

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Hodnocení provozu zařízení na spalování biomasy**

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Vítek FÜRBAČER**  
Osobní číslo: **E17N0062P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Technická ekologie**  
Název tématu: **Hodnocení provozu zařízení na spalování biomasy**  
Zadávací 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 současný stav v oblasti energetického využívání biomasy v podmínkách ČR a zahraničí.
  2. Analyzujte energetické environmentální, legislativní, technické a ekonomické možnosti a podmínky provozu zařízení na spalování biomasy pro její přímé spalování a spoluspalování.
  3. Vyhodnoťte výsledky provozu zařízení na spalování biomasy na kotli K 7 v PT, a.s.
  4. Navrhněte opatření na zvýšení efektivnosti a účinnosti energetického využívání biomasy.
-

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **40 - 60 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- 1. Odborná periodika a internetové zdroje dle doporučení vedoucího DP.**
- 2. Výrobní a provozní záznamy hodnoceného zařízení.**

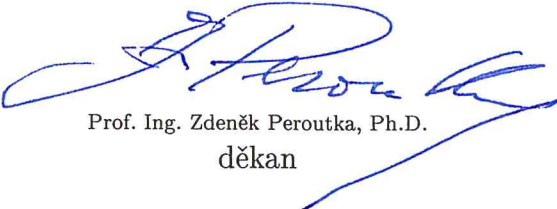
Vedoucí diplomové práce:

**Mgr. Eduard Ščerba, Ph.D.**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **5. října 2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **30. května 2019**

  
Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 5. října 2018

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá energetickým využíváním biomasy se zaměřením na její spalování a spoluspalování. Zprvu jsou vyhodnoceny energetické údaje biomasy v rámci České republiky, Evropské unie a vybraných zahraničních států. V práci jsou uvedeny vhodné možnosti a podmínky spalování a spoluspalování biomasy od malých zdrojů po velké s ohledem na ekologičnost, ekonomičnost a legislativu.

V této práci jsou vyhodnoceny provozní hodnoty kotle K7 v Plzeňské teplárenské, a.s. Práce se dále zabývá zlepšením efektivnosti a účinnosti spalování biomasy na kotli K7. Návrh na zvýšení efektivnosti při spalování biomasy na kotli K7 je realizován vhodnější dopravou dřevní štěpky pomocí dalších pásových dopravníků. Pro zvýšení účinnosti kotle K7 je navržena záměna žaluziového odlučovače za cyklónový s vyšší účinností separování nedopalků nebo jejich kombinace a oprava narušených trubek zajišťujících ohřev spalovacího vzduchu spalinami.

Přínosem této práce jsou vyhodnocené údaje z kotle K7 v Plzeňské teplárenské, a.s., které nám ukazují vysokou účinnost kotle a stabilní průběh spalování biomasy ve formě dřevní štěpky a možné návrhy pro zlepšení jeho účinnosti.

## **Klíčová slova**

biomasa, dřevní štěpka, spalování biomasy, spoluspalování biomasy, Plzeňská teplárenská, fluidní kotel, fluidní spalování, biomasa v České republice

## **Abstract**

This diploma thesis is about biomass energy use, focusing its firing and co-firing. At first, the values of biomass energy use are evaluated for the Czech Republic, European Union and for several foreign countries. Conditions and possibilities of firing and co-firing biomass are stated in this thesis with regard to the ecology, economy and legislation.

The operating values of the boiler K7 at Plzeňská teplárenská, a.s. are evaluated in this diploma thesis. This diploma thesis also deals with efficiency and effectiveness improvements of biomass firing for the boiler K7. The solution of effectiveness improvement is realized by more appropriate biomass transfer. The solution of efficiency improvement of the boiler K7 is realized by substitution of louver separator by cyclone separator or combination of them and restoration of damaged pipes which heat combustion air by flue gas.

The contribution of this thesis are evaluated values of the boiler K7 at Plzeňská teplárenská, a.s. which shows us boiler's high efficiency and stable firing process of biomass formed in woodchips and possibilities of efficiency improvements.

## **Key words**

biomass, woodchips, biomass firing, biomass co-firing, fluid boiler, fluid combustion, biomass in Czech republic

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s 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 29.5.2019

Vítek Fürbacher

## **Poděkování**

Děkuji firmě Plzeňská teplárenská, a.s. za poskytnuté dokumenty a provozní hodnoty, které posloužili pro vypracování mé diplomové práce. Především děkuji Ing. Martinovi Černíkovi za ochotu, provedení po teplárně, cenné rady a odborný výklad. Dále děkuji Mgr. Eduardovi Ščerbovi, Ph.D. za odborné vedení diplomové práce.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>11</b>
<b>1 ENERGETICKÉ VYUŽITÍ BIOMASY</b> .....	<b>13</b>
1.1 BIOMASA.....	13
1.2 ZÁKLADNÍ DĚLENÍ ENERGETICKÉHO VYUŽITÍ BIOMASY .....	13
1.2.1 Jednotlivé procesy.....	14
1.3 BIOMASA V ČESKÝCH DOMÁCNOSTECH.....	16
1.3.1 Brikety z biomasy.....	16
1.3.2 Pelety.....	17
1.3.3 Kusové dřevo.....	17
1.4 VÝROBA Z BIOMASY V ČR.....	17
1.4.1 Výroba elektřiny brutto v roce 2017.....	18
1.4.2 Kombinovaná výroba elektřiny a tepla v roce 2017.....	19
1.4.3 Rozdělení výroby podle technologie elektráren v roce 2017.....	19
1.5 ENERGETICKÉ VYUŽITÍ BIOMASY V ZAHRANIČÍ.....	19
1.5.1 Energetické využívání biomasy ve Spojených státech amerických.....	19
1.5.2 Energetické využívání biomasy ve Velké Británii.....	20
1.5.3 Energetické využívání biomasy v EU.....	21
<b>2 PODMÍNKY A MOŽNOSTI SPALOVÁNÍ BIOMASY</b> .....	<b>23</b>
2.1 ENVIRONMENTÁLNÍ MOŽNOSTI A PODMÍNKY .....	23
2.1.1 Zákon o ochraně ovzduší.....	23
2.1.2 Emisní povolenky.....	25
2.2 EKONOMICKÉ MOŽNOSTI A PODMÍNKY .....	26
2.3 LEGISLATIVNÍ MOŽNOSTI A PODMÍNKY .....	26
2.3.1 Směrnice EU.....	26
2.3.2 Zákon č. 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů.....	27
2.4 TECHNICKÉ MOŽNOSTI A PODMÍNKY SPALOVÁNÍ A SPOLUSPALOVÁNÍ BIOMASY .....	27
2.4.1 Používaná paliva.....	27
2.4.2 Složení paliv a jejich vlastnosti.....	28
2.4.3 Vhodné technologie pro spalování a spoluspalování biomasy.....	31
2.4.4 Spalovací zařízení.....	33
2.4.5 Komplikace při spalování biomasy.....	38
<b>3 VYHODNOCENÍ PROVOZU ZELENÉHO BLOKU V PT, A.S.</b> .....	<b>39</b>
3.1 ZÁKLADNÍ ÚDAJE O ZELENÉM BLOKU.....	39
3.1.1 Kotel K7.....	39
3.1.2 Popis kotle.....	42
3.2 PRŮBĚH TEPLOT A PRŮTOK PRIMÁRNÍHO VZDUCHU PŘI SPALOVÁNÍ.....	43
3.3 PRŮBĚH TEPLoty, TLAKU A MNOŽSTVÍ PÁRY A VÝKONU NA SVORKÁCH GENERÁTORU .....	44
3.4 ENERGETICKÉ SHRNUTÍ VÝROBY ZA OBDOBÍ 01/2017 – 04/2019 .....	46
3.4.1 Výroba elektrická energie.....	46
3.4.2 Výhřevnost dřevní štěpky.....	47
3.4.3 Elektrická energie vyrobená z 1 tuny štěpky.....	48
3.4.4 Výpočet účinnosti kotle přímou metodou.....	49
3.5 PRŮBĚH EMISÍ.....	50
<b>4 MOŽNÉ NÁVRHY NA ZLEPŠENÍ EFEKTIVNOSTI A ÚČINNOSTI V PT, A.S.</b> .....	<b>51</b>
4.1 KVALITNĚJŠÍ PALIVO.....	51
4.2 NEDOKONALÉ ZACHYTÁVÁNÍ NEDOPALKŮ .....	51



4.2.1	Žaluziový odlučovač .....	52
4.2.2	Cyklónový odlučovač .....	52
4.2.3	Zlepšení odlučivosti .....	53
4.3	VÝMĚNA TRUBEK V OHŘÍVÁKU VZDUCHU.....	54
4.3.1	Aktuální stav ohříváku vzduchu .....	54
4.3.2	Oprava a výměna trubek.....	54
4.4	AUTOMATIZOVANÁ DOPRAVA ŠTĚPKY .....	54
4.4.1	Aktuální stav dopravy štěpky .....	55
4.4.2	Možné úpravy dopravy štěpky .....	56
<b>ZÁVĚR.....</b>		<b>57</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....</b>		<b>59</b>
<b>PŘÍLOHY .....</b>		<b>62</b>

## Úvod

V posledních letech je stále větší snaha docílit, co největšího podílu výroby elektřiny nebo tepla z obnovitelných zdrojů s minimálním negativním dopadem na životní prostředí. Evropská unie se snaží svými směrnici tomuto trendu dopomocť. V roce 2016 se v Evropské unii na produkci energií podílely obnovitelné zdroje 27,4 % a celosvětově 13,6 %.

Biomasa je jedním z obnovitelných zdrojů energií a podílí se tak na celkové produkci energií z OZE. Je možné ji energeticky využít několika způsoby. Jedním využívaným způsobem je například přeměna biomasy na biopaliva, která jsou dnes povinně přimíchávána ke klasické naftě. Dalším často používaným způsobem je využívání bioplynů. Velký podíl na výrobě z biomasy mají také piliny, kůry, štěpky a dřevní odpad. Tyto dřevní produkty se velmi často využívají pro výrobu elektrické energie a tepla. Většinou jsou spalovány nebo spoluspalovány např. s uhlím v elektrárnách a teplárnách. Spalování a spoluspalování biomasy s sebou nese jisté možnosti a podmínky, o kterých tato práce mimo jiné pojednává.

Jedním z hlavních důvodů využívání biomasy jako paliva je její nulová bilance oxidu uhličitého, jelikož množství, které se uvolní při spálení, je jen stejným množstvím, které daná rostlina spotřebovala při svém růstu. Oxid uhličitý bohužel není jediná látka, která se uvolňuje při spalování biomasy, a proto je nutné brát ohledy na vhodné technologie spalování, které mohou velmi ovlivnit míru těchto látek. Většina těchto látek je zdraví škodlivá pro lidi, ale zároveň negativně působí na životní prostředí.

Cílem této práce je vyhodnocení aktuálního využívání biomasy v ČR a zahraničí. Mezi další cíle této práce patří analyzování vhodných možností a podmínek spalování a spoluspalování biomasy z různých hledisek. Dále vyhodnocení provozních záznamů kotle K7 v Plzeňské teplárenské, a.s. a návrhy, které by mohly vést ke zlepšení účinnosti nebo efektivnosti při spalování biomasy.

## Seznam symbolů a zkratek

$\eta$ .....	účinnost	(%)
$A$ .....	poměrný obsah popela	(%)
BRKO .....	biologicky rozložitelná část komunálního odpadu	
$C$ .....	uhlík	
$CaO$ .....	oxid vápenatý	
$CH_4$ .....	metan	
$CO$ .....	oxid uhelnatý	
$CO_2$ .....	oxid uhličitý	
ČR .....	Česká republika	
EU .....	Evropská unie	
$f$ .....	popelový faktor	(-)
$h$ .....	poměrný obsah hořlaviny	(%)
$H$ .....	vodík	
$K_2O$ .....	oxid draselný	
K7 .....	kotel s číslem 7 v Plzeňské teplárenské, a.s.	
KVET .....	kombinovaná výroba elektřiny a tepla	
$m$ .....	hmotnost	(kg)
$M$ .....	poměrný obsah popelovin	(%)
$N$ .....	dušík	
NOX .....	oxidy dusíku	
$O$ .....	kyslík	
OZE .....	obnovitelné zdroje energie	
$p$ .....	tlak	(Pa)
$P$ .....	výkon	(W)
PT, a.s. ....	Plzeňská teplárenská, akciová společnost	
$Q_{in}$ .....	teplo dodané palivem	(J)
$Q_n$ .....	spalné teplo	(J/kg)
$Q_{out}$ .....	teplo vyrobené kotlem	(J)
$Q_v$ .....	výhřevnost	(J/kg)
$S$ .....	síra	
$SiO_2$ .....	oxid křemičitý	
$SO_2$ .....	oxid siřičitý	

---

<i>t</i> .....	teplota	(°C)
TG3 .....	turbosoustrojí s číslem 3 v Plzeňské teplárenské, a.s.	
TOC .....	celkový organický uhlík	
toe .....	tonne of oil equivalent – ekvivalent jedné tuny oleje (1 toe = 11,63 MWh)	
TZL .....	tuhé znečišťující látky	
<i>V</i> .....	prchavá hořlavina	(%)
VB .....	Velká Británie	
VOC .....	těkavé organické látky	
<i>W</i> .....	poměrný obsah vody	(%)

# 1 Energetické využití biomasy

Obnovitelné zdroje jsou v České republice běžně používány pro výrobu elektrické energie a tepla. V OZE má biomasa velké zastoupení. Všechny druhy biomasy se na výrobě energií z OZE podílí více než 80 %. [1]

## 1.1 Biomasa

Za biomasu považujeme všechnu organickou hmotu živočišného a rostlinného původu. Existuje několik forem biomasy, které se dají energeticky využít. Jedná se o OZE patřící do skupiny zdrojů s nulovou bilancí oxidu uhličitého. Uvolněné množství CO<sub>2</sub> při spalování je rovno množství CO<sub>2</sub> spotřebovaného rostlinami při jejich růstu. [2]

## 1.2 Základní dělení energetického využití biomasy

Biomasa se dá energeticky využít pomocí více procesů. Při těchto procesech můžou vznikat primární a odpadní produkty. Existují tři hlavní způsoby energetického využití biomasy – termochemická konverze, biochemická konverze a fyzikálně-chemická konverze. [3]

Termochemickou konverzi představuje pyrolýza, zplyňování a spalování a jde o suchý proces. Například u zplyňování je primárním produktem bioplyn. Pyrolýzou dostaneme biouhlí nebo syntézní plyn. Existuje i rychlá pyrolýza, ze které vznikne pyrolýzní olej. Spalováním vznikne teplo vázané na teplonosné médium. [3]

Biochemickou konverzi představují různé fermentace (anaerobní, aerobní nebo alkoholová fermentace). Tyto procesy můžou být mokré i suché. Anaerobní fermentací získáme jako primární produkt fermentační bioplyn. Aerobní fermentací dosáhneme vzniku tepla, které se naváže na teplonosné médium. Alkoholovým kvašením získáme bioetanol. [3]

Fyzikálně-chemickou konverzí můžeme získat metylester biooleje (proces esterifikace biooleje). [3]

Každá biomasa je vhodná pouze pro jednotlivé procesy. Určité druhy biomasy nejsou vhodné nebo nejdou použít kvůli technologiím pro jisté procesy. Některé druhy biomasy jdou sice využít pro jisté procesy, avšak nemusí být ekonomicky výhodné. Přehled použitelnosti biomasy najdeme v příloze A. [3]

### 1.2.1 Jednotlivé procesy

V České republice i zahraničí se využívá různých procesů, které jsou vhodné pro energetické využití biomasy.

#### 1.2.1.1 Spalování

Nejčastěji využívaný proces pro získání energie z biomasy. Snažíme se dosáhnout co nejdokonalějšího spalování hořlavých složek paliva při exotermické chemické reakci. Dokonalejším spalováním získáme více uvolněného tepla, které lze například využít přes teplosměnné médium pro ohřev vody nebo její odpaření a následné využití páry v turbínách pro výrobu elektrické energie. [3]

#### 1.2.1.2 Zplyňování

Při zplyňování se snažíme dosáhnout výroby generátorového plynu. Ke zplyňování dochází ve zplyňovacím reaktoru, kde se v první fázi biomasa suší, v druhé dojde k uvolnění prchavé hořlaviny (pyrolýza), v třetí fázi dojde v oxidační zóně k oxidaci tuhé fáze a ve finální fázi dojde v redukční zóně k redukci. [3]

Vzniklý generátorový plyn zplyňovaný vzduchem obsahuje přibližně 40 % N<sub>2</sub>, 25 % CO, 20 % H<sub>2</sub>, 10% CO<sub>2</sub> a 5 % CH<sub>4</sub>. Tento plyn lze využít pro vytápění i pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla (KVET). Ke zplyňování je často využíváno dřevo, které je v podobě štěrky nebo pilin. Ve zplyňovacích kotlích o malých výkonech lze využít i kusové dřevo. Jeden kg dřeva postačí na vznik cca 1,5 až 2 m<sup>3</sup> plynu s výhřevností 5-6 MJ/m<sup>3</sup>. Médium pro zplyňování je nejčastěji obyčejný vzduch za atmosférického tlaku. Používá se také kyslíkovo-parní směs, která zajistí ve výsledku vyšší výhřevnost plynu. Nikdy se však nepoužívá čistý kyslík. [3]

#### 1.2.1.3 Pyrolýza

Při pyrolýze dochází k termickému rozkladu organických látek bez přístupu vzduchu. Vzniknou nám pak nízkomolekulární sloučeniny. Tento proces může probíhat při různých tlacích a teplotách. Klasicky je použita vyšší teplota (800 °C) za sníženého tlaku. Primární produkt tohoto procesu může být pyrolýzní plyn, dřevěné uhlí (při použití dřeva) nebo případně biouhlí. Pokud se vyrábí uhlí, je sekundárním produktem pyrolýzní plyn. Rychlé zplyňování neboli zkapalňování je také řazeno do kategorie pyrolýzy. Tímto procesem získáme pyrolýzní olej. [3]

Pro pyrolýzu se používají různé formy dřeva. V některých reaktorech lze například využít i obiloviny. [3]

#### 1.2.1.4 Anaerobní fermentace

Anaerobní fermentace využívá biologického rozkladu organických materiálů, které jsou rozkládány mikroorganismy. Při rozkladu se uvolňuje plyn. Mikroorganismy dělíme podle teploty, ve které zrovna fungují. Jedná se o termofilní (cca 55 °C), mezofilní (35 – 40 °C) a psychrofilní (15 – 20 °C) mikroorganismy. Zbytky po procesu fermentace jdou použít jako kvalitní hnojivo. [3]

Vzniklý plyn má největší podíl metanu (50 až 75 %). Zbytek plynu je převážně oxid uhličitý. Procesy nutné k získání metanu jsou velmi složité. Jednotlivé fáze jdou zjednodušeně popsat čtyřmi kroky. [3]

1. fáze – hydrolýza
2. fáze – acidogeneze
3. fáze – acetogeneze
4. fáze – metanogeneze

#### 1.2.1.5 Aerobní fermentace (kompostování)

Při aerobní fermentaci dochází k rozkladu organických látek na látky anorganické pomocí mikroorganismů za přístupu vzduchu. Tento proces můžeme běžně zpozorovat v přírodě. Rozkladem nám vznikne minerální látka, kterou nazýváme humus (lze použít jako kvalitní hnojivo). Při procesu se musí dodržovat jisté teploty, vlhkost, pH a přivádět kyslík, aby nedošlo k vyhnívání (při rozkladu dochází k oxidaci). Během procesu dochází k uvolňování tepla, které se musí odvádět, aby nedošlo k zahubení mikroorganismů. Vzniklé teplo lze energeticky využít. [3]

#### 1.2.1.6 Alkoholová fermentace

Alkoholovou fermentací získáme etanol, který lze využít jako palivo, nebo jej lze přimíchávat do jiných paliv (do benzínu). [3]

### 1.2.1.7 Esterifikace olejů

Specifickou úpravou rostlinných olejů je možné získat produkty, které mají velmi podobné vlastnosti jako je nafta. Nejprve se olejnatá semena zahřejí a semelou. Vylisovaný olej se následně rafinuje pro dosažení lepší kvality. Další úpravy zajistí vznik metylesterů bioolejů, které se dají energeticky využít jako nafta, se kterou jsou si strukturálně podobné. [3]

## 1.3 Biomasa v českých domácnostech

Dřevo jako zdroj tepla se využívá již velmi dlouho. V dnešní době tomu není jinak. Pro lepší distribuci topného materiálu se případně kusové dřevo transformuje do podoby briket či pelet. Mimo jiné se při tomto procesu získají lepší parametry paliva pro jeho spalování.

