

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING

ZPRACOVÁNÍ A VYHODNOCENÍ DAT ZÍSKANÝCH Z PROTOTYPU JEDNOTKY PRO ENERGETICKÉ VYUŽITÍ BIOMASY

PROCESSING AND EVALUATION OF EXPERIMENTAL DATA MEASURED AT PROTOTYPE UNIT
FOR ENERGERIC UTILIZATION OF BIOMASS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BLANKA BLAŽKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. LUKÁŠ URBAN

BRNO 2008

ABSTRAKT

Hlavní náplní této práce je vyhodnocení experimentálně naměřených dat na prototypu jednotky pro energetické využití různých druhů biomasy o výkonu 1 MW. Dále pak seznámit se s problematikou energetického využívání biomasy v kotlích středních výkonů a s legislativou stacionárních zdrojů. Pro převod naměřených hodnot na legislativní podmínky je zde řešen postup přepočtu, který je nezbytný při hodnocení splnění emisních limitů pro naměřené koncentrace CO, SO₂, NO_x a tuhých znečišťujících látek. Důraz je přitom kladen na grafické zpracování ve formě přehledných tabulek a grafů s následným popisem trendů důležitých provozních charakteristik. Snahou je docílit diskuze vzájemných souvislostí.

Klíčová slova:

emise, vyhodnocení dat, stacionární zdroje, biomasa, legislativa, kotle středních výkonů

ANNOTATION

Main task of this final thesis is to analyse experimental measured data of prototype unit with output of 1 MW for energetic biomass utilization. Furthermore the aim is to get acquainted with energetic biomass problems utilization in middle output kettles and with stationary source legislation. To transfer measured value due to legislative conditions this diploma work solves the conversion procedure which is necessary to evaluate emission limits for measured concentration CO, SO₂, NO_x and stiff contaminating matters. My final work put emphasis on graphics processing in general tables and graphs with trends descriptions. Endeavour is achieve discussion bilateral connection.

Keywords:

emission, evaluation data, stationary source, biomass, legislative, kettles handle achievement

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji tímto, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně na základě uvedené literatury pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně, 20. května 2008

.....

(podpis)

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala všem, kteří mi pomáhali při vypracování této diplomové práce. Děkuji Ing. Lukáši Urbanovi za cenné připomínky a odborné rady, které mi napomohly při zpracování této diplomové práce.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	9
1. ÚVOD	11
2. EMISNÍ LIMITY PLATNÉ V ČR	13
2.1 ZÁKLADNÍ POJMY LEGISLATIVY	13
2.2 DĚLENÍ STACIONÁRNÍCH ZDROJŮ	14
2.3 EMISNÍ LIMITY VELKÝCH A STŘEDNÍCH SPALOVACÍCH ZDROJŮ	15
2.3.1 Emisní limity při spalování biomasy	15
2.3.2 Emisní limity dalších spalovacích zařízení pro srovnání s limity biomasy	16
2.4 ZJIŠŤOVÁNÍ ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK U STŘEDNÍCH ZDROJŮ PODLE LEGISLATIVY	17
2.5 EMISNÍ LIMITY ZVLÁŠTĚ VELKÝCH A MALÝCH ZDROJŮ	18
3. PŘEPOČET NA VZTAŽNÉ PODMÍNKY LEGISLATIVY	20
3.1 PŘEPOČET EMISÍ Z JEDNOTEK ppm NA $\text{mg}/\text{m}_\text{N}^3$ A NA REFERENČNÍ OBSAH KYSLÍKU	20
3.2 PŘEPOČET VLHKÉHO PLYNU NA SUCHÝ	20
3.2.1 Výpočet objemového podílu vodní páry	21
3.2.2 Přepočtení koncentrace vlhkých spalin na suché spaliny	22
3.3 PŘEPOČET OBJEMU VLHKÝCH SPALIN NA SUCHÉ PŘI MĚŘENÍ GRAVIMETRIE	23
3.3.1 Výpočet atmosférického tlaku a objemového podílu vodní páry	23
3.3.2 Výpočet objemu suchých spalin při měření gravimetrie	24
4. VYUŽITÍ BIOMASY U KOTLŮ STŘEDNÍCH VÝKONŮ	25
4.1 ZÁVAZKY ČESKÉ REPUBLIKY V OBLASTI OZE	25
4.2 STŘEDNÍ SPALOVACÍ ZDROJE	26
4.3 BIOMASA JAKO ZDROJ ENERGIE	28
4.4 CENY BIOPALIVA	30
4.5 EMISE VYPRODUKOVANÉ PŘI SPALOVÁNÍ BIOMASY	32
4.5.1 Nedokonalé spalování	33
4.6 VLIVY FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ A CHEMICKÝCH PRVKŮ BIOMASY NA SPALOVÁNÍ A PRODUKCI EMISÍ	34
5. ROZSAH MĚŘENÍ NA EXPERIMENTÁLNÍ JEDNOTCE A VLASTNOSTI TESTOVANÝCH PALIV	37
5.1 EXPERIMENTÁLNÍ JEDNOTKA PRO ENERGETICKÉ VYUŽITÍ BIOMASY	37
5.2 LOKALIZACE MĚŘÍCÍCH MÍST	38

5.3	CHARAKTERISTIKY POUŽITÉHO PALIVA	38
6.	VÝSLEDKY EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ	40
6.1	ZÁKLADNÍ ÚDAJE EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ	40
6.2	VÝSLEDKY EMISNÍCH MĚŘENÍ	42
6.3	SPALOVÁNÍ DŘEVNÍ ŠTĚPKY	43
6.3.1	Vyhodnocení splnění podmínek legislativy při spalování dřevní štěpky	46
6.4	SPALOVÁNÍ AMARANTHU	47
6.4.1	Vyhodnocení splnění podmínek legislativy při spalování amaranthu	49
6.5	SPALOVÁNÍ SLÁMY	49
6.5.1	Vyhodnocení splnění podmínek legislativy při spalování slámy	53
6.6	SPALOVÁNÍ ŘEPKOVÝCH POKRUTIN	53
6.6.1	Vyhodnocení splnění podmínek legislativy při spalování pokrutin	56
6.7	ZHODNOCENÍ EMISNÍCH MĚŘENÍ	56
7.	ZHODNOCENÍ TESTOVANÝCH PALIV	57
8.	ZÁVĚR	59
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	60
	PŘÍLOHY	62

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

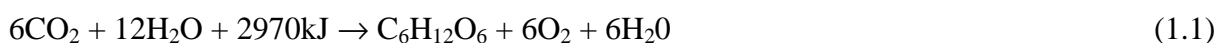
<i>symbol</i>	<i>význam</i>	<i>jednotka</i>
C_{CO}	koncentrace CO	mg/m_N^3
$C_{CO,mer}$	naměřená koncentrace CO	ppm
$C_{CO,ref}$	referenční množství CO	$mg/m_{N,VS}^3$
$O_{2,ref}$	referenční obsah O_2	%
$O_{2,mer}$	naměřený obsah O_2	%
$C_{CO,SS,N}$	koncentrace CO suchých spalín za normálních podmínek	$mg/m_{SS,N}^3$
HFC	fluoruhlovodíky	-
H	nadmořská výška Kojetín	kPa
MW	molární hmotnost CO	kg/kmol
m_i	hmotnost složky	mg
n	kompresibilní faktor	-
P_1	tlak v místě měření	Pa
P_b	atmosférický tlak vzduchu místa měření (celkový tlak)	Pa
P_p	parciální tlak vodních par v plynu	Pa
P_p''	tlak syté vodní páry za dané teploty (tenze páry)	Pa
PFC	perfluoruhlovodíky	-
P_N	tlak za normálních podmínek	Pa
R	univerzální plynová konstanta	J/molK
T_1	teplota v místě měření	K
T_N	teplota za normálních podmínek	K
TZL	tuhé znečišťující látky	-
V_{celk}	celkový objem spalín	m^3
V_N	objem za normálních podmínek	m_N^3
V	objem spalín	$m_{N,N}^3$
X	velikost jednoho m^3 pro teplotu a tlak místa měření	m_N^3
X_{VS}	koncentrace složky ve vlhkých spalínách	mg/m_{VS}^3
X_{SS}	koncentrace složky v suchých spalínách	mg/m_{SS}^3
ρ_{H_2O}	hustota vodní páry při teplotě a tlaku v místě měření	$g_{H_2O}/m_{H_2O,N}^3$
φ	relativní vlhkost	%
ϕ	naměřená absolutní vlhkost	g_{H_2O}/m_{VS}^3
ω_{H_2O}	objemový podíl vodní páry v plynu	$m_{H_2O,N}^3/m_{VS}^3$
$\omega_{H_2O,N}$	objemový podíl páry za normálních podmínek	$m_{H_2O,N}^3/m_{VS,N}^3$

