

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektroenergetiky a ekologie**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Návrh nového zdroje v lokalitě TDK**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2015/2016

**ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub ŠTAMPACH**  
Osobní číslo: **E14N0126P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektroenergetika**  
Název tématu: **Návrh nového zdroje v lokalitě TDK**  
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište výrobu tepla a elektřiny v Teplárně Dvůr Králové (TDK).
2. Analyzujte možnosti k dosažení cíle.
3. Vypracujte technický návrh řešení.
4. Vypočítejte mezní hodnoty provozních parametrů.
5. Stanovte měsíční bilanci teplárny ( $q_{el}$ ,  $Spal_{ev}$ ,  $Spal_{ed}$ ,  $Q_{dod}$ ,  $G_{pal}$ ).

## **Abstrakt**

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na návrh nového zdroje v lokalitě Teplárna Dvůr Králové. V úvodu práce je proveden rozbor stávajícího stavu teplárny. Dále následují možnosti nového provozu teplárny. V poslední části jsou spočteny měsíční bilance konkrétních návrhů a provedeno jejich zhodnocení.

## **Klíčová slova**

Teplárna, Dvůr Králové nad Labem, zdroj, provoz, dodávka tepla, elektřina, návrh, nový zdroj, bilance,

## **Abstrakt**

Diploma thesis is focused on design a new source in Dvůr Králové heating plant. In first part is an analysis of the current status. In next part are possibilities for a new source. Then follow monthly balance. In last part is comparison and conclusin.

## **Keywords**

Heating plant, Dvůr Králové nad Labem, source, working, heat supply, electricity, design, new source, balance

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 13.5.2016

Jakub Štampach

## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Zbyňkovi Martínkovi, CSc. za všechny rady a zkušenosti, která mně během psaní práce poskytl. Dále bych rád poděkoval svému konzultantovi Ing. Jiřímu Benešovi, Ph.D. za poskytnuté materiály a důležité poznatky z praxe. V neposlední řadě děkuji rodině a přítelkyni za podporu během celého mého studia.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>7</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>8</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>1 TEPLÁRNA DVŮR KRÁLOVÉ NAD LABEM</b> .....	<b>11</b>
1.1 HISTORIE .....	12
1.2 ZÁKLADNÍ POPIS TDK .....	14
1.2.1 Kotelna.....	14
1.2.2 Strojovna.....	15
1.2.3 Náhradní schéma .....	16
1.2.4 Ekologie teplárny.....	16
1.2.5 Vyvedení výkonů.....	17
1.3 MOŽNOSTI PROVOZU .....	17
1.3.1 Kondenzační provoz.....	18
1.3.2 Protitlaký provoz.....	20
1.4 ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO PROVOZU .....	22
<b>2 NÁVRH NOVÉHO ZDROJE</b> .....	<b>23</b>
2.1 KOMBINOVANÁ VÝROBA ELEKTŘINY A TEPLA .....	25
2.1.1 Společná část .....	25
2.1.2 Výpočet velikosti kotle.....	27
2.1.3 Turbosoustrojí.....	30
2.1.4 Parní kotel spalující jako hlavní palivo hnědé uhlí.....	30
2.1.5 Parní kotel spalující jako hlavní palivo černé uhlí .....	32
2.1.6 Parní kotel spalující jako hlavní palivo biomasu ve formě štěpky .....	33
2.2 ODHAD INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ A JEJICH VKLÁDÁNÍ V LETECH .....	34
2.3 MĚSÍČNÍ BILANCE .....	36
2.3.1 Spotřeby paliva .....	39
2.4 TEPLÁRENSKÝ PROVOZ.....	40
2.4.1 Plynové kotle.....	40
<b>3 POROVNÁNÍ VARIANT</b> .....	<b>42</b>
3.1 TCO .....	42
<b>4 ZÁVĚR</b> .....	<b>44</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>46</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ:</b> .....	<b>1</b>
<b>SEZNAM GRAFŮ:</b> .....	<b>1</b>
<b>SEZNAM TABULEK:</b> .....	<b>1</b>
<b>PŘÍLOHY:</b> .....	<b>2</b>

## Seznam symbolů a zkratek

TDK .....	Teplárna Dvůr Králové
TUV .....	Teplá užitková voda
CZT .....	Centralizované zásobování teplem
K1.....	Roštový kotel 1
K2.....	Roštový kotel 2
K3.....	Granulační kotel 3
K11.....	Špičkový kotel 11
K12.....	Špičkový kotel 12
K13.....	Špičkový kotel 13
K14 .....	Špičkový kotel 14
TG1 .....	Protitlakové turbosoustrojí 1
TG2 .....	Kondenzační turbosoustrojí 2
TG3 .....	Kondenzační turbosoustrojí 3
M.....	Množství páry (t/h)
t .....	Teplota (°C)
p .....	Tlak (Pa)
$i_a$ .....	Entalpie admisní páry (kJ/kg)
$i_e$ .....	Entalpie emisní páry (kJ/kg)
$i_k$ .....	Entalpie kondenzátu (kJ/kg)
$i_{nv}$ .....	Entalpie napájecí vody (kJ/kg)
$S_{PAL\_ED}$ .....	Měrná spotřeba tepla v uhlí na výrobu elektrické energie (GJ/MWh)
$S_{PAL\_EV}$ .....	Měrná spotřeba tepla v uhlí na dodávku elektrické energie (GJ/MWh)
$q_{EL}$ .....	Měrná spotřeba tepla v páře na výrobu elektrické energie (GJ/MWh)
$\eta_{KOT}$ .....	Účinnost kotle
$SO_2$ .....	Oxid siřičitý ( $mg/m^3$ )
$NO_x$ .....	Oxidy dusíku ( $mg/m^3$ )
TZL .....	Tuhé znečišťující látky ( $mg/m^3$ )
CO.....	Oxid uhlíku ( $mg/m^3$ )
$Q_i^r$ .....	Výhřevnost (MJ/kg)
$W_t^r$ .....	Obsah vody v původním stavu (%hmot)
$A^r$ .....	Obsah popela v původním stavu (%hmot)



---

$A^d$ .....	Obsah popela v sušině (%hmot)
$S^d$ .....	Obsah síry v sušině (%hmot)
$V^{daf}$ .....	Obsah prchavé hořlaviny (%hmot)
$N^d$ .....	Obsah dusíku v sušině (%hmot)
$Cl^d$ .....	Obsah chlóru v sušině (%hmot)
ASŘTP .....	Automatický/automatizovaný systém řízení technologických procesů
TCO .....	Total Cost of Ownership
$VS_t$ .....	Vlastní spotřeba tepla na výrobu tepla

## Úvod

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na hledání nového energetického zdroje v Teplárně Dvůr Králové nad Labem. Prací se zabývám proto, že stávající provoz v Teplárně Dvůr Králové nad Labem začíná být vlivem stále se snižujících cen elektrické energie pro provozovatele nevýhodný a je proto nutné nalézt nový zdroj, aby byl provoz TDK opět ekonomicky výhodný. Dalším velkým problémem Teplárny Dvůr Králové je velké předimenzování celého provozu, neboť ve městě došlo k výraznému poklesu průmyslu, na který teplárna v minulých letech spoléhala.

Text je strukturován do 5 částí. V první části se zaměřím na historii a popis současného stavu teplárny. Provedu výpočty současných možností provozu a to kondenzačního a protitlakého.

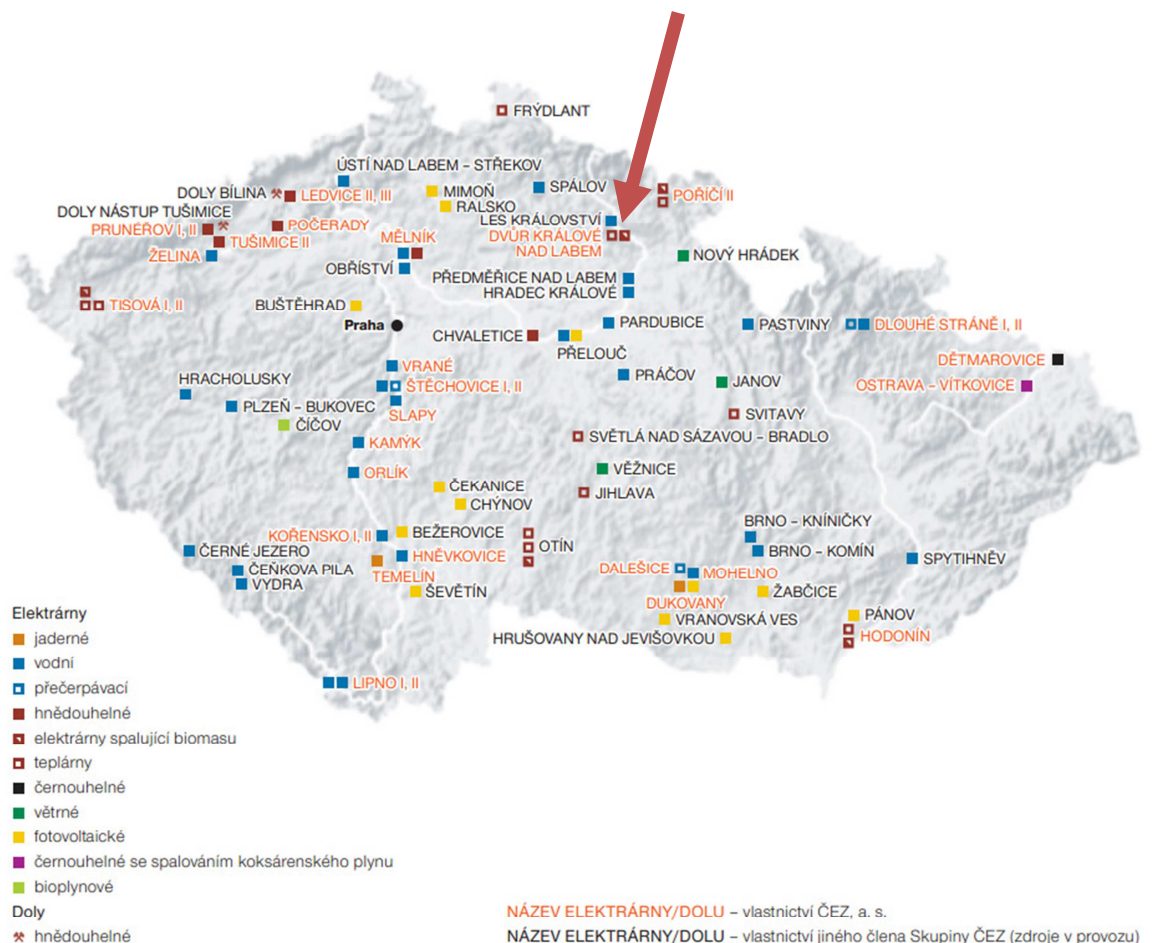
Druhá část diplomové práce se týká stěžejní části, a to návrhem nového zdroje v Teplárně Dvůr Králové. Návrh nového zdroje vychází ze spotřeby tepla, jejíž hodnoty mi byly teplárnou poskytnuty. Dále jsou v této části analyzovány možnosti nového provozu a rozdělení návrhů na dvě základní části, a to na kombinovanou výrobu elektrické a tepelné energie a na pouze teplárenský provoz. V případě kombinované výroby elektřiny a tepla jsem zvolil tři varianty, variantu 1, kde je jako palivo použito hnědé uhlí, variantu 2 s kotlí na biomasu a variantu 3 s biomasovými kotli. U všech těchto variant byl použit ještě špičkový horkovodní kotel na zemní plyn. U čistě teplárenského provozu jsem zvolil pouze jednu variantu s dvěma plynovými kotly. Z měsíčních spotřeb tepla jsem spočetl vhodnou velikost kotle tak, aby nebyl předimenzovaný a zároveň pokryl potřebné dodávky tepla. Druhá část dále obsahuje měsíční bilance nových zdrojů a spotřeby paliva jednotlivých variant.

Ve třetí části je provedeno ekonomické zhodnocení pomocí metody TCO (Total Cost of Ownership), jedná se o metodu, která zahrnuje všechny náklady, jež musí provozovatel vynaložit. Tato metoda je velmi jednoduchá, ale na porovnání jednotlivých variant naprosto dostačující a v praxi využívaná.

Čtvrtá a poslední část mé diplomové práce je závěr, kde je provedeno závěrečné zhodnocení a porovnání všech výše uvedených variant nového provozu TDK.