### 1.3.1 Brikety z biomasy

Jedná se o ušlechtilé palivo z rostlinné nebo dřevní biomasy. Za velkého tlaku a teplot jsou brikety lisovány většinou do plných válců (případně válců s otvory). Dosáhneme tím nižší vlhkosti a vyšší výhřevnosti. [2]

Mezi výhody briket můžeme zařadit jejich ekologičnost, snadnou a pohodlnou manipulaci při vytápění, snadné skladování a možnost spoluspalování například s kusovým dřevem. Výhřevnost briket může přesahovat 18 MJ/kg, což je vyšší výhřevnost, než u nejkvalitnějšího hnědého uhlí. [2]



Obrázek 1.1 Brikety z biomasy [2]



### 1.3.2 Pelety

Stejně jako brikety z biomasy pochází pelety z dřevní a v malém množství i z rostlinné biomasy. Pelety jsou také lisovány za vysokých teplot a tlaku, avšak do malých granulí kruhového průřezu. [2]

Jejich tvar a rozměr umožňuje snadnou manipulaci a jsou vhodné i pro bezobslužné kotle, což zajistí podobný komfort jako u elektrokotlů či plynových kotlů. Výhřevností se pohybují okolo 18 MJ/kg. Lze vyrobit pelety i ze slámy, sena, zemědělských zbytků a energetických rostlin. [2]



Obrázek 1.2 Pelety z biomasy [2]

### 1.3.3 Kusové dřevo

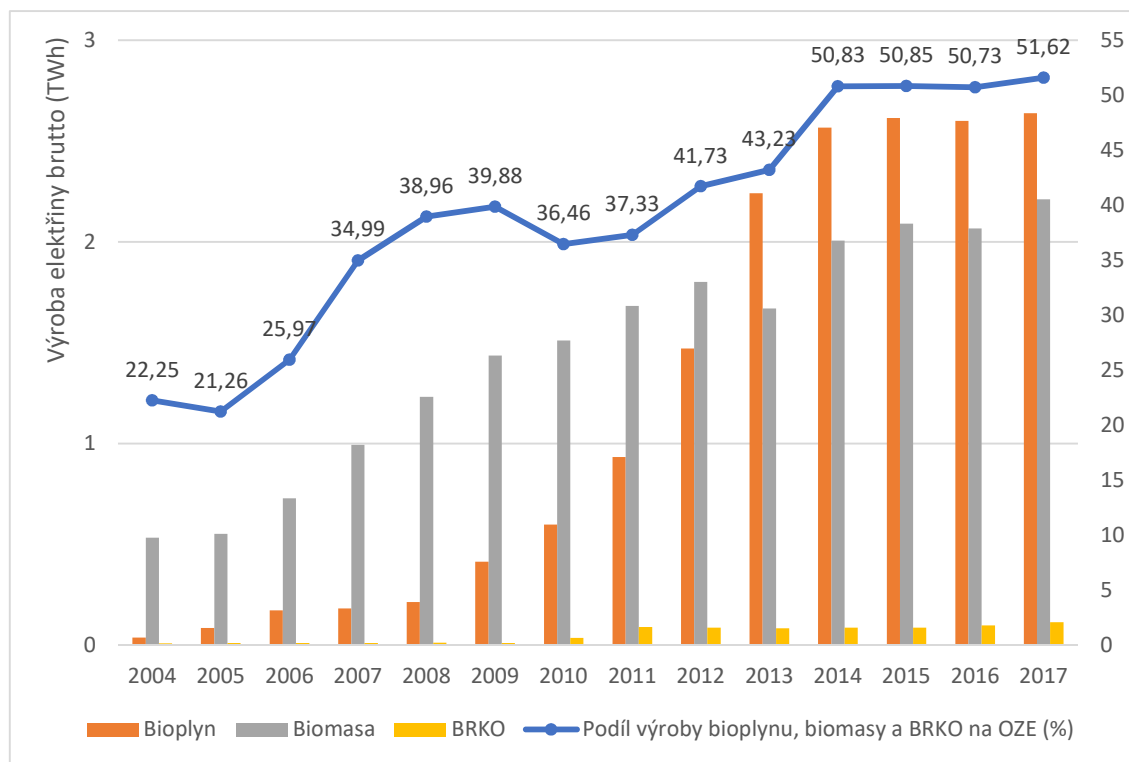
Přírodní organický materiál, který je téměř nevyčerpatelný (za předpokladu dobrého hospodaření). Palivové dřevo můžeme rozlišovat podle jeho tvrdosti. Tvrdé dřevo nám zajistí dlouhotrvající žár v kotli a měkké dřevo dobře poslouží pro zapalování a rychlé vyhřátí vytápěného prostoru. [2]

Na výhřevnost dřeva má velký vliv jeho vlhkost. Můžeme u něj předpokládat výhřevnost kolem 15 MJ/kg při vlhkosti okolo 20 %. Oproti peletám nebo briketám je horší na uskladnění i manipulaci. [2]

## 1.4 Výroba z biomasy v ČR

Od roku 2004 do 2017 vzrostla výroba elektřiny brutto z biomasy a paliv, které pocházejí z biomasy (různé bioplyny, BRKO – biologicky rozložitelná část komunálního odpadu) z hodnoty 580 831 MWh na 4 964 567 MWh. Také se zvedl poměr zastoupení biomasy, biopaliva a BRKO v OZE. V roce 2004 tento poměr zastoupení činil 22,25 % a

v roce 2017 vzrostl na 51,62 %. Na celkové výrobě elektrické energie brutto (v roce 2017) se pak biomasa podílela 3 %, bioplyn také 3 % a BRKO 0,1 %. S postupem času se začalo vyrábět více elektrické energie z bioplynu. Konkrétně se tak stalo v roce 2013, což je možné vidět na *obrázku 1.3*. [4] [5]



Obrázek 1.3 Výroba elektřiny brutto z biomasy a paliv pocházející z biomasy od roku 2004 do 2017 [4] [5]

#### 1.4.1 Výroba elektřiny brutto v roce 2017

Při bližším prozkoumání použité biomasy pro výrobu elektrické energie v roce 2017 zjistíme, že nejvíce bylo vyrobeno z pilin, kůry, štěpky a dřevního odpadu (1 133 000 MWh). Z celulóзовých výluhů se vyrobilo 704 596,8 MWh. Dále se hojně využívalo briket a pelet (275 979,8 MWh). Za zmínku ještě stojí rostlinné materiály neaglomerované (včetně aglomerátů, které přispěli na výrobu 95 744,3 MWh. Kapalná biopaliva přispěla 1975,7 MWh. Z palivového dříví se vyrobilo pouze 55,8 MWh. [4][5]

Bioplyn byl rozdělen do 3 skupin – skládkový plyn, kalový plyn (ČOV) a ostatní bioplyn). Nejvíce bylo vyrobeno z ostatního bioplynu (2 456 938,4 MWh). Kalový plyn přispěl na výrobu 99 700,9 MWh a skládkový plyn 82 337,6 MWh. [4] [5]

### 1.4.2 Kombinovaná výroba elektřiny a tepla v roce 2017

Z biomasy a bioplynu se nevyrábí jen čistě elektřina, ale jsou využívány i ke kombinované výrobě elektřiny a tepla (KVET). Pomocí KVET o různých velikostí MW<sub>e</sub> bylo vyrobeno z biomasy 1 126,9 GWh elektrické energie a dodáno 10 527,9 TJ užitečného tepla. Bioplyn byl využit pro výrobu 1831,2 GWh elektrické energie a dodání 2 003,7 TJ užitečného tepla. Ve srovnání s využitím hnědého uhlí pro KVET (4 089,8 GWh elektřiny a 57 245,4 TJ tepla) jsou biomasa a bioplyn zastoupeny méně, avšak při pohledu na předešlé roky jsou na vzestupu. [4] [5]

### 1.4.3 Rozdělení výroby podle technologie elektráren v roce 2017

V parních elektrárnách se více využívá biomasa, která v nich vyrobila 2 206,5 GWh. Z bioplynu se vyrobilo v parních elektrárnách pouze 12,6 GWh. V plynových a spalovacích elektrárnách byl více využit bioplyn, který vyprodukoval 2 626,4 GWh. Biomasa byla v plynových a spalovacích elektrárnách využita pro výrobu pouhých 4,9 GWh. Tyto rozdíly jsou způsobeny rozdílnou vhodností technologie elektrárny pro různá paliva. [4] [5]

## 1.5 Energetické využití biomasy v zahraničí

### 1.5.1 Energetické využívání biomasy ve Spojených státech amerických

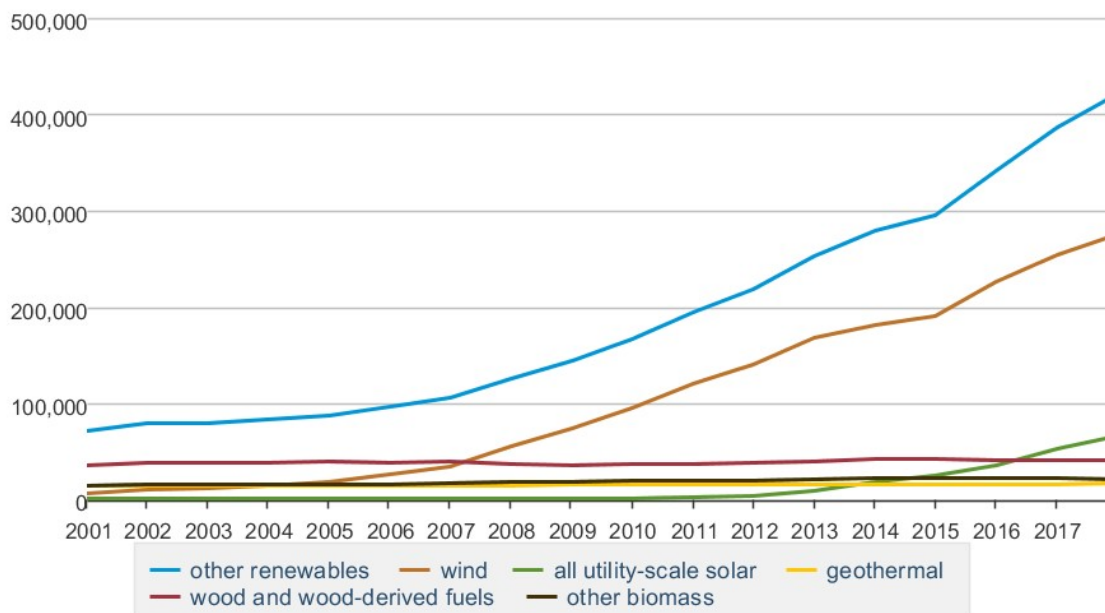
Ve Spojených státech amerických se biomasa využívá pro výrobu elektrické energie již několik let. Nejvíce je využíváno dřevo a palivo vyrobené z něj. Například v roce 2018 bylo vyrobeno jen z pevného dřeva 21,4 TWh. Mezi lety 2010 a 2015 vzrostla výroba elektrické energie z biomasy z 56 TWh na 64 TWh a dále roste. Z celkové výroby elektrické energie v roce 2015 byla biomasa zastoupena 0,8 % a 6,3 % obnovitelných zdrojů. Mezi používaná paliva patří dřevní zbytky z lesů nebo různého dřevního průmyslu a odřezky z městské zeleně. Vlhkost těchto paliv je velmi různá a způsobuje v některých případech výzvu pro jejich spálení. Velké množství elektráren využívá biomasu pouze pro spoluspalování.

Ve státě Virginia je snaha předělat stávající uhelné elektrárny na elektrárny spalující biomasu. Několik je jich již v provozu a tři z nich dosahují výkonu 51 MW. Předělávání uhelných elektráren na elektrárny spalující biomasu se děje z důvodu snahy dosáhnout dobrovolného Virginského programu, který má za cíl dosáhnout 15 % výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů do roku 2025.

I přes viditelné zvyšování využívání biomasy pro výrobu elektrické energie je biomasa použita jen v malém měřítku v porovnání s ostatními obnovitelnými zdroji energie, což je patrné z obrázku 1.4. [6] [7] [8]

### Net generation, United States, all sectors, annual

thousand megawatthours



Data source: U.S. Energy Information Administration

Obrázek 1.4 Výroba z OZE ve Spojených státech amerických [8]

Dále se ve Spojených státech amerických využívá kapalná biomasa – bionafta vyrobená z biomasy. V roce 2018 se importovalo 22 000 barelů za den, což byl pokles o 42 % oproti roku 2017 a 64% pokles než maximum dosažené v roce 2016. Pokles dovozu zapříčinil zvýšení vlastní výroby bionafty. Za poslední dva roky vzrostla produkce bionafty na necelých 121 000 barelů za den. [9]

### 1.5.2 Energetické využívání biomasy ve Velké Británii

Za rok 2017 tvořila biomasa zhruba dvě třetiny z obnovitelných zdrojů energií, které byly využity pro výrobu elektrické energie, tepla a silniční přepravu. Z dat tabulky 1.1 je zřejmý nárůst v oblasti zdrojů energie z biomasy. Především využívání dřeva, skládkových plynů a ostatní bioenergie, která dosáhla hodnoty 6845 ktoe v roce 2017. [10]

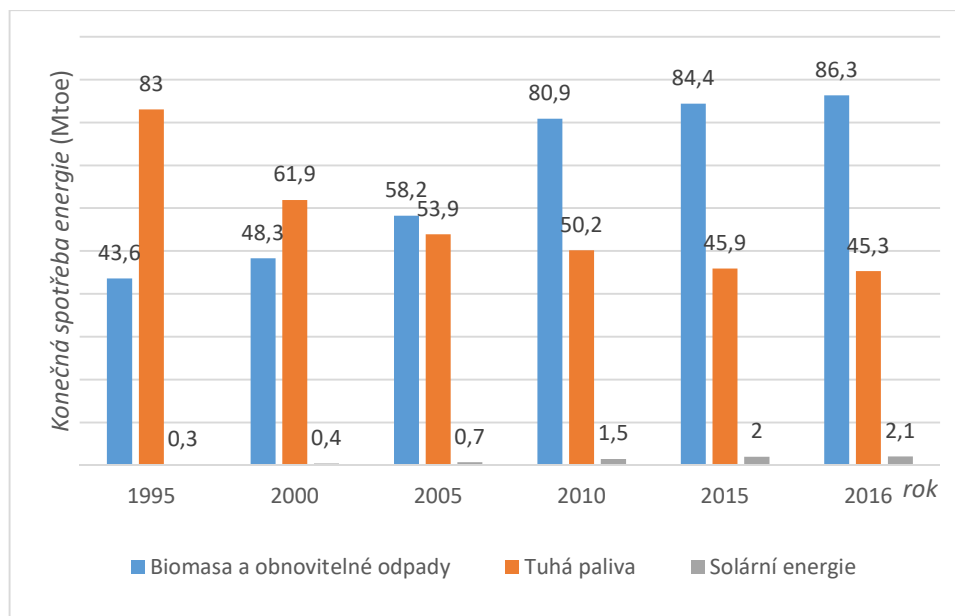
Tabulka 1.1 Obnovitelné energetické zdroje ve VB (jednotky v ktoe) [10]

	1990	2000	2010	2016	2017
Sluneční FV and aktivní solární ohřev	6	11	41	946	1043
Vítr	1	81	884	3204	4300
Vodní el. (velké a malé) a vlnové el.	448	437	309	463	510
Skládkový plyn	80	731	1725	1556	1419
Plyn z odpadních vod	138	169	295	384	401
Dřevo (domácí a průmyslové)	174	458	1653	2373	2358
Spalování komunálního odpadu (biologicky rozložitelný)	101	375	632	1187	1278
Hluboká geotermální energie	1	1	23	1066	1045
Biopalivo pro dopravu	-	-	1218	1010	997
Spoluspalování	-	-	625	25	18
Ostatní bioenergie	72	265	1054	6178	6845
<b>Celkem</b>	<b>1021</b>	<b>2529</b>	<b>846</b>	<b>18392</b>	<b>20216</b>

Již v březnu roku 2007 se Evropská rada shodla na společné strategii ohledně zajištění bezpečné energie a řešení klimatických změn a dala za cíl, aby 20 % zdrojů energie v Evropské unii pocházelo z obnovitelných zdrojů. Velká Británie po dohodách dostala za úkol dostat se na 15 %. Biomasa na řešení tohoto problému přispívá převážně v odvětví výroby elektrické energie, kde v roce 2017 bylo dosaženo 27,9% podílu obnovitelných zdrojů a v odvětví vytápění/chlazení, kde v roce 2017 bylo dosaženo 7,7% podílu obnovitelných zdrojů. Celkově ze všech odvětví spotřeby energie ve Velké Británii v roce 2017 bylo 10,2 % z obnovitelných zdrojů energie (přibližně 6,7 % energie z biomasy). [10]

### 1.5.3 Energetické využívání biomasy v EU

Podle statistik vydané Evropskou komisí došlo za poslední roky k velkému nárůstu energetického využívání obnovitelných zdrojů, na kterých se biomasa podílela velkým množstvím. Během roku 2016 bylo spotřebováno pro výrobu energií 86,3 Mtoe biomasy a obnovitelného odpadu. Tato hodnota je téměř dvojnásobná oproti roku 1995. Z obrázku 1.5 je zřejmý tento nárůst využívání biomasy a například využívání solární energie, i přestože je její energetický přínos několikanásobně menší. Dále je na obrázku 1.5 vidět pokles využívání tuhých paliv, který je úměrný nárůstu využívání biomasy. Z toho plyne, že velká část tuhých paliv je stále více nahrazována biomasou, což je z pohledu ekologičnosti a obnovitelnosti velkým přínosem pro naši planetu. [11]



Obrázek 1.5 Graf konečné spotřeby energie podle paliva [11]

Další velkou roli v energetickém využívání biomasy mají biopaliva pro dopravu. Jedná se o bionaftu a biobenzín pocházející z biomasy. V roce 2016 se v Evropské unii spotřebovalo celkem 13 708 ktoe biopaliva. Z toho větší část byla bionafta o hodnotě 11 083 ktoe. Klasických paliv, jako je benzín a nafta, se však oproti jejich bio verzi spotřebovalo mnohem větší množství – 344 648 ktoe. [11]

## 2 Podmínky a možnosti spalování biomasy

Spalování a spoluspalování biomasy spolu s sebou nese různé podmínky a možnosti, které se týkají životního prostředí (škodlivé látky vzniklé spalováním), ekonomické stránky (různé dotace, podpory), legislativy a především technologií.

### 2.1 Environmentální možnosti a podmínky

Jedním z hlavních důvodů spalování biomasy je její nulová bilance oxidu uhličitého. Některé studie však toto tvrzení zpochybňují. Při spalování zcela jistě vznikají jiné další škodlivé látky, které mohou mít i horší dopady na životní prostředí, než látky vzniklé při spalování fosilních paliv. [12]

#### 2.1.1 Zákon o ochraně ovzduší

Zákon o ochraně ovzduší nám udává rozdělení znečišťující látky do pěti hlavních skupin. Mezi základní znečišťující látky v nulté skupině řadíme tuhé znečišťující látky, oxid siřičitý  $\text{SO}_2$ , oxidy dusíku  $\text{NO}_x$ , těžké kovy, těkavé organické látky VOC, oxid uhelnatý CO, amoniak a soli amonné a polycyklické aromatické uhlovodíky. Většina těchto látek může být emitována při spalování biomasy a každá z těchto látek má jiný vliv na člověka nebo životní prostředí. V následujících odstavcích jsou uvedeny příklady některých látek včetně jejich vzniku a působení na člověka nebo životní prostředí. [12]

##### 2.1.1.1 Oxid uhličitý $\text{CO}_2$

Oxid uhličitý vzniká rozkladem organických látek, dýcháním většiny živých organismů a reakcí uhlíku s kyslíkem v průběhu spalování biomasy (i fosilních paliv). Při spalování biomasy se uvolní stejné množství  $\text{CO}_2$ , které pro svůj růst rostlina spotřebovala. Díky tomuto jevu nedochází k dodatečnému skleníkovému efektu. [12]

##### 2.1.1.2 Oxid uhelnatý CO

Vzniká díky nedokonalému spalování biomasy (i fosilních paliv). Nedokonalým spalováním je například příliš nízká teplota spalování (nedojde k úplné oxidaci paliva na oxid uhličitý), příliš krátký čas pro hoření ve spalovací komoře nebo malý přísun kyslíku pro spalování (nedostatek kyslíku). [12]

Na člověka má negativní vliv, jelikož s hemoglobinem, který je v krevním oběhu, vytváří karboxyhemoglobin. Tento karboxyhemoglobin znemožňuje přenos kyslíku z plic

do tkání. U člověka pak může nastat hypoxie (nedostatek kyslíku), která se projeví špatnou funkcí citlivých orgánů a může vést k smrti. [12]

### **2.1.1.3 Oxid siřičitý SO<sub>2</sub>**

K jeho vzniku dochází při spalování paliv, které obsahují síru. Je snadno rozpustitelný ve vodě. Při rozpouštění ve vodě dochází k uvolňování tepla a vzniku kyseliny siřičité. [12]

Na člověka může mít negativní dopad například v podobě zánětlivého onemocnění sliznici a průdušek. Na přírodu má negativní vliv kyselý aerosol vzniklý působením oxidu siřičitého a vody. Z něho poté vznikají kyselé deště. [12]

### **2.1.1.4 Oxidy dusíku NO<sub>x</sub>**

Existují různé oxidy dusíku, které mají společný emisní zdroj – spalování paliv. Termické NO<sub>x</sub> mohou vznikat příliš velkou teplotou a dobou spalování. Palivové NO<sub>x</sub> vznikají pomocí dusíkatých sloučenin obsažených v palivu. Palivové NO<sub>x</sub> lze omezit vhodnou koncentrací kyslíku v zóně plamene. Na vznik rychlých NO<sub>x</sub> má vliv spalování uhlovodíků ve frontě plamene. [12]

Dlouhodobé vystavení (vdechování) oxidu dusičitému může způsobit změny zejména v plicích (změny podobné rozedmě plic) a dalších orgánech. V městských oblastech může dojít k výskytu tzv. letní smog způsobený oxidem dusíku. [12]

### **2.1.1.5 Chlór Cl a fluor F**

Spalováním paliv obsahující chlór a fluor vzniká chlorovodík a fluorovodík. Při reakci chlóru a vlhkosti vzniká kyselina chlorovodíková a může tak být nebezpečná pro dýchací cesty a oči. [12]

### **2.1.1.6 Polycyklické aromatické uhlovodíky PAU**

K jejich vzniku dochází při nedokonalém spalování. Převážně z tuhých paliv při domácím spalování. [12]

Polycyklické aromatické uhlovodíky mohou mít karcinogenní účinky a pravděpodobně i mutagenní účinky. [12]



### 2.1.1.7 Tuhé znečišťující látky

Jedná se o soubor prachových částic s různorodým složením o velikostech od 0,1 µm do 0,5 mm. Vznikají při spalování. [12]

Malé částice snadno proniknou do plic a tam jsou zadržovány. Plíce se dokáží jistým způsobem sami čistit, ale zároveň s tuhými částicemi často putují i jiné škodliviny a ty mají větší negativní vliv na zdraví člověka. [12]

### 2.1.1.8 Těžké kovy

Těžké kovy mohou být vázány na organickou hmotu (např. na biomasu). Při spálení takovéto biomasy, dojde k odpaření těžkých kovů. Pokud jsou vázány na hrubé minerální částice, pak velmi často dojde k jejich zachycení v popelu. Ze spalovacích procesů mohou například vzniknout tyto kovy: arsen, kadmium, nikl, selen, rtuť, cín a vanad. [12]

Podle závažnosti toxicity kovu mohou nastat u člověka, který inhaluje odpařené částice, různě závažné problémy. Může dojít k poškození orgánů, vzniku rakovinných nádorů nebo přispívat k jejich růstu. [12]

### 2.1.2 Emisní povolenky

Veškeré spalování a spoluspalování biomasy s sebou nese produkování skleníkových plynů. Emise těchto skleníkových plynů jsou měřeny. Každé zařízení (společnost) má své emisní limity. Emisní povolenky jsou nástrojem, který má za úkol snížit emise. Emisní povolenky umožní jejich vlastníkovvi produkovat určité množství emisí. Jedna emisní povolenka je vztažena na 1 tunu znečišťujících látek. [13]

Emisní povolenky byly zavedeny v roce 2005 a stále se s nimi obchoduje. Jejich hlavním cílem bylo ekonomické a efektivní snižování emisí skleníkových plynů. Emisní povolenka stanovovala určité množství skleníkových plynů, které mohou být emitovány do ovzduší daným zařízením (společností). Na začátku každý dostal určité množství povolenek. V případě větší produkce skleníkových plynů, bylo možné další povolenky dokoupit. Je snaha celkové množství povolenek postupně zmenšovat. Díky tomu by mělo dojít i ke snížení emisí. [13]

Příliš velký počet emisních povolenek na trhu měl negativní vliv na vývoji snižování emisí ve smyslu, že byly využívány energeticky náročnými průmyslovými odvětvími, pro

kteřé fungovaly spíše jako forma dotačního prostředku namísto snižování emisí. Tato skutečnost velmi brzdila vývoj snižování emisí. [13]

Nedostatky tohoto systému byly projednány Evropskou komisí a byla následně vydána revidovaná směrnice. V blízké době pro období 2021 – 2030 má nastoupit v platnost čtvrtá fáze, která je zahrnuta ve směrnici 2003/87/ES. Revize čtvrté fáze je upravena v souladu s klimatickými a energetickými politikami. Pravidla pro čtvrtou fázi byla uvedena 19. března 2018 a měla by vstoupit v platnost 1. ledna 2021. [13]

## **2.2 Ekonomické možnosti a podmínky**

Aktuálně dochází ke změnám poskytování podpor ohledně OZE. Nově by po roce 2020 měly být podpory získávány pomocí soutěžních nabídkových řízení (také označovány jako aukce nebo tendry). Je snaha začlenit se do celoevropského trendu, který se vydává tímto směrem. [14]

Aukce budou primárně určeny pro větší zdroje (u biomasy nad 1 MW výroby elektrické energie). Pro menší zdroje by měla stále platit forma podpory zelených a hodinových bonusů. [14]

Momentálně lze o dotace žádat u Státního fondu životního prostředí České republiky. Podporu lze například získat mimo jiné na výměnu starých neekologických zdrojů tepla za kotle na biomasu. Tato podpora je určena pro menší zdroje tepelné energie pro rodinné domy. [15]

Z ekonomického hlediska také z části pojednává výše uvedený bod 2.1.2 Emisní povolenky.