<i>dolní index</i>	<i>význam</i>
<i>CO</i>	<i>vztahující se k oxidu uhelnatému</i>
<i>H₂O</i>	<i>vztahující se k vodní páře</i>
<i>mer</i>	<i>naměřená hodnota</i>
<i>N</i>	<i>vztahující se k normálním podmínkám</i>
<i>ref</i>	<i>referenčnímu obsahu kyslíku</i>
<i>SS</i>	<i>vztahující se k suchým spalinám</i>
<i>VS</i>	<i>vztahující se k vlhkým spalinám</i>
<i>l</i>	<i>vztahující se k místu měření</i>

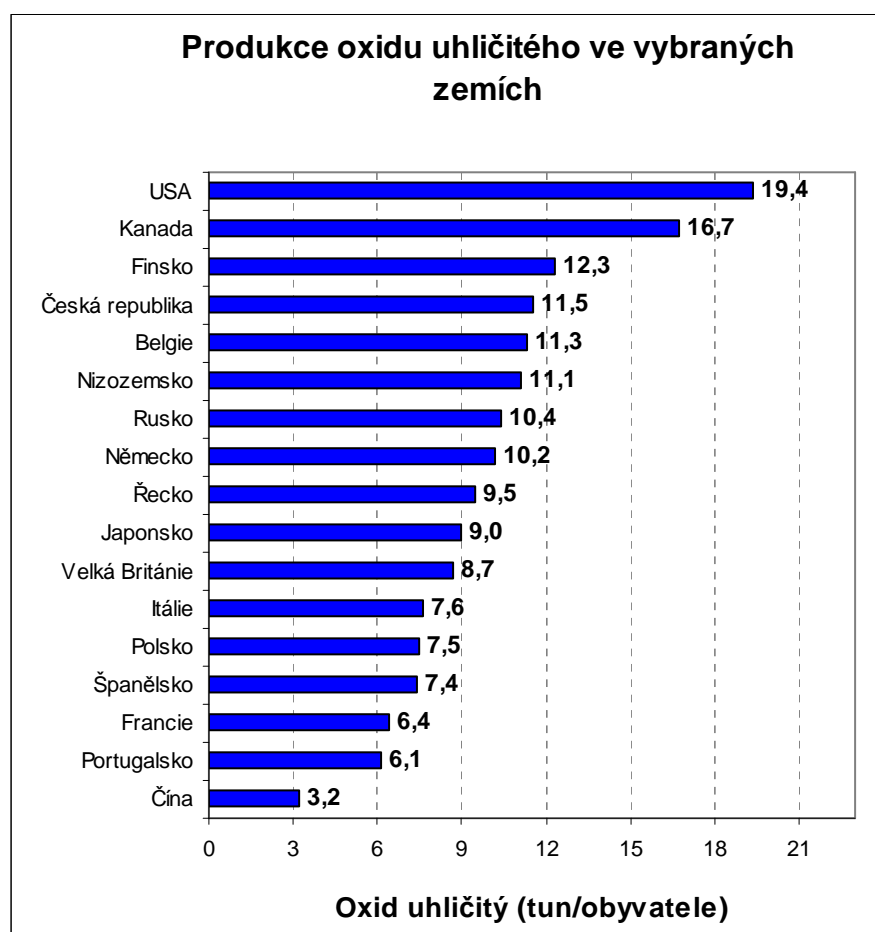
1. ÚVOD

Jedním z hlavních cílů energetické politiky Evropské unie je zvyšování podílu energie z obnovitelných zdrojů na celkové skladbě zdrojů energie. Česká republika se zavázala k 8% podílu elektřiny na hrubé domácí spotřebě v roce 2010 z obnovitelných zdrojů energie. Dalším cílem je snížení emisí o 8 % mezi roky 2008 až 2012. Od 1.1. 2008 je také zavedena platba ekologické daně za energie s negativním vlivem na životní prostředí. Naopak od spotřební daně jsou osvobozeny obnovitelné zdroje a do snížené devítiprocentní sazby DPH přechází biomasa.

Nejperspektivnějším zdrojem využití obnovitelné energie je biomasa, která se z hlediska životního prostředí považuje za neutrální, protože emise oxidu uhličitého ze spalování biomasy se rovnají množství oxidu uhličitého, které je absorbováno rostlinami během fotosyntézy (1.1) [1].



Rovněž z hlediska dostupného potenciálu biomasy plyne to, že biomasa je schopna výraznou měrou přispět k plnění výše uvedených cílů a do budoucna bude stále více využívána.



Obr. 1.1: Produkce oxidu uhličitého v roce 2002 ve vybraných zemích [1]

Při využití biomasy pro spalování je jedním z důležitých aspektů kvality spalovacího procesu to, jaké jsou dosahované hodnoty emisí znečišťujících látek vypouštěných do atmosféry. Experimentální měření na jednotce pro spalování biomasy o výkonu 1 MW a vyhodnocení získaných dat je proto nezbytné z hlediska stanovení množství produkovaných emisí ve spalinách, dále také pro zjištění výkonu a účinnosti.

2. EMISNÍ LIMITY PLATNÉ V ČR

Tato kapitola je zaměřena na legislativu týkající se ochrany ovzduší, a to především stacionárních zdrojů středních výkonů. Podle zákona [2] jsou provozovatelé zdrojů znečišťování ovzduší povinni na požádání orgánu ochrany ovzduší nebo stanoví-li tak prováděcí právní předpis, poskytovat informace o těchto zdrojích, jejich technickém stavu a emisích vypouštěných z těchto zdrojů. Je tedy ve vlastním zájmu každého provozovatele plnit podmínky právních předpisů ochrany ovzduší.

2.1 Základní pojmy legislativy

Zákon o ochraně ovzduší č. 86/2002 Sb. a nařízení vlády č. 352/2002 Sb., kterým se stanoví emisní limity a další podmínky provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší jsou součástí ochrany ovzduší na území České republiky.

Základní pojmy, které uvádí tyto legislativní předpisy, jsou popsány níže:

Emisní limit

Nejvýše přípustné množství znečišťující látky nebo stanovené skupiny znečišťujících látek, dále pachových látek vypouštěných do ovzduší ze zdroje znečišťování ovzduší v odpadních plynech vyjádřené hmotnostní koncentrací znečišťující látky nebo hmotnostním tokem znečišťující látky za jednotku času. Další možné vyjádření je pomocí hmotnosti znečišťující látky vztažené na jednotku produkce či lidské činnosti nebo jako počet pachových jednotek na jednotku objemu, popř. jako počet částic znečišťující látky na jednotku objemu.