# 1 Teplárna Dvůr Králové nad Labem

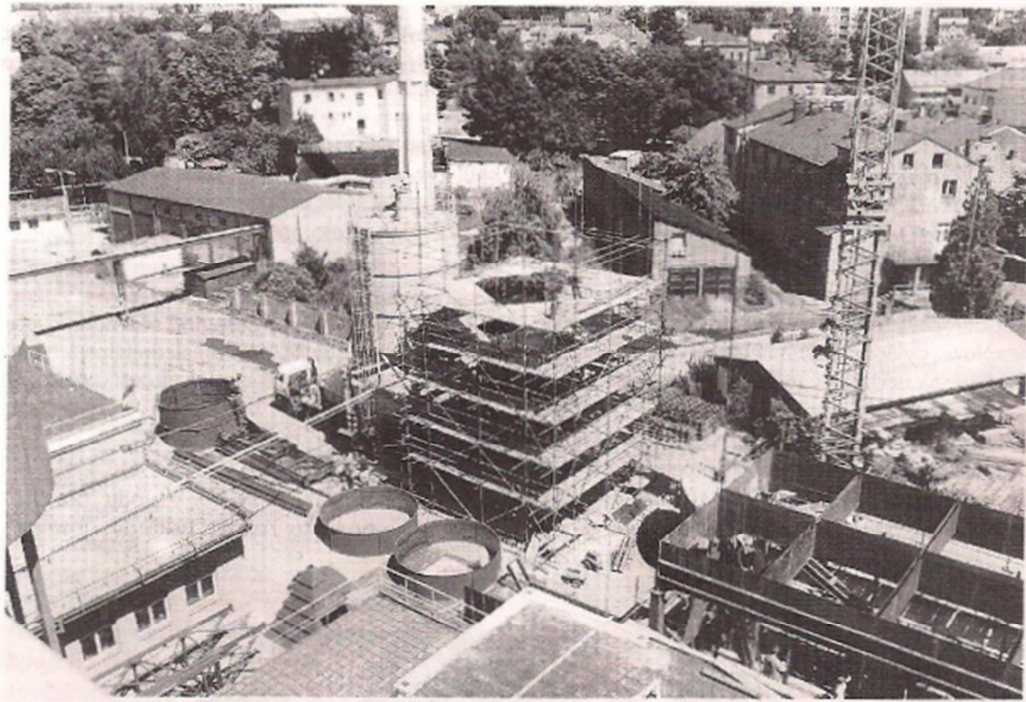
Město Dvůr Králové nad Labem se nachází v severních Čechách, v Královohradeckém kraji. Na rozloze 35,82 km<sup>2</sup> zde žije přibližně 16 000 obyvatel. Teplárna zásobuje teplem a elektrickou energií město Dvůr Králové a přilehlé průmyslové závody. Teplárna tvoří společně s Elektrárnou Poříčí II organizační jednotku Elektrárna Poříčí, jejímž provozovatelem je Skupina ČEZ a.s. Provoz teplárny začíná být poslední dobou vlivem upadajícího průmyslu ve městě a stále se snižující cenou elektrické energie nevýhodný, proto je na čase provést analýzu aktuálního stavu teplárny a nalézt ekonomicky nejvhodnější řešení provozu. [1]



Obrázek 1: Výrobní portfolio skupiny ČEZ [2]

## 1.1 Historie

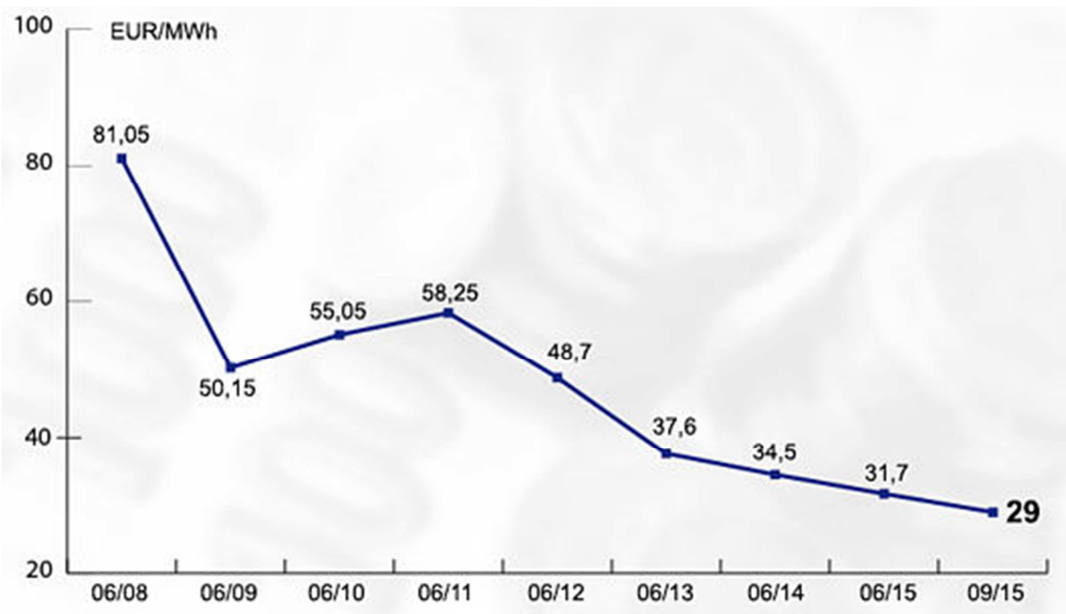
Teplárna ve Dvoře Králové byla vybudována počátkem padesátých let jako centrální zdroj tepla (CZT) pro Dvůr Králové nad Labem a nahradila tak nevyhovující lokální výtopny, kterých v té době bylo ve městě více než 20 a jejich provoz byl hlavně z ekologického pohledu pro město nevyhovující. Výstavba teplárny začala v roce 1950, projekt měl původně obsahovat dva roštové kotle K1 a K2 s výkonem 36 tun páry za hodinu a protitlakou turbínu s generátorem o výkonu 6,3 MW. Stavba byla dokončena o 5 let později, tedy roku 1955, toho roku rovněž došlo k odstavení stávajících lokálních výtopen ve městě. Ve městě se v té době velmi rozmáhal průmysl v čele s textilní společností JUTA a.s.. To vedlo k rozhodnutí, že v teplárně bude vystavěn další kotel o výkonu 76 t/h. Kotel měl pracovat na principu horizontálního cyklonu a to i přesto, že tato technologie nebyla v té době ještě plně vyvinutá. Kotel byl spuštěn v roce 1963, ale od počátků jeho provoz provázely poruchy, a proto byl po pár letech odstaven a bylo rozhodnuto, že bude vybudován nový granulační kotel o totožném výkonu 76 t/h. Nový kotel nesl označení K3 a teplárna byla díky němu schopna pokrýt veškerou výrobu v Dvoře Králové a jeho okolí. Kotel K3 byl spojen s novým turbosoustrojím TG2, které dosahovalo výkonu 12MW. Do roku 1982 pak zůstala teplárna beze změn na primárních zařízeních.



**Obrázek 2:** Výstavba kotle K3 [3]

Roku 1985 byly vybudovány tři špičkové kotle K11-K13 o celkovém výkonu 8 t/h, kotle pro svůj provoz používaly mazut, a proto bylo nutné vybudovat společně s nimi i olejové hospodářství. Ve stejném roce také započala výstavba elektrostatického odlučovače pro kotel K3, tím teplárna o několik let předběhla svoji dobu, protože s masivním filtrováním spalin a odsiřováním se začalo až v 90. letech 20. století, v době bylo vystavěno filtrovací zařízení i pro stávající kotle K1 a K2.

Od 90. let začal však průmysl, který tvořil zhruba 85% odběru páry, z města ustupovat, s ústupem průmyslu muselo zákonitě přijít i změna v TDK. Jednou ze změn bylo odstavení granulačního kotle K3 a převedení turbosoustrojí TG2 ke kotlům K1 a K2. Mezi další změny patřily modernizace zastaralých parních sítí pro vytápění obytných oblastí na horkovodní a rekonstrukce starých roštových kotlů, které byly rozšířeny o možnost spalování biomasy. V roce 2009 byla provedena další velká rekonstrukce, tentokrát turbosoustrojí. Turbosoustrojí TG2 bylo dimenzováno na příliš velký výkon a po odstavení kotle K3, tak zůstalo výrazně předdimenzované a proto bylo nahrazeno novým a menším kondenzačním turbosoustrojím TG3, které výkonově odpovídalo instalovaným kotlům K1 a K2 a mělo tak zvýšit zisk z výroby elektrické energie při ideálním využitím kotlů. Záměr celého projektu byl bohužel zmařen, protože v roce 2007, kdy se rekonstrukce začala plánovat byla cena silové elektřiny okolo 80 €/MWh a návrh počítal s tím, že cena zůstane stejná. To se bohužel nestalo a s cenou pod 30 €/MWh, viz *Graf 1*, přestal být kondenzační provoz teplárny výhodný.[3]



Graf 1: Vývoj cen silové elektrické energie [7]

## 1.2 Základní popis TDK

### 1.2.1 Kotelna

V TDK se aktuálně nachází celkem šest kotlů, dva roštové kotle K1 a K2 a čtyři špičkové kotle K11-K14. Posledně jmenovaný kotel K14 byl uveden do provozu v roce 2015. Základní parametry instalovaných kotlů shrnuje *tabulka 1*.

KOTELNA			
Kotel	Výkon (MW <sub>t</sub> )	Palivo	Uvedení do provozu
K1	21,5	hnědé uhlí	1955
K2	21,5	hnědé uhlí	1955
K11	5,2	mazut	1982
K12	5,2	mazut	1982
K13	4,7	zemní plyn	1982
K14	2,2	zemní plyn	2015

*Tabulka 1: Kotelna TDK[5]*

Roštové kotle jsou starší zařízení, které se v dnešní době budují už jen pro spalování biomasy, i když v provozu je stále velké množství těchto zařízení, dnes již spíše dožívají. Palivo se na rošt dostává ze zásobníku, pevný zbytek (škvára) odchází přes škvárový jízek do výsypky. Roštové kotle se vyznačují velkým množstvím škváry, a to 60-70% všech tuhých odpadů po spalování. [4]

Palivo v roštovém kotli prochází těmito fázemi:

- Sušení – palivo se ohřívá na cca 120°C (z paliva se vypuzuje voda)
- Odplyňování – při ohřátí nad 250°C se uvolňují prchavé hořlaviny
- Hoření prchavé hořlaviny a zápal vrstvy tuhé hořlaviny
- Dohořívání tuhé fáze

## 1.2.2 Strojovna

V protitlakém turbosoustrojí nedochází k odběrům páry před expanzí a veškerá energie páry je využita pro výrobu tepelné i elektrické energie. Díky tomu je teplota emisní páry vyšší a lze ji využít pro vytápění a ohřev TUV. Celková účinnost přeměny energie je díky tomu vyšší než u kondenzačního turbosoustrojí, vyšší účinnost je bohužel vykoupena nemožností řízení poměrů vyrobených energií, neboť poměr je pevně nastaven parametry turbosoustrojí, není tedy možné provozovat zařízení za účelem výroby pouze tepelné nebo elektrické energie.

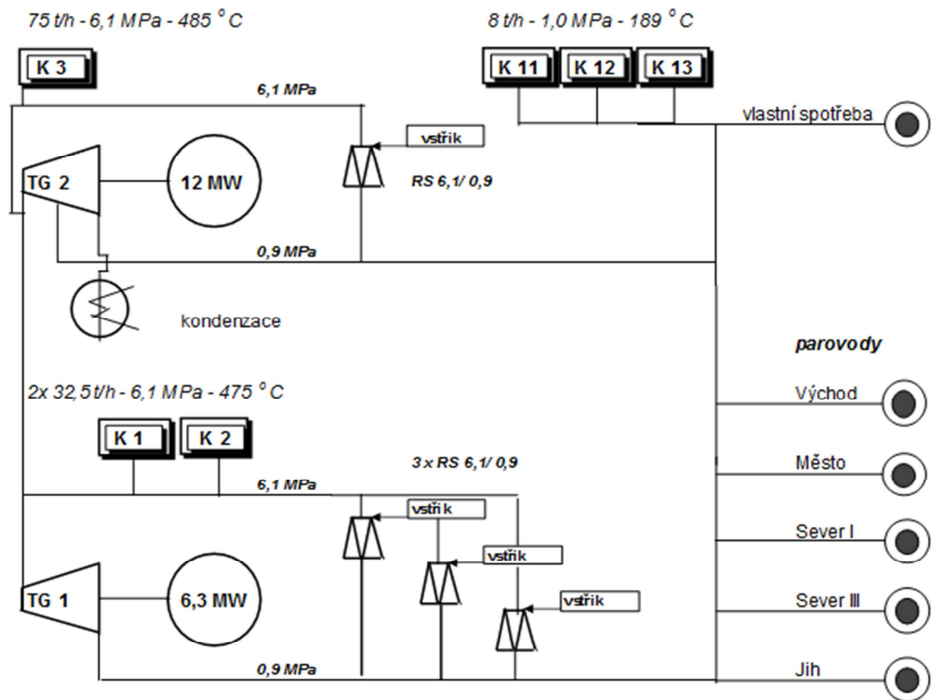
Čistě kondenzační turbosoustrojí jsou dnes používána převážně v elektrárnách primárně pro výrobu elektrické energie, z důvodu malé teploty emisní páry, kterou již nelze použít pro vytápění. Pro teplárenské účely je však možné doplnit kondenzační turbosoustrojí o tzv. regulační odběry, díky nimž je možné odebírat páru o požadovaných parametrech v různých částech expanze. Velkou výhodou těchto odběrů je možnost regulace a v době, kdy není poptávka po tepelné energii, je možné odběry uzavřít úplně a přejít na čistě kondenzační provoz. Dobrá regulace je bohužel vykompenzována menším poměrem výroby elektrické a tepelné energie.

Turbosoustrojí TG1 a TG3 pracují v tzv. tandemovém uspořádání, výhodou tohoto uspořádání je možnost provozu zařízení v plně kondenzačním provozu (bez odběru páry), tak i v čistě protitlakovém. Tandemové uspořádání je často instalované v zařízeních s proměnlivým odběrem páry. [5]

Strojovna						
Turbosoustrojí	Druh turbíny	Výkon (MW)	Hltnost (t/h)	Teplota admisní páry (°C)	Tlak admisní páry (MPa)	Uvedení do provozu
TG1	protitlaká	6,3	70	450	5,8	1955
TG3	kondenzační	3,6	25	240 - 280	0,7	2010

Tabulka 2: Strojovna TDK [5]

### 1.2.3 Náhradní schéma



Obrázek 3: Náhradní schéma TDK [6]

### 1.2.4 Ekologie teplárny

V teplárně není instalované odsíření spalin, ale i přesto jsou dodrženy limity emisí pro SO<sub>2</sub>, Nox, CO a tuhé znečišťující látky. Od 1. 1. 2005 je v kotlech K1, K2 a K3 nainstalované sledovací zařízení pro monitorování koncentrace znečišťujících látek, které hlídá, aby byly dodrženy limity.

Od rekonstrukce v roce 1996 je kotel K3 vybaven tkaninovým filtrem s účinností 97,5 %, kotle K1 a K2 jsou vybaveny společným elektroodlučovačem s účinností 99,9 %. Všechny kotle byly také dovybaveny plynovými hořáky pro zlepšení emisí, ale vzhledem ke spalování uhlí s nižším obsahem síry (kotle K1 a K2 – 1,2 % S, kotel K3 – 0,6 % S) není nutné plynové hořáky provozovat, protože emisní limity nejsou překročeny.