## **2.3 Legislativní možnosti a podmínky**

Spalování a spoluspalování biomasy je podmíněno legislativou, vyhláškami a směrnicemi.

### **2.3.1 Směrnice EU**

Evropská komise ke konci roku 2016 publikovala devět legislativních návrhů pojednávajících o čisté energii. Jeden z těchto návrhů obsahoval směrnici ohledně obnovitelných zdrojů včetně biomasy. Tato směrnice udává za cíl dosáhnout 32% podílu energií z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě energií (teplo, elektřina, chlazení

a doprava) do roku 2030. V případě pevné biomasy jsou kritéria udržitelnosti povinná pro zařízení s instalovaným výkonem nad 20 MW.

Směrnice dále uvádí, jakým způsobem by mělo být možné získávat podpory na výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů s ohledem na stávající trh s elektrickou energií. Poskytování podpor by mělo být transparentní, nediskriminační a efektivní. Těchto pravidel mohou být zproštěny pouze menší výrobní do 1 MW (případně demonstrační projekty). [16]

### **2.3.2 Zákon č. 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů**

Hlava I (obecná ustanovení), § 1 nám říká, že příslušné předpisy Evropské unie jsou zapracovávány tímto zákonem a zároveň zákon upravuje podporu výroby tepla a elektřiny z obnovitelných zdrojů energie. Dále upravuje, co bude obsahovat a jak se vytvoří Národní akční plán České republiky v oblasti energie z obnovitelných zdrojů. [17]

## **2.4 Technické možnosti a podmínky spalování a spoluspalování biomasy**

Oproti uhlí má biomasa výrazně nižší sypnou hmotnost a hustotu. Pro její dopravu do kotle je nutné mít mnohem větší přepravní kapacitu, než je tomu u uhlí (za předpokladu, že chceme dosáhnout stejného tepelného příkonu). [18]

Velmi špatná melitelnost biomasy zhoršuje její využití v kotlích, které vyžadují a využívají menší částice paliva. S výjimkou pilin nelze pro biomasu využít práškové hořáky. [18]

Využívá se nepřepracovaná i standardizovaná přepracovaná biomasa. Z různé produkce z technologií, řadící se do nepřepracované biomasy, je například štěpka, kůra, piliny nebo balíková sláma. Biomasa se pro spalování přepracovává do standardizovaných pelet (dřevní pelety, rostlinné pelety nebo pelety z odpadů sklizně produkčních rostlin – odpadní zrno, seno a sláma). [18]

### **2.4.1 Používaná paliva**

Biomasu můžeme rozdělit na zbytkovou, neboli odpadní biomasu, a na cíleně pěstovanou biomasu. Používáme například zbytkovou (odpadní biomasu) získanou z lesního hospodářství (štěpka). Další použitelné odpady získáme z dřevařského, nábytkářského a celulózo-papírenského průmyslu. Lze použít i rostlinné zbytky z údržby krajiny, obecních

porostů a zemědělské prvovýroby. Energeticky lze využít i komunální bioodpad a odpady z potravinářského průmyslu. [19]

Mezi cíleně pěstovanou biomasu můžeme zařadit energetické byliny a rychle rostoucí dřeviny. Do energetických bylin patří tritikále (výnos suché hmoty v 10-12 t/ha), komonice bílá (výnos suché hmoty v 12-15 t/ha), slunečnice topinambur (výnos suché hmoty v 8-10 t/ha), šťovík krmný (výnos suché hmoty v 15-25 t/ha), chrastice-lesknice rákosovitá (výnos suché hmoty v 9-10 t/ha) a kostřava rákosovitá (výnos suché hmoty v 8-14 t/ha). Jedny z rychle rostoucích dřevin jsou topoly a vrby, které mají v první dekádě růstu vysokou produkci dřeva (přibližně jeden až tři metry za rok). Lze dosáhnout 10 t sušiny na hektar za rok, což odpovídá 180 GJ/ha/rok. Velmi snadno a levně se dají rozmnožit a funguje u nich pařezová výmladnost. [19]

#### **2.4.2 Složení paliv a jejich vlastnosti**

Paliva mají dvě základní složky – hořlavinu a přítěž (balast). Okysličováním hořlaviny dochází k uvolnění tepla, které je chemicky vázané k palivu. Hořlavina se skládá z aktivních látek jako je uhlík C, vodík H a síra S a z látek pasivních jako je kyslík O a dusík N. Spalováním aktivních látek vzniká teplo. Pasivní látky nám teplo nedodají, ale jsou chemicky vázány na uhlovodíky. [19]

Přítěž (balast) je různá podle druhu paliva. U paliv, která jsou tuhá nebo kapalná se jedná o popeloviny a vodu. U plyných paliv se jedná o obsah vodní páry a výskyt nehořlavých plynů (záleží na čistotě plynu). V popelovinách jsou pak obsaženy minerální látky (jílové minerály, sulfidy, sulfáty, karbonáty a další). [19]

Pokud chceme porovnávat kvalitu paliv, je nutno paliva homogenizovat. Kvalitu paliva pak určíme rozborem odebraných vzorků, podle příslušné normy. Obecně se postupuje vybráním dílčích vzorků o stanovené hmotnosti a maximální velikosti zrna z různých míst (kontejneru, skládky). Počet vzorků závisí na celkovém množství vzorkovaného paliva a požadované přesnosti. Ze vzorků vznikne tzv. hrubý vzorek, který se po úpravě podle příslušné normy stane vzorkem analytickým. Hrubým rozborem stanovíme obsah vody, popela a hořlaviny. [19]

#### 2.4.2.1 Poměrný obsah vody $W$

Jeden z hlavních parametrů je poměrný obsah vody  $W$ . Voda se v palivu může vyskytovat, nebo být vázána více způsoby. Může se jednat o přimíšenou vodu, kterou lze odstranit například mechanicky (odkapávání nebo odstředění). Tuto přimíšenou vodu nepovažujeme za původní část paliva. Další vodu v palivu rozdělujeme do hrubé vody, zbylé vody, veškeré vody, okludované vody a hydrátové vody. [19] [20]

Hrubou vodu vzorku zjistíme z úbytku hmotnosti za daných podmínek jeho sušením. Zbylá voda představuje vodu zbylou po odstranění vody hrubé. Jedná se o kapilárně vázanou vodu. Lze ji zjistit z úbytku hmotnosti laboratorního vzorku, který je vysušen při teplotě 105 až 110 °C ve vzdušné sušárně. Veškerou vodou označujeme součet zbylé a hrubé vody. Okludovaná voda je už jen velmi malé množství vody, která je absorbována na hořlavinu paliva. Tuto vodu počítáme do prchavé hořlaviny. Hydrátová voda je brána jako voda krystalová minerálů a zahrnujeme ji do popelovin. [19] [20]

V biomase se obvykle vyskytuje velké množství vody a často je toto množství i proměnlivé. Vlhkost biomasy má negativní vlivy na výhřevnost (na odpaření je spotřebována část tepla), na účinnost spalovacího zařízení (dochází ke zvýšení množství spalin a tím se také zhorší komínová ztráta) a snižuje poměr hmotnosti biomasy a využitelného tepla. [19] [20]

#### 2.4.2.2 Poměrný obsah popela $A$

Popel představuje zbytek vzorku po jeho žíhání. Vzorek projde oxidací za teplot  $815 \pm 25$  °C a množství popela je zjištěno z hmotnostního úbytku. Využívá se k tomu elektrická muflová pec, do které se umístí otevřený kelímek. Vše probíhá podle příslušné normy. [19]

Při spalovacím procesu dochází ke změnám jednotlivých složek popelovin. Hydrátová voda se vypařuje, odštěpuje se  $\text{CO}_2$  způsobené kalcinací uhličitanů, pražením pyritů se odštěpuje  $\text{SO}_2$ , dochází k oxidaci Fe atd. [19]

Popel a popeloviny nejsou totožné. Popeloviny  $M$  představují minerální část surového paliva. Zpravidla je hmotnost popelovin  $M$  větší než hmotnost popela  $A$ . Poměr popeloviny a popele se nazývá popelový faktor  $f$ . [19] [21]

U dřevní biomasy se například vyskytuje větší množství popela v kůrách (kůra je více ve styku s ovzduším a dostanou se tak do ní snadněji nečistoty). Celkově však obsah popela

v dřevní biomase dosahuje nízkých hodnot, což je přínosné pro snížení emisí (pevné částice popílků). [19] [21]

S obsahem popela také souvisí jeho teplota tání. U většiny druhů je převážně vysoká, pohybující se nad 1100 – 1200 °C. Některé druhy ji mají však nižší. Například sláma a vojtěška mají teplotu tání popela mezi 800 – 900 °C. Nízkotající popel má pak tendence zalepovat rošty, spalovací komory, nebo další části, kde proudí spaliny. [31]

#### 2.4.2.3 Poměrný obsah hořlaviny $h$

Jedná se o doplněk součtu popela  $A$  a poměrného obsahu veškeré vody  $W$ . [19]

$$h = 1 - (W + A) \quad (1)$$

Pokud se u paliva vyskytuje větší podíl popela, musíme brát ohled na popelový faktor. [19]

$$h' = h - A(1 - f) \quad (2)$$

$$h' = 100 - (W + M) \quad (3)$$

#### 2.4.2.4 Prchavá hořlavina $V$

Ve srovnání s uhlím má biomasa větší podíl prchavé hořlaviny. Chemické stáří pevného paliva nám určuje počátek uvolňování prchavé složky. Prchavý podíl biomasy se převážně uvolňuje až v další fázi spalování a je nutno zajistit další přivedení vzduchu (kyslíku), aby došlo ke správnému spálení a nezůstávaly nedopalky. [20] [21]

#### 2.4.2.5 Výhřevnost $Q_v$ a spalné teplo $Q_n$

Výhřevnost paliva nám určuje množství tepla uvolněného dokonalým spálením bez kondenzace vodní páry ve spalinách. Spalné teplo nám určuje množství tepla uvolněného dokonalým spálením včetně tepla z kondenzace vodní páry ve spalinách. Tyto dva hlavní parametry biomasy se běžně udávají v MJ/kg. Obsah vody velmi ovlivňuje výslednou výhřevnost biomasy. V tabulce 2.1 jsou uvedeny příklady výhřevnosti biomasy s různým obsahem vody. [19]

Tabulka 2.1 Příklady výhřevnosti biomasy na obsahu vody [19]

Druh	Výhřevnost (MJ/kg)	Při vlhkosti (% hm)
Dřevo kusové	15,3	14,4
Dřevo - brikety	17,54	7,42
Dřevo - pelety	17,54	7,42
Dřevo - štěpka	9,84	41,74
Dřevěná kůra, mix	15,92	4,82
Dřevo + kůra, pelety	15,8	10,26
Dřevo + kůra, brikety	15,8	10,26
Papír, brikety	11,98	4,61
Sláma obilní	15,46	10
Sláma řepková	15,9	5,56
Sláma pšeničná	14,58	13,01
Sláma lisovaná, role, kvádry	15,46	10
Pelety	15,46	10
Sláma řepková, brikety	15,42	11,16
Řepkové šroty granulované	16,7	9,21
Slunečnicové slupky	24,05	5,22
Městské odpadky	8,14	33

### 2.4.3 Vhodné technologie pro spalování a spoluspalování biomasy

Mezi vhodné spalovací technologie pro spalování biomasy patří spalování ve vrstvě na roštu nebo fluidní spalování. Biomasu v původním stavu lze spalovat do 50% obsahu vody (v některých případech maximálně 55% obsah vody). Spoluspalování biomasy s uhlím lze provádět ve fluidních kotlích a práškových kotlích. Jedním speciálním případem pro spalování biomasy je zplyňovací kotel. [3] [19]

#### 2.4.3.1 Spalování na roštu

Pro spalování biomasy na roštu je zapotřebí zajistit dostatečný přívod vzduchu do různých míst roštu tak, aby bylo vzduchu přebytek pro optimální spalování. Rošt nám umožňuje postupné vysoušení paliva s následným zahřátím na teplotu potřebnou pro zapálení, které přejde do hoření a v nejlepším případě dojde k dokonalému vyhoření. Rošt nám dále umožňuje shromáždit tuhé zbytky, které zbydou po spalování a případně je i odvede z ohniště. U této technologie spalování je možné měnit výkon. [3]

#### 2.4.3.2 Spalování se spodním přívodem paliva

Palivo se v tomto případě přivádí pod hořící vrstvu. Dopravu paliva zajišťuje šnekový dopravník, který je v horizontální poloze. Na výstupu šnekového dopravníku je litinové

koleno a retorta, která zajistí posun paliva až pod hořící vrstvu. Naproti ohništi musí být umístěna odrazná plocha (např. keramické těleso), která zajistí odraz tepelného záření a zlepší tím zapalování paliva a stabilizuje průběh hoření. Vzduch potřebný ke spalování proudí mezerou mezi retortou a roštem, který navazuje na retortu a pomáhá s odvodem tuhých zbytků po spalování. [3]

#### **2.4.3.3 Speciální hořáky, hořákové provedení**

Byly vyvinuty ve Švédsku a jsou vhodné pro kotle malého a středního výkonu. Jsou určeny pro spalování např. suchého obilí nebo biopeletek. Spalováním zrní vznikne přibližně 7 % popela, který se hromadí v popelníkovém prostoru, tudíž je nutné mít velký popelníkový prostor nebo automatické vynášení popela. Účinnost těchto hořáků se může pohybovat i okolo 90 %. [3]

#### **2.4.3.4 Spalování ve fluidní vrstvě**

Spalování ve fluidní vrstvě znamená, že je palivo spalováno ve vznosu. Fluidní vrstvu tvoří inertní materiál, který dokáže stabilizovat průběh spalování díky své tepelné kapacitě. Tato schopnost je vhodná pro nestabilní obsah vody v palivu, což je u biomasy běžné. [3]

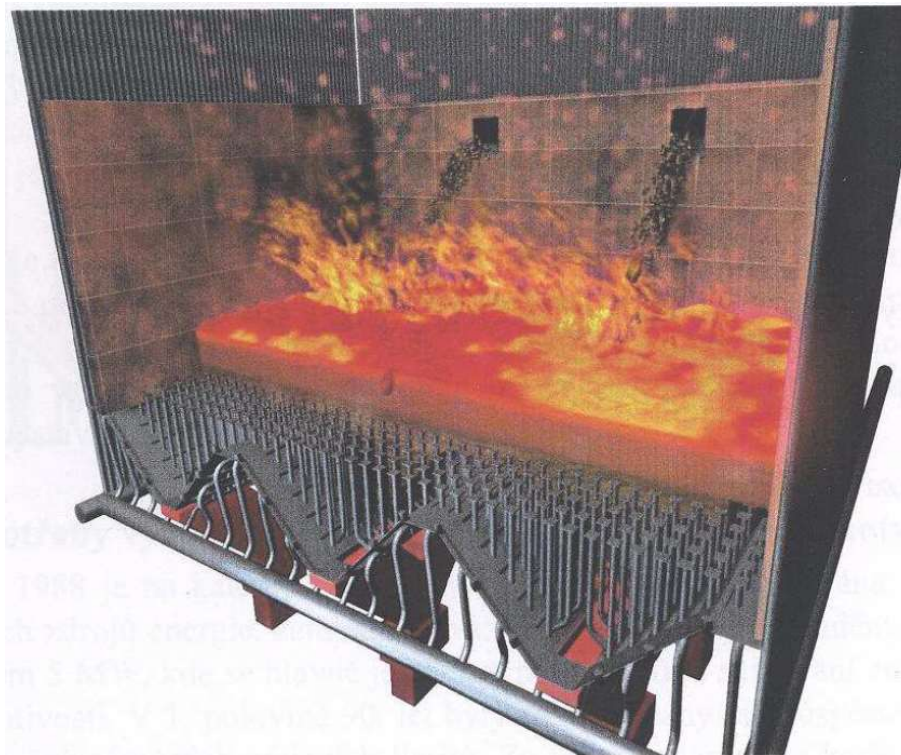
Proudící vzduch udržuje palivo a inertní materiál ve fluidním stavu. Podle velikosti spalovaných částic paliva a inertního materiálu se upraví proudění vzduchu, aby všechny částičky zůstaly ve vznosu. Při ideálním nastavení proudění vzduchu a ideální velikosti paliva dojde k jeho postupnému vyhoření. [3]

Výkon při fluidním spalováním lze regulovat výškou fluidní vrstvy. Ve fluidní vrstvě jsou umístěny teplosměnné plochy, kterými můžou být např. výparníky. [3]

Fluidním spalováním můžeme spalovat drcené palivo, které je velikostně omezeno. U biomasy se velikost pohybuje do 15 mm. Tímto spalováním se dosahuje větších přestupů tepla než u konvenčních ploch běžných kotlů. Kotle s fluidním spalováním jsou určeny spíše pro větší výkony (od 8 MW<sub>t</sub> až stovky MW<sub>t</sub>). Hlavní výhody tohoto spalování jsou možnosti širokého využití různých biopaliv, velký regulační rozsah, možnost spalovat odpady i méněhodnotná paliva a nízké spalovací teploty (800 – 900 °C), které jsou dobré pro snížení emisí NO<sub>x</sub>. [3]



Fluidní kotle lze rozdělit podle pracovního tlaku (atmosférické a přetlakové), podle druhu vrstvy a provedení (stacionární fluidní vrstva s nebo bez odlučovače popílku a cirkulující fluidní vrstva s nebo bez externího výměníku tepla). [3]



Obrázek 2.1 Příklad stacionární fluidní vrstvy [3]

Běžně jsou využívány fluidní kotle atmosférické s cirkulující fluidní vrstvou. Částice paliva v tomto případě dlouho setrvávají v ohništi, jelikož tyto částice cirkulují přes spalovací komoru a cyklon. Stacionární fluidní vrstva se více využívá pro menší výkony a spalování biomasy. [3]

V kotlích s fluidním spalováním lze spalovat různé druhy biomasy. Například lze spalovat dřevní štěpku, piliny, kůru, dřevní odpady ze staveb (dřevo z demolic), palety, průmyslový dřevní odpad, biomasu ze zemědělské výroby (skořápky různých ořechů, pecky, slámu), odpad ze zpracování kávy, trávy a křoviny. [3]

#### 2.4.4 Spalovací zařízení

Spalovacím zařízením se rozumí lokální topeniště pro vytápění (kamna, krby, kotle – horkovodní, teplovodní). Můžeme je rozdělit do dvou skupin. První skupinu tvoří přímotopná spalovací zařízení, kde dochází k přímému předávání tepla uvolněného při spalování do místností. Do druhé skupiny lze zařadit kotlová zařízení, kde dochází

k předávce tepla uvolněného spalováním pracovní látce, kterou může být voda nebo olej. Pracovní látka je následně rozvedena do místností, budov, prostor nebo technologických zařízení. [3]

#### 2.4.4.1 Kamna a sporáky

Jedná se o nejjednodušší lokální topidla. Jsou určeny pro spalování tuhých paliv. Na dně ohniště je umístěn pevný rošt sloužící pro přívod spalovacího vzduchu pro hořící palivo. Množství vzduchu lze regulovat mírou otevření dvířek popelníku, který je umístěn pod roštem. Vyznačují se jednoduchou konstrukcí, což znamená i nízkou cenu a jsou i snadno obsluhovatelné. [3]

#### 2.4.4.2 Krby a krbová kamna

Zařízení určená převážně pro spalování dřeva. Otevřené krby mají poměrně malou účinnost, jelikož většina tepla odejde komínem. V dnešní době se dají doplnit o skleněný kryt, který uzavře ohniště a lze pak regulovat množství přiváděného spalovacího vzduchu. S takovou úpravou dosahují i účinnosti 80 %. [3]