Biomasa

Rostlinný materiál, který lze použít jako palivo pro účely využití jeho energetického obsahu, pokud pochází ze zemědělství, lesnictví nebo z potravinářského průmyslu, z výroby surové buničiny a z výroby papíru z buničiny, ze zpracování korku. Ze zpracování dřeva je využitelný dřevní odpad pocházející ze stavebnictví, ale nelze použít dřevní odpad, který obsahuje halogenované organické sloučeniny nebo těžké kovy v důsledku ošetření látkami na ochranu dřeva nebo nátěrovými hmotami.

Zařízení spalovacích technologických procesů - „zařízení“

Jakékoliv z hlediska účelu dále nedělitelné technické zařízení, v němž se oxiduje palivo za účelem výroby tepla.

Spalování

Technologický proces, při němž je oxidováno palivo za účelem získávání tepla. Ke spalování náleží také technologické operace, které s ním souvisí, pokud se tyto operace vykonávají přímo u zdroje znečišťování, v němž spalování probíhá. Je to především úprava paliva, zachycování znečišťujících látek, odvod odpadních plynů do ovzduší, měření a regulace.

Spolu spalováním paliva

Proces, při němž je v zařízení spalováno současně nebo střídavě více druhů paliv.

Palivo

Tuhý, kapalný, nebo plynný hořlavý materiál určený ke spalování ve zdrojích znečišťování za účelem získání jeho energetického obsahu. Tento materiál musí splňovat požadavky zvláštního právního předpisu (vyhláška č. 357/2002 Sb).

Emisní limit anorganických kyslíkatých sloučenin síry

Emisní limit vztažený na množství anorganických kyslíkatých sloučenin síry, který je vyjádřen jako oxid siřičitý.

Emisní limit anorganických kyslíkatých sloučenin dusíku

Emisní limit vztažený na množství oxidu dusnatého a oxidu dusičitého, který je vyjádřen jako oxid dusičitý.

2.2 Dělení stacionárních zdrojů

Stacionární zdroje patří mezi základní zdroje znečišťování ovzduší. Dělí se do několika skupin podle zákona [2]. Stacionárním zdrojem je zařízení spalovacího nebo jiného technologického procesu, které znečišťuje nebo může znečišťovat ovzduší. Dále pak šachta, lom a jiná plocha s možností zapaření, hoření nebo úletu znečišťujících látek, jakož i plocha, na které jsou prováděny práce nebo činnosti, které způsobují nebo mohou způsobovat znečišťování ovzduší. Stacionární zdroj je také sklad a skládka paliv, surovin, produktů, odpadů a další obdobné zařízení nebo činnosti.

Stacionární zdroje dělíme:

1. podle míry svého vlivu na kvalitu ovzduší
 - **zvláště velké (ZV)** - znečišťování o jmenovitém tepelném příkonu 50 MW a vyšším bez přihlídnutí ke jmenovitému tepelnému výkonu
 - **velké (V)** - znečišťování o jmenovitém tepelném výkonu vyšším než 5 MW do 50 MW nespádající pod zvláště velké zdroje
 - **střední (S)** - znečišťování o jmenovitém tepelném výkonu od 0,2 MW do 5 MW včetně
 - **malé (M)** - znečišťování o jmenovitém tepelném výkonu nižším než 0,2 MW
2. podle technického a technologického uspořádání
 - Zařízení spalovacích technologických procesů, ve kterých se oxidují paliva za účelem využití uvolněného tepla („spalovací zdroje“). Ke spalovacím zdrojům patří i spalovací motory a plynové turbíny, které nejsou součástí mobilních zdrojů znečišťování ovzduší podle § 4 odst. 2 zákona č. 86/2002 Sb.
 - Spalovny odpadů a zařízení schválená podle § 17 odst. 2 písm. c) zákona č. 86/2002 Sb. pro spoluspalování odpadu.
 - Ostatní stacionární zdroje („ostatní zdroje“).

Jmenovité tepelné příkony nebo výkony zvláště velkých, velkých a středních spalovacích zdrojů se sčítají pro stanovení kategorie zdroje nebo emisních limitů, jestliže:

- jsou-li spalovací zdroje umístěny ve stejné místnosti, stavbě nebo v provozním celku,

- jsou-li spaliny vypouštěny společným komínem bez ohledu na počet komínových průduchů,
- nebo by s ohledem na uspořádání a druh používaného paliva mohly být vypouštěny společným komínem.

Jmenovité tepelné výkony malých spalovacích zdrojů téhož provozovatele se pro účely stanovení kategorie zdroje počítají za předpokladu, že spaliny jsou vypouštěny společným komínem, nebo je toto řešení technicky proveditelné [2].

V pochybnostech, zda jde o stacionární zdroj a o jeho zařazení do příslušné kategorie stacionárních zdrojů, rozhoduje Česká inspekce životního prostředí, a to na návrh provozovatele nebo z vlastního podnětu. U technologií a jejich zařízení, které dosud nebyly použity v provozu (nově zaváděné technologie), rozhodne o kategorii stacionárního zdroje a emisních limitech Ministerstvo životního prostředí [2].

2.3 Emisní limity velkých a středních spalovacích zdrojů

Emisní limity jsou vztaženy na legislativní podmínky, což je koncentrace příslušné látky v suchém plynu v mg/m^3 za normálních stavových podmínek (101,32 kPa, 0 °C), při referenčním obsahu kyslíku v nosném plynu uvedeném v tabulce emisních limitů [3].

Pokud pro danou znečišťující látku nebo skupinu látek není stanoven u stacionárního zdroje specifický emisní limit, je provozovatel povinen plnit, jak uvádí zákon [2], obecný emisní limit. Orgán kraje na žádost provozovatele, z vlastního podnětu nebo na návrh inspekce vymezí rozhodnutím znečišťující látky nebo jejich stanovené skupiny k plnění obecných emisních limitů.

Podle nařízení vlády [3] se hodnoty emisních limitů velkých a středních spalovacích zdrojů považují za splněné, jestliže střední hodnota ze všech jednotlivých měření nepřekračuje emisní limit a současně každá hodnota zjištěné koncentrace jednotlivého měření znečišťující látky je menší než 120 % emisního limitu.

2.3.1 Emisní limity při spalování biomasy

Jmenovitý tepelný výkon [MW]	Emisní limit pro spalovací zařízení spalující dřevo ¹⁾ nebo biomasu vztažený na normální stavové podmínky a suchý plyn [mg/m^3]					Referenční obsah O ₂ [%]
	TZL ¹⁾	SO ₂	NO _x	CO	Σ C	
0,2 nebo větší, ale jmen. tepelný příkon menší než 50 MW	250	2500	650	650	50 ²⁾	11

Poznámky:

- 1) Rovněž tak nekontaminovaný dřevní odpad, kůru a podobné rostlinné látky
- 2) Emisní limit platí pro tepelný výkon nad 1 MW

Tab. 2.1: Emisní limity pro spalovací zařízení spalující dřevo¹⁾ nebo biomasu [4]

¹⁾ tuhé znečišťující látky

2.3.2 Emisní limity dalších spalovacích zařízení pro srovnání s limity biomasy

Paliva se podle jejich skupenství dělí na tuhá, kapalná a plynná.

Jmenovitý tepelný výkon [MW]	Emisní limit spalovacích zařízení spalující kapalná paliva vztažený na normální stavové podmínky a suchý plyn [mg/m ³]					Referenční obsah O ₂ [%]
	TZL	SO ₂	NO _x	CO	Σ C	
0,2 nebo větší, ale jmen. tepelný příkon menší než 50 MW	100	-	-	175	nest. ²	3
0,2 nebo větší až do 5 včetně	-	1)	500	-		
> 5, ale jmen. tepelný příkon menší než 50 MW	-	1700	450	-		

Poznámky:

1) Obsah síry v palivu max. 1 % hm.