Pevné zbytky po spalování hnědého uhlí jsou buď odplaveny na odkladiště, nebo jsou používány pro výrobu stabilizátu v Elektrárně Poříčí. Další možnost využití je úprava zbytků na certifikovaný stavební materiál, který se používá pro rekultivaci a tvarování krajiny po těžbě uhlí a podobně. [6]



### 1.2.5 Vyvedení výkonů

#### Elektrický výkon

Výkon z generátorů TDK je vyvedený do městské rozvodny 6 kV ve Dvoře Králové. Rozvodna je vybavena systémem dvojitých přípojníc a při výstavbě turbosoustrojí TG3 byla částečně zrekonstruována tak, aby v místě připojení TG3 byla požadovaná hodnota zkratového výkonu 300 MVA. Výkon je dále vyveden do rozvodny 35 KV, která slouží k plošnému napájení v oblasti. Rozvodna je také vybavena systémem dvojitých přípojníc a její zkratový výkon je 400MVA.

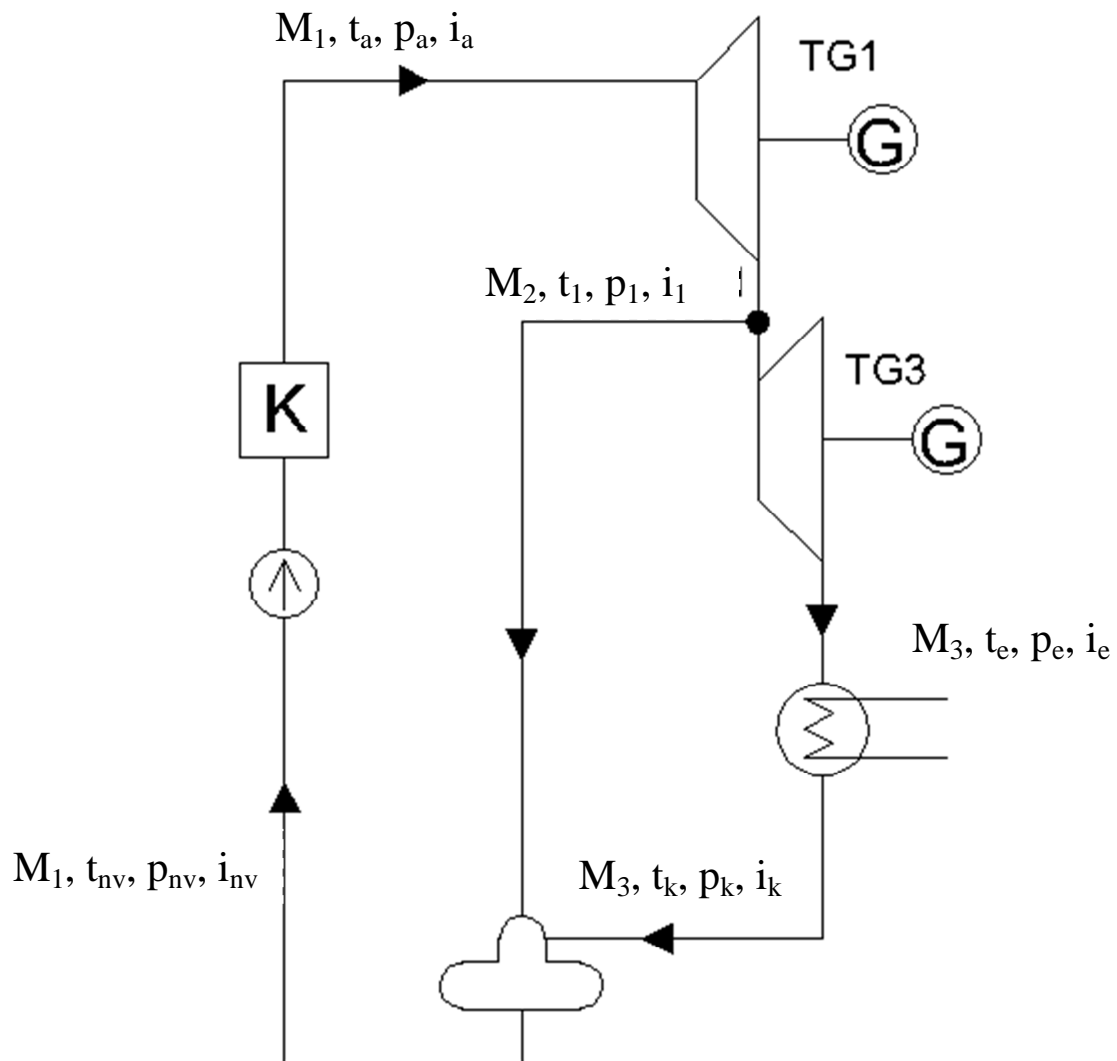
#### Tepelný výkon

Celkový instalovaný tepelný výkon je 124 MW<sub>t</sub>, parní síť je dlouhá 18,4 km a ročně dodá celkem zhruba 220 000 GJ tepelné energie do 106 předávacích stanic. Největší odběr tvoří průmysl cca 54-58 % a to hlavně díky závodům JUTA, a.s. a LA Linea s.r.o, které dohromady odebírají cca 30 % z celkového průmyslového odběru tepla, dále vytápění nemovitostí 25-30 % a 16 % ostatní vytápění. Teplárna celkem vytápí cca 1710 bytů, to odpovídá zhruba 33 % obyvatel města. [6]

### 1.3 Možnosti provozu

Jak již bylo řečeno, teplárnu je možné provozovat dvěma způsoby. První způsob, kondenzační využívá jmenovitého výkonu obou kotlů K1 a K2 a vyrábí elektrickou energii na soustrojích TG1 a TG3 i při nízkých odběrech. Druhý, protitlaký provoz využívá jmenovitý výkon pouze jednoho kotle a turbosoustrojí TG1.

### 1.3.1 Kondenzační provoz



Obrázek 4: Kondenzační provoz TDK

$$\begin{aligned}
 t_a &= 450 \text{ }^\circ\text{C} \\
 p_a &= 6 \text{ MPa} \\
 i_a &= 3302,76 \text{ kJ/kg} \\
 t_1 &= 250 \text{ }^\circ\text{C} \\
 p_1 &= 1 \text{ MPa} \\
 i_1 &= 2943,2 \text{ kJ/kg} \\
 t_e &= 40 \text{ }^\circ\text{C} \\
 p_e &= 0,007 \text{ MPa} \\
 i_e &= 2573,68 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_k &= 39 \text{ }^\circ\text{C} \\
 p_a &= 0,007 \text{ MPa} \\
 i_k &= 163,36 \text{ kJ/kg} \\
 t_{nv} &= 80 \text{ }^\circ\text{C} \\
 p_{nv} &= 0,7 \text{ MPa} \\
 i_{nv} &= 335,47 \text{ kJ/kg} \\
 M_1 &= M = 46 \text{ t/h}
 \end{aligned}$$

Cena elektrické energie = 29 €/MWh  
 Kurz € = 27,035 Kč/€  
 Cena uhlí = 100 Kč/GJ  
 Povolenky CO<sub>2</sub> = 8,6 €/t  
 Měrné emise = 0,1 t/GJ  
 Ostatní náklady = 15 Kč/GJ

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

$$M_1 = M_2 + M_3$$


---

$$M_1 \times i_{nv} = M_2 \times i_1 + M_3 \times i_k$$

$$M_2 = M_1 - M_3$$


---

$$M_1 \times (i_{nv} - i_1) = M_3 \times (i_k - i_1)$$

$$46 \times (335,6 - 2943,2) = M_3 \times (163,36 - 2943,2)$$

$$M_3 = 43,15 \text{ t/h}$$

$$M_2 = M_1 - M_3 = 46 - 43,217 = 2,85 \text{ t/h}$$

$$Q_{\text{výstup}} = M_1 \times i_a = 46 \times 3302,76 = 151,927 \text{ GJ}$$

$$Q_2 = M_2 \times i_1 = 2,85 \times 2943,2 = 8,388 \text{ GJ}$$

$$Q_3 = M_3 \times i_1 = 43,217 \times 2943,2 = 126,999 \text{ GJ}$$

$$Q_{\text{vstup}} = M_1 \times i_{nv} = 46 \times 335,47 = 15,43 \text{ GJ}$$

$$Q_{\text{kot}} = Q_{\text{výstup}} - Q_{\text{vstup}} = 151,927 - 15,43 = 136,497 \text{ GJ}$$

$$P_{TG1} = M_1 \times (i_a - i_1) \times \eta_G \times \frac{1}{3,6} = 46 \times (3302,76 - 2943,2) \times 0,96 \times \frac{1}{3,6} = 4,41 \text{ MW}$$

$$P_{TG3} = M_3 \times (i_1 - i_e) \times \eta_G \times \frac{1}{3,6} = 43,15 \times (2943,2 - 2573,68) \times 0,96 \times \frac{1}{3,6} \\ = 4,252 \text{ MW}$$

$$q_{el} = \frac{Q_{kot}}{P_{TG1} + P_{TG3}} = \frac{136,497}{4,41 + 4,252} = 15,7 \text{ GJ/MWh}$$

$$S_{PalEv} = \frac{q_{el}}{\eta_{kot}} = \frac{15,7}{0,85} = 18,539 \text{ GJ/MWh}$$

$$S_{PalEd} = S_{PalEv} \times k_e = 18,539 \times 1,12 = 20,76 \text{ GJ/MWh}$$

$$\text{Náklady na palivo} = S_{PalEd} \times \text{Cena uhlí} = 20,76 \times 100 = 2076 \text{ Kč/MWh}$$

$$\text{Náklady ostatní} = S_{PalEd} \times \text{Ostatní náklady} = 20,76 \times 15 = 311,4 \text{ Kč/MWh}$$

$$\text{Náklady na povolenky} = \text{Povolenky CO}_2 \times \text{Měrné emise} \times S_{PalEd} \times \text{Kurz €} \\ = 8,6 \times 0,1 \times 20,76 \times 27,035 = 482,672 \text{ Kč/MWh}$$

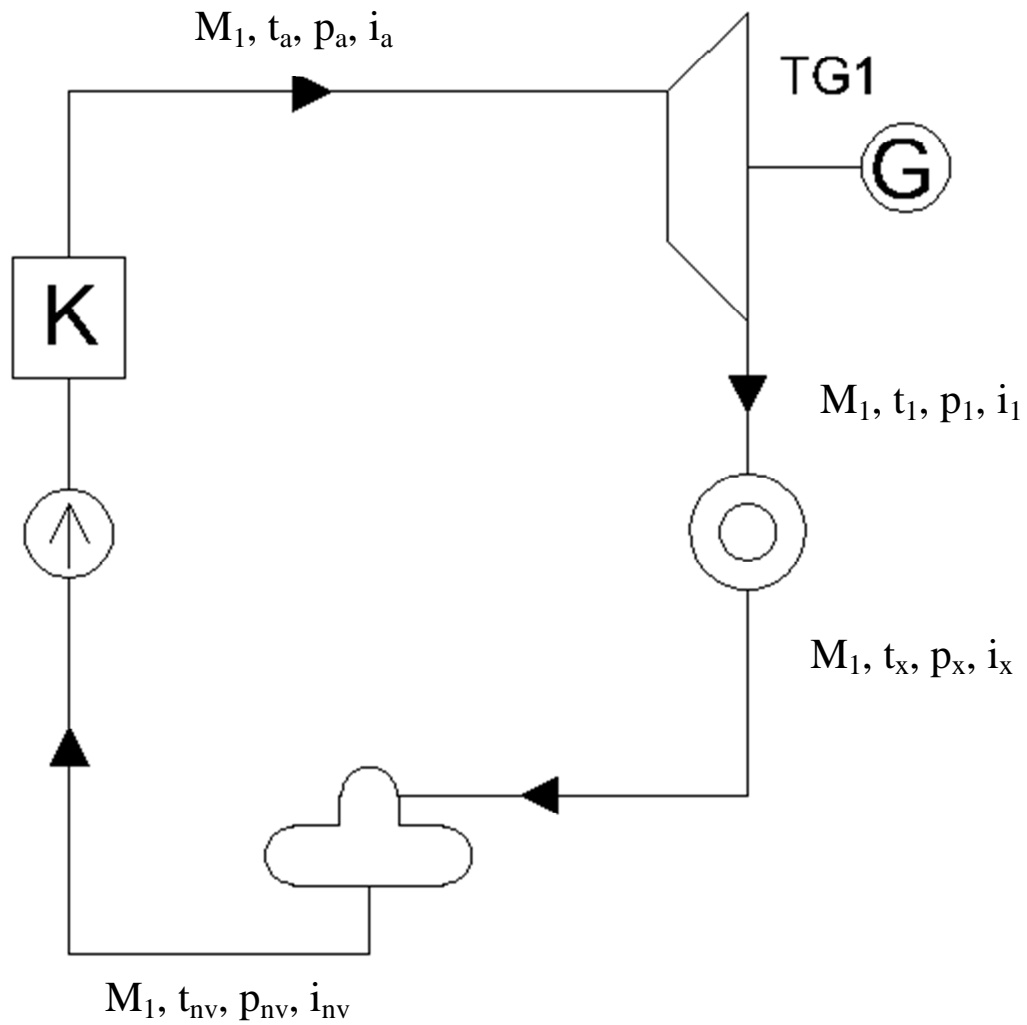
$$\text{Tržby za el. energii} = \text{Cena elektrické energie} \times \text{Kurz €} = 29 \times 27,035 \\ = 784,02 \text{ Kč/MWh}$$

$$\text{Balance} = \text{Tržby za el. energii} - \sum \text{Náklady} = 784,02 - (2076 + 311,4 + 482,672) \\ = -2086,052 \text{ Kč/MWh}$$

Z výpočtu vyplývá, že kondenzační provoz je značně ztrátový a na každé vyrobené MWh prodělává teplárna 2086,052 Kč. Kogenerační provoz byl smysluplný před několika lety, při výstavbě turbosoustrojí TG2, kdy byla ještě výkupní cena silové energie okolo 80 €/MWh.

