňská teplárenská a.s., [online]. Schéma výroby. Dostupné z WWW:

[http://www.pltep.cz/upload/File/schema\\_vyroby.pdf](http://www.pltep.cz/upload/File/schema_vyroby.pdf).

[7] BALÁŽ, M., a kol. TZBinfo, [online]. Zdroje tepla: Kotle – 2. část 2012. Dostupné z WWW:

<http://vytapani.tzb-info.cz/zdroje-tepla/8438-kotle-2-cast>.

[8] Král, Výukový materiál o PT a.s. vydaný pro ZČU, 2012, Schémata roštového kotle.

[9] Král, Výukový materiál o PT a.s. vydaný pro ZČU, 2012, Tabulka parametrů kotlů.

[10] Král, Výukový materiál o PT a.s. vydaný pro ZČU, 2012, Schéma fluidního kotle.

[11] Matuš, T., ČVUT, [online]. Teplárenské zdroje 2012 Dostupné z WWW:

<http://users.fs.cvut.cz/~matustom/ZZT-P6-turbiny.pdf>.

[12] Vybír, P., ČVUT, [online]. Odsiřování 2011 Dostupné z WWW:

<http://users.fs.cvut.cz/~vybirpav/Ochrana%20ovzduši/Odsirovani.pdf>.

[13] Král, Výukový materiál o PT a.s. vydaný pro ZČU, 2012, Schémata odsíření.

[14] Plzeňská teplárenská a.s., [online]. Výroční zpráva 2011, Výsledky hospodaření.

Dostupné z WWW:

[http://www.pltep.cz/upload/File/VZ\\_2011/PT-VZ-2012-vysledky-hospodareni.pdf](http://www.pltep.cz/upload/File/VZ_2011/PT-VZ-2012-vysledky-hospodareni.pdf).

[15] Plzeňská teplárenská a.s., [online]. Porovnání cen tepla pro rok 2013. Dostupné z WWW:

[http://www.pltep.cz/index.php?goto=news&sekce=tisk\\_info&nid=57&lng=cz](http://www.pltep.cz/index.php?goto=news&sekce=tisk_info&nid=57&lng=cz).

[16] iDnes.cz, [online]. Fotka návrhu ZEVO Chotíkov Dostupné z WWW:

[http://plzen.idnes.cz/spalovna-chotikov-03s-/plzen-zpravy.aspx?c=A130122\\_123720\\_plzen-zpravy\\_pp](http://plzen.idnes.cz/spalovna-chotikov-03s-/plzen-zpravy.aspx?c=A130122_123720_plzen-zpravy_pp).

[17] ZEVO Chotíkov, [online]. Co je spalování odpadů. Dostupné z WWW:  
<http://www.spalovnachatikov.info/veda-co-je-spalovani.html>.