Tab. 2.2: Emisní limity spalovacích zařízení spalující kapalná paliva [4]

Jmenovitý tepelný výkon [MW]	Emisní limit spalovacích zařízení spalující plynná paliva vztažený na normální stavové podmínky a suchý plyn [mg/m ³]					Referenční obsah O ₂ [%]
	TZL	SO ₂	NO _x	CO	Σ C	
0,2 a větší, ale jmen. tepelný příkon menší než 50 MW	50 ¹⁾	35 ²⁾ 900 ³⁾	200 300 ⁴⁾	100	nest.	3

Poznámky:

1) Pro plynná paliva z neveřejných distribučních sítí (vyčištěný koksárenský nebo vysokopecní plyn, bioplyn, propan či butan nebo jejich směsi, plyn z rafinerií)

2) Pro plynná paliva z veřejných distribučních sítí

3) Pro plynná paliva mimo paliva z veřejných distribučních sítí a koksárenský plyn

4) Při spalování propanu či butanu nebo jejich směsí

Tab. 2.3: Emisní limity spalovacích zařízení spalující plynná paliva [4]

Jmenovitý tepelný výkon [MW]	Emisní limit fluidních kotlů spalující fosilní paliva vztažený na normální stavové podmínky a suchý plyn [mg/m ³]					Referenční obsah O ₂ [%]
	TZL	SO ₂	NO _x	CO	Σ C	
≥ 5, ale jmen. tepelný příkon je menší než 50 MW	100	800 75 % ¹⁾	400	250	nest.	6
< 5 MW ²⁾						

² Označení "nest." u číselných hodnot emisních limitů značí, že pro uvedenou znečišťující látku se emisní limit nestanovuje.

Poznámky:

- 1) Nelze-li při spalování tuzemského paliva dosáhnout emisního limitu při únosném přidavku aditiva, musí být koncentrace snížena alespoň na 25 % původní hodnoty
- 2) Emisní limity fluidních kotlů se jmenovitým tepelným výkonem nižším než 5 MWt jsou stejné jako emisní limity klasických kotlů v závislosti na druhu spalovaného paliva

Tab. 2.4: Emisní limity fluidních kotlů spalujících fosilní paliva [4]

Jmenovitý tepelný výkon [MW]	Emisní limit zařízení s granulačním, výtavným a roštovým ohništěm ¹⁾ vztažený na normální stavové podmínky a suchý plyn [mg/m ³]					Referenční obsah O ₂ [%]
	TZL	SO ₂	NO _x	CO	Σ C	
0,2 nebo větší	-	-	650	-	nest.	6
	-	-	1100 ²⁾	-		
0,2 až do 1 včetně	-	-	-	650		
> 1 až do 5 včetně	-	-	-	650		
0,2 a větší až do 5 včetně	250	-	-	-		
0,2 a větší, ale jmen. tepelný příkon menší než 50 MW	-	2500	-	-		
> 5, ale jmen. tepelný příkon menší než 50 MW	150	-	-	400		

Poznámky:

- 1) Též granulační nebo roštové kotle s přiřazenými fluidními reaktory, jejich kombinace s fluidními ohništi nebo rekonstrukce těchto kotlů s využitím prvků fluidní techniky
- 2) Pro výtavná ohniště

Tab. 2.5: Emisní limity spalovacích zařízení s granulačním, výtavným a roštovým ohništěm¹⁾ [4]

2.4 Zjišťování znečišťujících látek u středních zdrojů podle legislativy

Dodržování emisních limitů se kontroluje jednorázovým měřením, pokud však provozovatel nemá povinnost měřit kontinuálně. Jednorázovým měřením se zjišťují emise tuhých znečišťujících látek (TZL), oxidu siřičitého, oxid dusičitého, oxidu uhelnatého a obsah kyslíku. Měření se provádí jednou za 3 kalendářní roky, ne dříve než po uplynutí 18 měsíců od data předchozího měření, a dále po každé změně paliva nebo po každém významném a trvalém zásahu do konstrukce nebo vybavení zdroje, který by mohl vést ke změně emisí, a to do 3 měsíců od vzniku některé z uvedených změn. Tyto zásady měření platí pro zařízení spalujících tuhá, kapalná nebo plynná paliva o jmenovitém tepelném výkonu rovném nebo vyšším než 1 MW.

U středních zdrojů o jmenovitém tepelném výkonu do 1 MW se jednorázové měření provádí jedenkrát za pět kalendářních roků. Toto měření však nesmí proběhnout dříve než po uplynutí 30 měsíců od data předchozího měření. Pokud dojde k změně paliva a po každém významném a trvalém zásahu do konstrukce nebo vybavení zdroje, který by mohl vést ke změně emisí, nesmí dojít k měření do 3 měsíců od vzniku některé z uvedených změn. Jednorázové měření lze nahradit měřením kontinuálním [3].

2.5 Emisní limity zvláště velkých a malých zdrojů

Hodnoty emisních limitů v tab. 2.6 se vztahují na spalovací zdroje při tepelném příkonu zvláště velkého spalovacího zdroje, na něž bylo stavební povolení vydáno od 1. ledna 2003. Emisní limity pro plynové turbíny a tuhá paliva jsou vztaženy k referenčnímu obsahu kyslíku 6 % . Pro kapalná a plynná paliva je referenční obsah kyslíku 3 % [5].

Druh paliva	Emisní limit podle jmenovitého tepelného příkonu vztažené na normální stavové podmínky a suchý plyn [mg/m ³]											
	50 - 100 MW			> 100 - 300 MW			> 300 - 500 MW			> 500 MW		
	SO ₂	NO _x	TZL	SO ₂	NO _x	TZL	SO ₂	NO _x	TZL	SO ₂	NO _x	TZL
Biomasa	200	400	50	200	300	30	200	200	30	200	200	30
Tuhé palivo ve fluidním topeništi	500	400	50	200	200	30	200	200	30	200	200	30
Ostatní tuhá aliva	850	400	50	200	200	30	200	200	30	200	200	30
Kapalné palivo	850	400 ¹⁾ 120 ²⁾	50	400-200 s lin. poklesem ³⁾	200 ¹⁾ 120 ²⁾	30	200	200 ¹⁾ 120 ²⁾	30	200	200 ¹⁾ 120 ²⁾	30
Plynné palivo obecně	35	200 ¹⁾ 120 ²⁾	5	35	200 ¹⁾ 120 ²⁾	5	35	200 ¹⁾ 120 ²⁾	5	35	200 ¹⁾ 120 ²⁾	5
Zemní plyn	35	150 ¹⁾ 50 ²⁾	5	35	150 ¹⁾ 50 ²⁾	5	35	100 ¹⁾ 50 ²⁾	5	35	100 ¹⁾ 50 ²⁾	5
Koksárenský plyn a plyny OP ⁴⁾	400	200 ¹⁾ 120 ²⁾	30	400	200 ¹⁾ 120 ²⁾	30	400	200 ¹⁾ 120 ²⁾	30	400	200 ¹⁾ 120 ²⁾	30
Vysokopecní plyn	200	200 ¹⁾ 120 ²⁾	10	200	200 ¹⁾ 120 ²⁾	10	200	200 ¹⁾ 120 ²⁾	10	200	200 ¹⁾ 120 ²⁾	10
Zkapalněný plyn	5	200 ²⁾	5	5	200 ¹⁾ 50 ²⁾	5	5	200 ¹⁾ 50 ²⁾	5	5	200 ¹⁾ 50 ²⁾	5

Poznámky:

1) Nevztahuje se na plynové turbíny.