### 1.3.2 Protitlaký provoz

U protitlakého provozu se počítá s nulovými ztrátami tepelné energie v kondenzátoru, protože k výrobě elektrické energie se využívá pouze soustrojí TG3. Všechna emisní pára je vedena rovnou do tepelného výměníku, kde předá svoji energii do tepelné sítě, a nedochází tak k jejímu maření jako u klasických kondenzátorů.



Obrázek 5: Protitlaký provoz TDK

$t_a = 450 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $p_a = 6 \text{ MPa}$   
 $i_a = 3302,76 \text{ kJ/kg}$   
 $p_1 = 1 \text{ MPa}$   
 $i_1 = 2943,2 \text{ kJ/kg}$   
 $t_{nv} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $p_{nv} = 0,7 \text{ MPa}$   
 $i_{nv} = 209,93 \text{ kJ/kg}$   
 $M_1 = M = 46 \text{ t/h}$

Cena elektrické energie = 29 €/MWh  
 Kurz € = 27,035 Kč/€  
 Cena uhlí = 100 Kč/GJ  
 Povolenky CO<sub>2</sub> = 8,6 €/t  
 Měrné emise = 0,1 t/GJ  
 Ostatní náklady = 15 Kč/GJ

$$Q_{vstup} = M_1 \times i_{nv} = 46 \times 209,93 = 9,657 \text{ GJ}$$

$$Q_{výstup} = M_1 \times i_a = 46 \times 3302,76 = 151,927 \text{ GJ}$$

$$Q_{dod} = M_1 \times (i_1 - i_{nv}) = 46 \times (2943,2 - 209,93) = 125,76 \text{ GJ}$$

$$Q_{kot} = Q_{výstup} - Q_{vstup} = 151,927 - 9,657 = 142,27 \text{ GJ}$$

$$P_{TG1} = M_1 \times (i_a - i_1) \times \eta_g \times \frac{1}{3,6} = 46 \times (3302,76 - 2943,2) \times 0,96 \times \frac{1}{3,6} = 4,411 \text{ MW}$$

$$q_{el} = \frac{Q_{kot} - Q_{dod}}{P_{TG1}} = \frac{142,27 - 125,76}{4,411} = 3,75 \text{ GJ/MWh}$$

$$S_{PalEv} = \frac{q_{el}}{\eta_{kot}} = \frac{3,75}{0,85} = 4,41 \text{ GJ/MWh}$$

$$S_{PalEd} = S_{PalEv} \times k_e = 4,441 \times 1,12 = 4,94 \text{ GJ/MWh}$$

$$\text{Náklady na palivo} = S_{PalEd} \times \text{Cena uhlí} = 4,94 \times 100 = 494 \text{ Kč/MWh}$$

$$\text{Náklady ostatní} = S_{PalEd} \times \text{Ostatní náklady} = 4,94 \times 15 = 74,1 \text{ Kč/MWh}$$

$$\begin{aligned} \text{Náklady na povolenky} &= \text{Povolenky CO}_2 \times \text{Měrné emise} \times S_{PalEd} \times \text{Kurz €} \\ &= 8,6 \times 0,1 \times 4,94 \times 27,035 = 114,86 \text{ Kč/MWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tržby za el. energii} &= \text{Cena elektrické energie} \times \text{Kurz €} = 29 \times 27,035 \\ &= 784,02 \text{ Kč/MWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Bilance} &= \text{Tržby za el. energii} - \sum \text{Náklady} = 784,02 - (494 + 74,1 + 114,86) \\ &= 101,06 \text{ Kč/MWh} \end{aligned}$$

Z výsledné bilance vyplývá, že i přes neustále se snižující výkupní cenu silové elektřiny je protitlaký provoz teplárny stále ziskový a za každou vyrobenou MWh teplárna vydělá 101,06 Kč.

#### 1.4 Zhodnocení stávajícího provozu

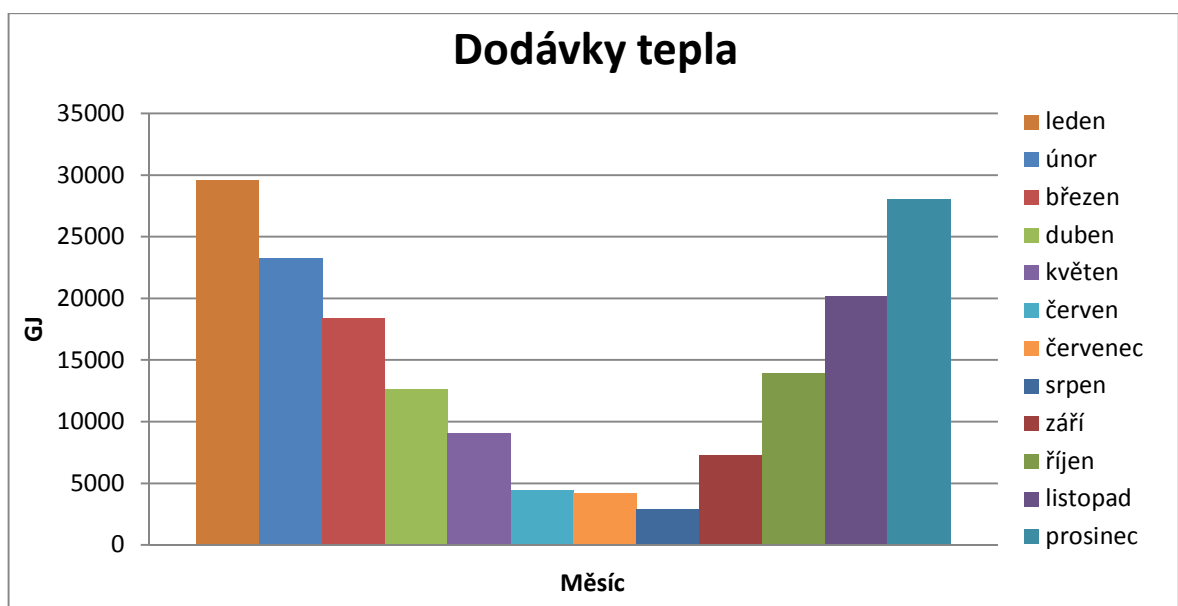
Z výše provedených výpočtů vyplývá, že za současných podmínek je pro Teplárnu Dvůr Králové finančně výhodnější protitlaký provoz, při kterém teplárna stále ještě vydělá 101,06 Kč za každou vyrobenou MWh. Protitlaký provoz však není možné provozovat po celý rok a v přechodném období, kdy je potřeba více tepla, než jsou schopny dodat dva špičkové plynové kotle, musí teplárna přejít do kondenzačního provozu, který je ztrátový a při

kterém prodělává teplárna 2086,05 Kč za vyrobenou MWh.

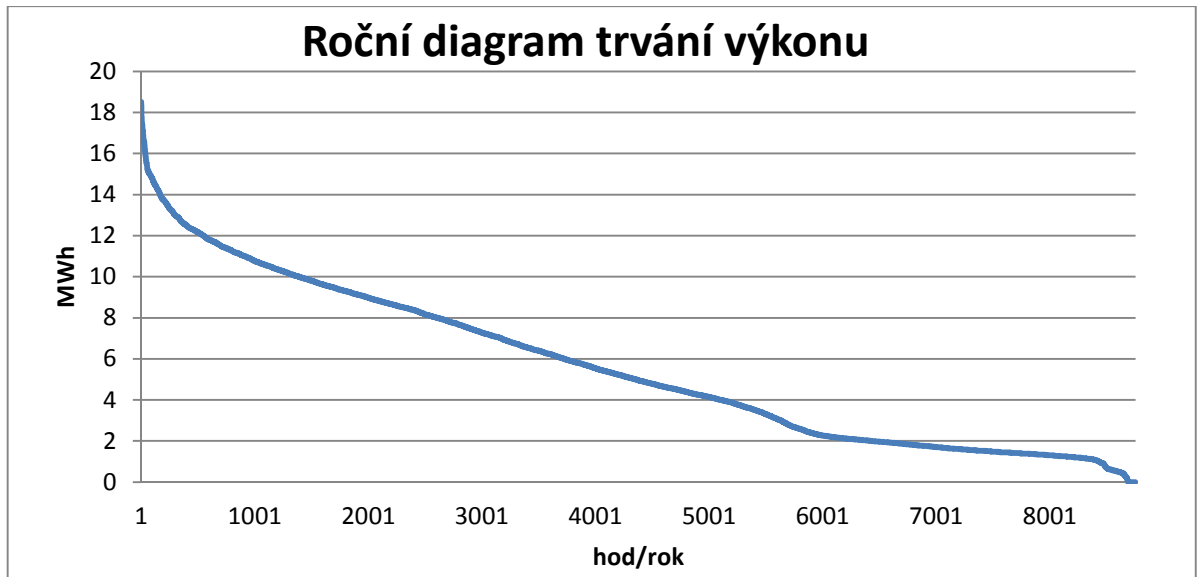
Z výše provedené analýzy vyplývá, že stávající zdroj o maximálním tepelném výkonu 127,45 MWt je značně předimenzovaný. Stávající roštové kotle jsou již za dobou své životnosti a nesplňují emisní limity platné po roce 2016. Je tedy nutné přistoupit k ekologizaci a rekonstrukci zdroje.

## 2 Návrh nového zdroje.

V kapitole se budu zabývat stěžejní částí mé diplomové práce, a to návrhem nového zdroje v Teplárně Dvůr Králové nad Labem. Nový zdroj bude dimenzován tak, aby byl schopný pokrýt celoroční spotřebu tepla, viz *graf 2 a tabulka 3*.



*Graf 2: Roční dodávky tepla*



Graf 3: Roční diagram trvání výkonu

Měsíc	GJ
Leden	29554,10
Únor	23271,19
Březen	18352,63
Duben	12628,27
Květen	9005,00
Červen	4421,49
Červenec	4192,51
Srpen	2894,30
Září	7241,72
Říjen	13957,40
Listopad	20133,10
Prosinec	28030,27
<b>Celkem</b>	<b>173681,98</b>

Tabulka 3: Dodávky tepla

Nový zdroj bude splňovat vyhlášku č. 415/2012 Sb. Na emisní limity pro spalovací zdroje o celkovém jmenovitém příkonu vyšším než 5 MW a nižším než 50 MW. Emisní limity jsou uvedeny v *tabulce 4*.



Druh paliva	Specifické emisní limity (mg/m <sup>3</sup> ) - 5-50 MW			
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	TZL	CO
Pevná paliva	1500	500	30	300 (500)**
Plynná paliva	-	100*	30	50

\*Pokud z technických důvodů nelze dosáhnout této hodnoty s použitím nízkoemisních hořáků, platí specifický limit 200mg/m<sup>3</sup>

\*\* Platí pro spalování biomasy ve stacionárních zdrojích s výjimkou spalování výlisků z takové biomasy

*Tabulka 4: Emisní limity dle vyhlášky č. 415/2012 Sb.*

Při návrhu nového zdroje budu uvažovat základní rozdělení:

1. Kombinovaná výroba elektřiny a tepla
2. Teplárenský provoz (výroba pouze tepla)

## 2.1 Kombinovaná výroba elektřiny a tepla

V případě kombinované výroby elektřiny a tepla bude zdroj navržen bez rezervy, protože se do budoucna nepředpokládá nárůst nových odběratelů, ale spíše snížení spotřeby tepla např. vlivem zateplování budov. Zdroj bude dimenzován tak, aby byl schopen pokrýt potřebné dodávky tepla, elektřina bude vyráběna pouze v nejnižší možné míře.

Varianty nového zdroje:

1. Parní kotel spalující jako hlavní palivo hnědé uhlí
2. Parní kotel spalující jako hlavní palivo černé uhlí
3. Parní kotel spalující jako hlavní palivo biomasu ve formě štěpky

### 2.1.1 Společná část

Všechny navrhované varianty počítají se zachováním stávajícího skladiště paliva, dopravy paliva, chemické úpravny vody, kompresorové stanice a s využitím stávajícího prostoru v kotelně a strojovně. Nové parní kotle budou umístěny v prostorách stávajících parních kotlů. Nový horkovodní kotel bude umístěn v místě stávajících horkovodních kotlů a stejně tak nová turbína bude umístěna v místě stávajících turbín TG1 a TG3.