#### 2.4.4.3 Kachlová kamna

Vhodná konstrukce u kachlových kamen může zajistit dokonalé spalování paliva, kdy bude tvorba škodlivin omezena na minimum. Dosahují velkých účinností a jejich velkou výhodou je schopnost akumulace tepla. [3]

#### 2.4.4.4 Průmyslové kotle se spodním přívodem paliva

Princip spalování byl již popsán v **bodě 2.4.3.2**. Teplonosným médiem pro tyto kotle bývá většinou voda. Existují však i kotle horkovzdušné a parní. Velká část parních kotlů, které byly původně určeny pro spalování uhlí, jsou dnes předělány pro spalování biomasy. Přísun paliva do těchto kotlů bývá plně automatizovaný. Celkově jsou tato zařízení upravena pro automatizované spalování. [3]

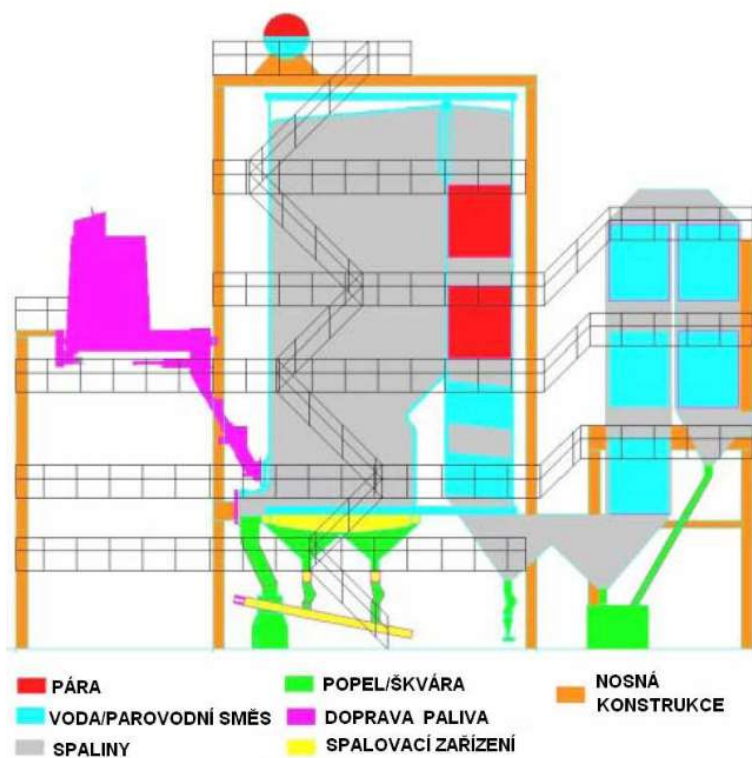
Příklad kotle se spodním přívodem paliva je na *obrázku 2.2*. Vyobrazený kotel je schopný spalovat i biomasu s obsahem vody nad 25 %. Vlhká biomasa se postupně vysouší a posouvá se, až se dostane do míst hoření. [3]



Obrázek 2.2 Spalovací zařízení Biopower s podsuvným přívodem paliva [18]

#### 2.4.4.5 Průmyslové kotle roštové

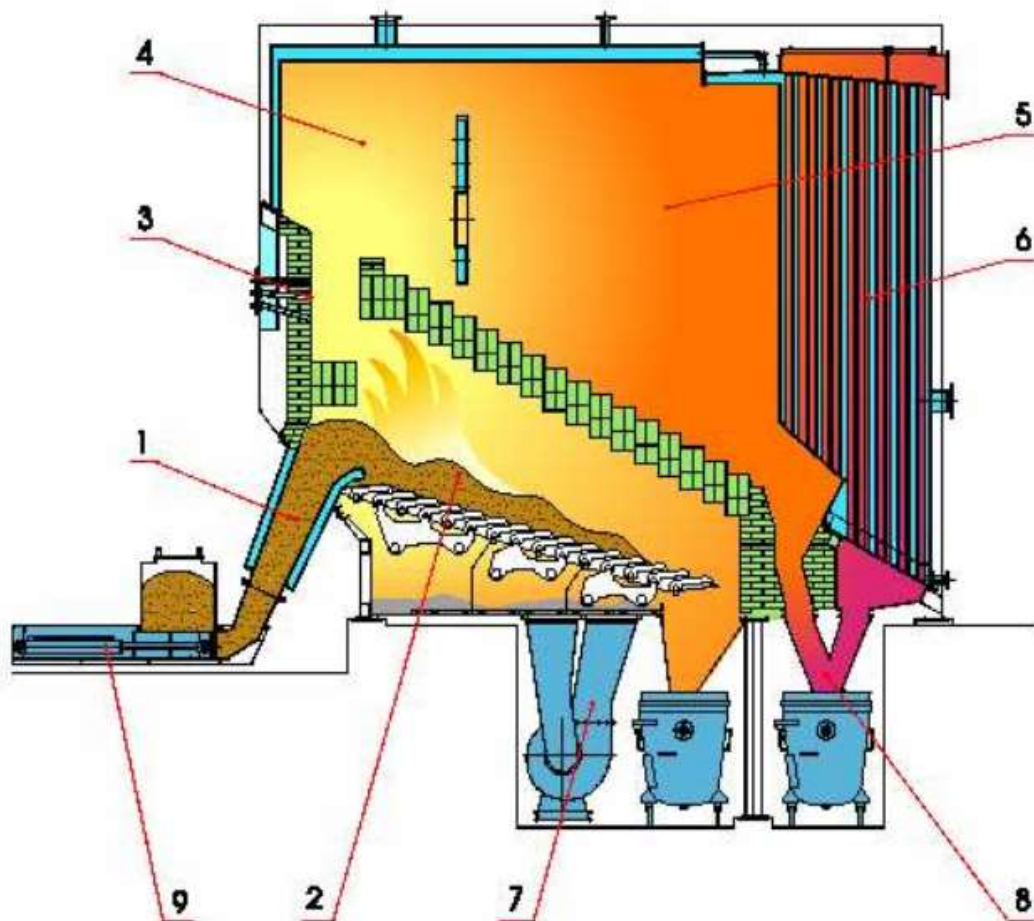
Roštové kotle jsou velmi rozšířené pro spalování biomasy. Mohou dosahovat velkých výkonů. Jedním z velmi používaných kotlů o velkém výkonu je parní kotel s pásovým roštem. Schéma kotle je na *obrázku 2.3*. [3]



Obrázek 2.3 Znázornění kotle s pásovým roštem [3]

Parní výkony těchto kotlů se pohybují od 16 t/h do 50 t/h s teplotou přehřáté páry do 440 °C o tlaku 30 až 60 bar. Dosahují účinností až 90 %. Je vhodné v nich spalovat nekontaminovanou dřevní štěpku, kůru, piliny nebo případně kombinaci zmíněných paliv. Jedná se o jednobubnové kotle s přirozenou cirkulací vody ve výparníkovém okruhu. [3]

Spalování probíhá na šikmém přesuvném roštu. Palivo se na tomto roštu promíchá a zamezí se případnému spékání. Pod rošt padá do mokrého vynašeče popel. Následně dojde k jeho zchlazení a dopravy do kontejneru popela. Pro počáteční zapálení paliva slouží hořáky na zemní plyn, případně topný olej. Primární vzduch je přiváděn pod rošt. Sekundární je přiváděn na několika úrovních v části spalovací komory. Několika úrovněvým přísun sekundárního vzduchu zajistí sníženou tvorbu NO<sub>x</sub>. Pro udržení vhodné teploty ve spalovací komoře slouží recirkulace spalin. Teplotu je nutné regulovat, aby nedosáhla teploty měknutí popela. [3]



Obrázek 2.4 Schéma kotle s posuvným roštem - 1-vstupní hubice, 2-rošt, 3-sekundární vzduch, 4-vírová komora, 5-dohořivací komora, 6-trubkový výměník, 7-primární ventilátor, 8-výpad popela, 9-zavážecí lis [3]

*Obrázek 2.4* představuje další typ kotle s posuvným roštem. Výkony těchto kotlů se pohybují od 1 do 10 MW. Vhodným palivem pro tyto kotle je dřevní štěpka (maximální velikost 100 mm) s hmotnostním podílem kůry nebo pilin do 30 % celkového množství podávaného paliva. Přívod paliva je kompletně řešen podavači. Podavače mají přímočarý vratný pohyb. [3]

#### 2.4.4.6 Průmyslové fluidní kotle

Technologický popis fluidního spalování již byl uveden v **bodě 2.4.3.4**. Jedná se o kotle určené pro velké výkony. Horkovodní fluidní kotle jsou určeny přibližně od 15 MW do 50 MW. Parní verze fluidních kotlů je vhodná pro výkony přibližně od 25 do 200 MW. [3]

Na *obrázku 2.5* můžeme vidět jednobubnový fluidní kotel, který je podepřen, což mu umožňuje dilatovat směrem nahoru. Palivo se přivádí pomocí skluzových žlabů, které jsou chlazené, nad fluidní vrstvu. Konstrukce kotle je spalinotěsná. Stěny kotle jsou řešeny membránově. V části nad roštem mají navíc stěny 80 mm omaz. Tvar roštu je řešen tak, aby nedocházelo k vniknutí částic do přívodů. Dno kotle je přizpůsobeno pro odvod spalovacích zbytků. Přebytek vzduchu se pohybuje v rozmezí 1,15 až 1,2. Tyto kotle lze regulovat přibližnou rychlostí změny 6 % za minutu v rozsahu od 30 do 100 %. [3]



*Obrázek 2.5* Schéma fluidního kotle na biomasu [3]

## 2.4.5 Komplikace při spalování biomasy

Při spalování biomasy může docházet k jistým komplikacím. Mezi tyto komplikace lze zařadit zanášení výhřevných ploch sypkými nánosy, krustování nánosů, nízkotavitelnou eutektiku, vysokoteplotní korozi. [18]

Spalováním slámy nebo znečištěné štěpky může docházet k problémům v podobě spékání popela. Tento popel se pak může napékat v hořácích nebo plamencových částí výměníku v kotli. Nápeky způsobují vážné provozní komplikace. Spékání popela se odvíjí od jeho chemického složení. Na chemické složení popela má vliv nízkotající eutektika. [18] [22]



Obrázek 2.6 Snímky skelných (nahore) a skelně krystalických (dole) vrstev vzniklých v plamencové části kotle při spalování pšeničné slámy (vlevo nahore), ječné slámy (vpravo nahore), směsi pšeničné a řepkové slámy (vlevo dole) nebo hnědé dřevní štěpky z borového klestí [22]

Příčinou spékání je obsah oxidů  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  a  $\text{K}_2\text{O}$  ve zbytcích po spálení biomasy. Tyto oxidy mohou vytvářet sklo (největší roli hraje  $\text{SiO}_2$ ). Vznik tavenin skla lze potlačit přidáním speciálních aditiv do paliva. [22]

K vysokoteplotní korozi dochází převážně při spalování rostlinné biomasy, která obsahuje chlór a síru. Nejvíce trpí teplosměnné plochy na tuto korozi. Z tohoto důvodu je snaha konstruovat kotle na spalování slámy s výstupní teplotou páry jen  $400\text{ }^\circ\text{C}$ . Pro snížení vysokoteplotní koroze lze použít speciální oceli (chromové feritické oceli, austenitické oceli). [23]

### 3 Vyhodnocení provozu Zeleného bloku v PT, a.s.

Během roku 2010 byl uveden do provozu nový bioblok v PT, a.s., jehož hlavní části jsou kotel K7 a turbosoustrojí TG3. Kotel K7 spaluje výhradně biomasu ve formě dřevní štěpky. Spalováním biomasy i spoluspalování biomasy s uhlím na jiných kotlích došlo k výraznému snížení emisí CO<sub>2</sub>. [24]

#### 3.1 Základní údaje o zeleném bloku

Tento energetický blok je složen z kotle K7, tepelného výměníku ŠO4 a turbosoustrojí TG3. Úpravu paliva (sušení) pro tento blok mají na starost dvě sušky biomasy, které jsou napájeny odpadním teplem z jiných bloků v PT, a.s. [25]

##### 3.1.1 Kotel K7

V níže uvedených tabulkách jsou uvedeny základní technické parametry kotle K7.

Tabulka 3.1 Technické parametry kotle K7 [25]

Jmenovité množství páry	50 t.h <sup>-1</sup>
Tepelný výkon	38,5 MW <sub>t</sub>
Min. množství páry (při teplotě páry min. 450°C)	24 t.h <sup>-1</sup>
Jmenovitý tlak přehřáté páry	6,7 MPa
Jmenovitá teplota přehřáté páry	490 ± 8 °C
Jmenovitá teplota napájecí vody	145 °C
Účinnost kotle	91%
Spotřeba elektrické energie KOTLE K7	250 kW

Tabulka 3.2 Obsah emisí ve spalinách kotle [25]

obsah NO <sub>x</sub>	200 mg.Nm <sup>-3</sup>
obsah CO	250 mg.Nm <sup>-3</sup>
TOC	75 mg.Nm <sup>-3</sup>
TZL	80 mg.Nm <sup>-3</sup>
SO <sub>2</sub>	400 mg.Nm <sup>-3</sup>

Výše uvedené hodnoty platí pro provoz kotle bez stabilizace v rozmezí minimálního až maximálního výkonu při spalování základního paliva s vlastnostmi uvedenými níže. Uvedené emisní limity jsou vztaženy na teplotu 273,15 K, při tlaku 101,32 kPa, referenční obsah kyslíku 6 % a suchý plyn. [25]

### 3.1.1.1 Palivo pro kotel K7

Jako základní palivo se může používat nekontaminovaná biomasa a pelety EKOVER. Nekontaminovaná biomasa se dělí do dvou kategorií. První kategorie O1 jsou cíleně pěstované energetické plodiny a biopaliva z nich vyrobená nebo cíleně pěstované energetické dřeviny a biopaliva z nich vyrobená. Do druhé kategorie O2 řadíme zbytkovou hmotu z těžby dřeva, dřevní hmotu z údržby veřejné i soukromé zeleně (včetně tratí, vodotečí, rozvodů elektřiny apod.), biopaliva z této zbytkové hmoty vyrobená (tzv. zelená štěpka), jinak nevyužitelné dřevo a biopaliva z něj vyrobená, zbytkové produkty z jeho zpracování a sláma olejnin (řepka). [25]



Obrázek 3.1 Dřevní štěpka kategorie O1

Sypná hmotnost by se měla pohybovat v rozmezí 200 – 300 kg/m<sup>3</sup>. Dodávaná biomasa by měla obsahovat maximálně 30 % pilin se zrnitostí 1 – 5 mm, nebo maximálně 30 % kůry se zrnitostí 0 – 100 mm. Zároveň by však oba podíly neměli přesáhnout 40 %. Dodávky biomasy by měli být již drcené na velikost 0 – 100 mm (maximální rozměr 250 mm). Výhřevnost dodávané biomasy by měla být v rozsahu 7,5 až 13 MJ/kg s obsahem vody v rozmezí 30 až 50 % (případně krátkodobě 55 %). Dodávaná biomasa nesmí obsahovat chemické látky, jako jsou nátěry, impregnace apod. [25]





Obrázek 3.2 Dřevní štěpka kategorie O2

Pelety EKOVER by měly mít výhřevnost v rozsahu 13 – 16 MJ/kg s obsahem vody v rozmezí 7,5 – 16 %. Pelety se dodávají v různých druzích. Pelety EKOVER – T jsou pelety z nadzemní části žitovce (triticale), slámy i klasů včetně zrna. Pelety EKOVER – S jsou z granulovaného paliva ze sena, obilné a olejnicové slámy. Pelety EKOVER – O jsou z granulovaného paliva z obilnin a olejnin. [25]



Obrázek 3.3 Pelety EKOVER

Pelety se míchají s dřevní štěpkou v maximálním rozsahu 10 % přivedeného tepla v palivu. S ohledem na výhřevnost štěpky (10 MJ/kg) a výhřevnost pelet (16 MJ/kg) vychází poměr pelet a štěpky přibližně na 6 % hmotnosti základního paliva. Pokud se překročí podíl pelet, může dojít k negativnímu vlivu chlóru na životnost zařízení. Převážně u přehřívákových šotů ve spalovací komoře a u membránových stěn kotle v druhém tahu v části nad ochranným omazem. [25]

### 3.1.1.2 Pomocné palivo

Najíždění kotle probíhá pomocí pomocného paliva, kterým je zemní plyn. Používaný zemní plyn má výhřevnost 34,5 MJ/Nm<sup>3</sup> (při teplotě 0 °C a tlaku 101,325 kPa), měrnou hmotnost 0,678 – 0,683 kg/m<sup>3</sup>, bod samovznícení 537 °C, zápalnou teplotu směsi se vzduchem 650 °C a jeho nejvyšší spalovací rychlost je 37,8 cm/s. Pomocné palivo slouží k nahřátí inertního materiálu. Neslouží přímo pro zapálení biomasy. [25]

### 3.1.2 Popis kotle

Jedná se o fluidní typ kotle. Kotel je jednobubnový s přirozenou cirkulací. Je třítahový s odskočeným druhým tahem. [25]

Spodní část ohniště tvoří dva pevné stacionární rošty, které mají boční odpuštění popele. Rošty jsou tvořeny rovnoběžně položenými roštnicemi ze žáruvzdorné litiny a jsou vyspádovány směrem k odpouštěcímu otvoru. Primární spalovací vzduch je přiváděn do prostoru roštů ze vzduchové komory. Palivo putuje svodkami, které jsou umístěny na čele kotle a mají protiplamennou uzávěru. Ke spalované biomase se v případě potřeby přidává inertní materiál sloužící pro zvýšení tepelné kapacity fluidního lože a jeho stabilizaci. Přidaný inertní materiál také přispívá k vysušení biomasy a ke stabilizaci v případě výrazných změn kvality paliva. Při krátkodobých odstávkách lze dokonce díky zvýšené tepelné kapacitě znovu najíždět bez použití najížděcích hořáků. [25]

Sekundární vzduch, sloužící k dohoření uvolněných hořlavých plynů a úletových částic z fluidního lože, je přiváděn ve dvou výškových úrovních ze dvou stran kotle. Dopravu paliva do kotle z části podporuje část sekundárního vzduchu, který je hnán svodkami paliva. [25]

Spalovací komora umístěná nad roštem má přibližné rozměry 6 x 3,8 x 21 m. Tvoří ji membránové stěny. Spodní část je vyzděna lehčenými šamotovými cihlami s krytím

tvoreným šamotovým omazem. Spodní části membránového systému jsou také kryty šamotovým omazem. [25]

Najížděcí hořáky jsou umístěny v úrovni +13,5 m o výkonech 5,6 MW. Výstupní desky sálavého přehříváku jsou umístěny pod stropem v horní části kotle. Spaliny z kotle putují přes trubkovou mříž směrem do druhého tahu, ve kterém jsou umístěny deskové šoty výparníku a přehříváku páry. Přibližně v polovině druhého tahu je umístěn žaluziový odlučovač, sloužící pro zachytávání nedopalků. Zachycený popílek propadne do výsypky, ze které je dopraven pomocí spirálových dopravníků zpět do prostor roštů. [25]

Výška spalovací komory a vracení popílku zachyceného žaluziovým odlučovačem zajistí dostatečné vyhoření paliva. Spaliny proudí až k odlučovači v kanálu s membránovými stěnami výparníku. V této části se palivo vychladí na teplotu, která je dostatečná pro další vedení spalin plechovým kanálem. V odskočené části druhého tahu nalezneme další výhřevné plochy tvořené dvěma bloky konvekčního přehříváku páry, čtyřmi svazky ohříváku vody a výstupní částí ohříváku vzduchu. Další ohřívák vzduchu se nachází ve třetím tahu. [25]

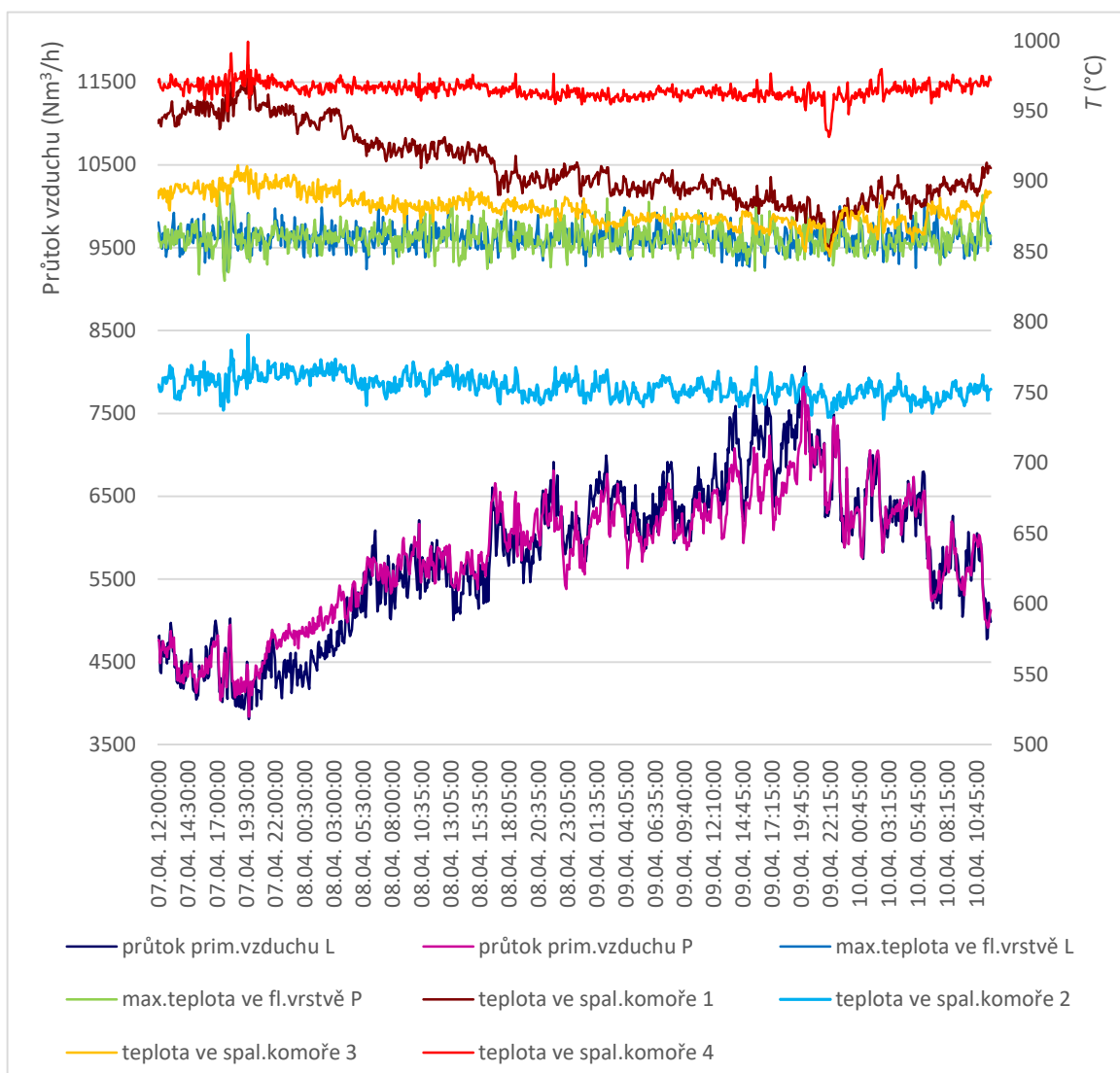
Trubky přehříváku, ohříváku jsou jednak chráněny žaluziovým odlučovačem, který sníží množství abrazivních částic, vhodným uspořádáním a konstrukcí teplosměnných ploch, které jsou navíc v nejvíce namáhaných částech krytovány. Pro čištění svazků výhřevných ploch slouží dva svislé ofukovače, které mohou čistit i za provozu. Jako ofukovací médium slouží redukováná pára z kotle. [25]

Kotel je částečně zavěšen a částečně nesen, což umožňuje kotli dilatovat při tepelných změnách. Pod kotlem jsou umístěny skříňe propadu. [25]

### 3.2 Průběh teplot a průtok primárního vzduchu při spalování

Na kotli K7 je instalováno několik teplotních čidel a měřidel průtoku vzduchu vykazujících hodnoty každých 5 minut. Z těchto dat (ukázka dat v příloze D) byl vyhodnocen graf na obrázku 3.4 pro období tří dnů (7. 4. 2019 až 10. 4. 2019). Z grafu je zřejmá velká stabilita teplot ve spalovací komoře i ve fluidní vrstvě s regulací průtoku přiváděného primárního vzduchu pohybujícího se od 3810,5 Nm<sup>3</sup>/h do 8067,2 Nm<sup>3</sup>/h v levé části a v pravé od 3840,7 Nm<sup>3</sup>/h do 7923,6 Nm<sup>3</sup>/h.