2) Vztahuje se pouze na zdroje s jedinou plynovou turbínou s jmenovitým tepelným příkonem větším nebo rovným 50 MW a na provozní stavy, při kterých je překročeno 70 % instalovaného tepelného příkonu. Tyto limity se nevztahují na plynové turbíny určené pro použití v mimořádných případech, jsou-li v provozu méně než 500 hodin za rok. Provozovatel každoročně předkládá krajskému úřadu a inspekci průkaznou informaci o využití provozní době. V případě spalování kapalných paliv se stanovený emisní limit vztahuje jen na plynové turbíny spalující lehké a střední frakce zpracování ropy.

3) EL = 500 - P; P = tepelný příkon [MW], EL = emisní limit [mg/m³].

4) Plyny vznikající v ocelářském průmyslu, které lze využít jinde.

Tab. 2.6: Emisní limity zvláště velkých spalujících zdrojů podle druhu paliva [5]

Každý malý spalovací zdroj (kotel) musí spalovat palivo stanovené výrobcem spalovacího zdroje tak, aby vypočtená koncentrace CO_{ref} ve spalínách nepřekročila maximální povolené množství podle následující tabulky [5].

Druh paliva	Výkon [kW]	Max. povolené množství CO_{ref} [mg/m ³]	Referenční obsah kyslíku [%]
Tuhá paliva obecně	>15	5000	6
Dřevo	>15	5000	11
Kapalná paliva	>11	1000	3
Plynná paliva	>11	500	3

Tab. 2.7: Emisní limity CO_{ref} pro malé spalovací zdroje podle druhu paliva [5]

3. PŘEPOČET NA VZTAŽNÉ PODMÍNKY LEGISLATIVY

Emisní limity v nařízení vlády č. 352/2002 Sb. jsou uvedeny v jednotkách $\text{mg}/\text{m}_\text{N}^3$ a vztaženy na suchý plyn a referenční obsah kyslíku, proto je nutné provést příslušné přepočty naměřených hodnot koncentrací CO , SO_2 , NO_x , které byly měřeny analyzátozem spalin v jednotkách ppm a v suchých spalinách. Pro příklad je uveden přepočet pro oxid uhelnatý. Stejně vztahy platí i pro přepočet NO_x , SO_2 .

3.1 Přepočet emisí z jednotek ppm na $\text{mg}/\text{m}_\text{N}^3$ a na referenční obsah kyslíku

Převod koncentrace CO z jednotek ppm na jednotky $\text{mg}/\text{m}_\text{N}^3$ a na normální podmínky³ (0°C , $101,325\text{ kPa}$) je proveden pomocí následujícího vztahu:

$$C_{\text{CO}} = C_{\text{CO},\text{mer}} \cdot \frac{MW_{\text{CO}}}{22,414}, \quad (3.1)$$

kde MW_{CO} molární hmotnost CO [kg/kmol]
 $C_{\text{CO},\text{mer}}$ naměřená koncentrace CO [ppm]⁴

Za normálních podmínek zaujímá 1 kmol ideálního plynu $22,414\text{ m}_\text{N}^3$ [6].

Pro zařízení spalující biomasu jsou koncentrace znečišťujících látek vztaženy na 11 % referenčního obsahu kyslíku, jak uvádí příloha k nařízení vlády [4]. Vzhledem ke kolísání množství spalovacího vzduchu, který má vliv na to, že není možné dodržet přesně hodnotu 11 % obj., je nutné provést přepočet na jednotný referenční obsah kyslíku. Výpočet je proveden dle následujícího vztahu (3.2), uvedeného např. v [7].

$$C_{\text{CO},\text{ref}} = \frac{21 - O_{2,\text{ref}}}{21 - O_{2,\text{mer}}} \cdot C_{\text{CO}}, \quad (3.2)$$

kde $C_{\text{CO},\text{ref}}$ referenční množství CO [$\text{mg}/\text{m}_\text{N}^3$]
 $O_{2,\text{ref}}$ referenční obsah O_2 [%]
 $O_{2,\text{mer}}$ naměřený obsah O_2 [%]

Pokud byla koncentrace naměřena přímo v suchých spalinách, lze již hodnotu $C_{\text{CO},\text{ref}}$ porovnat s limity stanovenými v nařízení vlády č. 352/2002 Sb.

3.2 Přepočet vlhkého plynu na suchý

Pokud se nezískají koncentrace v suchých spalinách již při samotném měření analyzátozem spalin, je nutné převést hodnoty koncentrace znečišťujících látek ve vlhkých spalinách na suché spaliny. Nejdříve se provede výpočet objemového podílu vodní páry, který figuruje ve vztahu (3.9).

³ předpoklad ideálního plynu

⁴ parts per million by volume (z americké angličtiny, 1000000 objemových)

3.2.1 Výpočet objemového podílu vodní páry

Objemový podíl vodní páry, tedy objem vodní páry na jednotku objemu vlhkých spalin, lze získat dvěma variantami.

1. Varianta (pomocí hustoty vodní páry)

Vlhký vzduch se vyskytuje zpravidla při atmosférickém tlaku a při teplotách blízkých našemu okolí. Z tohoto důvodu lze suchý vzduch a vodní páru, jak přehřátou tak i sytou, pokládat za ideální plyn, proto pro ni platí stejné zákony (Daltonův, stavová rovnice, ...) [8]. Kombinací stavové rovnice a vztahu pro hustotu se docílí závislosti na výpočet hustoty vodní páry, která je zapotřebí pro získání hodnoty objemového podílu vodní páry.

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$V = \frac{R \cdot T \cdot n}{P} \quad \rightarrow \quad \rho = \frac{MW}{V}$$

$$\rho = \frac{P_1 \cdot MW}{R \cdot T_1} \cdot \frac{1}{n}$$

kde n kompresibilní faktor (zanedbává se)

Tlak v místě měření (relativní) P_1 se předpokládá malý => zanedbává se

Konečný vztah pro hustotu vodní páry při teplotě a tlaku v místě měření [$g_{H_2O}/m_{H_2O,N}^3$] je tedy:

$$\rho_{H_2O} = \frac{P_1 \cdot MW_{H_2O}}{R \cdot T_1} \quad (3.3)$$

kde T_1 teplota v místě měření [K]
 MW_{H_2O} molární hmotnost vody [g/mol]
 R univerzální plynová konstanta [J/molK]
 P_1 tlak v místě měření [Pa]

Nyní se již může hodnota hustoty vodní páry dosadit do vztahu pro objemový podíl vodní páry [$m_{H_2O,N}^3/m_{VS}^3$]:

$$\omega_{H_2O} = \frac{\phi}{\rho_{H_2O}} \quad (3.4)$$

kde ϕ absolutní vlhkost (naměřeno) [g_{H_2O}/m_{VS}^3]

Ve vztahu (3.4) nejsou jednotky jmenovatele vztaženy na normální podmínky, a proto se musí provést převod na normální podmínky pomocí stavové rovnice.