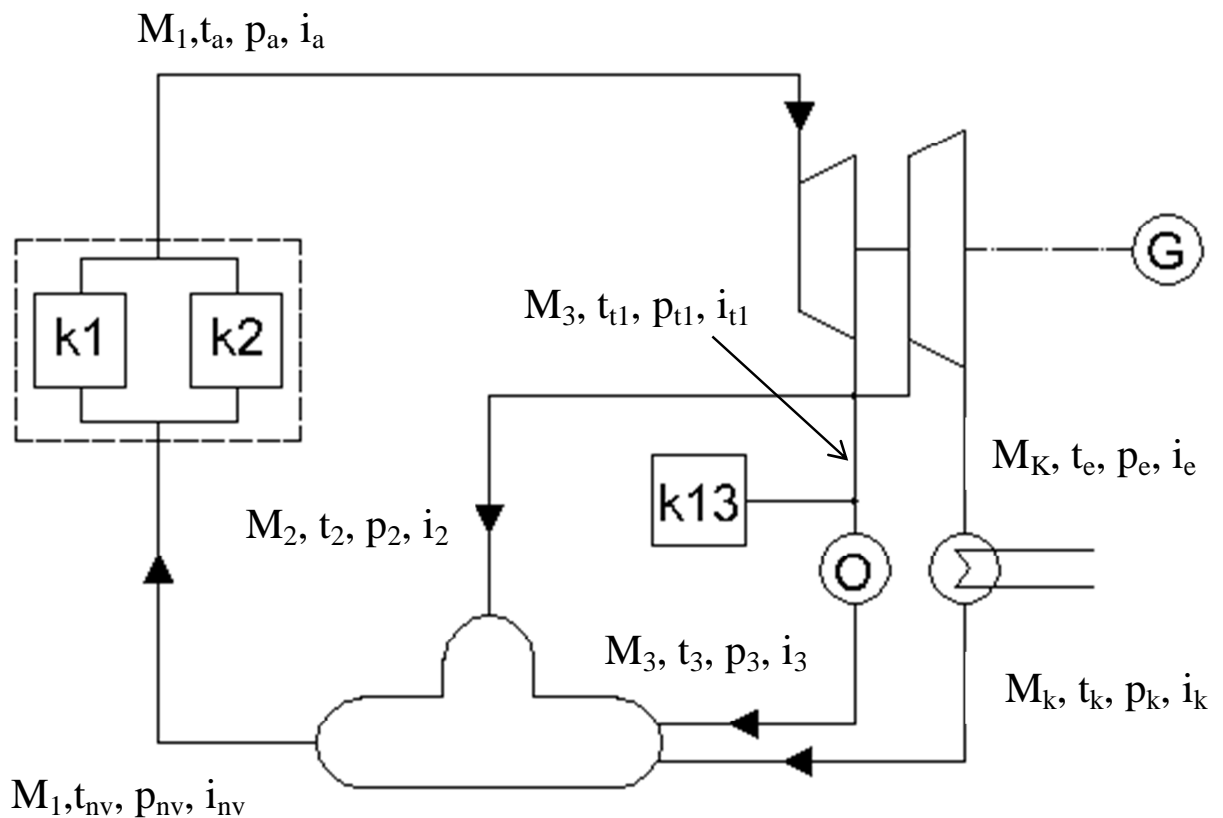
Při návrhu zdroje pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla budou všechny varianty vycházet z instalace dvou nových parních kotlů tak, aby bylo možné provozovat teplárnu i při odstávce jednoho z nich, dva plynové horkovodní kotle K11 a K13 budou nahrazeny novým

horkovodním plynovým kotlem. Palivem plynového kotle je zemní plyn, který je do areálu přiváděn o tlaku 300 kPa potrubím DN 200 s kapacitou až 8000 m<sup>3</sup>/hod. Parametry zemního plynu jsou uvedeny v *tabulce 5*.

Parametr	Značka	Jednotka	Hodnota
Výhřevnost	$Q_i^r$	MJ/kg	34,091
Složení zemního plynu (15°C, tlak 101,325 kPa, vlhkost 0,0)			
Metan	NH <sub>4</sub>	%hmot	97,99
Vyšší uhlovodíky		%hmot	1,07
Oxid uhličitý	SO <sub>2</sub>	%hmot	0,11
Dusík	N <sub>2</sub>	%hmot	0,83
Celková síra		mg/Nm <sup>3</sup>	0,2
Hustota		kg/m <sup>3</sup>	0,694

*Tabulka 5: Parametry zemního plynu*

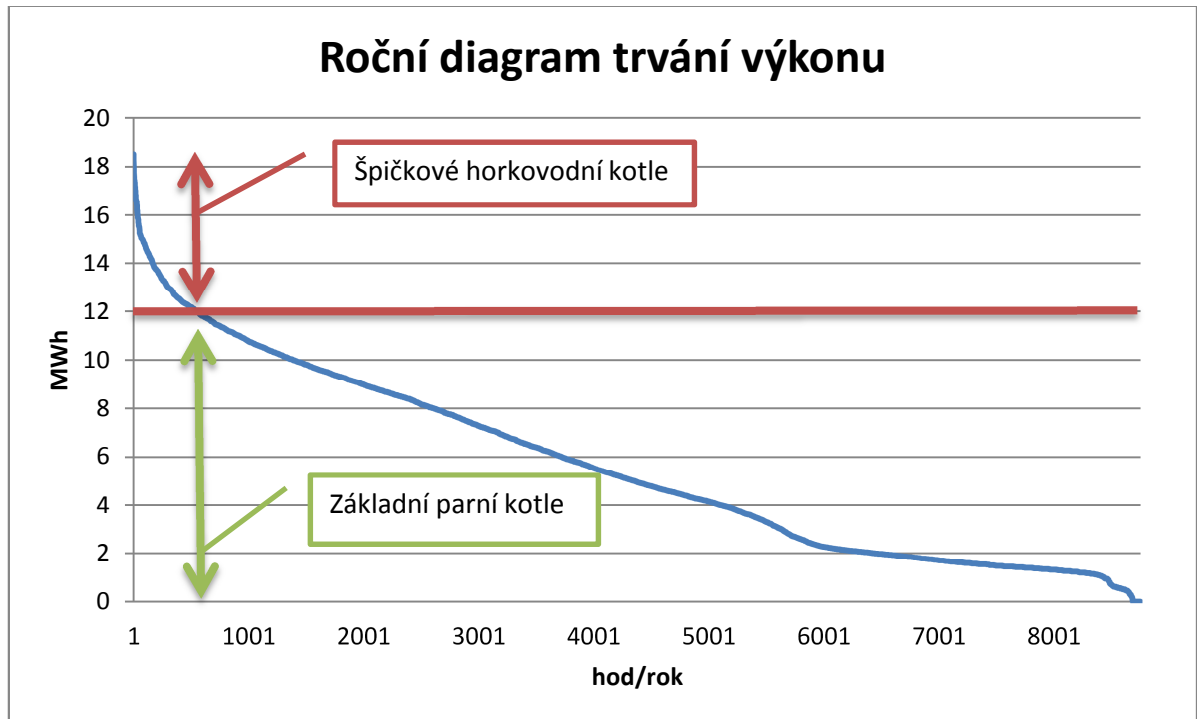
Dále bude u všech variant uvažováno pouze s jednou kondenzační turbínou s potlačenou kondenzací a ne s dvěma, jako tomu bylo dosud a to hlavně z důvodu úspory finančních prostředků.



*Obrázek 6: Nové schéma teplárny TDK*

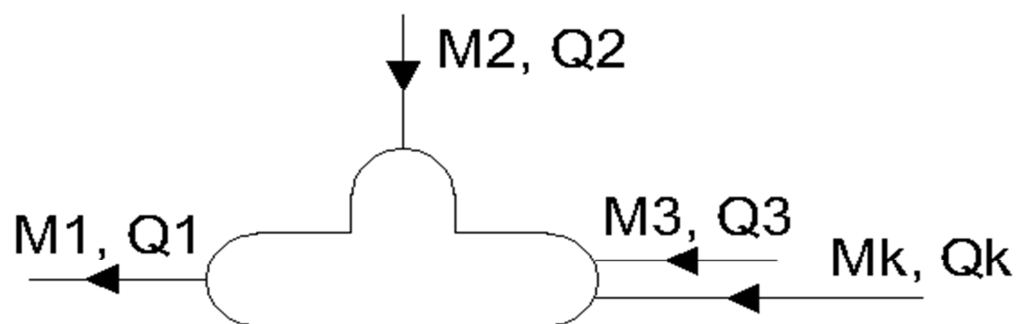
### 2.1.2 Výpočet velikosti kotle

Nejprve je nutné spočítat vhodnou velikost kotlů tak, aby teplárna nebyla předimenzovaná a zároveň byla schopna bez problémů pokrýt spotřebu i v zimních měsících. Návrh bude vycházet z ročního diagramu trvání výkonu, viz *graf 3*. Parní kotle budou navrženy tak, aby pokryly pásmo do 12 MWh. Oblast nad 12 MWh, která trvá jen pár hodin v roce, bude pokryta plynovým horkovodním kotlem.



Graf 4: Roční pokrytí výkonu

Při výpočtu vycházím z toho, že kotle musí při maximálním zatížení dodávat do CZT 12 MWt. Dále uvažuji, že 15 % z celkového hodinového průtoku M1 musí projít přes kondenzaci.



Obrázek 7: Napájecí nádrž

$$t_a = 460 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_a = 6 \text{ MPa}$$

$$i_a = 3327 \text{ kJ/kg}$$

$$t_{t1} = 250 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_{t1} = 1 \text{ MPa}$$

$$i_{t1} = 2943,2 \text{ kJ/kg}$$

$$t_2 = 250 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_2 = 1 \text{ MPa}$$

$$i_2 = 2943,2 \text{ kJ/kg}$$

$$t_3 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_3 = 1 \text{ MPa}$$

$$i_3 = 335,7 \text{ kJ/kg}$$

$$t_k = 34 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_k = 0,007 \text{ MPa}$$

$$i_k = 146,6 \text{ kJ/kg}$$

$$t_{nv} = 140 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_{nv} = 0,7 \text{ MPa}$$

$$i_{nv} = 589,4 \text{ kJ/kg}$$

$$P_T = 12 \text{ MWh} \rightarrow 43,2 \text{ GJ}$$

$$H_T = i_{T1} - i_3 = 2943,2 - 335,7 = 2607,5 = 2,608 \text{ GJ/kg}$$

$$M_3 = \frac{P_T}{H_T} = \frac{43,2}{2,6075} = 16,567 \text{ t/h}$$

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 + Q_k$$

$$M_1 = M_2 + M_3 + M_k$$

$$M_1 \times i_{nv} = M_2 \times i_2 + M_3 \times i_3 + M_k \times i_k$$

$$M_2 = M_1 - M_3 + M_k$$

$$M_1 \times i_{nv} = (M_1 - M_3) \times i_2 + M_3 \times i_3 + M_k \times i_k$$

$$M_1 \times i_{nv} = M_1 \times i_2 - M_3 \times i_2 + M_3 \times i_3 + M_k \times i_k \times 0,15$$

$$M_1 \times i_{nv} - M_1 \times i_2 - M_k \times i_k \times 0,15 = M_3 \times i_3 - M_3 \times i_2$$

$$M_1 \times (i_{nv} - i_2 - i_k \times 0,15) = M_3 \times (i_3 - i_2)$$

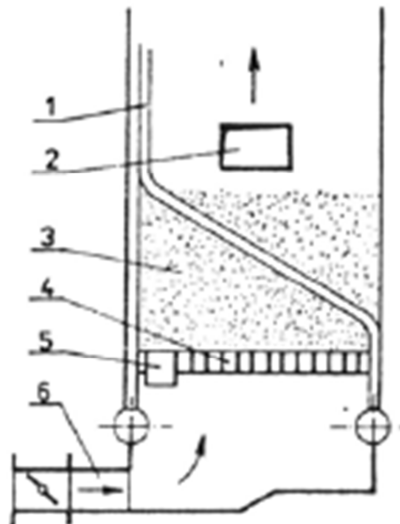
$$M_1 = \frac{M_3 \times (i_3 - i_2)}{(i_{nv} - i_2 - i_k \times 0,15)} = \frac{16,567 \times (335,7 - 2943,2)}{(589,4 - 2943,2 - 0,15 \times 146,6)} = 18,185 \text{ t/h}$$

K výše provedeným výpočtům je nutné připočítat ještě páru pro vlastní spotřebu, na výrobu čířené vody, ucpávky, parní ohřev vzduchu a jiné. Množství páry odhaduji po konzultaci s vedoucím na 2 t/h.

$$M_{1c} = M_1 + 2 = 18,185 + 2 = 20,185 \text{ t/h}$$

Navrhuji tedy instalaci dvou vysokotlakých parních kotlů o celkovém tepelném výkonu 18 MW<sub>t</sub> a průtoku 22,2 t/h. Oba kotle budou voleny o stejném výkonu 9 MW<sub>t</sub> a průtoku 11,1 t/h. Kotle budou doplněny jedním horkovodním plynovým kotlem o výkonu 9 MW<sub>t</sub>, který bude sloužit primárně jako záložní zdroj k pokrývání špiček a díky lepšímu regulačnímu rozsahu bude používán i v době nižších odběrů během letních měsíců.

V návrzích budu uvažovat s instalací fluidních kotlů. Fluidní kotle pracují na principu spalování paliva ve fluidní vrstvě. Kotle byly vyvinuty pro spalování paliva širokého rozsahu. Fluidizace je děj, při němž jsou pevné látky udržovány ve vlnoslučce proudem tekutin. Fluidní vrstva tvoří disperzní systém, který je vytvořený průtokem plynu vrstvou částic nasycaných po fluidní rošti. Náplň fluidní vrstvy je palivo, odsiřovací aditivum (převážně vápenec) a aditivum pro stabilní fluidní vrstvu (inertní materiál, například písek). [4]



1-ohřívací trubky, 2-přívod paliva, 3-fluidní vrstva  
4-fluidní rošt, 5-odvod popela, 6-přívod vzduchu

**Obrázek 8:** Ohniště fluidního kotle [4]

### Výhody fluidních kotlů:

- Díky přidávání vápence přímo do kotle nevyžadují fluidní kotle odsiřovací zařízení. Účinnost odsíření se pohybuje od 40 do 90 % dle typu kotle a kvality promísení paliva s aditivem
- Ve fluidních kotlech je možné spalovat i horší a méně hodnotná paliva s nízkou výhřevností, která v jiných typech kotlů nelze spalovat
- Nižší teploty při spalování ve fluidní vrstvě snižují produkci NO<sub>x</sub> ve spalinách
- Účinnost kotle 92 – 94 % vlivem nižších komínových ztrát, neboť spaliny mohou mít na konci kotle nižší teplotu

### Nevýhody fluidních kotlů:

- Vysoká cena (oproti roštovému kotly zhruba 1,5x dražší)
- Vyšší vlastní spotřeba elektrické energie (palivo je nutné do kotle foukat)

### **2.1.3 Turbosoustrojí**

Pro nový zdroj bude zvolena kondenzační turbína s potlačenou kondenzací a průtočným chlazením s jedním odběrem na úrovni 1 MPa a 250 °C. Maximální výkon na svorkách generátoru se bude pohybovat na úrovni 4 MW<sub>e</sub>

### **2.1.4 Parní kotel spalující jako hlavní palivo hnědé uhlí**

Základní zdroj spalující hnědé uhlí bude složen ze dvou fluidních kotlů se stacionární bublinkovou fluidní vrstvou o celkovém jmenovitém tepelném výkonu 18 MW<sub>t</sub>. Parametry kotlů jsou uvedeny v *tabulce 6*. Jedná se o velmi podobný provoz, jaký je v TDK provozován nyní s tím rozdílem, že na místo dvou roštových kotlů byly použity kotle fluidní.