## 8 SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

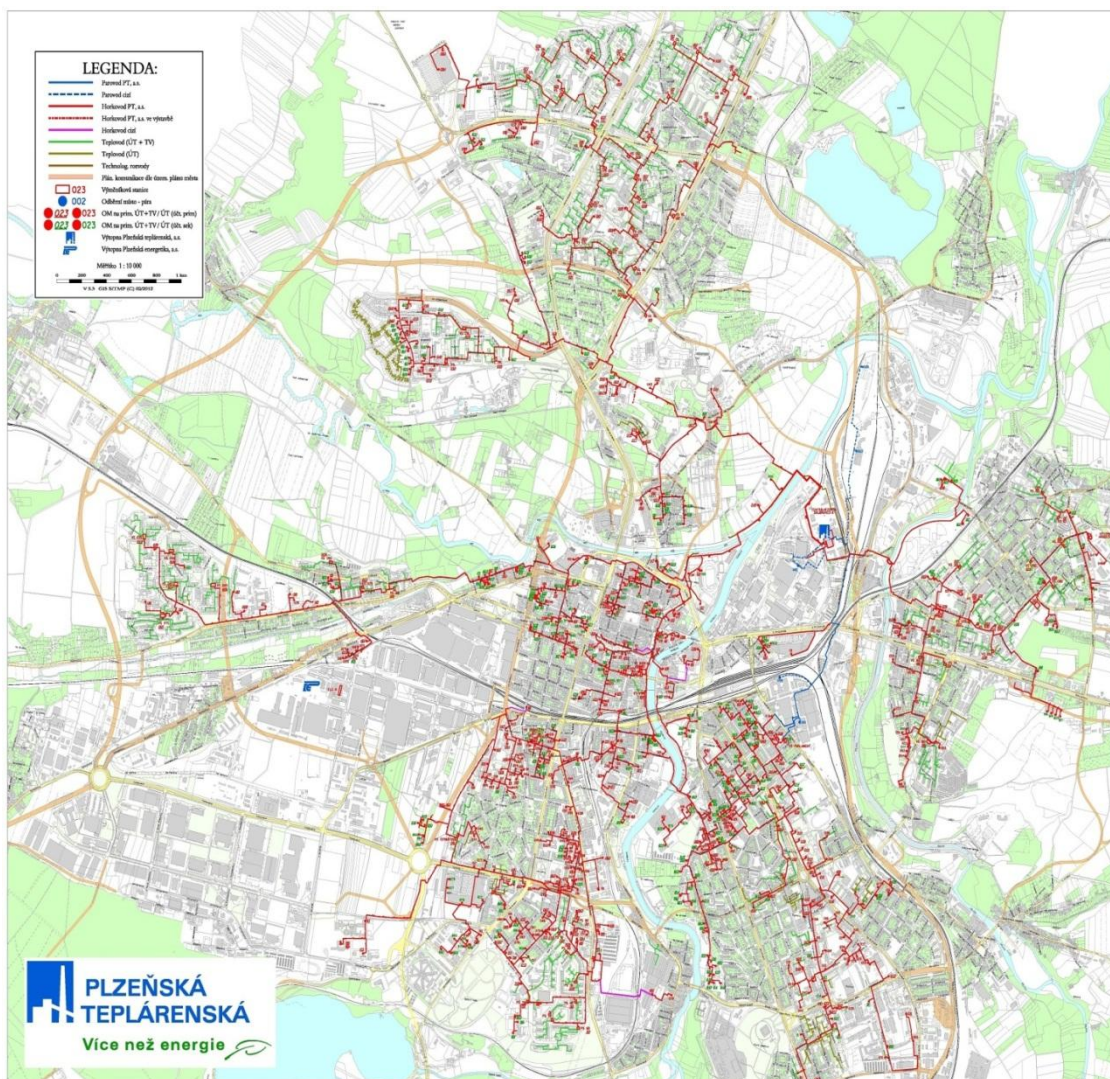
Symbol	Jednotka	Popis
PT a.s.	-	Plzeňská teplárenská a.s.
ZEVO	-	Zařízení pro energetické využití odpadu
ACFB	-	Cirkulující fluidní vrstva u fluidního kotle
AFB	-	Stacionární fluidní vrstva u fluidního kotle
K2 a K3	-	Horkovodní kotle
K4 a K5	-	Granulační kotle
K6 a K7	-	Fluidní kotle
TG1	-	Protitlaková turbína
TG2 a TG3	-	Kondenzační turbíny
CFB	-	Cirkulující fluidní lože
SGA	-	Suchý mechanický multicyklon
KVET	-	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla
ČEPS a.s.	-	Česká přenosová soustava a.s.
$P_t$	$MW_t$	Tepelný výkon (Megawatty tepelné)
$P_e$	$MW_e$	Instalovaný elektrický výkon (Megawatty elektrické)
$P_{ch}$	$MW_{ch}$	Chladicí výkon (Megawatty elektrické)
X	-	Množství škváry
$L_c$	$m^2$	Celková roštová plocha
$L_{ú}$	$m^2$	Účinná plocha roštu
$L_s$	$m^2$	Plocha k zapálení a sušení
$L_d$	$m^2$	Plocha k dohořívání
AFB	-	Stacionární fluidní lože
ACFB	-	Cirkulující fluidní lože
°S	%	Stupeň odsíření
$Q_{pal}$	MJ	Teplo přivedené v palivu
$Q_z$	MJ	Teplo ztracené
$\eta$	%	Účinnost
$Z_{co}$	%	Ztráta hořlavinou ve spalínách - tzv. chemický nedopal
$Z_c$	%	Ztráta hořlavinou v tuhých zbytcích - tzv. mech. nedopal
$Z_{cs}$	%	Ztráta ve škváře
$Z_{cp}$	%	Ztráta v popílku