Teplota ve spalovací komoře se nejvýše dostala na teplotu 999,23 °C a v průměru byla 877,74 °C. Tato teplota nedosahuje teploty tání popela dřevní štěpky, což je velmi přínosné, jelikož nedochází k napékání popela na části kotle. Při těchto teplotách také nedochází k velké produkci oxidů dusíku, jejichž množství roste s teplotou. Je produkováno pouze malé množství palivových NO<sub>x</sub>, které lze navíc dobře omezit vhodnou koncentrací kyslíku v oblasti plamene.

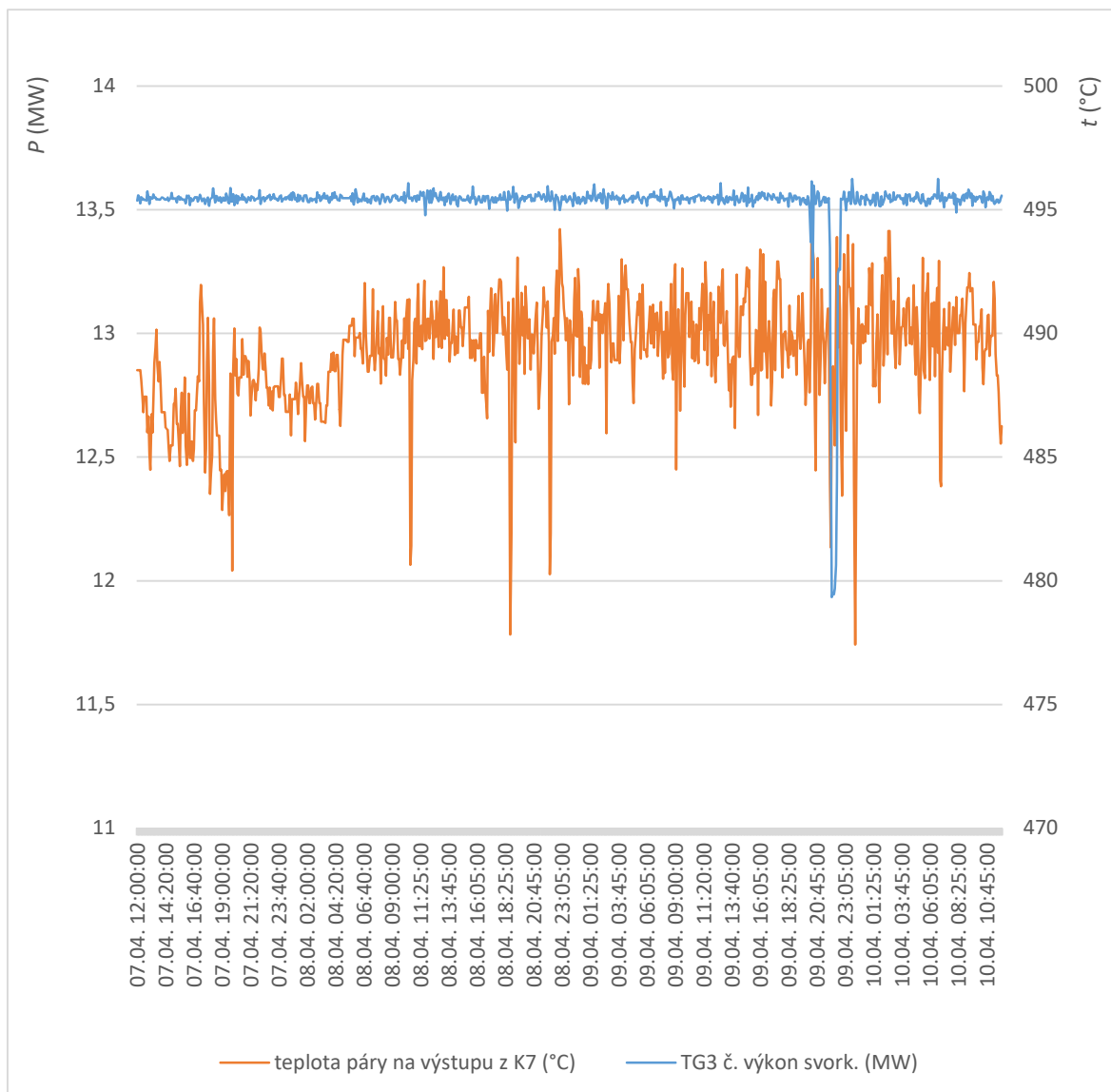


Obrázek 3.4 Průběh teplot a průtoku primárního vzduchu na kotli K7

### 3.3 Průběh teploty, tlaku a množství páry a výkonu na svorkách generátoru

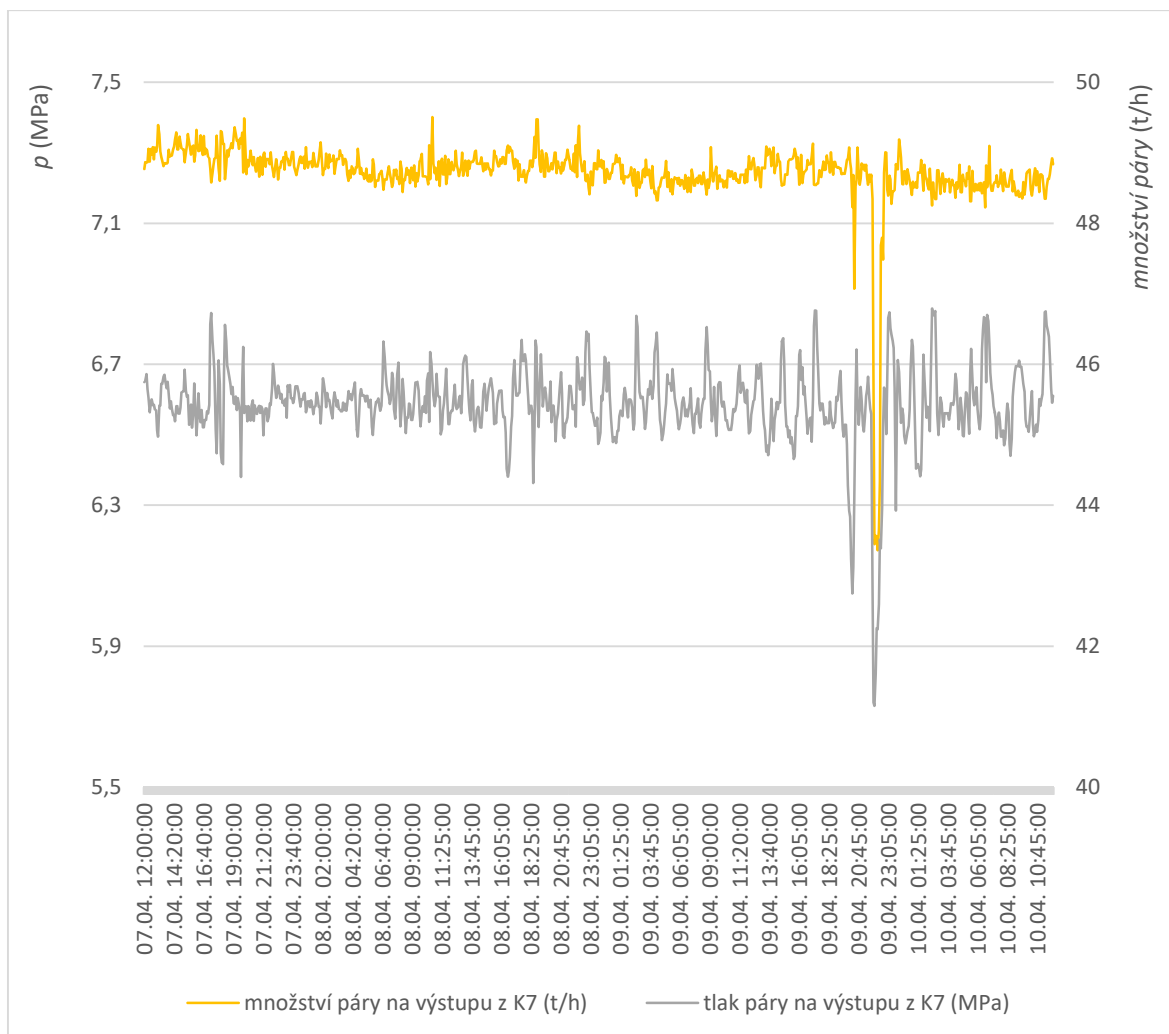
Hodnoty jsou také měřeny na generátoru a výstupu páry z kotle K7. Grafické znázornění průběhů ze stejného období jako v **bodě 3.2** je na *obrázcích 3.5 a 3.6*. Z *obrázku 3.5* je zřejmý stabilní výkon generátoru o průměrném výkonu 13,53 MW s jednou větší odchylkou, ve které výkon poklesl na 11,94 MW. Při porovnání průměrného výkonu a maximálního

trvalého výkonu (13,5 MW), uvedeného na generátoru, zjistíme, že je zde rozdíl pouze 0,03 MW. Dále je vyobrazena teplota páry na výstupu z kotle K7, jejíž jmenovitá hodnota má být  $490 \pm 8$  °C. Průměrná hodnota teploty z vyobrazeného období je 489,26 °C, minimální je 477,43 °C a maximální 495 °C. Maximální hodnota je v rozsahu jmenovité hodnoty. Minimální se do jmenovitého rozsahu nevešla, avšak jen krátkodobě.



Obrázek 3.5 Průběh teploty páry na výstupu kotle K7 a výkonu na svorkách generátoru

Na dalším obrázku 3.6 je znázorněn tlak páry na výstupu z kotle K7 a její množství. V grafu je také vidět jedna větší odchylka, avšak celkový průběh je stabilní. Tlak dosáhl maximální hodnoty 6,86 MPa a minimální 5,73 MPa. Průměrně se tlak pohyboval na hodnotě 6,59 MPa, což je jen drobná odchylka od jmenovitého tlaku 6,7 MPa.



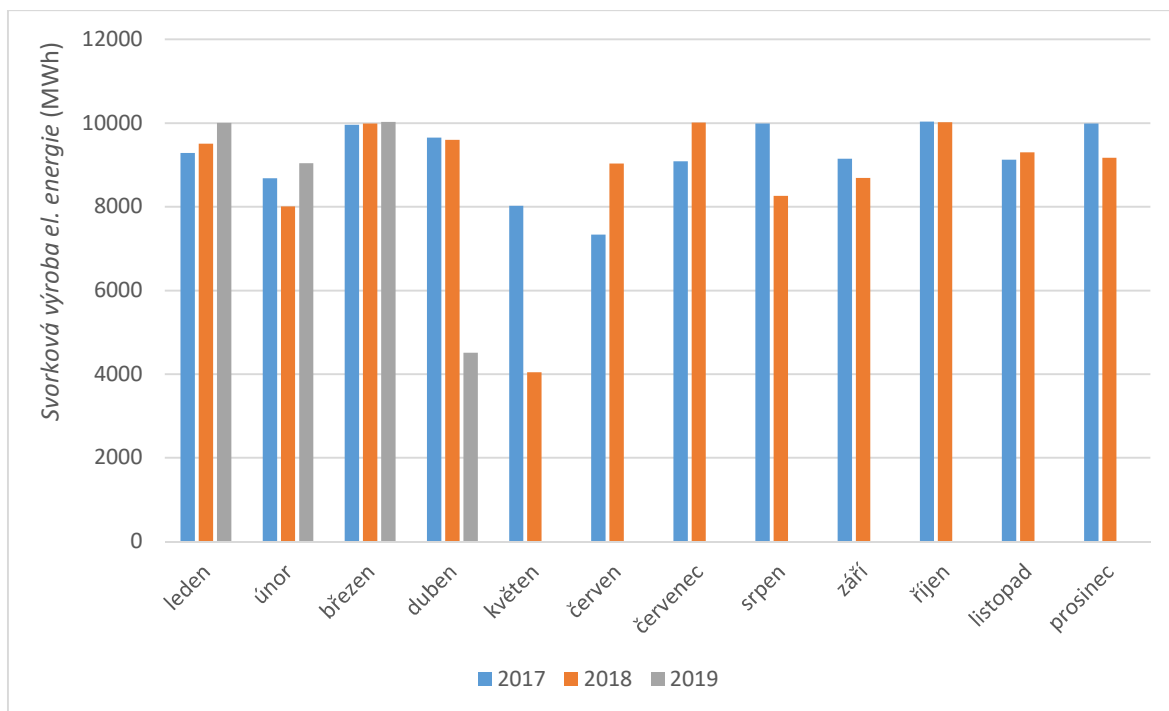
Obrázek 3.6 Průběh tlaku páry a její množství na výstupu kotle K7

### 3.4 Energetické shrnutí výroby za období 01/2017 – 04/2019

Kotel K7 se využívá primárně pro výrobu elektrické energie, a proto, až na několik odstávek, běží nepřetržitě. Během roku se mění parametry dodávané štěpky i klimatické podmínky, které mají jistý vliv na výrobu.

#### 3.4.1 Výroba elektrické energie

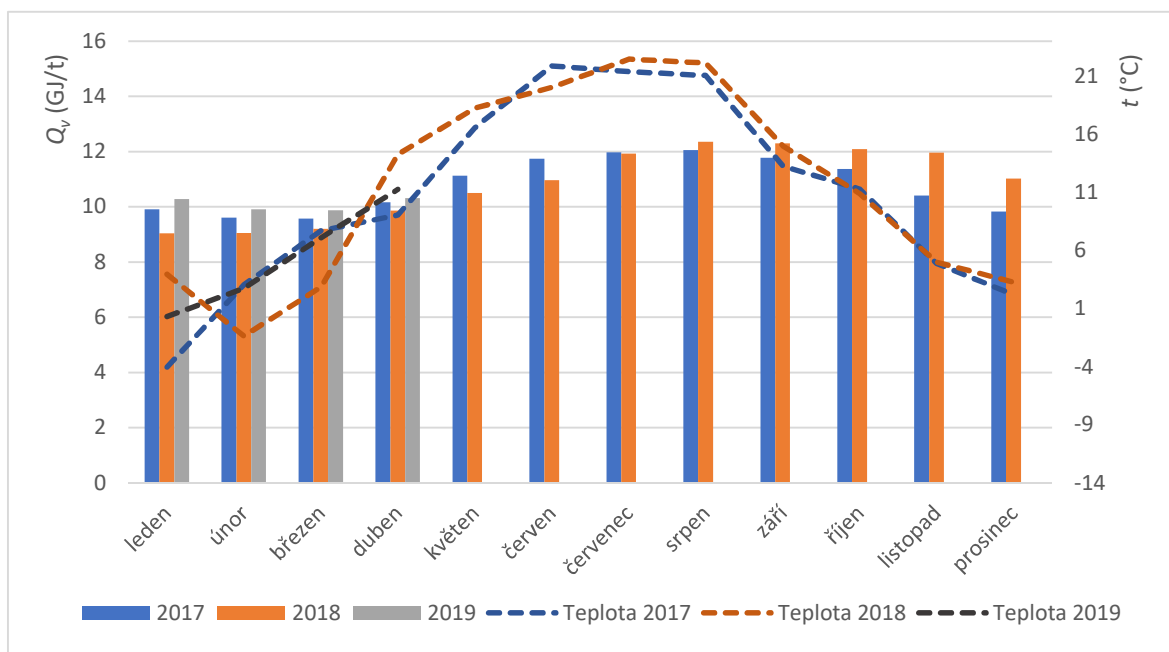
Během roku 2017 se na TG3 vyrobilo celkem 110 319 MWh a v roce 2018 bylo vyrobeno 105 660 MWh. Z těchto hodnot lze usoudit, že výroba probíhá během roku ustáleně, až na drobné výkyvy způsobené např. odstávkami kotle. Na obrázku 3.7 je graficky znázorněná výroba za období 01/2017 – 04/2019.



Obrázek 3.7 Výroba elektrické energie (na svorkách generátoru) za období 01/2017 – 04/2019

### 3.4.2 Výhřevnost dřevní štěpky

V následujícím grafu (obrázek 3.8) je vidět mírná závislost výhřevnosti dřevní štěpky na průměrné teplotě v průběhu roku. Vyšší venkovní teploty během léta pravděpodobně ovlivňují míru obsahu vody v dřevní štěpce, což se projeví zvýšenou výhřevností v období vyšších teplot.



Obrázek 3.8 Výhřevnost dřevní štěpky za období 01/2017 – 04/2019 v závislosti na průměrné venkovní teplotě

### 3.4.3 Elektrická energie vyrobená z 1 tuny štěrky

Energetické srovnání lze udělat pomocí přepočtené vyrobené energie na jednu tunu dřevní štěrky. Nejlepší poměr byl v říjnu roku 2018 (1 035,68 kWh/t), což bylo způsobeno dodávkou kvalitní štěrky o větší výhřevnosti (viz *tabulky 3.3 a 3.4*)

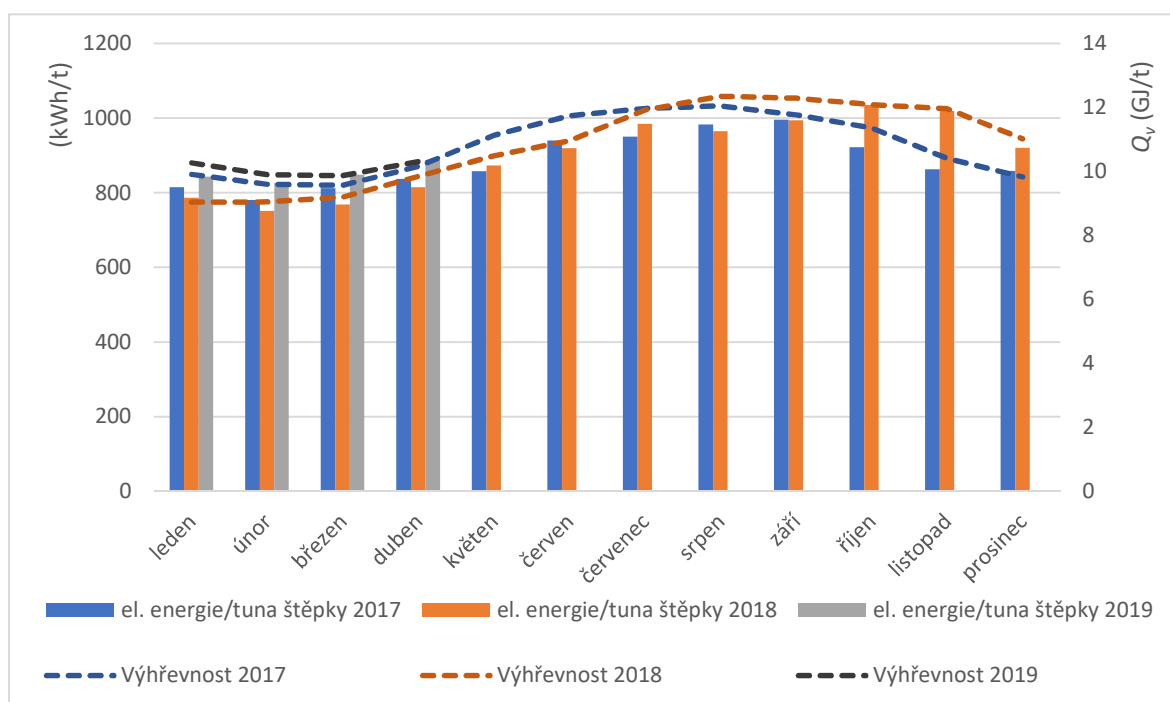
Tabulka 3.3 Výroba elektrické energie vztahovaná na 1 tunu štěrky (jednotky v kWh/t)

	2017	2018	2019
leden	815,22	786,77	843,42
únor	780,76	751,42	825,95
březen	812,54	768,43	848,53
duben	836,89	814,90	887,93
květen	857,80	873,31	-
červen	939,94	919,33	-
červenec	950,71	984,54	-
srpen	982,71	965,00	-
září	995,76	994,20	-
říjen	922,58	1035,68	-
listopad	863,11	1019,27	-
prosinec	858,88	920,79	-

Tabulka 3.4 Výhřevnost dřevní štěrky (jednotky v GJ/t)

	2017	2018	2019
leden	9,91	9,04	10,27
únor	9,61	9,05	9,90
březen	9,57	9,20	9,87
duben	10,16	9,86	10,31
květen	11,13	10,50	-
červen	11,74	10,96	-
červenec	11,97	11,92	-
srpen	12,06	12,35	-
září	11,77	12,30	-
říjen	11,37	12,09	-
listopad	10,41	11,96	-
prosinec	9,83	11,02	-

Následující *obrázek 3.9* graficky znázorňuje *tabulky 3.3 a 3.4*, kde je vidět vzájemný vztah mezi energií vyrobené z 1 tuny štěrky a její výhřevnosti.