Název	Parametr
Typ ohniště	Fluidní
Typ kotle	Vysokotlaký parní
Jmenovitý tepelný výkon	9 MW <sub>t</sub>
Jmenovitý parní výkon	11,1 t/h
Maximální přetlak páry	6,0 MPa
Maximální teplota páry	460 °C
Účinnost kotle	88%
Spotřeba paliva	3,79 t/h
Spotřeba vápence	0,098 t/h

*Tabulka 6: Parametry fluidní kotel na hnědé uhlí*

Základní zdroj bude doplňován plynovým horkovodním kotlem na zemní plyn, který bude pokrývat výkyvy ve spotřebě tepla v zimních měsících a dále sloužit i jako záložní zdroj. Parametry kotle jsou uvedeny v *tabulce 7*.

Název	Parametr
Typ kotle	Horkovodní
Jmenovitý tepelný výkon	9 MW <sub>t</sub>
Teplota výstupní vody	125 °C
Teplota vstupní vody	100 °C
Účinnost kotle	90%
Spotřeba paliva	1,06 tis. Nm <sup>3</sup> /h

*Tabulka 7: Parametry plynového kotle*

Stávajícím palivem v Teplárně Dvůr Králové je hnědé uhlí z dolu Bílina. Kvalitativní parametry je vidět v *tabulce č. 5*.

Parametr	Značka	Jednotka	DB
Výhřevnost	$Q_i^r$	MJ/kg	16,9
Obsah vody v původním stavu	$W_t^r$	%hmot	29,7
Obsah popela v původním stavu	$A^r$	%hmot	9,21
Obsah popela v sušině	$A^d$	%hmot	13,1
Obsah síry v sušině	$S^d$	%hmot	1,2
Obsah prchavé hořlaviny	$V^{daf}$	%hmot	51
Zrnitost	-	mm	0-10

*Tabulka 8: Parametry hnědého uhlí*

### 2.1.5 Parní kotel spalující jako hlavní palivo černé uhlí

Základní zdroj spalující černé uhlí bude složen ze dvou fluidních kotlů se stacionární bublinkovou vrstvou o jmenovitém výkonu 2 x 9 MW<sub>t</sub>. Parametry fluidních kotlů jsou uvedeny v *tabulce 9*.

Název	Parametr
Typ ohniště	Fluidní
Typ kotle	Vysokotlaký parní
Jmenovitý tepelný výkon	9 MW <sub>t</sub>
Jmenovitý parní výkon	11,1 t/h
Maximální přetlak páry	6,0 MPa
Maximální teplota páry	460 °C
Účinnost kotle	88%
Spotřeba paliva	1,52 t/h
Spotřeba vápence	-

*Tabulka 9: Parametry fluidního kotle na černé uhlí*

Na základě koncentrace síry v palivu jsou výsledné emise oxidu siřičitého SO<sub>2</sub> vystupujícího ze spalovacího procesu pod zákonnou limitní hodnotou 1500 mg/Nm<sup>3</sup>, nebude tedy nutná instalace suché aditivní metody určené pro snížení koncentrací SO<sub>2</sub>.

Základní zdroj bude opět doplněn plynovým horkovodním kotlem na zemní plyn, který bude sloužit k pokrývání výkyvů spotřeby tepla v zimních měsících a jako záložní zdroj. Parametry kotle jsou uvedeny v *tabulce 10*.

Název	Parametr
Typ kotle	Horkovodní
Jmenovitý tepelný výkon	9 MW <sub>t</sub>
Teplota výstupní vody	125 °C
Teplota vstupní vody	100 °C
Účinnost kotle	90%
Spotřeba paliva	1,06 tis. Nm <sup>3</sup> /h

*Tabulka 10: Plynový kotel vI*

Černé uhlí z produkce OKD, a.s. je v současné době již spalováno na jiných zařízeních společnosti ČEZ (Elektrárna Dětmarovice a Elektrárna Vítkovice). Parametry černého uhlí jsou uvedeny v *tabulce 11*.



Parametr	Značka	Jednotka	Darkov
Výhřevnost	$Q_i^r$	MJ/kg	24
Obsah vody v původním stavu	$W_t^r$	%hmot	8
Obsah popela v původním stavu	$A^r$	%hmot	18,9
Obsah popela v sušině	$A^d$	%hmot	20,5
Obsah síry v sušině	$S^d$	%hmot	0,7
Obsah prchavé hořlaviny	$V^{daf}$	%hmot	29
Zrnitost	-	mm	

*Tabulka 11: Parametry černého uhlí*

### 2.1.6 Parní kotel spalující jako hlavní palivo biomasu ve formě štěpky

Palivová základna bude v tomto případě tvořena čistým biopalivem. Výroba má hned několik výhod, při spalování biomasy je téměř nulová produkce odpadů, emise jsou výrazně nižší než u spalování uhlí nebo jiných fosilních paliv, biomasa obsahuje nízký podíl těžkých kovů a při spalování vzniká až 6x méně odpadu. Z toho vyplývá, že odpadá značná část investic do ekologizace provozu. Další výhodou této varianty je možnost čerpání zeleného bonusu při spalování biomasy, na který mají nárok výrobci do 7,5 MW.

Název	Parametr
Typ ohniště	Fluidní
Typ kotle	Vysokotlaký parní
Jmenovitý tepelný výkon	9 MW <sub>t</sub>
Jmenovitý parní výkon	11,1 t/h
Maximální přetlak páry	6,0 MPa
Maximální teplota páry	460 °C
Účinnost kotle	88 %
Spotřeba paliva	3,92 t/h
Spotřeba vápence	-

*Tabulka 12: Parametry fluidního kotle na biomasu*

U varianty se spalováním biomasy nebude opět nutná instalace suché aditivní metody pro snížení koncentrace SO<sub>2</sub>.

I v tomto případě bude jako špičkový zdroj použit horkovodní kotel spalující zemní plyn, který bude sloužit k pokrytí výkyvů ve spotřebě tepla v zimních měsících a jako záložní zdroj. Parametry kotle jsou uvedeny v *tabulce 13*.

Název	Parametr
Typ kotle	Horkovodní
Jmenovitý tepelný výkon	9 MW <sub>t</sub>
Teplota výstupní vody	125 °C
Teplota vstupní vody	100 °C
Účinnost kotle	90%
Spotřeba paliva	1,06 tis. Nm <sup>3</sup> /h

Tabulka 13: Plynový kotel v2

V teplárně je v současné době spalována biomasa ve formě štěpky a pelet. Pro další návrh je z ekonomického hlediska uvažováno spalování pouze štěpky. Parametry štěpky jsou uvedeny v tabulce 14.

Parametr	Značka	Jednotka	Nominální palivo	Meze
Výhřevnost	Q <sub>i</sub> <sup>r</sup>	MJ/kg	9,4	7 - 14
Obsah vody v původním stavu	W <sub>t</sub> <sup>r</sup>	%hmot	40	20 - 55
Obsah popela v původním stavu	A <sup>r</sup>	%hmot	0,8	-
Obsah popela v sušině	A <sup>d</sup>	%hmot	1,33	0,1 - 3
Obsah dusíku v sušině	N <sup>d</sup>	%hmot	-	0,1 - 0,5
Obsah síry v sušině	S	%hmot	0,3	< 0,1
Obsah chlóru v sušině	Cl <sup>d</sup>	%hmot	-	< 0,5
Měrná hmotnost		kg/m <sup>3</sup>	650	550 - 800

Tabulka 14: Parametry štěpky

## 2.2 Odhad investičních nákladů a jejich vkládání v letech

Velikost investičních nákladů byla odhadnuta na základě konzultace s projektantem elektrárenských zařízení. Z tabulky 15 je vidět, že většina nákladů je pro všechny varianty stejná, největší rozdíl je u položky “Odlučovač popílku + kouřový ventilátor“, kde je značná úspora u varianty s kotlem na biomasu, protože biomasa má oproti variantě s hnědým a černým uhlím velmi nízké emise.

Technologie	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
	tis. Kč		
Palivové hospodářství	10 000	10 000	10 000
Montáže palivového hospodářství	3000	3000	3000
Parní kotel a příslušenství	45900	45800	45000
Odlučovač popílků + kouřový ventilátor	14500	13050	11500
Parní kotel a příslušenství	45900	45800	45500
Odlučovač popílků + kouřový ventilátor	14500	13000	11500
Montáž kotlů	10 060	10050	10400
Plynový kotel + příslušenství	5500	5500	5500
Montáž plynového kotle	850	850	850
Parní turbína + příslušenství + montáž	28000	28000	28000
Ostatní (spojovací potrubí, Elektro, ASŘTP, stavební činnost, inženýrská činnost)	160000	160000	155000
<b>Celkem</b>	<b>338 210</b>	<b>335 050</b>	<b>326 250</b>

Tabulka 15: Celkové investiční náklady

Pro doplnění je dále uvedena doba výstavby od podepsání smlouvy s hlavními dodavateli.

Palivové hospodářství .....	14 měsíců
Fluidní kotle .....	20 měsíců
Plynové kotle .....	4 měsíce
Turbosoustrojí.....	18 měsíců
Inženýrská činnost .....	18 měsíců

Odhad investičních nákladů v letech je stanoven pro 4 roky výstavby nového zdroje a je dán pro inženýrskou činnost i pro samotnou realizaci stavby. Stavba by měla být dokončena do roku 2020, kvůli novým emisním limitům, viz *tabulka 4*, které začnou právě od roku 2020 platit.

Činnost - varianta 1	Realizace (tis Kč)				Celkem (tis. Kč)
	2016	2017	2018	2019	
Inženýrská činnost	15000	15000			<b>338210</b>
Výstavba, realizace			154105	154105	

Tabulka 16: Investiční náklady v l v letech

Činnost - varianta 2	Realizace (tis Kč)				Celkem (tis. Kč)
	2016	2017	2018	2019	
Inženýrská činnost	15000	15000			335050
Výstavba, realizace			152525	152525	

Tabulka 17: Investiční náklady v2 v letech

Činnost - varianta 3	Realizace (tis Kč)				Celkem (tis. Kč)
	2016	2017	2018	2019	
Inženýrská činnost	15000	15000			326250
Výstavba, realizace			148125	148125	

Tabulka 18: Investiční náklady v3 v letech

Dále je třeba do finančních nákladů zahrnout plat pro zaměstnance. Počet zaměstnanců po konzultaci odhaduji na 6 na jednu směnu, přičemž směny budou 4. Celkem tedy bude na provoz teplárny potřeba 24 pracovníků.

### 2.3 Měsíční bilance

Měsíční bilance byly spočteny z hodinových dat dodávek tepla, které byly poskytnuty teplárnou. V níže uvedených bilancích jsem uvažoval pouze s nucenou výrobou elektrické energie, to znamená, že teplárna vyrábí pouze minimální množství elektrické energie, při dané dodávce tepla. Celková vyrobená elektrická energie je součtem výroby na VT dílu a NT dílu turbíny. Veškeré bilance jednotlivých měsíců jsou přiloženy na cd.

Měsíc	Produkce tepla (GJ)		Produkce elektrické energie (MW <sub>e</sub> )	
	Parní kotel	Plynový kotel	VT část	NT část
Leden	27767,94	1145,14	1397,634	269,4032
Únor	23218,79	230,15	1147,711	221,2289
Březen	18352,63	0	984,6303	189,794
Duben	12531,1	37,04	687,2065	132,4636
Květen	9005	0	547,4132	105,5175
Červen	4421,49	0	351,0908	67,67508
Červenec	4192,51	0	348,2199	67,1217
Srpen	2894,3	0	264,6938	51,02149
Září	7241,72	0	763,277	147,1267
Říjen	13957,4	0	751,6881	144,8929
Listopad	20293,49	37,11	1021,603	196,9207
Prosinec	27973,89	185,94	1365,389	263,1879
<b>Celkem</b>	171850,3	1635,38	9630,556	1856,354
	<b>173485,64</b>		<b>11486,90976</b>	

Tabulka 19: Celkové roční produkce tepla a el. energie

$$Q_{VSTUP} = M_{1C} \times i_{NV} \dots\dots\dots \text{Teplo vstupující do kotle (GJ)}$$

$$Q_{VÝSTUP} = M_{1C} \times i_a \dots\dots\dots \text{Teplo vystupující z kotle (GJ)}$$

$$Q_{KOT} = Q_{VÝSTUP} - Q_{VSTUP} \dots\dots\dots \text{Teplo dodané kotlem (GJ)}$$

$$Q_{NA\_EL} = Q_{KOT} - P_T \dots\dots\dots \text{Teplo na výrobu elektrické energie (GJ)}$$

$$Q_{DO\_CZT} = M_3 \times i_2 \dots\dots\dots \text{Teplo vstupující do CZT (GJ)}$$

$$Q_{Z\_CZT} = M_3 \times i_3 \dots\dots\dots \text{Teplo vystupující z CZT (GJ)}$$

Výše uvedené hodnoty byly spočteny v každé jednotlivé hodině v měsíci. Z hodinových hodnot byly udělány sumy, viz *tabulka 20*, ze kterých byly spočteny měsíční bilance pro jednotlivé měsíce.