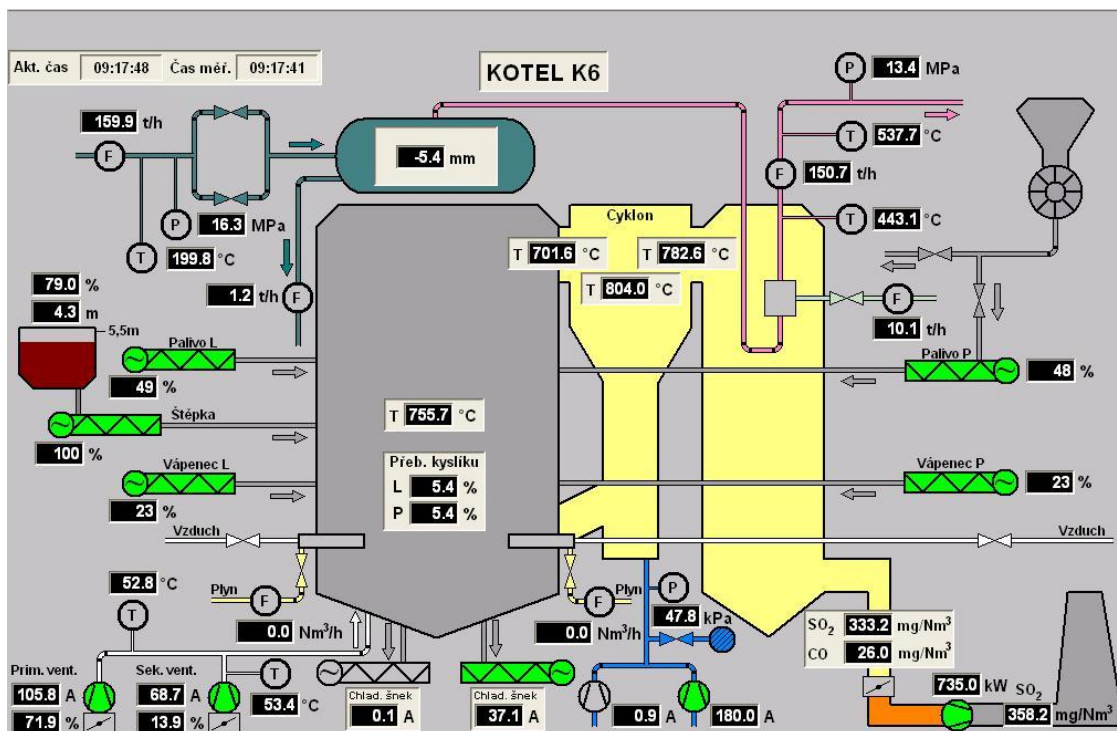
$Z_{ce}$	%	Ztráta v úletu
$Z_{cr}$	%	Ztráta roštovým propadem
$Z_k$	%	Ztráta citelným teplem plyných spalin - komínová
$Z_f$	%	Ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků
$Z_{fs}$	%	Ztráta fyzickým teplem škváry
$Z_{fp}$	%	Ztráta fyzickým teplem popílku
$Z_{fc}$	%	Ztráta fyzickým teplem úletu
$Z_{fr}$	%	Ztráta fyzickým teplem propadu
$Z_{sv}$	%	Ztráta sdílením tepla do okolí (sálání, vedení,...)
$Q_i^r$	kJ/kg	Výhřevnost surového paliva
$W_{co}$	%	Poměrný objem CO ve spalinách
$V_{ss}$	m <sup>3</sup>	Objem suchých spalin vzniklých spálením 1 kg paliva
$\lambda$	-	Přebytek vzduchu
$Q_{vz}$	-	Skutečné množství vzduchu
$Q_{vz\ min}$	-	Množství teoreticky potřebného vzduchu
$W_{CO_2}$	m <sup>3</sup>	Poměrný objem CO <sub>2</sub> ve spalinách
$W_{O_2}$	m <sup>3</sup>	Poměrný objem O <sub>2</sub> ve spalinách
$A^r$	%	Poměrná hmotnost popela ve spáleném palivu
$C_s$	%	Poměrná hmotnost hořlaviny ve škváře
$C_p$	%	Poměrná hmotnost hořlaviny v popílku
$x_s$	kg/kg	Poměr hmotnosti škváry k hmotnosti popelovin celkem
$x_p$	kg/kg	Poměr hmotnosti popílku k celkové hmotnosti popelovin
$c_{pr}$	kJ/m <sup>3</sup> .°C	Střední měrné teplo vlhkých spalin při teplotě $t_k$
$t_k$	°C	Teplota spalin odcházejících z kotle
$t_{vz}$	°C	Teplota vzduchu vstupující do kotle
$V_{sv}$	m <sup>3</sup>	Objem vlhkých spalin vzniklých spálením 1 kg paliva
$c_s$	kJ/kg.°C	Střední měrné teplo škváry při teplotě $t_s$
$c_p$	kJ/kg.°C	Střední měrné teplo popílku při teplotě $t_p$
$t_s$	°C	Teplota škváry
$t_p$	°C	Teplota popílku
$q_n$	kW/m <sup>2</sup>	Měrný tepelný výkon roštu
TZL	mg/m <sup>3</sup>	Tuhé znečišťující látky