Obrázek 3.9 Výroba elektrické energie vztahovaná na 1 tunu štěrky v závislosti na výhřevnosti



### 3.4.4 Výpočet účinnosti kotle přímou metodou

Z naměřených dat lze jednoduše vypočítat účinnost kotle pomocí přímé metody. Pokud známe výhřevnost biomasy a její množství, které bylo spáleno, můžeme vypočítat celkové dodané teplo v palivu ( $Q_{in}$ ). V naměřených datech nalezneme teplo vyrobené kotlem K7 ( $Q_{out}$ ) a následně můžeme vypočítat účinnost.

$$Q_{in} = Q_v \cdot m \text{ (J)} \quad (4)$$

$$Q_{in} = 10,31 \cdot 10^6 \cdot 5082,60 \cdot 10^3 = 52\,401,61 \text{ GJ} \quad (5)$$

$$\eta_{kotle} = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \cdot 100 \text{ (\%)} \quad (6)$$

$$\eta_{kotle} = \frac{44797,60 \cdot 10^9}{52401,61 \cdot 10^9} \cdot 100 = 85,49 \text{ \%} \quad (7)$$

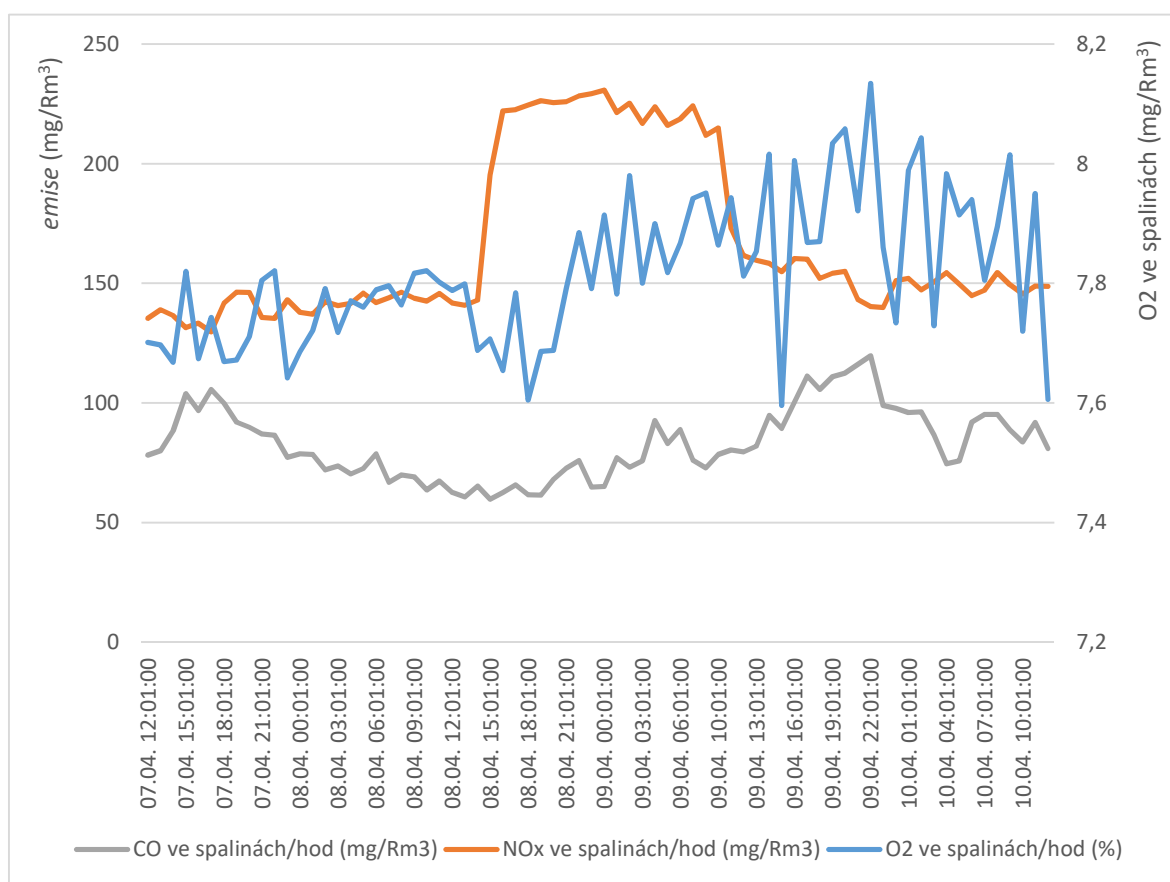
Pro tento výpočet byly použity údaje z dubna roku 2019 a účinnost kotle vyšla 85,49 %. Výpočet přímou metodou není zcela přesný, pokud bychom chtěli přesnější výpočet, bylo by nutné použít nepřímou metodu, která zahrnuje výpočet ze ztrát. Při výpočtu byl zanedbán energetický příspěvek od plynových hořáků sloužících pro najíždění kotle, jelikož energie vynaložená těmito hořáky je velmi malá v poměru energií pocházejících ze spálení biomasy během celého měsíce. V následující *tabulce 3.5* jsou uvedeny účinnosti kotle pro jednotlivé měsíce. Účinnost kotle lehce kolísá, což může být způsobeno krátkými odstávkami, při kterých kotel vychladne a je zapotřebí vynaložit více energie na uvedení do provozních teplot. Hodnoty pro výpočty ostatních hodnot jsou v **příloze B**.

Tabulka 3.5 Účinnost kotle v jednotlivých měsících

	2017	2018	2019
leden	0,83	0,87	0,81
únor	0,82	0,83	0,82
březen	0,85	0,83	0,85
duben	0,82	0,83	0,85
květen	0,78	0,84	-
červen	0,81	0,83	-
červenec	0,80	0,82	-
srpen	0,82	0,80	-
září	0,84	0,81	-
říjen	0,81	0,85	-
listopad	0,83	0,85	-
prosinec	0,87	0,83	-

### 3.5 Průběh emisí

Graf na obrázku 3.10 znázorňuje průběh emisí za hodinu z období tří dnů (stejně období jako u bodu 3.2 a 3.3). Z grafu je zřejmý velký nárůst emisí oxidů dusíku, který dosáhl maximální hodnoty 230,76 mg/Rm<sup>3</sup>, což přesahuje limit stanovený v tabulce 3.2 (bod 3.1.1). Po zaznamenání těchto hodnot je zřejmá snaha přivodu většího množství spalovacího vzduchu (dochází k nárůstu zbytku kyslíku ve spalinách), aby se emise oxidů dusíku eliminovaly, což se po několika hodinách podařilo. Emise oxidu uhelnatého limit ve sledovaném období ani jednou nepřekročil. Hodnoty použité pro tento graf lze najít v příloze E.

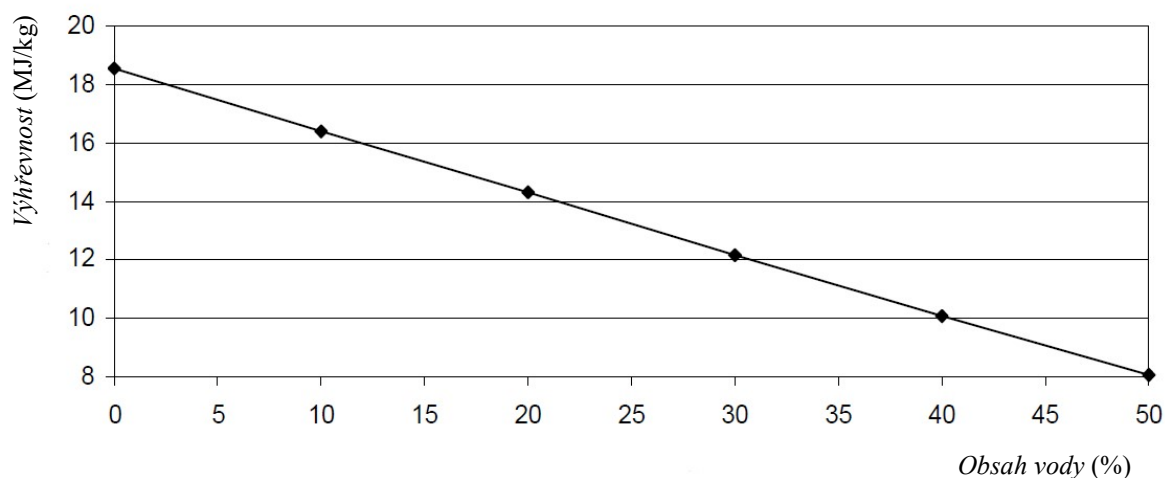


Obrázek 3.10 Průběh emisí oxidu uhelnatého, emisí oxidů dusíku a zbytkového kyslíku ve spalinách

## 4 Možné návrhy na zlepšení efektivity a účinnosti v PT, a.s.

### 4.1 Kvalitnější palivo

Zvýšení účinnosti spalovacího procesu jde vždy docílit kvalitnějším palivem s vyšší výhřevností. Vyšší výhřevnosti spalované dřevní štěpky lze dosáhnout jejím větším vysušením. Vlhkost biomasy velmi ovlivňuje její výhřevnost, což je naznačeno na *obrázku 4.1*.



Obrázek 4.1 Závislost výhřevnosti biomasy na obsahu vody [32]

Pro vysoušení paliva pro kotel K7 slouží dvě sušky biomasy. Suška biomasy 2 využívá teplo z horkovodu pro Lochotín a suška biomasy 1 využívá odpadní teplo. [26] [27]

Obnova technologií a přivádění více tepla na vysoušení biomasy by nebylo z ekonomického hlediska výhodné. Vysušenější biomasy by šlo docílit vysušením v zastřešeném a provětrávaném prostoru přirozeným pohybem vzduchu. Do sušky by poté šla již biomasa s nižším obsahem vody, tudíž by na výstupu dosáhla lepších parametrů.

### 4.2 Nedokonalé zachytávání nedopalků

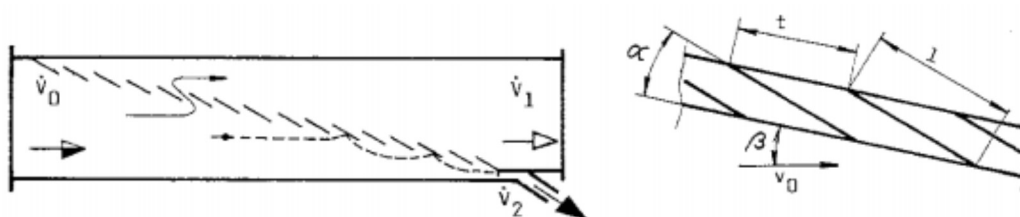
Ve fluidních kotlích někdy dojde k úletu částic z fluidního lože, které ještě lze spálit a získat z nich tak tepelnou energii. Tyto částice je vhodné vracet zpět do ohniště. K zachytávání těchto částic slouží různé odlučovače. Běžně se používají žaluziové nebo cyklonové odlučovače. Na kotli K7 je instalovaný žaluziový odlučovač. Instalovaný žaluziový odlučovač dle zjištěných informací neprovádí odlučování částic dle ideálních

požadavků. Nabízí se tak výměna žaluziového odlučovače za cyklónový, který by mohl zajistit lepší odlučivost.

#### 4.2.1 Žaluziový odlučovač

Žaluziové odlučovače pro odlučování využívají setrvačnosti částic, které jsou unášeny plynem. Do proudu plynu jsou vloženy překážky ve tvaru žaluzií, což je možné vidět na *obrázku 4.2*. Částice unášené plynem narazí do žaluzií pod úhlem  $\beta$  a jsou svedeny po žaluziích do vyústění. Proudící plyn proteče mezi žaluziemi a pokračuje dále. [30]

Tento typ odlučovače je poměrně jednoduchý na konstrukci, jelikož neobsahuje žádné pohyblivé části. Je schopen odloučit částice s rozměrem nad 10  $\mu\text{m}$ . Nejsou vhodné pro odlučování abrazivních a lepivých prachů. Tlaková ztráta žaluziových odlučovačů s rychlostí proudu 10 m/s může být kolem 300 Pa. [30]



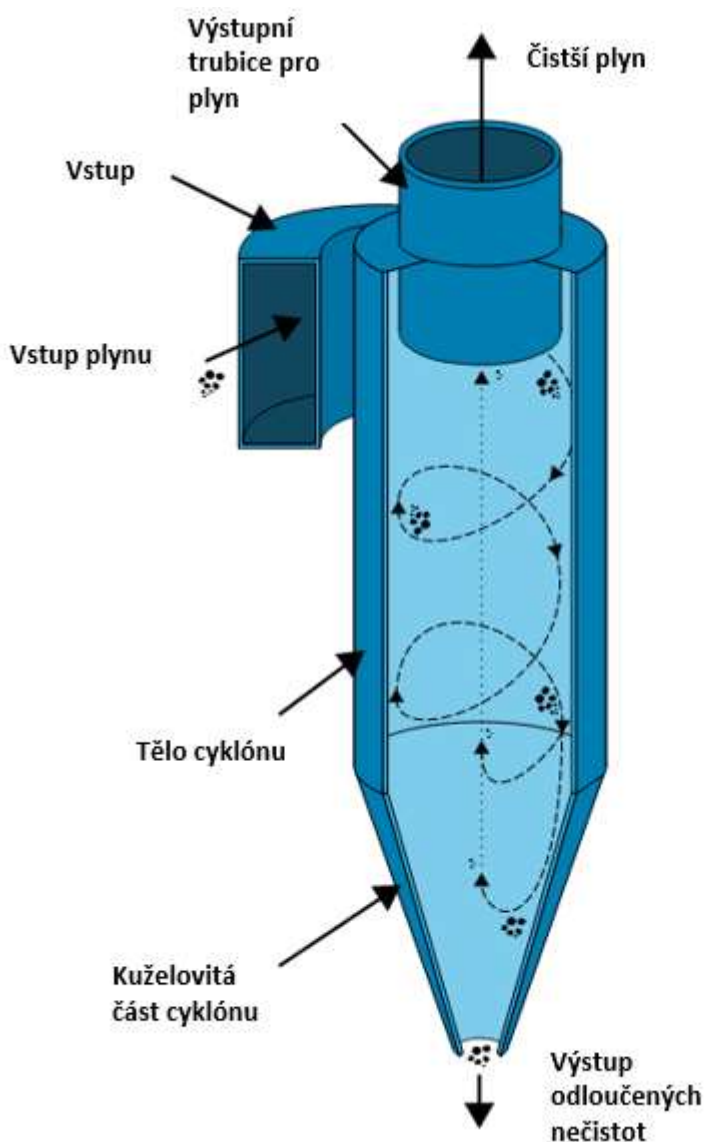
Obrázek 4.2 Žaluziový odlučovač [30]

#### 4.2.2 Cyklónový odlučovač

Jedná se o zařízení využívající rozdílnosti odstředivých sil, pomocí kterých dokáže odstranit hrubší částičky obsažené v proudícím plynu. Cyklóny mají tvar převráceného kužele. V horní části kužele je tangenciálně přiváděn vzduch, který postupně víří v cyklónu směrem dolů. Proud plynu postupně přejde ve spodní části do středu cyklónu a začne proudit nahoru. Částičky obsažené v plynu jsou odstředivou silou vytlačeny na okraj cyklónu, kde postupují směrem dolů k výsypce. Princip cyklónového odlučovače je znázorněn na *obrázku 4.3*. [29] [30]

Cyklónové odlučovače jsou schopné odstranit až 99 % částiček z plynu. Účinnost odlučovačů silně závisí na velikosti částic. Většina cyklónů je vhodná na odstranění částic větších jak 10  $\mu\text{m}$  v průměru, ale existují i speciální cyklóny, které jsou schopny odloučit i

částičky o velikostech 2,5  $\mu\text{m}$ . Zvýšení účinnosti lze docílit vytvořením tzv. multicyklónů. Multicyklóny jsou paralelně řazené cyklóny. [29] [30]



Obrázek 4.3 Cyclónový odlučovač [29]

Mezi hlavní výhody cyklónových separátorů patří jejich cenová dostupnost, možnost je provozovat i při vysokých teplotách (při použití vhodných materiálů) a absence pohyblivých částí. Cyclóny jsou náchylné na abrazivní účinky a ani nejsou vhodné pro čištění vlhkých plynů nebo plynu s lepkavými částicemi. Tlaková ztráta cyklónů se může pohybovat přibližně od 600 do 1 000 Pa. [29] [30]

#### 4.2.3 Zlepšení odlučivosti

Zvýšení odlučivosti by pomohlo k většímu využití paliva, které ulétne z fluidního lože. Jednou z možných variant by byla záměna stávajícího žaluziového odlučovače za

cyklónový, případně za skupinu cyklónů (multicyklónů). Tímto řešením by se dosáhlo lepší odlučivosti, avšak za cenu zvýšené tlakové ztráty. Pokud by zvýšená tlaková ztráta ovlivnila průběh spalování na kotli K7, bylo by možné instalovat ventilátor do odtahu pro vyrovnání tlakové ztráty.

Další možná varianta by byla kombinace žaluziového a cyklónového odlučovače. Žaluziový odlučovač by sloužil jako předodlučovač a cyklón by byl umístěn za ním. Toto řešení by mělo také zvýšit odlučivost s podobným problémem, jako u výše zmíněného řešení.

### **4.3 Výměna trubek v ohříváku vzduchu**

Spalovací vzduch se pro zlepšení účinnosti spalovacího procesu ohřívá na vyšší teplotu. Slouží k tomu ohřívák vzduchu, kde dochází k předání tepla spalín spalovacímu vzduchu.

#### **4.3.1 Aktuální stav ohříváku vzduchu**

Ohřívák vzduchu v kotelně kotle K7 je rozdělen do tří částí. V prvním svislém díle spaliny proudí trubkami, které mají vystřídání uspořádání, a vzduch proudí okolo nich. Zbylé dva vodorovné díly jsou uspořádány trubkově za sebou v části před obratovou výsypkou a v části třetího tahu jsou trubky s vystřídáním uspořádáním, kde vzduch proudí trubkami a spaliny okolo trubek. Tyto trubky a trubkovnice jsou tvořeny uhlíkovým materiálem. [25]

Několik trubek, ve kterých proudí spaliny nebo vzduch jsou zaslepené z důvodu jejich narušení, aby nedocházelo k míchání spalín a vzduchu.

#### **4.3.2 Oprava a výměna trubek**

Jelikož je v ohřívácích vzduchu zaslepeno několik trubek, není možné účinného předávání tepla spalín spalovacímu vzduchu. Tyto trubky je potřeba opravit. Nejlepším řešením je výměna trubek za nové, které by bylo vhodné vyrobit z odolnějšího materiálu. Výměna těchto trubek by znamenala odstávku bloku, jelikož by je nešlo vyměnit za provozu.

### **4.4 Automatizovaná doprava štěpky**

Většina transportu a manipulace s lesní dřevní štěpkou v PT, a.s. probíhá automatizovaně. Některé úkony je však nutno dělat pomocí kolového nakladače. Tento kolový nakladač má za úkol transport mokré lesní dřevní štěpky, kterou je nutno vysušit, do dvou sušek biomasy.

#### 4.4.1 Aktuální stav dopravy štěpky

V případě sušky biomasy označené číslem 2 je transport dřevní štěpky zajištěn pomocí kolového nakladače do násypné části sušky biomasy a následně pomocí pásových dopravníků, vibračního podavače (pro zajištění rovnoměrného rozprostření materiálu pro třídění diskovým třídičem) a hrablovým výsypným dopravníkem do kryté haly. V této hale je dočasně uskladněn a postupně nakládán kolovým nakladačem, který zajistí přesun vysušené a vytříděné lesní dřevní štěpky do prostoru, kde dochází k míchání kvalitnější a méně kvalitní štěpky s následným přesunem pomocí dalších dopravníků do zauhlovací části. [27]



Obrázek 4.4 Násypná část sušky biomasy označené číslem 2

Dřevní štěpka upravovaná suškou biomasy značené číslem 1 má podobný proces, kde je pomocí několika dopravníků (přihrnovací šnekový, lomený hrabicový, sběrný pásový, šikmý šnekový), hvězdicového třídiče, jehlanové násypky a redlerového dopravníku dopravena do skladovací betonové kóje. Z této skladovací betonové kóje musí stavební strojník pomocí kolového nakladače vysušenou dřevní štěpku dopravit do haly biomasy. [26]

Po smíchání kvalitní a méně kvalitní štěpky je již doprava plně automatizována.

#### 4.4.2 Možné úpravy dopravy štěpky

Některé úkony by bylo možné automatizovat pomocí dalších dopravníků. Například nahrazení dopravy vysušené dřevní štěpky ze sušky biomasy č. 1 ze skladovací betonové kóje do haly (nebo rovnou ze sušky do haly) pomocí dopravníku by zjednodušilo přesun a nebylo by pro tento přesun nutné využívat kolového nakladače.

Další variantou by bylo vystavění dopravníků, které by byly osazeny mechanismem na měření váhy. Tyto dopravníky by poté byly schopné automatizovaně dávkovat v požadovaném poměru kvalitní a méně kvalitní štěpku. Výstavba nových dopravníků by se však neobešla bez stavebních úprav již stávajících částí budov/haly.