Měsíc	Q <sub>vstup</sub> (GJ)	Q <sub>vystup</sub> (GJ)	Q <sub>kot</sub> (GJ)	Q <sub>na_el</sub> (GJ)	Q <sub>do_CZT</sub> (GJ)	Q <sub>z_CZT</sub> (GJ)
Leden	8048,776	45433,1	37384	8471,258	32635,47	3722,39
Únor	6609,505	37308,8	30699	7250,3828	26467,85	3018,91
Březen	5670,347	32007,5	26337	7011,2317	21814,06	2488,1
Duben	3957,525	22339,1	18382	5850,5102	14144,4	1613,3
Květen	3152,475	17794,9	14642	5460,8557	10363,59	1182,07
Červen	2021,882	11413	9391	4662,2933	5337,593	608,803
Červenec	2005,349	11319,6	9314	4766,1823	5133,652	585,542
Srpen	1524,334	8604,45	7080	4185,8109	3266,924	372,624
Září	4395,605	24812	20416	6233,4683	16008,86	1825,96
Říjen	4328,866	24435,2	20106	6144,9839	15758,85	1797,45
Listopad	5883,265	33209,4	27326	7032,6476	22906,16	2612,67
Prosinec	7863,084	44384,9	36522	8362,0205	31785,24	3625,41

*Tabulka 20: Parametry páry*

$$P_{TG\_1} = M_{1C} - (i_a - i_2) \times \frac{1}{3,6} \times \eta_G \dots\dots\dots \text{Vyrobená el. energie na VT dílu turbíny (MW)}$$

$$P_{TG\_1} = M_K - (i_2 - i_e) \times \frac{1}{3,6} \times \eta_G \dots\dots\dots \text{Vyrobená el. energie na NT dílu turbíny (MW)}$$

$$P_{TG\_C} = P_{TG\_1} + P_{TG\_2} \dots\dots\dots \text{Celková vyrobená el. energie (MW)}$$

$$H_R = \frac{Q_{NA\_EL}}{P_{TG\_C}} \dots\dots\dots \text{Heat Rate – Měrná spotřeba tepla v páře na}$$

výrobu elektrické energie (bez vlastní spotřeby)

$$q_{EL} = \frac{Q_{NA\_EL} + Q_{NA\_EL\_VLAST}}{P_{TG\_C}} \dots\dots\dots \text{Měrná spotřeba tepla v páře na výrobu elektrické}$$

energie (GJ/MWh)

$$S_{PAL\_EV} = \frac{q_{EL}}{\eta_{KOT}} \dots\dots\dots \text{Měrná spotřeba tepla v uhlí na výrobu elektrické}$$

energie (GJ/MWh)

$$S_{PAL\_ED} = S_{PAL\_EV} \times k_e \dots\dots\dots \text{Měrná spotřeba tepla v uhlí na dodávku}$$

elektrické energie (GJ/MWh)

$$S_{PAL\_TD} = \frac{\frac{P_t}{\eta_{KOT}} + VS_t}{Q_{do\_CZT}} \dots\dots\dots \text{Měrná spotřeba tepla v uhlí na dodávku tepla}$$

(GJ/MWh)

Měsíc	Ptg 1.cast (MW)	Ptg 2. část (MW)	Ptg celk (MW)	HR	q <sub>EL</sub>	S <sub>pal_ev</sub>	S <sub>pal_ed</sub>	S <sub>pal_td</sub>
Leden	1397,634	269,403	1667	5,0816255	5,312705	6,03717	6,701253	1,0470374
Únor	1147,711	221,229	1369	5,2963489	5,520629	6,27344	6,963521	1,0442668
Březen	984,6303	189,794	1174	5,9699308	6,219271	7,06735	7,844762	1,0437528
Duben	687,2065	132,464	819,7	7,1376399	7,409452	8,41983	9,346014	1,0404885
Květen	547,4132	105,518	652,9	8,3636067	8,649203	9,82864	10,90979	1,0370032
Červen	351,0908	67,6751	418,8	11,133414	11,48907	13,0558	14,4919	1,0350521
Červenec	348,2199	67,1217	415,3	11,475331	11,72173	13,3202	14,78537	1,0257738
Srpen	264,6938	51,0215	315,7	13,258182	13,6327	15,4917	17,19579	1,0317767
Září	763,277	147,127	910,4	6,8469271	6,981073	7,93304	8,805672	1,024108
Říjen	751,6881	144,893	896,6	6,8537968	7,126498	8,09829	8,989106	1,0420007
Listopad	1021,603	196,921	1219	5,7714515	6,024899	6,84648	7,599589	1,0456557
Prosinec	1365,389	263,188	1629	5,134556	5,359498	6,09034	6,760276	1,045563

Tabulka 21: Teplárenské ukazatele

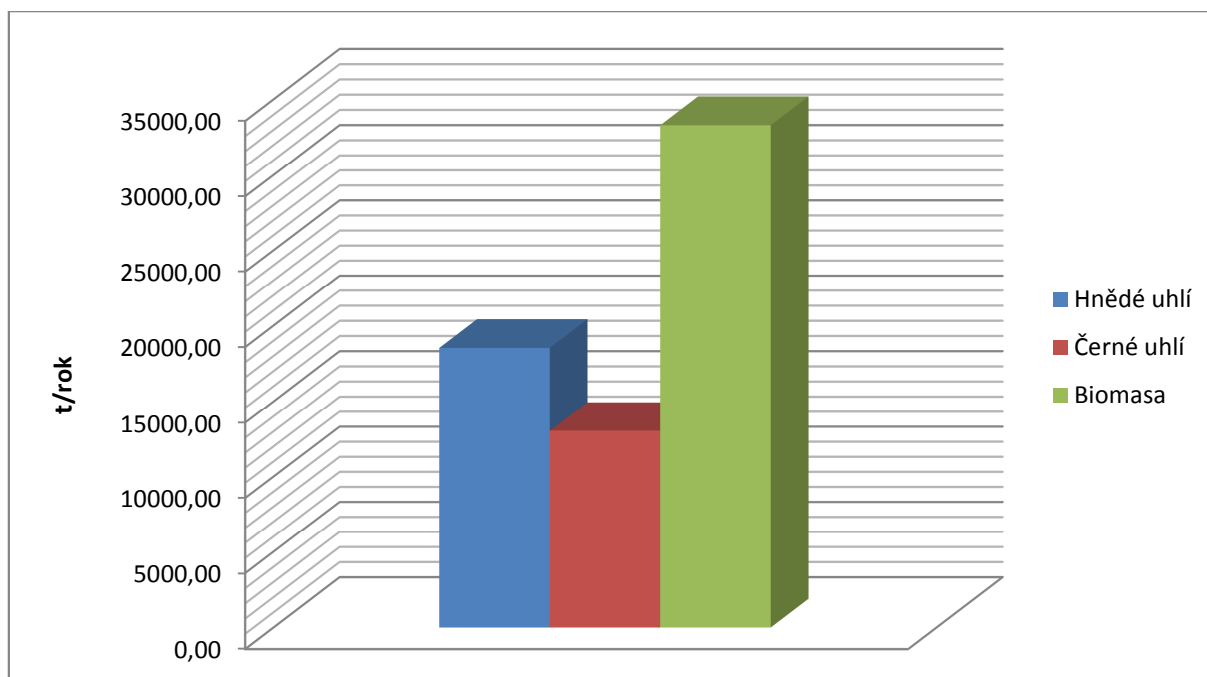
### 2.3.1 Spotřeby paliva

Při výpočtu spotřeby paliva pro parní a plynový kotel bylo vycházeno z toho, že ve všech třech variantách bylo vyrobeno stejné množství tepla, a to 313062,08 GJ, a při využívání stejné technologie u všech variant je pro výpočet rozhodující výhřevnost jednotlivých paliv.

Parní kotel:

Spotřeba paliva t/rok			
Palivo	Hnědé uhlí	Černé uhlí	Biomasa
Vyrobené teplo GJ/rok	313062,1	313062,1	313062,1
Výhřevnost paliva MJ/kg	16,9	24	9,4
Spotřeba paliva t/rok	18524,38	13044,25	33304,48

*Tabulka 22: Spotřeba paliva (t/rok)*



*Graf 5: Spotřeba paliva (t/rok)*

Z grafu 5 je vidět, že spotřeba paliva dopadla dle předpokladů a je přímo úměrná výhřevnosti paliva. Nejnižší spotřebu má varianta s černým uhlím (13044,25 t) a nejvyšší varianta s biomasou (33304,48 t), kde je spotřeba zhruba 2x větší. Samotná roční spotřeba paliva není sama o sobě průkazná, protože je třeba vzít v úvahu cenu jednotlivých paliv, a v případě biomasy i její dostupnost na trhu.

Plynový kotel:

Měsíc	Hodin v provozu	Spotřeba plynu (m <sup>3</sup> )	kWh
Leden	173	10595,75	112632,8
Únor	51	7529,6	80039,63
Březen	0	0	0
Duben	3	1211,8	12881,46
Květen	0	0	0
Červen	0	0	0
Červenec	0	0	0
Srpen	0	0	0
Září	0	0	0
Říjen	0	0	0
Listopad	9	1214,09	12905,8
Prosinec	64	6083,22	64664,65
<b>Celkem</b>	<b>300</b>	<b>26634,46</b>	<b>283124,3</b>

*Graf 6: Spotřeba zemního plynu*

Z grafu 6, je vidět, že plynový kotel slouží opravdu pouze k pokrývání špiček v zimních měsících a celkem je v provozu jen 300 hodin v roce, a to převážně v zimních měsících, kdy nám výkon parních kotlů nestačí.

## 2.4 Teplárenský provoz

Další možností provozu teplárny Dvůr Králové je přechod na čistě teplárenský provoz, to znamená přestat vyrábět elektřinu a vyrábět pouze teplo. I tuto variantu je potřeba vzít při stále se snižujících výkupních cenách za silovou elektřinu v potaz. V mém případě budu uvažovat pouze jednu variantu, a to použití plynových kotlů na ohřev TUV a vytápění. Teplárenský provoz je obecně technologicky jednodušší než kombinovaná výroba elektřiny a tepla.

### 2.4.1 Plynové kotle

V této variantě budu uvažovat s instalací pouze 2 plynových kotlů o celkovém výkonu 18 kWt bez zálohy a to z důvodu, že plyn jako palivo a obecně plynové kotle jsou velmi málo poruchové a není potřeba je zálohovat. Parametry kotle jsou uvedeny v *tabulce 23*.



Název	Parametr
Typ kotle	Horkovodní
Jmenovitý tepelný výkon	9 MW <sub>t</sub>
Teplota výstupní vody	125 °C
Teplota vstupní vody	100 °C
Účinnost kotle	95-97%
Spotřeba paliva	1,06 tis. Nm <sup>3</sup> /h

*Tabulka 23: Plynový kotel-výtopenská varianta*

Spotřeba plynu je opět vypočtena z hodinových hodnot potřeby tepla dodané teplárnou. Spotřeba plynu je uvedena v *tabulce 24*.

	Spotřeba plynu (Nm <sup>3</sup> )	KWh
Leden	983386,2	10453395
Únor	774686,3	8234915
Březen	632269,1	6721020
Duben	411179,9	4370842
Květen	300383,1	3193072
Červen	154707,3	1644539
Červenec	148796,2	1581704
Srpen	94690,06	1006555
Září	456761,9	4855378
Říjen	464008,5	4855378
Listopad	665136,9	4855378
Prosinec	927361,6	9857854
<b>Celkem</b>	<b>6013367</b>	<b>63922090</b>

*Tabulka 24: Spotřeba plynu-teplárenský provoz*

Cena výtopenské varianty je oproti kombinované výrobě elektřiny a tepla zhruba 3x levnější. Další velkou úsporu by tvořily nižší mzdy pro zaměstnance, protože na obsluhu teplárenského provozu by nám stačil pouze jeden pracovník na směnu, celkem jsou tedy potřeba 4 pracovníci, což je oproti 24 potřebným pro kombinovanou výrobu značná úspora.

Technologie	Cena
Plynový kotel + příslušenství	5500
Montáž plynového kotle	850
Plynový kotel + příslušenství	5500
Montáž plynového kotle	850
Ostatní (spojovací potrubí, Elektro, ASŘTP, stavební činnost, inženýrská činnost)	100000
<b>Celkem</b>	<b>112 700</b>

Tabulka 25: Investiční náklady teplárenského provozu

### 3 Porovnání variant

Pro porovnání všech variant jsem zvolil metodu TCO (Total Cost of Ownership), metoda se do češtiny nejčastěji překládá jako celkové náklady vlastnictví. Metoda zahrnuje všechny náklady, které musí provozovatel vynaložit. Celkové náklady na vlastnictví zahrnují všechny náklady v průběhu celé životnosti systému. Metoda TCO neoperuje s úročitelem, ale pro účely porovnání jednotlivých variant je naprosto dostačující a v praxi používaná. [10]

#### 3.1 TCO

TCO bude počítáno na dobu 10 let, což zhruba odpovídá době, po které bude nutné provést generální opravu bloku. Ceny jednotlivých paliv odpovídají průměrným hodnotám z [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz) a jsou:

Hnědé uhlí [11] .....3000 Kč/t  
 Černé uhlí [11] .....4500 Kč/t  
 Biomasa [12] .....1670 Kč/t  
 Zemní plyn [13] .....1350 Kč/MWh

	Varianta 1: h. uhlí	Varianta 2: č. uhlí	Varianta 3: biomasa	Varianta 4: zemní plyn
<b>Investiční náklady</b>	338210000	335050000	326250000	112700000
<b>Náklady na palivo (Kč/rok)</b>	55573140	58699125	55618481,6	86294821,9
<b>Celkový počet pracovníků</b>	24	24	24	4
<b>Náklady na mzdy (kč/rok)</b>	24000000	24000000	24000000	4000000

Tabulka 26: Celkové náklady

Varianta 1:

$$TCO_{v1} = I_n \times 10 \times (N_p + N_m) = 338210000 \times 10 \times (55573140 + 24000000) \\ = 1133941400 \text{ Kč}$$

Varianta 2:

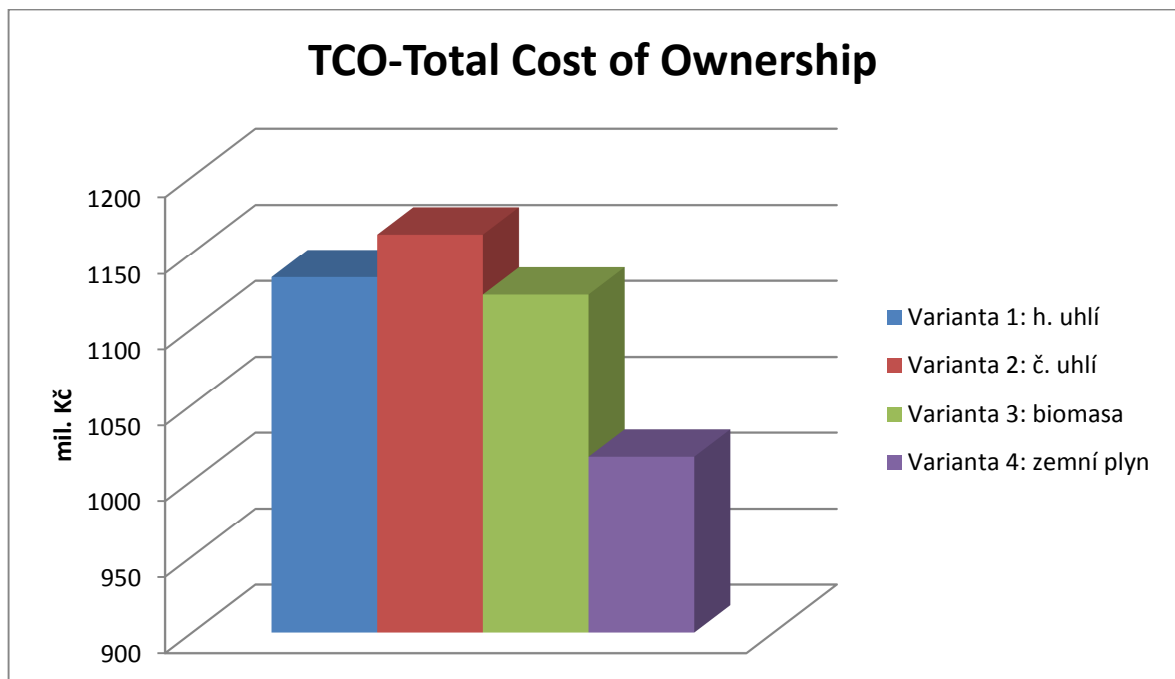
$$TCO_{v2} = I_n \times 10 \times (N_p + N_m) = 335050000 \times 10 \times (58699125 + 24000000) \\ = 1162041250 \text{ Kč}$$

Varianta 3:

$$TCO_{v3} = I_n \times 10 \times (N_p + N_m) = 326250000 \times 10 \times (55618482 + 24000000) \\ = 1122434816 \text{ Kč}$$

Varianta 4:

$$TCO_{v4} = I_n \times 10 \times (N_p + N_m) = 112700000 \times 10 \times (86294821,9 + 4000000) \\ = 1015648219 \text{ Kč}$$



**Graf 7:** TCO- Total Cost of Ownership

## 4 Závěr

Úkolem mé diplomové práce bylo navrhnout nový zdroj v Teplárně Dvůr Králové. Nejprve jsem provedl zhodnocení stávajícího stavu, abych zjistil slabé stránky současného provozu. Teplárna prošla poslední výraznou rekonstrukcí v roce 2009, což se nemusí zdát, jako tak dávno, ale v roce 2007, kdy se rekonstrukce začala plánovat, se výkupní cena silové elektrické energie pohybovala okolo 80 €/MWh, dnes je tato cena pod hranicí 30 €/MWh. Další slabou stránkou současného provozu je značné předimenzování teplárny. V dřívějších dobách zásobovala teplárna hlavně velké průmyslové podniky, jako například JUTA a.s. a průmysl tvořil až 85% odběrů teplárny, to se však počátkem 90. let změnilo a průmysl začal postupně upadávat. Celkový instalovaný výkon se nyní pohybuje na hodnotě 124 MWt.

Návrh nového zdroje byl rozdělen do dvou skupin. První skupina variant uvažuje s kombinovanou výrobou elektřiny a tepla, v podstatě se jedná o velmi podobné provozy tomu současnému, jen s modernějšími kotli a celou technologií a správným nadimenzováním celého provozu. Druhá skupina řešení uvažuje pouze s čistě teplárenským provozem a výrobou pouze tepelné energie.

V případě kombinované výroby elektřiny a tepla, jsem uvažoval celkem se třemi různými palivovými variantami. V první je spalováno hnědé uhlí, ve druhé černé a třetí spaluje biomasu ve formě štěpky. Jelikož je u všech variant stejný odběr tepla, uvažuji ve všech variantách s instalací 2 fluidních parních kotlů, 1 špičkového horkovodního kotle na zemní plyn a instalací kondenzační turbíny s potlačenou kondenzací a průtočným chlazením s jedním odběrem. Nejprve jsem vypočítal potřebnou páru a z ní vypočetl velikost kotlů. Z těchto výpočtů doporučuji instalaci dvou fluidních kotlů o celkovém průtoku 22,2 t/h a výkonu 18 MWt, dále uvažuji s instalací jednoho špičkového horkovodního kotle na zemní plyn, který bude sloužit k pokrývání špiček v zimních měsících. Z hodinových údajů jsem vypočítal jednotlivé měsíční bilance, hodnoty  $HR$ ,  $q_{EL}$ ,  $S_{pal_{ev}}$ ,  $S_{pal_{ed}}$ ,  $S_{pal_{td}}$  a celkové roční spotřeby paliva.

U čistě teplárenského provozu jsem uvažoval pouze s jednou variantou a to s instalací 2 plynových kotlů o celkovém výkonu 18 MWt. Plynové kotle mají obrovskou výhodu v tom, že jsou velmi spolehlivé a není potřeba dalšího záložního zdroje. Obecně je varianta pouze teplárenského provozu technologicky mnohem jednodušší, tomu odpovídá i počet pracovníků, který je oproti kombinované výrobě 6x nižší a přináší značnou finanční úsporu. Z hodinových hodnot jsem opět vypočítal měsíční a celkovou roční spotřebu plynu.

V další části jsem se věnoval porovnání jednotlivých variant. Nejprve jsem po

konzultaci s projektantem určil celkové investiční náklady jednotlivých variant a ze spotřeby paliva určil celkovou roční spotřebu paliva. Na porovnání jsem použil metodu TCO (Total Cost of Ownership), která v sobě zahrnuje všechny náklady na provoz a investiční náklady po dobu životnosti. Pokud se nejprve podíváme na porovnání kombinované výroby elektřiny a tepla, zjistíme, že i přes největší spotřebu paliva v tunách, je dle metody TCO nejvýhodnější varianta 3 s biomasovým kotlem. Osobně si myslím, že je tato varianta z kombinované výroby nejvhodnější. Biomasa má jako palivo mnoho výhod, produkuje téměř nulové emise a obecně zhruba 6x méně odpadu než třeba uhlí. Další velkou výhodou je možnost biomasu pěstovat a nebýt závislý na těžbě, jako je tomu u uhlí. V současné době se v ČR hodně mluví o zavírání uhelných dolů a je tedy možné, že do budoucna cena uhlí znatelně poroste, naopak v případě biomasy stát dává dotace za pěstování např. tzv. palivových dřevin a postupně přidává na jejich seznam stále více rostlin, což by v budoucnu mohlo vést k poklesu její ceny.

Pokud se podíváme na porovnání kombinované výroby a čistě teplárenské výroby vidíme, že dle TCO jsou investiční náklady čistě teplárenské výroby s 2 plynovými kotli zhruba 2x nižší než nejlevnější varianta u kombinované výroby. V tomto případě je těžké rozhodnout, která varianta by byla pro Teplárnu Dvůr Králové vhodnější. Nejdůležitější by zde asi bylo rozhodnutí provozovatele, jestli chce stále provozovat kombinovanou výrobou, nebo se spokojí pouze s výrobou tepla. Osobně si myslím, že při tak velkém cenovém rozdílu, velmi nízkých odběrech tepla a nízké výroby elektrické energie, které ve Dvoře Králové jsou, se přechod na čistě teplárenský provoz jeví jako nevhodnější a nejvýhodnější možnost.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Elektrárny Poříčí. [www.cez.cz](http://www.cez.cz). [online]. 2016 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/uhelne-elektrarny/cr/porici.html>
- [2] VÝROBA, TECHNOLOGIE A ORGANIZACE. [www.cez.cz](http://www.cez.cz). [online]. 2012 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/micrositesutf/odpovednost2011/cs/uvod/vyroba-technologie-a-organizace.html>
- [3] Centrální zdroj tepla a elektřiny. Dvůr Králové nad Labem. Vlastivědné čtení o našem městě i jeho okolí. 1995, I/4, s. 4.
- [4] Kotle – 2. část. [www.vytapeni.tzb-info.cz](http://www.vytapeni.tzb-info.cz). [online]. 2.4. 2012 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/8438-kotle-2-cast>
- [5] [www.cez.cz](http://www.cez.cz); Struktura informací o uhelných elektrárnách ČEZ, a. s.; Elektrárny Poříčí, Teplárna Dvůr Králové
- [6] projekt: Optimalizace výroby el. v TDK, ČEZ, a.s.
- [7] Elektřina na burze je nejlevnější za dvanáct let. [www.novinky.cz](http://www.novinky.cz). [online]. 6.9. 2015 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <http://www.novinky.cz/ekonomika/382473-elektrina-na-burze-je-nejlevnejsi-za-dvanact-let.html>
- [10] Co je to TCO. [www.billcom.cz](http://www.billcom.cz). [online]. 2014 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: [http://www.billcom.cz/index.php?option=com\\_content&view=article&id=170:co-je-zakladlo-tco&catid=17:peetli-jsme-za-vas&Itemid=42](http://www.billcom.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=170:co-je-zakladlo-tco&catid=17:peetli-jsme-za-vas&Itemid=42)
- [11] Přehled cen uhlí a koksu. [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz). [online]. 2001-2016 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/16-prehled-cen-uhli-a-koksu>
- [12] Přehled cen dřevní štěpky. [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz). [online]. 2013 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/37-prehled-cen-drevni-stepky>
- [13] Přehled cen zemního plynu. [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz). [online]. 2001-2016 [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/13-prehled-cen-zemniho-plynu>

## Seznam obrázků:

OBRÁZEK 1: VÝROBNÍ PORTFOLIO SKUPINY ČEZ [2] .....	11
OBRÁZEK 2: VÝSTAVBA KOTLE K3 [3] .....	12
OBRÁZEK 3: NÁHRADNÍ SCHÉMA TDK[6] .....	16
OBRÁZEK 4: KONDENZAČNÍ PROVOZ TDK .....	18
OBRÁZEK 5: PROTITLAKÝ PROVOZ TDK .....	21
OBRÁZEK 6: NOVÉ SCHÉMA TEPLÁRNY TDK .....	26
OBRÁZEK 7: NAPÁJECÍ NÁDRŽ .....	27
OBRÁZEK 8: OHNIŠTĚ FLUIDNÍHO KOTLE [4] .....	29

## Seznam grafů:

GRAF 1: VÝVOJ CEN SILOVÉ ELEKTRICKÉ ENERGIE [7] .....	13
GRAF 2: ROČNÍ DODÁVKY TEPLA .....	23
GRAF 3: ROČNÍ DIAGRAM TRVÁNÍ VÝKONU .....	24
GRAF 4: ROČNÍ POKRYTÍ VÝKONU .....	27
GRAF 5: SPOTŘEBA PALIVA (T/ROK) .....	39
GRAF 6: SPOTŘEBA ZEMNÍHO PLYNU .....	40
GRAF 7: TCO- TOTAL COST OF OWNERSHIP .....	43

## Seznam tabulek:

TABULKA 1: KOTELNA TDK[5] .....	14
TABULKA 2: STROJOVNA TDK [5] .....	15
TABULKA 3: DODÁVKY TEPLA .....	24
TABULKA 4: EMISNÍ LIMITY DLE VYHLÁŠKY Č. 415/2012 Sb. ....	25
TABULKA 5: PARAMETRY ZEMNÍHO PLYNU .....	26
TABULKA 6: PARAMETRY FLUIDNÍ KOTLE NA HNĚDÉ UHLÍ .....	31
TABULKA 7: PARAMETRY PLYNOVÉHO KOTLE .....	31
TABULKA 8: PARAMETRY HNĚDÉHO UHLÍ .....	31
TABULKA 9: PARAMETRY FLUIDNÍHO KOTLE NA ČERNÉ UHLÍ .....	32
TABULKA 10: PLYNOVÝ KOTEL V1 .....	32
TABULKA 11: PARAMETRY ČERNÉHO UHLÍ .....	33
TABULKA 12: PARAMETRY FLUIDNÍHO KOTLE NA BIOMASU .....	33
TABULKA 13: PLYNOVÝ KOTEL V2 .....	34
TABULKA 14: PARAMETRY ŠTĚPKY .....	34
TABULKA 15: CELKOVÉ INVESTIČNÍ NÁKLADY .....	35
TABULKA 16: INVESTIČNÍ NÁKLADY V1 V LETECH .....	35
TABULKA 17: INVESTIČNÍ NÁKLADY V2 V LETECH .....	36
TABULKA 18: INVESTIČNÍ NÁKLADY V3 V LETECH .....	36
TABULKA 19: CELKOVÉ ROČNÍ PRODUKCE TEPLA A EL. ENERGIE .....	36
TABULKA 20: PARAMETRY PÁRY .....	37
TABULKA 21: TEPLÁRENSKÉ UKAZATELE .....	38
TABULKA 22: SPOTŘEBA PALIVA (T/ROK) .....	39
TABULKA 23: PLYNOVÝ KOTEL-VÝTOPENSKÁ VARIANTA .....	41
TABULKA 24: SPOTŘEBA PLYNU-TEPLÁRENSKÝ PROVOZ .....	41
TABULKA 25: INVESTIČNÍ NÁKLADY TEPLÁRENSKÉHO PROVOZU .....	42
TABULKA 26: CELKOVÉ NÁKLADY .....	42

## **Přílohy:**

Příloha 1: Cd disk