## 9 PŘÍLOHY

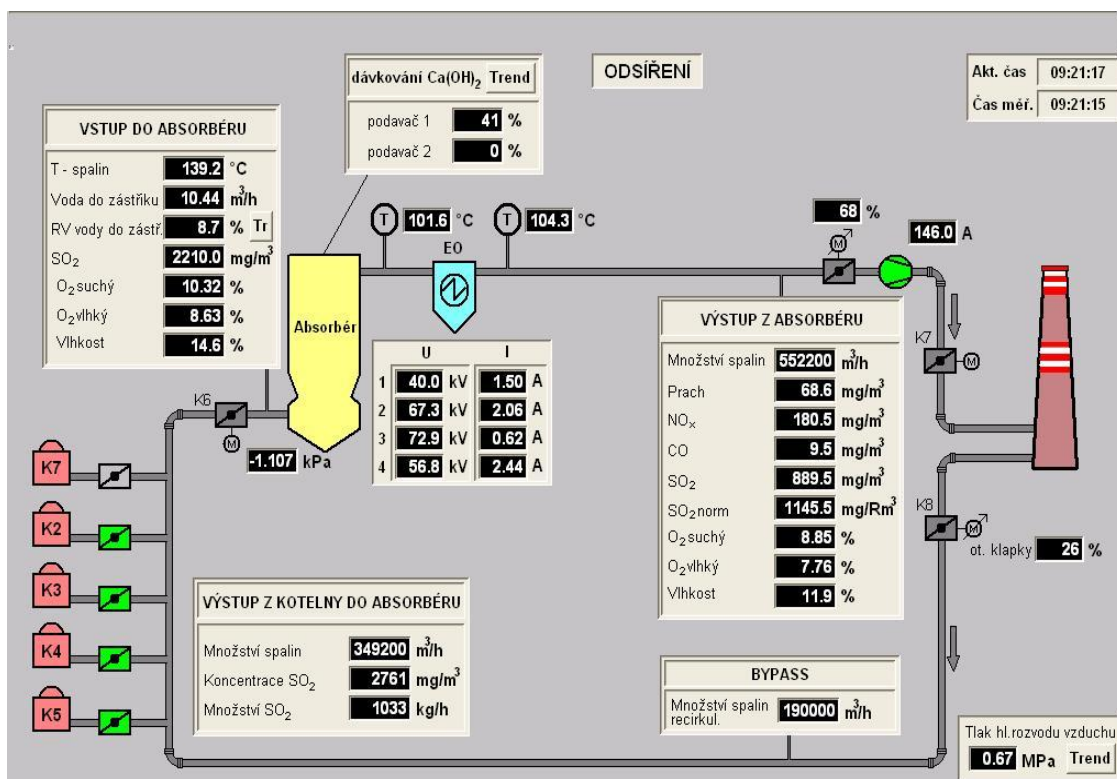
Príloha A - Náskres teplovodní sítě potrubí na území města Plzně [2]