$1 \text{ m}^3 = X \text{ m}_N^3$ - určí se velikost jednoho m^3 pro teplotu a tlak místa měření [m_N^3]

$$P_1 V_1 = n R T_1$$

$$P_N V_N = n R T_N$$

↓

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_N \cdot V_N}{T_N}$$

Tlak v místě měření (relativní) P_1 se předpokládá malý \Rightarrow zanedbává se
Objem za normálních podmínek, nebo-li velikost $1 \text{ m}^3 [\text{m}_N^3]$, se získá vyjádřením:

$$V_N = V_1 \cdot \frac{T_N}{T_1} \cdot \frac{P_1}{P_N} = X \quad , \quad (3.5)$$

kde T_N teplota za normálních podmínek
 P_N tlak za normálních podmínek

Objemový podíl vodní páry se převede na normální podmínky vynásobením velikostí jednoho m_N^3 :

$$\omega_{\text{H}_2\text{O}, N} = \omega_{\text{H}_2\text{O}} \cdot X \Rightarrow [\text{m}_{\text{H}_2\text{O}, N}^3 / \text{m}_{\text{VS}, N}^3] \quad (3.6)$$

2. Varianta (pomocí molekulové hmotnosti)

Pro objemový podíl páry v plynu $[\text{m}_{\text{H}_2\text{O}, N}^3 / \text{m}_{\text{VS}}^3]$ se použije vztah:

$$\omega_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\phi}{\text{MW}(\text{H}_2\text{O})} \cdot 22,414 \cdot 0,001 \quad (3.7)$$

Za normálních podmínek zaujímá 1 kmol ideálního plynu $22,414 \text{ m}_N^3$ [6].

Po vynásobení velikostí jednoho m_N^3 se docílí objemového podílu vodní páry za normálních podmínek:

$$\omega_{\text{H}_2\text{O}, N} = \omega_{\text{H}_2\text{O}} \cdot X \Rightarrow [\text{m}_{\text{H}_2\text{O}, N}^3 / \text{m}_{\text{VS}, N}^3] \quad (3.8)$$

3.2.2 Přepočítání koncentrace vlhkých spalin na suché spaliny

Nyní se již mohou dosadit potřebné hodnoty do vztahu pro výpočet koncentrace CO suchých spalin za normálních podmínek $[\text{mg}/\text{m}_{\text{SS}, N}^3]$:

$$C_{\text{CO}, \text{SS}, N} = \frac{C_{\text{CO}, \text{ref}}}{(1 - \omega_{\text{H}_2\text{O}, N})} \quad (3.9)$$

$C_{\text{CO}, \text{SS}, N}$ je koncentrace převedena na vztažné podmínky dle nařízení vlády č. 352/2002 Sb.

Odvození vztahu (3.9)

$$X_{\text{VS}} = \frac{m_i}{V_{\text{celk}}} \Rightarrow m_i = X_{\text{VS}} \cdot V_{\text{celk}}$$

$$X_{\text{SS}} = \frac{m_i}{V_{\text{celk}} - V_{\text{H}_2\text{O}}}$$

$$X_{\text{SS}} = \frac{X_{\text{VS}} \cdot V_{\text{celk}}}{V_{\text{celk}} - V_{\text{H}_2\text{O}}} \quad \text{kde} \quad V_{\text{H}_2\text{O}} = \omega_{\text{H}_2\text{O}} \cdot V_{\text{celk}}$$

$$X_{SS} = \frac{X_{VS}}{1 - \omega_{H_2O}} ,$$

<i>kde</i>	m_i	<i>hmotnost složky [mg]</i>
	X_{VS}	<i>koncentrace složky ve vlhkých spalinách [mg/m_{VS}³]</i>
	X_{SS}	<i>koncentrace složky v suchých spalinách [mg/m_{SS}³]</i>
	V_{celk}	<i>celkový objem spalin [m³]</i>

3.3 Přepočet objemu vlhkých spalin na suché při měření gravimetrie

Během spalování byla provedena gravimetrická měření úletu tuhých znečišťujících látek (TZL) pro určitý objem vlhkých spalin [m_{N,VS}³]. Pro porovnání s emisním limitem uvedeným v nařízení vlády č. 352/2002 Sb. je nutné vyjádřit naměřené hodnoty v suchých spalinách.

3.3.1 Výpočet atmosférického tlaku a objemového podílu vodní páry

Pro přesnější hodnotu objemového podílu vodní páry, který je zapotřebí pro získání objemu suchých spalin, v němž proběhlo měření gravimetrie, se vypočítá atmosférický tlak vzduchu místa měření (měření probíhalo v Kojetíně).

Atmosférický tlak vzduchu místa měření (celkový tlak) [Pa] definuje vztah z dostupného internetového zdroje [9]:

$$P_b = (101,7 - 0,0125 \cdot H) \cdot 1000 , \quad (3.10)$$

kde H *nadmořská výška Kojetín 200 m.n.m. [kPa]*

Pro objemový podíl vodní páry vlhkých spalin se nejdříve musí použít vztah z literatury [8] pro relativní vlhkost [-], tedy obsah vodní páry ve vlhkém vzduchu za dané teploty a tlaku:

$$\varphi = \frac{P_p}{P_p''} , \quad (3.11)$$

kde P_p *parciální tlak vodních par v plynu (neznámý) [Pa]*
 P_p'' *tlak syté vodní páry za dané teploty (tenze páry) [Pa]*

Parciální tlak vodních par [Pa] se pak získá součinem naměřené relativní vlhkosti a tlaku syté vodní páry odečtené z tabulky⁵ pro danou naměřenou teplotu.

$$P_p = \varphi \cdot P_p'' \quad (3.12)$$

⁵ PAVELEK, M. a kol. *Termomechanika*. tabulka č.5. 2003, s. 273-274.

Z první části Daltonova zákona plyne, podle zdroje [10], že poměr parciálního tlaku složky ku celkovému tlaku je roven objemovému podílu složky, tedy objemovému podílu vodní páry v [%].

$$\omega_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{P_p}{P_b} \cdot 100 \quad (3.13)$$

3.3.2 Výpočet objemu suchých spalin při měření gravimetrie

Objem suchých spalin [$m_{\text{N,SS}}^3$] definuje vztah:

$$V_{\text{SS}} = V_{\text{VS}} \cdot \left(\frac{100 - \omega_{\text{H}_2\text{O}}}{100} \right), \quad (3.14)$$

kde V_{VS} objem vlhkých spalin při měření gravimetrie [$m_{\text{N,VS}}^3$]

Odvození vztahu (3.14)

$$V_{\text{SS}} = V_{\text{celk}} - V_{\text{H}_2\text{O}} \quad \text{kde} \quad V_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\omega_{\text{H}_2\text{O}} \cdot V_{\text{celk}}}{100}$$

$$V_{\text{VS}} = V_{\text{celk}} \rightarrow V_{\text{SS}} = V_{\text{celk}} \cdot \left(\frac{100 - \omega_{\text{H}_2\text{O}}}{100} \right)$$

$$V_{\text{SS}} = V_{\text{VS}} \cdot \left(\frac{100 - \omega_{\text{H}_2\text{O}}}{100} \right)$$

Podílem naměřené hmotnosti TZL vypočtenou hodnotou V_{SS} , se docílí hodnota TZL v jednotkách $\text{mg}/m_{\text{N,SS}}^3$. Tato hodnota odpovídá legislativním podmínkám a je porovnávána s emisním limitem uvedeným v nařízení vlády č. 352/2002 Sb.