## Závěr

Po vyhodnocení energetického využívání biomasy v posledních letech je zřejmé, že v České republice dochází ke stálému nárůstu využívání biomasy. V roce 2017 bylo vyrobeno z biomasy a paliv pocházejících z biomasy 4 964 567 MWh elektrické energie, což odpovídá 51,62 % z celkového zastoupení OZE. Nejvíce se vyrobilo z bioplynů (2 638 977 MWh). Z tuhé biomasy se nejvíce použilo pilin, kůry, dřevní štěpky a dřevního odpadu, ze kterých bylo vyrobeno 1 133 000 MWh. Celkově v Evropské unii dochází k nárůstu využívání biopaliv. Ve Spojených státech amerických také dochází k nárůstu využívání biomasy pro výrobu energií, avšak tento nárůst není tak velký jako například v Evropské unii. Tyto nárůsty jsou způsobeny snahou států zvýšit celkový podíl OZE na výrobě energií. Díky dotacím a podporám, které se dají využít pro výrobu energií z biomasy, se v častých případech stává výroba energií z biomasy ekonomicky výhodná pro energetické společnosti.

Z popsanych technologií pro spalování nebo spoluspalování biomasy, z pohledu velkých energetických zdrojů, vychází nejlépe spalování biomasy ve fluidních kotlích a případně roštových kotlích. Spoluspalování s uhlím lze provádět ve fluidních kotlích a dále v práškových kotlích. Fluidní kotle jsou schopny spalovat různé druhy biomasy a při správném dávkování primárního a sekundárního vzduchu dojde k omezení tvorby škodlivých látek, především oxidů dusíku. Z paliv vychází dobře rychlerostoucí dřeviny a šťovík krmný, který má velkou výnosnost suché hmoty na hektar. Nejlépe však vychází dřevní odpady z ekonomických důvodů. Při spalování biomasy se musí brát ohled na teplotu tání popela, která se podle použité biomasy liší. Je tedy nutné vhodně regulovat teplotu spalování např. recirkulací spalin a množstvím přiváděného spalovacího vzduchu.

Vyhodnocením výsledků provozu kotle K7 v Plzeňské teplárenské, a.s. bylo zjištěno, že spalování dřevní štěpky probíhá velmi stabilně. Teploty ve spalovací komoře (průměrná teplota ve spalovací komoře byla 877,74 °C) nepřesahují teplotu tání popela a nedochází tak k napékání na stěny kotle či spalinovodů. Nepříliš vysoká teplota je také vhodná pro menší tvorbu termických oxidů dusíku. Oxidy dusíku jsou navíc omezovány vhodnou dodávkou sekundárního vzduchu ve dvou úrovních spalovací komory. Dále bylo zjištěno, že většina parametrů kotle se pohybuje jen s minimálními odchylkami od jmenovitých hodnot, což je velmi přínosné pro stabilní proces spalování. Výstupní hodnoty na svorkách generátoru se pohybovali ve sledovaném období na mezi maximálního trvalého výkonu generátoru (13,5 MW).

Z energetických dat kotle K7 a soustrojí TG3 vychází roční výroba energie na 110 319 MWh v roce 2017 a 105 660 MWh v roce 2018. Z vyhodnocených dat je zřejmá měnící se výhřevnosti spalované štěpky během roku, od které se vyvíjí množství vyrobených kWh na jednu tunu štěpky. Nejlepší poměr 1035,68 kWh/t vyšel pro říjen v roce 2018, při výhřevnosti štěpky 12,09 GJ/t. Nejméně elektrické energie bylo vyrobeno v únoru roku 2018 (751,42 kWh/t s výhřevností štěpky 9,05 GJ/t). Byla vypočítána účinnost kotle přímou metodou. Pro duben roku 2019 vyšla 85,49 %, což se blíží deklarované účinnosti kotle výrobcem (91 %). Na přelomu roku 2017/2018 účinnost vycházela na 87 %. Dále byly vyhodnoceny pro sledované období emise oxidu uhelnatého a oxidů dusíku. Oxidy dusíku překročily na několik hodin svůj limit o 30,76 mg/Rm<sup>3</sup>, který se s následnou regulací spalovacího vzduchu podařilo navrátit pod limit.

Byly vytvořeny čtyři návrhy na zlepšení účinnosti nebo efektivnosti při spalování biomasy na kotli K7 v PT a.s. Pro zvýšení efektivnosti byla navržena výstavba nových dopravníků, které zajistí efektivnější přesun vysušené dřevní štěpky od sušiček biomasy. Předsušením biomasy v zastřešeném a provětrávaném prostoru by došlo ke zlepšení výhřevnosti a tak i účinnosti. Zvýšení účinnosti by bylo také možné docílit lepším odlučováním částic obsahujících spalitelné části, které ulétnou z fluidního lože, pomocí cyklonového odlučovače nebo multicyklónu, případně kombinací stávajícího žaluziového odlučovače s cyklonovým odlučovačem. Dále byla navržena oprava nebo výměna trubek sloužících pro ohřívání spalovacího vzduchu, které jsou z důvodu narušení zaslepeny.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Biomasa. TZB-info [online]. Topinfo s.r.o., Křenova 438/3, 162 00 Praha 6: TZB-info, 2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/biomasa>
- [2] STUPAVSKÝ, Vladimír. O vytápění biomasou od A až do Z. TZB-info [online]. Topinfo s.r.o., Křenova 438/3, 162 00 Praha 6: TZB-info, 2019, 13. 7. 2012 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/peletky/8814-o-vytapeni-biomasa-od-a-az-do-z>
- [3] OCHODEK, Tadeáš, Jan KOLONIČNÝ a Michal BRANC. Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy [online]. Ostrava, 2007, 229 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/tech.pdf>
- [4] ODDĚLENÍ STATISTIKY A SLEDOVÁNÍ KVALITY ERÚ. Roční zpráva o provozu ES ČR 2017 [online]. Praha, 2018, 40 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: [http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni\\_zprava\\_provoz\\_ES\\_2017.pdf/521bff99-fdcf-4c86-8922-3a346af0bb88](http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2017.pdf/521bff99-fdcf-4c86-8922-3a346af0bb88)
- [5] ODDĚLENÍ STATISTIK ERÚ. Roční zpráva o provozu ES ČR 2012 [online]. Praha, 2013, 30 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: [https://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni\\_zprava\\_provoz\\_ES\\_2012.pdf/4fdde065-9e59-442f-ba17-74651ff68625](https://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2012.pdf/4fdde065-9e59-442f-ba17-74651ff68625)
- [6] MAYES, Fred. Increases in electricity generation from biomass stop after a decade of growth. The U.S. Energy Information Administration [online]. U.S. Energy Information Administration 1000 Independence Ave., SW Washington, DC 20585: The U.S. Energy Information Administration, 2019, 12. dubna 2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=39052>
- [7] Electricity Data Browser. The U.S. Energy Information Administration [online]. U.S. Energy Information Administration 1000 Independence Ave., SW Washington, DC 20585: The U.S. Energy Information Administration, 2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.eia.gov/electricity/data/browser/>
- [8] MAYES, Fred. Southern states lead growth in biomass electricity generation. The U.S. Energy Information Administration [online]. U.S. Energy Information Administration 1000 Independence Ave., SW Washington, DC 20585: The U.S. Energy Information Administration, 2019, 25. května 2016 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=26392>
- [9] HILL, Sean a Neil AGARWAL. U.S. biomass-based diesel imports down for second consecutive year in 2018. The U.S. Energy Information Administration [online]. U.S. Energy Information Administration 1000 Independence Ave., SW Washington, DC 20585: The U.S. Energy Information Administration, 2019, 30. dubna 2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=39292>

- [10] UK Energy in Brief 2018. Department for Business, Energy & Industrial Strategy [online]. Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 1 Victoria Street, London SW1H 0ET: Crown copyright, 2018, [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/728374/UK\\_Energy\\_in\\_Brief\\_2018.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/728374/UK_Energy_in_Brief_2018.pdf)
- [11] Statistical Pocketbook: EU Energy in figures. Luxembourg: Imprimerie Centrale, 2018, 268. DOI: 10.2833/105297. ISSN 2363-247X.
- [12] OCHODEK, Tadeáš, Jan KOLONIČNÝ a Michal BRANC. Metodická příručka ke studii – Ekologické aspekty záměny fosilních paliv za biomasu [online]. Ostrava: Repronis Ostrava, 2007 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/prirucka3.pdf>
- [13] JEŘÁBKOVÁ, Julie: Vývoj ceny emisní povolenky v letošním roce. Biom.cz [online]. 2018-11-24 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyvoj-ceny-emisni-povolenky-v-letosnim-roce>. ISSN: 1801-2655
- [14] DOLEŽAL, Jan: Větší projekty budou o novou podporu soutěžit v aukcích. Biom.cz [online]. 2018-11-23 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vetsi-projekty-budou-o-novou-podporu-soutezit-v-aukcich>. ISSN: 1801-2655
- [15] Dotace a půjčky. Státní fond životního prostředí České republiky [online]. Státní fond životního prostředí ČR Olbrachtova 2006/9 140 00 Praha 4 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/nova-zelena-usporam/>
- [16] DOUCHA ŠIKOLA ADVOKÁTI s.r.o.: Nová směrnice o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů – nová pravidla pro biomasu. Biom.cz [online]. 2018-11-16 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/nova-smernice-o-podpore-vyuzivani-energie-z-obnovitelnych-zdroju-nova-pravidla-pro-biomasu>. ISSN: 1801-2655
- [17] Zákon č. 165/2012 Sb.: Zákon o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. In: . 2012, 59/2012. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-165>
- [18] HRDLIČKA, František. Rekonstrukce uhelných kotlů na spalování biomasy [online]. Sněžné Milovy, 2015 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: [https://czbiom.cz/konf/files/7\\_Hrdli%C4%8Dka\\_Rekonstrukce-zdroj%C5%AF-na-biomasu.pdf](https://czbiom.cz/konf/files/7_Hrdli%C4%8Dka_Rekonstrukce-zdroj%C5%AF-na-biomasu.pdf)
- [19] DLOUHÝ, Tomáš. Spalování a kotle. Ústav energetiky - ČVUT [online]. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní - Technická 4, 166 07 Praha 6, 2019, 19. 2. 2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <http://energetika.cvut.cz/wp-content/uploads/SK-pr1.pdf>
- [20] CITYPLAN, s.r.o. Příručka pro regionální využití biomasy [online]. Česká energetická agentura Vinohradská 8, 120 00 Praha 2: Česká energetická agentura [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: [https://www.mpo-efekt.cz/dokument/99\\_8080.pdf](https://www.mpo-efekt.cz/dokument/99_8080.pdf)

- [21] IBLER, Zbyněk a Zbyněk IBLER. Možnosti rozvoje výroby tepla a elektřiny využitím biomasy v regionech a městech ČR [online]. 2003, květen 2003 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/dokument/biomasa.pdf>
- [22] MÍKA, Martin, VOLÁKOVÁ, Pavlína, KLÁPŠTĚ, Břetislav, JANKOVSKÝ, Ondřej, VERNER, Vladimír: Jak potlačit spékání biomasového popela?. Biom.cz [online]. 2011-11-28 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/jak-potlacit-spekani-biomasoveho-popela> ISSN: 1801-2655
- [23] CIZNER, Josef, Šárka HERMANOVÁ a SVÚM a.s. Provozní zkoušky vybraných ocelí a slitin v prostředí spalin biomasy. AF POWER agency, a.s. [online]. březen 2013 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: [http://www.allforpower.cz/UserFiles/files/2011/biomasa\\_spalovani.pdf](http://www.allforpower.cz/UserFiles/files/2011/biomasa_spalovani.pdf)
- [24] SLÁDKOVÁ, Jarmila. Ekologie. Plzeňská teplárenská [online]. PLZEŇSKÁ TEPLÁRENSKÁ, a.s. Doubravecká 2760/1, 301 00 Plzeň, 2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.pltep.cz/ekologie/>
- [25] NOVOTŇÁK, Dušan. MÍSTNÍ PROVOZNÍ PŘEDPIS 003: Kotelna K7. PLZEŇSKÁ TEPLÁRENSKÁ, a.s. Doubravecká 2760/1, 301 00 Plzeň, 2018.
- [26] ŘEHÁČEK, David. MÍSTNÍ PROVOZNÍ PŘEDPIS 051: Suška biomasy. PLZEŇSKÁ TEPLÁRENSKÁ, a.s. Doubravecká 2760/1, 301 00 Plzeň, 2017.
- [27] KOLLÁR, Dušan. MÍSTNÍ PROVOZNÍ PŘEDPIS 053: Suška biomasy 2. PLZEŇSKÁ TEPLÁRENSKÁ, a.s. Doubravecká 2760/1, 301 00 Plzeň, 2019.
- [28] ČERNÍK, Martin. MÍSTNÍ PROVOZNÍ PŘEDPIS 009: Strojovna TG 3. PLZEŇSKÁ TEPLÁRENSKÁ, a.s. Doubravecká 2760/1, 301 00 Plzeň, 2018.
- [29] J.M.K.C. Donev et al. (2018). Energy Education - Cyclone separator [Online]. Dostupné z: [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Cyclone\\_separator](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Cyclone_separator) [cit. 2019-05-23].
- [30] HEMERKA, Jiří. Odlučování tuhých částic. Vyd. 2. Praha: ČVUT, 1994. 138 s. ISBN 80-01-02270-6.
- [31] KOČICA, Josef, Jan BERKA, Jiří DOBRÝ a Jan GRUS. Vlastnosti biomasy jako paliva. Lesnická práce [online]. 2004, 83(3/04), 1 [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: <http://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-83-2004/lesnicka-prace-c-3-04/vlastnosti-biomasy-jako-paliva>
- [32] ZÁRYBNICKÁ, Michaela. BIOMASA: Obnovitelná zdroj energie [online]. [cit. 2019-05-28]. Dostupné z: [https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/old\\_web/\\_files/projekty/enazp/13/IUT/063\\_Biomasa\\_-\\_Obnovitelny\\_zdroj\\_energie\\_-\\_Zarybnicka\\_-\\_P1.pdf](https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/old_web/_files/projekty/enazp/13/IUT/063_Biomasa_-_Obnovitelny_zdroj_energie_-_Zarybnicka_-_P1.pdf)
- [33] Roční průměry venkovní teploty. Zákaznická zóna [online]. [cit. 2019-05-29]. Dostupné z: [https://www.zakaznickazona.cz/teploty/prumerne\\_teploty.htm](https://www.zakaznickazona.cz/teploty/prumerne_teploty.htm)

## **Přílohy**

**Příloha A – Přehled použitelnosti biomasy pro různé procesy**

**Příloha B – Data pro energetické vyhodnocení kotle K7 a TG3**

**Příloha C – Ukázka použitých dat pro *obrázek 3.5* a *obrázek 3.6***

**Příloha D – Ukázka použitých dat pro *obrázek 3.4***

**Příloha E – Použitá data pro *obrázek 3.10***

**Příloha F – Fotografie z Plzeňské teplárenské, a.s.**

## Příloha A – Přehled použitelnosti biomasy pro různé procesy

Druh biomasy / proces	esterifikace biooleje	anaerobní fermentace	aerobní fermentace	alkoholová fermentace	pyrolýza	spalování	zplyňování
energetické plodiny lignocelulóznové (dřevo, sláma, pícniny, obiloviny)	Nevhodné	Tech. ekon. Podmínky	Tech. ekon. Podmínky	Neužívá se	Tech. ekon. Podmínky	Vhodné	Tech. ekon. Podmínky
olejnaté plodiny (řepka, slunečnice, len)	Vhodné	Tech. ekon. Podmínky	Nevhodné	Nevhodné	Nevhodné	Tech. ekon. Podmínky	Nevhodné
energetické plodiny škrobnaté nebo cukernaté (brambory, cukrová řepa, obiloviny)	Nevhodné	Neužívá se	Nevhodné	Vhodné	Neužívá se	Neužívá se	Neužívá se
odpady z živočišné výroby (exkrementy, mléčné odpady)	Nevhodné	Vhodné	Tech. ekon. Podmínky	Nevhodné	Neužívá se	Neužívá se	Neužívá se
organický podíl komunálních odpadů	Nevhodné	Vhodné	Neužívá se	Nevhodné	Tech. ekon. Podmínky	Vhodné	Tech. ekon. Podmínky
organický odpad z potravinářské nebo jiné průmyslové výroby	Nevhodné	Vhodné	Tech. ekon. Podmínky	Tech. ekon. Podmínky	Nevhodné	Neužívá se	Nevhodné
dpady z dřevářských provozoven	Nevhodné	Nevhodné	Nevhodné	Nevhodné	Tech. ekon. Podmínky	Vhodné	Tech. ekon. Podmínky
odpady z lesního hospodářství	Nevhodné	Tech. ekon. Podmínky	Neužívá se	Nevhodné	Tech. ekon. Podmínky	Vhodné	Tech. ekon. Podmínky
rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby a z péče o krajinu	Nevhodné	Tech. ekon. Podmínky	Neužívá se	Nevhodné	Neužívá se	Vhodné	Neužívá se
získané produkty	plyn	teplo	bioetanol	plyn, biouhlí, olej	plyn	teplo	olej, metyléster

## Příloha B – Data pro energetické vyhodnocení kotle K7 a TG3

	Zemní plyn - množství (tis.m <sup>3</sup> )	Zemní plyn - teplo (GJ)	Zemní plyn - výhřevnost (GJ/tis.m <sup>3</sup> )	Štěpka - množství (t)	Štěpka - teplo (GJ)	Štěpka - výhřevnost (GJ/t)	Teplo vyrobené (GJ)	Svork. výroba el. energie na TG3 (MWh)
leden 17	7,29	251,56	34,489	11392	112949,08	9,9148	93597,6	9287
únor 17	0,78	26,83	34,489	11118,6	106813,09	9,6067	87325	8681
březen 17	0,03	1,07	34,489	12255,4	117276,05	9,5693	99332,2	9958
duben 17	0	0	0	11536,7	117245,98	10,1629	96532,7	9655
květen 17	14,96	515,96	34,489	9350,7	104085,19	11,1313	81031,1	8021
červen 17	3,88	133,68	34,489	7805,8	91659,43	11,7425	73837,3	7337
červenec 17	6,82	235,11	34,489	9559,2	114469,1	11,9748	91037,9	9088
srpen 17	0,1	3,45	34,489	10165,8	122593,16	12,0594	100560	9990
září 17	5,93	204,55	34,489	9190	108207,7	11,7745	91215,7	9151
říjen 17	0	0	0	10881,5	123708,29	11,3687	99949,7	10039
listopad 17	3,87	133,3	34,489	10571,1	110042,23	10,4097	90896,9	9124
prosinec 17	4,38	150,89	34,489	11629,1	114344,08	9,8326	99318	9988
leden 18	4,94	170,38	34,489	12086,2	109250,03	9,0392	94785,1	9509
únor 18	5,42	187,22	34,575	10654,5	96417,81	9,0495	80012,7	8006
březen 18	0,19	6,67	34,575	13005,7	119677,61	9,2019	99331,3	9994
duben 18	0	0	0	11785,5	116174,28	9,8574	96125	9604
květen 18	0,19	6,64	34,575	4629,5	48591,43	10,496	40653,1	4043
červen 18	2,65	91,52	34,575	9824,5	107691,98	10,9616	89494,6	9032
červenec 18	0	0	0	10169,2	121256,38	11,9239	100018	10012
srpen 18	13,74	475,2	34,575	8564,8	105779,07	12,3504	84432,1	8265
září 18	4,86	168,14	34,575	8742,7	107493,96	12,2953	86967,1	8692
říjen 18	0	0	0	9679,6	117047	12,0921	99972,7	10025
listopad 18	2,02	69,88	34,575	9126,1	109176,18	11,9631	92754	9302
prosinec 18	6,31	218,03	34,575	9965,4	109809,74	11,0191	91249	9176
leden 19	0	0	0	11868,4	121943,78	10,2747	98943,5	10010
únor 19	0	0	0	10952,3	108475,47	9,9044	89362,1	9046
březen 19	0	0	0	11820,5	116689,04	9,8718	99058,2	10030
duben 19	0,16	5,65	34,679	5082,6	52399,58	10,3096	44797,6	4513



**Příloha C – Ukázka použitých dat pro obrázek 3.5 a obrázek 3.6**

Čas	TG3 č. výkon svork. (MW)	teplota páry na výstupu z K7 (°C)	tlak páry na výstupu z K7 (MPa)	množství páry na výstupu z K7 (t/h)
07.04. 12:00:00	13,537	488,519	6,649	48,769
07.04. 12:05:00	13,558	488,519	6,653	48,867
07.04. 12:10:00	13,546	488,519	6,672	48,867
07.04. 12:15:00	13,526	488,519	6,629	48,867
07.04. 12:20:00	13,55	488,136	6,606	49,056
07.04. 12:25:00	13,541	487,441	6,564	48,876
07.04. 12:30:00	13,544	486,811	6,585	49,051
07.04. 12:35:00	13,539	487,449	6,6	48,974
07.04. 12:40:00	13,539	487,449	6,584	49,08
07.04. 12:45:00	13,537	487,449	6,585	48,905
07.04. 12:50:00	13,574	485,998	6,572	49,075
07.04. 12:55:00	13,549	486,644	6,569	49,017
07.04. 13:00:00	13,524	485,121	6,511	49,091
07.04. 13:05:00	13,55	484,491	6,495	49,395
07.04. 13:10:00	13,544	486,723	6,583	49,263
07.04. 13:15:00	13,546	485,99	6,583	49,021
07.04. 13:20:00	13,562	487,33	6,645	48,942
07.04. 13:25:00	13,549	488,79	6,645	48,888
07.04. 13:30:00	13,549	489,453	6,664	48,811
07.04. 13:35:00	13,542	490,147	6,67	48,853
07.04. 13:40:00	13,542	488,75	6,65	48,853
07.04. 13:45:00	13,542	488,064	6,632	48,846
07.04. 13:50:00	13,541	488,846	6,65	48,862
07.04. 13:55:00	13,542	488,16	6,618	49,043
07.04. 14:00:00	13,549	486,819	6,575	48,946
07.04. 14:05:00	13,549	486,819	6,595	48,962
07.04. 14:10:00	13,547	486,819	6,574	48,962
07.04. 14:15:00	13,542	486,819	6,556	49,047
07.04. 14:20:00	13,541	486,205	6,556	49,087
07.04. 14:25:00	13,542	486,149	6,538	49,188
07.04. 14:30:00	13,549	486,093	6,581	49,287
07.04. 14:35:00	13,536	485,416	6,581	49,05
07.04. 14:40:00	13,541	484,85	6,56	49,05
07.04. 14:45:00	13,547	485,479	6,56	49,23
07.04. 14:50:00	13,568	485,479	6,577	49,142
07.04. 14:55:00	13,544	485,479	6,62	49,067
07.04. 15:00:00	13,544	487,146	6,623	49,053
07.04. 15:05:00	13,546	487,146	6,623	49,05
07.04. 15:10:00	13,546	487,76	6,685	48,865
07.04. 15:15:00	13,529	486,349	6,625	49,003
07.04. 15:20:00	13,552	486,349	6,608	49,103
07.04. 15:25:00	13,554	485,679	6,612	49,266
07.04. 15:30:00	13,541	484,642	6,528	49,153
07.04. 15:35:00	13,549	486,859	6,547	49,065
07.04. 15:40:00	13,544	487,601	6,586	48,975
07.04. 15:45:00	13,541	485,982	6,52	49,09
07.04. 15:50:00	13,541	486,66	6,561	49,102
07.04. 15:55:00	13,541	488,215	6,646	48,875
07.04. 16:00:00	13,526	485,479	6,582	48,968
07.04. 16:05:00	13,557	484,682	6,498	49,326
07.04. 16:10:00	13,552	485,408	6,544	49,125