Příloha B – Fluidní kotel K6 – sledované parametry z teplárenského dispečinku



Příloha C – Odsíření – sledované parametry z teplárenského dispečinku



## Příloha D – Srovnání cen tepla od dodavatelů za roky 2012 a 2013 [15]

	2013	2012	Dodavatel	Výrobce tepla
Pardubice, Chrudim	405,5	376	Elektrárny Opatovice	Elektrárny Opatovice
Hradec Králové	430,4	405,6	Tep. Hosp. Hradec Králové	Elektrárny Opatovice
<b>Plzeň</b>	<b>490,4</b>	<b>422,7</b>	<b>Plzeňská teplárenská</b>	<b>Plzeňská teplárenská</b>
Ostrava	535,1	513,5	Dalkia Česká republika	Dalkia Česká republika
Ústí nad Labem	538,2	508,7	Tep. hosp. Ústí nad Labem	ENERGY Ústí nad Labem
Chomutov	547,5	493,4	ČEZ Teplárenská	ČEZ
Písek	550,2	521,9	Teplárna Písek	Teplárna Písek
Havířov	556,6	523	Havířovská tepl. společnost	Dalkia Česká republika
Přerov	565,1	553,6	Tepl. Přerov	Dalkia Česká republika
České Budějovice	569,1	542,5	Teplárna České Budějovice	Teplárna České Budějovice
Praha	570,5	534,1	Pražská teplárenská	Pražská teplárenská
Teplíce	573,4	531,3	ČEZ Teplárenská	ČEZ
Otrokovice	574,7	568,7	Tehos	Teplárna Otrokovice
Most	579	532,8	První mostecká/Severočeská teplárenská	United Energy
Litvínov	579	542,5	První mostecká/Severočeská teplárenská	United Energy
Příbram	581,8	549,3	Příbramská teplárenská	Příbramská teplárenská
Zlín	585	581	Tepl. Zlín	Alpiq Zlín
Olomouc	591,2	594,2	Oltherm	Dalkia Česká republika
Prostějov	604,2	583,1	Dom. správa Prostějov	Dom. správa Prostějov
Karlovy Vary	617,6	570	Karlovarská teplárenská	Sokolovská uhelná
Strakonice	618,4	583,8	Teplárna Strakonice	Teplárna Strakonice
Jilové	619,9	631	TERMO Děčín	TERMO Děčín
Frydek-Místek	647,6	629,3	Distep	Dalkia
Břeclav	647,8	650,9	Tepl. Břeclav	Tepl. Břeclav
Tábor	648,2	636,2	Teplárna Tábor	Teplárna Tábor
Opava	655,1	642,5	Opatherm	Opatherm
Vsetín	661,3	606,5	Zásobování teplem Vsetín	Zásobování teplem Vsetín
Brno	667,9	662,1	Teplárny Brno	Teplárny Brno
Děčín	698,5	692,7	TERMO Děčín	TERMO Děčín
Liberec	705,8	752,4	Teplárna Liberec	Teplárna Liberec
Jablonec nad Nisou	806,5	799,5	Jabl. Tepl. a realitní	Jabl. Tepl. a realitní