4. VYUŽITÍ BIOMASY U KOTLŮ STŘENÍCH VÝKONŮ

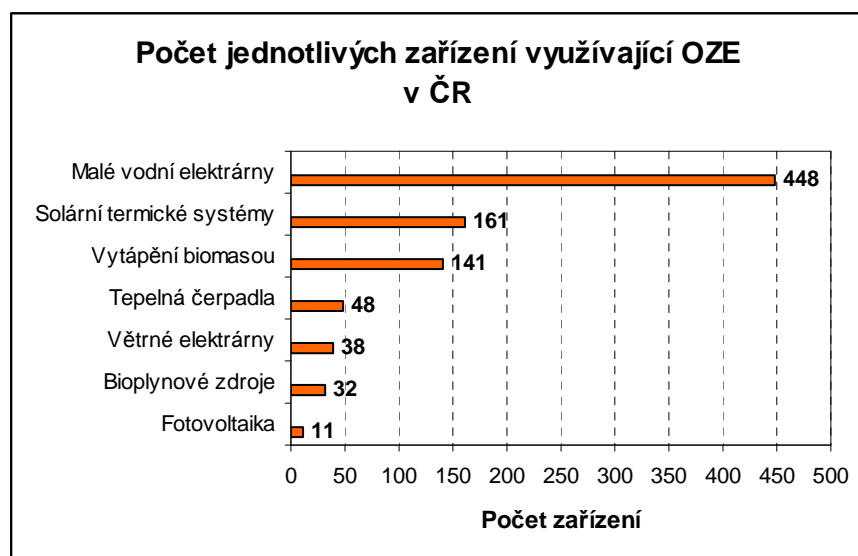
Závazky ČR vůči Evropské unii ve vztahu k energetické politice, negativní vliv emisí z fosilních paliv na životní prostředí, využití ploch uvolněných zemědělstvím a zpracování průmyslově nevyužitelné biomasy, to jsou základní důvody neustále rostoucího množství spalovacích zařízení na obnovitelné zdroje paliva. Na složení emisí vyprodukovaných při spalování biomasy má vliv spousta aspektů, ať už se to týká složení a vlastností paliva, použité technologie, úprava spalovacích podmínek, množství kyslíku nebo dokonalost spalování. Tato problematika je detailněji popsána v literatuře [11, 12].

4.1 Závazky České republiky v oblasti OZE

Česká republika je již od roku 2004 členem EU a její povinností je plnit závazky, které přijala, jako jiné členské země. Efektivnější využívání energie a přechod na obnovitelné zdroje energie jsou nedílnou součástí strategie EU pro boj proti globálnímu oteplování.

Evropská komise přijala dne 26. listopadu 1997 dokument s názvem „White Paper“ pro zahájení prvních kroků ve strategii a plánu určenému k tomu, aby se do roku 2010 dosáhlo zdvojnásobení ze 6 na 12 % celkového podílu obnovitelných zdrojů na produkci energie Evropské unie. Výhody dosažení tohoto cíle jsou nesporné. Je to především omezení emisí CO₂, vědecký a průmyslový rozvoj, uvolnění cen paliv a zvýšená bezpečnost dodávek paliv. Jednotlivé členské státy vyzývají ke zvýšení podílu obnovitelných zdrojů energie podle vlastních zkušeností a vlastního potenciálu. Svoji strategii definují s předložením vlastních návrhů k celkovému výhledu do roku 2010 [13].

Počet zařízení, které jsou závislé na obnovitelných zdrojích, se v ČR neustále zvyšuje. Pro představu je na obr. 4.1 uveden jejich současný stav⁶ z počátku roku 2008, který mapuje Atlas zařízení využívající obnovitelné zdroje [14].



Obr. 4.1: Přehled počtu zařízení využívající OZE v ČR

⁶ Nejsou zde uvedeny zařízení, které si majitelé nepřáli zveřejnit.

11. prosince 1997 byl přijat protokol z konference v Kjótu, jak uvádí publikace [1]. V tomto protokolu se zavázali zástupci 159 průmyslových zemí do roku 2010 snížit v průměru o 5,3 % produkci oxidu uhličitého, dusíku, metanu v porovnání s rokem 1990 a pro produkci hydrofluorkarbonů, perfluorkarbonů a plynů na bázi síry a fluoru byla jako výchozí stanovena úroveň roku 1995. Jednotlivé země se zavázaly k různému snížení těchto emisí. Evropská unie v tehdejší složení 15 států se zavázala ke snížení emisí o 8 %. Emise nemusí snížit Nový Zéland, Rusko a Ukrajina. Zvýšit je může Norsko o jedno procento, Austrálie o osm procent a Island o deset procent. Česká republika ratifikovala Kjótský protokol v listopadu 2001 a zavázala se tak snížit emise o 8 % mezi roky 2008 až 2012. Spojené státy odmítly protokol ratifikovat, přestože jsou absolutně největší producenti emisí na Zemi. Dostupný internetový zdroj [15] uvádí, že Spojené státy chtějí spolupracovat s ostatními zeměmi na novém mezinárodním postupu boje proti klimatickým změnám až v roce 2012, kdy vyprší Kjótský protokol.

Podle [16] se České republice daří snižovat emise skleníkových plynů téměř nejrychleji v celé Evropské unii. Vyplývá to z analýzy, kterou zveřejnila Evropská komise. Česká republika by měla mezi roky 2008 až 2012 snížit emise o osm procent, ale ve skutečnosti bude pokles v roce 2010 více než čtvrtinový. Cíl EU tak ČR splní bez sebemenších problémů a podle Evropské komise ani nebude muset měnit svojí současnou politiku snižování emisí skleníkových plynů. Úspěšněji než České republice se emise daří snižovat jen Estonsku a špatně si nevede ani Slovensko.

ČR se jako členský stát Evropské unie zavázala ke zvýšení výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů energie. Indikativní cíle jednotlivých členských států vychází ze směrnice⁷ o podpoře elektřiny z OZE na vnitřním trhu s elektřinou EU. Tyto cíle jsou definovány jako procentuální podíly výroby elektřiny na hrubé domácí spotřebě elektřiny v každém členském státě. Evropské společenství chce docílit podpory elektřiny z OZE ve výši 22,1 % a zavazuje tak členské státy přijmout opatření, které povedou k tomuto cíli do roku 2010. Konkrétní formy opatření jsou na rozhodnutí jednotlivých států, ale musí být v souladu s pravidly pro vnitřní trh s elektřinou a úměrné indikativním cílům. Česká republika se v přístupové smlouvě zavázala ke splnění indikativního cíle ve výši 8% podílu elektřiny z OZE na hrubé domácí spotřebě do roku 2010. Indikativní cíl je do českého práva implementován pomocí zákona č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů [17].

4.2 Střední spalovací zdroje

Střední spalovací zdroje o tepelném výkonu 0,2 MW až 5 MW, kterými se zabývá také [18], jsou jedněmi z významných zdrojů tepla v ČR. S neustále rostoucími cenami paliv rostou i nároky na ekonomiku provozu těchto energetických zdrojů. Je nutné, s ohledem na investiční náklady, využívat moderních technologií výroby tepla, kde je zaručena vysoká účinnost.

Při rekonstrukcích a stavbě středních spalovacích zdrojů je důležitá prvotní investice do těchto zařízení. Cílem provozovatelů těchto zdrojů je především docílit nejnižších nákladů na výrobu jednotku energie v kontextu s investičními a provozními náklady. Dle finančních,

⁷ směrnice 2001/77/EC

dispozičních a jiných možností investora lze vybudovat různé systémy centrálního zásobování tepla (CZT).

Nejdůležitějším rozhodnutím pro rekonstrukci nebo vybudování nového systému CZT je volba vhodného paliva, protože je téměř vždy nejvyšší položkou. Podle druhu paliva se výtopny a teplárny dělí na [18]:

1. plynná paliva

- bioplyn
- odpadní plyny z průmyslové výroby
- skládkové plyny
- zemní plyn

2. kapalná paliva

- mazut
- lehké a těžké topné oleje
- nafta/benzín

3. pevná paliva

- uhlí (černé, hnědé, lignit)
- biomasa (štěpka, pelety, odpad)
- pevný odpad z průmyslové výroby (koks)

Po volbě nejvhodnějšího paliva je také nutné znát systémy využití energie, které mohou být řešeny buď výtopenskými nebo teplárenskými systémy. Jednotlivé typy se liší v mnoha směrech. Mezi nejdůležitější hlediska lze zařadit tepelnou a elektrickou účinnost.