07.04. 16:15:00	13,557	487,569	6,617	49,027
07.04. 16:20:00	13,518	484,969	6,553	49,029
07.04. 16:25:00	13,547	484,969	6,536	49,25
07.04. 16:30:00	13,536	485,631	6,57	49,094
07.04. 16:35:00	13,537	484,842	6,521	48,973
07.04. 16:40:00	13,544	485,328	6,521	49,238
07.04. 16:45:00	13,55	486,891	6,542	48,982
07.04. 16:50:00	13,55	486,891	6,542	49,056
07.04. 16:55:00	13,55	487,609	6,567	49,035
07.04. 17:00:00	13,533	488,263	6,56	48,947
07.04. 17:05:00	13,547	488,056	6,585	48,921
07.04. 17:10:00	13,56	491,25	6,814	48,779
07.04. 17:15:00	13,549	491,961	6,845	48,578
07.04. 17:20:00	13,534	491,034	6,767	48,712
07.04. 17:25:00	13,541	490,363	6,728	48,819
07.04. 17:30:00	13,546	487,194	6,679	48,915
07.04. 17:35:00	13,523	484,379	6,515	48,932
07.04. 17:40:00	13,534	485,352	6,448	49,244
07.04. 17:45:00	13,542	488,838	6,559	48,983
07.04. 17:50:00	13,549	490,634	6,711	48,779
07.04. 17:55:00	13,516	487,92	6,644	48,605
07.04. 18:00:00	13,541	483,519	6,448	49,305
07.04. 18:05:00	13,546	484,316	6,421	49,292
07.04. 18:10:00	13,549	485,073	6,417	49,127
07.04. 18:15:00	13,586	489,269	6,678	49,127
07.04. 18:20:00	13,56	490,603	6,812	48,627
07.04. 18:25:00	13,529	487,362	6,766	48,821
07.04. 18:30:00	13,555	486,5	6,696	49,033
07.04. 18:35:00	13,554	485,87	6,683	48,946
07.04. 18:40:00	13,537	485,87	6,661	49,053
07.04. 18:45:00	13,537	485,87	6,644	49,068
07.04. 18:50:00	13,55	484,467	6,616	49,134
07.04. 18:55:00	13,529	484,491	6,636	49,065
07.04. 19:00:00	13,536	482,865	6,59	49,223
07.04. 19:05:00	13,549	483,614	6,587	49,362
07.04. 19:10:00	13,537	484,308	6,608	49,263
07.04. 19:15:00	13,537	483,622	6,57	49,177
07.04. 19:20:00	13,565	484,379	6,604	49,177
07.04. 19:25:00	13,549	484,443	6,583	49,056
07.04. 19:30:00	13,529	483,606	6,566	49,204
07.04. 19:35:00	13,526	482,658	6,38	49,135
07.04. 19:40:00	13,587	488,375	6,652	49,285
07.04. 19:45:00	13,533	487,689	6,749	48,72
07.04. 19:50:00	13,534	480,413	6,562	49,488
07.04. 19:55:00	13,563	488,519	6,58	49,156
07.04. 20:00:00	13,518	490,195	6,58	48,697
07.04. 20:05:00	13,552	488,303	6,538	48,899
07.04. 20:10:00	13,558	488,966	6,581	48,809
07.04. 20:15:00	13,526	487,553	6,564	48,888
07.04. 20:20:00	13,554	487,489	6,54	49,028
07.04. 20:25:00	13,539	488,215	6,583	48,923
07.04. 20:30:00	13,547	488,215	6,597	48,825
07.04. 20:35:00	13,542	488,215	6,539	48,941
07.04. 20:40:00	13,562	489,764	6,583	48,826
07.04. 20:45:00	13,541	488,335	6,562	48,734
07.04. 20:50:00	13,549	489,085	6,559	48,82
07.04. 20:55:00	13,541	489,085	6,574	48,926
07.04. 21:00:00	13,529	488,91	6,582	48,66
07.04. 21:05:00	13,541	488,247	6,562	48,942

## Příloha D – Ukázka použitých dat pro obrázek 3.4

Čas	max. teplota ve fl. vrstvě L (°C)	max. teplota ve fl. vrstvě P (°C)	teplota ve spal. komoře 1 (°C)	teplota ve spal. komoře 2 (°C)	teplota ve spal. komoře 3 (°C)	teplota ve spal. komoře 4 (°C)	průtok prim. vzduchu L (Nm <sup>3</sup> /h)	průtok prim. vzduchu P (Nm <sup>3</sup> /h)
07.04. 12:00:00	870,9	863,29	941,52	755,46	888,33	970,8	4799,9	4766,4
07.04. 12:05:00	866,4	857,56	943,88	753,77	893,3	972,59	4817,9	4754,7
07.04. 12:10:00	860,67	856,87	941,78	750,98	890,66	968,26	4385,5	4486,2
07.04. 12:15:00	857,9	853,22	939,19	751,13	894,64	966,39	4366,4	4632,9
07.04. 12:20:00	852,28	856,72	945,37	752,67	891,61	965,78	4750,5	4641,3
07.04. 12:25:00	863,44	857,66	945,6	760,31	887,77	964,52	4647,4	4749,3
07.04. 12:30:00	859,98	856,82	946,22	757,98	894,89	969,08	4567,7	4684,9
07.04. 12:35:00	856,72	868,13	947,47	760,87	888,82	966,95	4599,3	4605,6
07.04. 12:40:00	846,67	853,07	944,6	756,57	893,25	967,06	4673,1	4659,1
07.04. 12:45:00	851,64	861,56	946,98	758,31	885,18	966,19	4483	4557,3
07.04. 12:50:00	852,18	866,06	948,34	761,46	893,36	966,39	4730	4677,1
07.04. 12:55:00	855,88	861,46	948,14	761,59	880,97	969,34	4541,4	4654,9
07.04. 13:00:00	861,76	855,09	949,24	769,23	879,44	967,06	4831	4697,4
07.04. 13:05:00	856,52	852,33	950,63	760,16	896,38	976,06	4973	4874,9
07.04. 13:10:00	865,76	865,71	956,75	767,54	887,87	974,18	4833,6	4673,8
07.04. 13:15:00	871,3	855,83	946,68	762,08	890,92	968,88	4630,7	4756,1
07.04. 13:20:00	877,64	854,8	946,68	759,95	891,77	969,34	4625,2	4796
07.04. 13:25:00	859,24	858,84	939,24	746,03	895,33	967,7	4436,4	4463,6
07.04. 13:30:00	855,63	864,92	939,14	747,57	898,07	972,8	4579,3	4570,6
07.04. 13:35:00	864,77	855,78	939,29	745,39	897,89	968,26	4262,3	4442,1
07.04. 13:40:00	861,01	864,92	946,16	747,13	898,12	969,39	4242,7	4276,1
07.04. 13:45:00	867,89	860,27	940,27	751,23	895,38	967,54	4395,6	4423,5
07.04. 13:50:00	846,57	863,98	947,57	745,06	897,53	968,72	4281,7	4267
07.04. 13:55:00	852,23	870,11	945,06	750,44	892,69	965,31	4185	4261,6
07.04. 14:00:00	852,03	860,22	947,27	750,93	892,66	966,08	4512,7	4313,9
07.04. 14:05:00	848,24	861,51	951,98	754,64	893,95	965,11	4247,9	4349,8
07.04. 14:10:00	849,52	862,89	948,55	754,16	893,59	960,65	4177,5	4242,8
07.04. 14:15:00	853,12	852,68	949,55	753,29	898,33	968,26	4302,7	4467,7
07.04. 14:20:00	860,62	850,9	947,47	761,21	894,84	970,7	4271,8	4349,6
07.04. 14:25:00	860,96	854,65	950,06	762,62	896,38	969,08	4335,2	4494,1
07.04. 14:30:00	869,37	864,67	957,14	766,59	896,38	972,75	4367,9	4322,4
07.04. 14:35:00	869,22	854,99	955,27	765,18	893,51	964,26	4467,8	4445,2
07.04. 14:40:00	861,06	856,13	950,57	761,64	891,89	962,98	4425,9	4419,3
07.04. 14:45:00	860,96	857,81	949,39	759,46	892,1	967,8	4568	4479
07.04. 14:50:00	871,35	861,51	955,57	769,49	891,15	969,24	4653,9	4480,8
07.04. 14:55:00	873,38	869,77	952,39	767,9	891,82	968,62	4345,5	4382,1
07.04. 15:00:00	856,32	869,52	952,98	755,23	893,36	967,54	4163,8	4316,5
07.04. 15:05:00	863,68	863,44	952,34	759,13	899,23	967,31	4140	4343,4
07.04. 15:10:00	867,39	868,13	952,75	761,57	894,89	967,6	4173	4188
07.04. 15:15:00	860,08	872,29	947,32	759,62	895,25	968,36	4047,1	4129,7
07.04. 15:20:00	868,92	863,39	957,24	761,51	895,33	967,16	4077,7	4185,4
07.04. 15:25:00	873,28	851,94	955,88	761,46	900,59	973,52	4097,9	4297,3
07.04. 15:30:00	848,34	833,94	946,78	748,47	893,64	963,96	4456,9	4293,2
07.04. 15:35:00	863,88	853,32	956,29	764,8	891,31	972,7	4399,6	4397,1
07.04. 15:40:00	858,3	859,53	956,34	764,8	891,56	964,96	4336,4	4326,9
07.04. 15:45:00	854,2	857,31	948,34	761,21	893,1	968,11	4388,2	4458,4
07.04. 15:50:00	857,76	857,36	953,55	761,08	898,43	973,82	4338,4	4321
07.04. 15:55:00	876,8	871,85	957,65	772,1	887,18	961,21	4273,9	4335,1
07.04. 16:00:00	842,29	857,9	946,42	755,72	890,92	958,11	4281	4352,5
07.04. 16:05:00	855,58	850,75	951,98	751,52	896,74	965,98	4688,9	4545,2
07.04. 16:10:00	858,05	851,15	956,55	762,95	897,28	969,13	4642,5	4502,1

07.04. 16:15:00	861,66	863,29	955,16	764,69	897,18	967,95	4301,6	4361,7
07.04. 16:20:00	845,63	856,52	946,16	755,57	894,43	962,11	4336,4	4543,3
07.04. 16:25:00	850,36	853,42	952,19	758,52	898	971,31	4644,8	4574,4
07.04. 16:30:00	861,51	863,68	955,83	763,23	890,56	970,11	4720,8	4439,1
07.04. 16:35:00	861,9	846,32	953,24	757,8	885,59	958,21	4786,5	4678,8
07.04. 16:40:00	868,88	844,99	953,86	762,62	900,53	974,72	4733	4690,7
07.04. 16:45:00	866,6	853,12	949,09	758,64	889,08	968,47	4690,4	4745,2
07.04. 16:50:00	858,89	854,55	947,42	756,11	895,2	967,8	4932,8	4686,1
07.04. 16:55:00	859,83	854,15	949,55	754,54	894,48	969,13	4998,8	4742,6
07.04. 17:00:00	858,4	857,36	944,86	757,21	882,67	962,01	4879,3	4707,8
07.04. 17:05:00	858,89	860,47	945,37	756	890,46	965,88	4754,8	4821,9
07.04. 17:10:00	875,76	892,8	951,88	763,21	896,64	974,08	4353,6	4452,8
07.04. 17:15:00	859,93	885,44	937,04	760	902,53	967,8	4132,9	4202,4
07.04. 17:20:00	867,54	877,2	939,4	740,52	893,95	968,62	4301,7	4037,7
07.04. 17:25:00	862,94	871,35	949,55	741,65	898,92	971,06	4099,8	4223,3
07.04. 17:30:00	861,11	871,6	958,32	749,34	902,66	968,06	4018,2	4086,7
07.04. 17:35:00	845,24	836,29	943,09	737,6	893,1	960,75	4251,3	4361,6
07.04. 17:40:00	864,37	829,48	951,06	747,57	898,59	973,26	4576	4607,1
07.04. 17:45:00	855,68	855,83	961,26	763,23	898,18	976,26	4671,6	4490,6
07.04. 17:50:00	864,42	874,22	959,39	762,13	894,64	970,52	4223,6	4192,9
07.04. 17:55:00	836,1	858,64	944,29	747,31	883,59	949,91	4056,4	4363,3
07.04. 18:00:00	847,21	835,56	942,78	743,31	897,48	963,6	4581,2	4650,8
07.04. 18:05:00	871,35	839,73	959,52	767,69	892,41	978,77	4825,8	4932,1
07.04. 18:10:00	845,53	850,66	954,21	765,33	891,51	978,93	5024,7	4950,7
07.04. 18:15:00	884,59	874,37	970,26	780,38	902,33	990,97	4417,6	4657,3
07.04. 18:20:00	871,4	895,14	960,75	771,9	899,43	970,11	4074,5	4267,2
07.04. 18:25:00	865,96	886,98	946,32	773,64	900,64	960,29	4059,6	4269,6
07.04. 18:30:00	863,53	882,51	954,37	758,69	903,61	970,26	4217,1	4146,4
07.04. 18:35:00	866,3	869,22	958,62	758,08	907,02	976,57	3975,5	4075,9
07.04. 18:40:00	854,85	860,22	955,62	748,77	903,07	972,95	3964,4	4265,8
07.04. 18:45:00	863,14	861,71	963,55	753,11	904,92	971,57	4139,9	4104,5
07.04. 18:50:00	850,9	855,44	961,01	756,05	911,58	972,7	4050,8	4283,6
07.04. 18:55:00	865,81	862,4	964,7	761,57	903,33	973,21	3960,5	4139,1
07.04. 19:00:00	852,38	861,9	963,75	759,67	900,53	973,21	4095,9	4113,5
07.04. 19:05:00	870,36	851,54	968,06	759,57	905,97	977,54	3947,1	4309
07.04. 19:10:00	852,18	863,29	965,57	760,59	900,82	971,88	4098,6	4143,5
07.04. 19:15:00	859,48	856,18	966,6	761,26	901,28	968,21	4005,1	4233,3
07.04. 19:20:00	859,98	858	964,7	765,85	905,87	978,36	3932	4263,1
07.04. 19:25:00	854,45	858,3	966,19	761,03	900,07	967,7	4006,1	4138,7
07.04. 19:30:00	866,95	850,31	962,57	760,44	907,28	973,31	4130,6	4220,1
07.04. 19:35:00	855,54	845,49	962,26	752,88	910,92	976,47	4501,1	4469,8
07.04. 19:40:00	877,55	857,21	982,95	791,2	904,76	999,23	4109,9	4393,5
07.04. 19:45:00	844,94	876,55	964,96	765,56	891,1	958,98	3810,5	3840,7
07.04. 19:50:00	845,53	842,78	951,16	757,16	902,82	961,96	4168,1	4191,4
07.04. 19:55:00	862,89	854,75	965,26	762,9	908,33	979,11	4009,1	4260,3
07.04. 20:00:00	847,45	853,76	961,62	760,21	898,48	962,21	3931,6	4102
07.04. 20:05:00	862,25	857,76	964,96	764,36	900,74	973,26	4264,6	4194,3
07.04. 20:10:00	866,9	863,53	969,85	775,05	892,61	969,95	4198,2	4277,3
07.04. 20:15:00	863,29	860,13	964,6	767,21	893,84	969,03	4208,3	4295,2
07.04. 20:20:00	866,7	866,8	952,83	766,92	905,71	979,36	4331,5	4458,8
07.04. 20:25:00	865,76	854,7	950,68	769,49	892,74	976,88	3968,1	4434,9
07.04. 20:30:00	858,74	862,45	951,98	764,74	889,18	971,47	4161,8	4337,3
07.04. 20:35:00	857,11	857,9	949,86	758,69	887,92	970,85	4156	4364
07.04. 20:40:00	865,41	858,5	954,62	762,13	898,48	975,85	4143,2	4298,7
07.04. 20:45:00	851,05	867	951,06	758,36	897,05	969,65	4141,7	4419,4
07.04. 20:50:00	864,72	866,35	953,8	764,1	895,15	970,36	4050	4381,5
07.04. 20:55:00	856,03	862,3	955,62	761,16	899,79	971,57	4512,6	4493,3
07.04. 21:00:00	860,47	857,36	955,98	758,69	895,84	967,9	4308,7	4486
07.04. 21:05:00	857,61	844,9	954,11	758,03	901,02	967,9	4482,7	4485

**Příloha E – Použitá data pro obrázek 3.10**

Čas	O <sub>2</sub> ve spalínách/hod (%)	CO ve spalínách/hod (mg/Rm <sup>3</sup> )	NO <sub>x</sub> ve spalínách/hod (mg/Rm <sup>3</sup> )
07.04. 12:01:00	7,701	78,146	135,293
07.04. 13:01:00	7,697	80,139	138,987
07.04. 14:01:00	7,668	88,321	136,549
07.04. 15:01:00	7,82	103,902	131,438
07.04. 16:01:00	7,674	96,776	133,377
07.04. 17:01:00	7,743	105,668	129,689
07.04. 18:01:00	7,669	99,939	141,816
07.04. 19:01:00	7,672	92,009	146,373
07.04. 20:01:00	7,711	89,806	146,124
07.04. 21:01:00	7,805	87,003	135,748
07.04. 22:01:00	7,821	86,565	135,343
07.04. 23:01:00	7,642	77,331	143,141
08.04. 00:01:00	7,685	78,699	137,909
08.04. 01:01:00	7,721	78,489	137,14
08.04. 02:01:00	7,791	72,093	142,24
08.04. 03:01:00	7,718	73,658	140,658
08.04. 04:01:00	7,771	70,289	141,631
08.04. 05:01:00	7,76	72,591	145,886
08.04. 06:01:00	7,789	78,729	141,948
08.04. 07:01:00	7,796	66,854	143,904
08.04. 08:01:00	7,764	69,955	146,362
08.04. 09:01:00	7,817	69,085	143,734
08.04. 10:01:00	7,821	63,659	142,595
08.04. 11:01:00	7,802	67,399	145,745
08.04. 12:01:00	7,788	62,557	141,701
08.04. 13:01:00	7,799	60,694	140,852
08.04. 14:01:00	7,688	65,225	142,955
08.04. 15:01:00	7,707	59,784	195,343
08.04. 16:01:00	7,654	62,49	222,006
08.04. 17:01:00	7,784	65,781	222,525
08.04. 18:01:00	7,605	61,604	224,386
08.04. 19:01:00	7,686	61,47	226,381
08.04. 20:01:00	7,688	68,071	225,563
08.04. 21:01:00	7,791	72,711	225,902
08.04. 22:01:00	7,885	75,954	228,344
08.04. 23:01:00	7,791	64,818	229,265
09.04. 00:01:00	7,914	65,024	230,762
09.04. 01:01:00	7,782	77,077	221,385
09.04. 02:01:00	7,98	73,066	225,289
09.04. 03:01:00	7,8	75,795	216,812
09.04. 04:01:00	7,9	92,641	223,74
09.04. 05:01:00	7,818	82,966	215,989
09.04. 06:01:00	7,867	88,864	218,726
09.04. 07:01:00	7,942	76,083	224,228
09.04. 08:01:00	7,951	72,83	211,904
09.04. 09:01:00	7,864	78,442	214,913
09.04. 10:01:00	7,943	80,341	172,903
09.04. 11:01:00	7,812	79,529	161,506
09.04. 12:01:00	7,853	81,954	159,573
09.04. 13:01:00	8,016	94,847	158,292
09.04. 14:01:00	7,596	89,332	154,845
09.04. 15:01:00	8,005	100,265	160,299
09.04. 16:01:00	7,868	111,243	160,023
09.04. 17:01:00	7,87	105,584	152,018

09.04. 19:01:00	8,034	111,028	154,251
09.04. 20:01:00	8,058	112,508	154,971
09.04. 21:01:00	7,921	116,043	143,285
09.04. 22:01:00	8,134	119,657	140,266
09.04. 23:01:00	7,86	98,89	139,922
10.04. 00:01:00	7,734	97,803	151,076
10.04. 01:01:00	7,989	96,002	152,036
10.04. 02:01:00	8,043	96,329	147,267
10.04. 03:01:00	7,729	86,678	150,607
10.04. 04:01:00	7,983	74,562	154,513
10.04. 05:01:00	7,914	75,733	149,699
10.04. 06:01:00	7,94	91,975	144,896
10.04. 07:01:00	7,805	95,208	147,161
10.04. 08:01:00	7,895	95,155	154,469
10.04. 09:01:00	8,015	88,82	149,436
10.04. 10:01:00	7,72	83,69	145,518
10.04. 11:01:00	7,95	91,808	148,88
10.04. 12:01:00	7,606	80,912	148,658

**Příloha F – Fotografie z Plzeňské teplárenské, a.s.**



*Obrázek F1 Suška biomasy 2 – pohled na výstupní část*



*Obrázek F2 Suška biomasy 1*



Obrázek F3 Hala pro skladování vysušené biomasy



Obrázek F4 Venkovní skladování nevysušené biomasy kategorie O2





Obrázek F5 Kolový nakladač vysypávající štěpku do dopravníku



Obrázek F6 Vysokozdvíhový vozík pro manipulaci kontejnerů s biomasou



Obrázek F7 Šnekový podavač biomasy



Obrázek F8 Propad z roštu