Výtopny lze dále rozdělit na:

1. teplovodní - teplota do 120 °C
2. horkovodní - teplota nad 120 °C

Hlavním rozdílem mezi teplovodním a horkovodním provozem je v tlaku pracovních rozvodů. V obou případech je pracovní látkou voda, ale v případě horkovodního systému jde o složitější systém se značně vyššími nároky na tlakovou hladinu zařízení. Oproti teplovodním systémům pracují horkovodní výtopny s menšími objemy pracovní kapaliny, tudíž není třeba vysokých průtoků média v kotli a systému. Dají se zde tedy využít menší oběhová čerpadla a potrubí menších průměrů [18].

Výhodou teplovodních systémů jsou nižší ztráty tepla venkovních rozvodů. Tento důvod upřednostňuje jejich využívání v současných výtopnách.

Teplárny lze dělit dle technologie výroby elektrické energie na jednotky využívající:

1. spalovacích motorů
2. paro-plynových bloků
3. ORC - využívající organický Rankine-Clausiusův cyklus
4. zplyňování biomasy a následná výroba elektrické energie ve spalovacím motoru
5. parního stroje
6. parních turbín
 - protitlaké
 - protitlaké s kondenzačním stupněm
 - kondenzační s regulovaným odběrem páry
 - šroubové parní turbíny

4.3 Biomasa jako zdroj energie

Ačkoli se většina průmyslových zemí stále spoléhá na fosilní a nukleární paliva, podařilo se úspěšně poukázat na některé výhody používání biomasy z hlediska životního prostředí. Spalováním dřeva a travin se vyprodukuje o jednu třetinu méně emisí oxidů síry a dusíku než spalováním fosilních paliv. Emise oxidu uhličitého vyprodukovaného při spalování biomasy se považují z hlediska životního prostředí za neutrální, protože se rovnají množství oxidu uhličitého, které je absorbováno rostlinami během fotosyntézy [19].

Využití biomasy se předpokládá především v oblastech [20]:

- a) *výroba elektrické a tepelné energie* – kogenerace
- b) *pohonné hmoty* - bioetanol, bionafta, vodík
- c) *chemický průmysl* - náhrada ropy jako suroviny
- d) *přírodní hnojivo* - např. podestýlka ze stájí, zaorání slámy z kukuřice
- e) *další energetické výdaje* - energie vynaložena na celou technologii výroby zpracování biomasy (vlastní spotřeba)

Podle [21] zaujímá biomasa až 75 % v rámci všech obnovitelných zdrojů, jako je voda, vítr, slunce apod., a proto je také podrobována stále většímu zkoumání z hlediska jejího využívání. Sleduje se nejen výhřevnost a efektivita spalování, ale rovněž vyprodukované emise při spalování. Vlastnosti biomasy se liší podle jednotlivých rostlinných druhů a zachovávají se při různém způsobu zpracování a využívání, jako jsou balíky, řezanka, brikety či pelety.

Biomasa se podle obsahu vody rozlišuje na [22]:

- *suchou* - zejména dřevo a dřevní odpady, ale také sláma a další odpady. Lze ji spalovat přímo, případně po mírném vysušení.
- *mokrou* - zejména tekuté odpady (kejda a další odpady). Nelze ji spalovat přímo, využívá se zejména v bioplynových technologiích.
- *speciální biomasu* - olejninu, škrobové a cukernaté plodiny. Využívají se ve speciálních technologiích k získání energetických látek (zejména bionafty nebo lihu).

Pro energetické účely se využívá buď cíleně pěstovaných rostlin, nebo odpadů ze zemědělské, potravinářské či lesní produkce [22]. Optimální je kombinace obou uvedených možností, protože by tak došlo jednak k využití ploch uvolněných zemědělstvím a na druhé straně zpracování průmyslově nevyužitelné biomasy [19].

1. Biomasa odpadní

- *Rostlinné odpady* - zemědělská prvovýroba a údržba krajiny
- *Lesní odpady* - stromová hmota nevyužitá při těžbě dříví v lese
- *Organické odpady z průmyslových výrob* - spalitelné odpady z dřevařských provozoven, odpady z provozů na zpracování a skladování rostlinné produkce, odpady z jatek, mlékáren, lihovarů, konzerváren
- *Odpady ze živočišné výroby* - hnůj, kejda, zbytky krmiv aj.
- *Komunální organické odpady* - kaly, organický tuhý komunální odpad (TKO)

2. Pěstování biomasy pro energetické účely

Při pěstování biomasy se musí předem porovnat náklady na energii při pěstování s výnosy energie paliva. Z bylin jsou energeticky zajímavé rostliny produkující cukr, škrob nebo olej. Neperspektivnější je zejména řepka, protože se řepkový olej zpracovává na naftu, mazadla a zbylá řepková sláma se použije ke spálení. Řepková sláma má vyšší výhřevnost 15 až 17,5 GJ/t oproti obilné slámě s výhřevností 14,0 až 14,4 GJ/t.

Z víceletých rostlin je známá křídlatka sachalinská (*Reynoutria sachalinensis* Nakai), která dosahuje vysokých výnosů 30 až 40 t sušiny z ha. Diskutovanou energetickou rostlinou je také sloní tráva (*Miscanthus sinensis*). Tato rostlina však není vhodná do našich půdně-klimatických podmínek, protože při testování se zjistilo, že téměř všechny vysázené rostliny během zimy vymrzly [23]. Velmi výhodně se však jeví pěstování konopí setého (*Cannabis sativa* L.), neboť nevyžaduje žádné ošetření v průběhu vegetace. V Evropě dosahuje výšky až 4 m a výnosu 6 až 15 t suché hmoty z ha. Konopí je jednoletá rostlina, ale pokud se vysemení, roste na místě mnoho let.

Nejvíce výhodné jsou však rychle rostoucí dřeviny, jako platany, topoly, pajasany, akáty, olše a zejména vrby, které jsou vhodné hlavně pro půdy podél vodních toků, kde lze uplatnit i domácí topol černý. Výnosy a výhřevnost jednotlivých druhů biomasy jsou pro srovnání uvedeny v tab. 4.1.

Druh biomasy	Výhřevnost [MJ/kg]	Vlhkost [%]	Výnos [t/ha]		
			min.	prům.	opt.
Sláma obilovin	14	15	3	4	5
Sláma řepková	13,5	17-18	4	5	6
Energetická fytomasa	14,5	18	15	20	25
Energetické seno	12	15	2	5	8
Rychle rostoucí dřeviny	12	25-30	8	10	12
Jednoleté rostliny	14,5	18	15	17,5	20
Energetické rostliny	15	18	15	20	25

Tab. 4.1: Srovnání výnosů, výhřevností a sklizňové vlhkosti u různých druhů biomasy [22]

4.4 Ceny biopaliva

Rychlejšímu rozvoji využívání biopaliv brání řada příčin. Tyto příčiny jsou především ekonomického, technického, finančního a legislativního charakteru a také absence hlubší informovanosti. Náklady přitom tvoří jednu z hlavních bariér při rozvoji využívání biopaliv.

Cena biopaliv je dána výrobními náklady a poptávkou. Výrobní náklady jsou velmi nízké pouze u odpadů a to jen v případě, dokud se energeticky využitelný odpad nestane zbožím. Nejvíce zatížené náklady jsou u biopaliv, která jsou produktem účelového pěstování, včetně rychlerostoucích paliv, na která plně padají celé výrobní náklady. Tyto ceny samozřejmě dále zvyšují náklady dopravní, skladovací a manipulační a někdy i náklady na sušení [24].

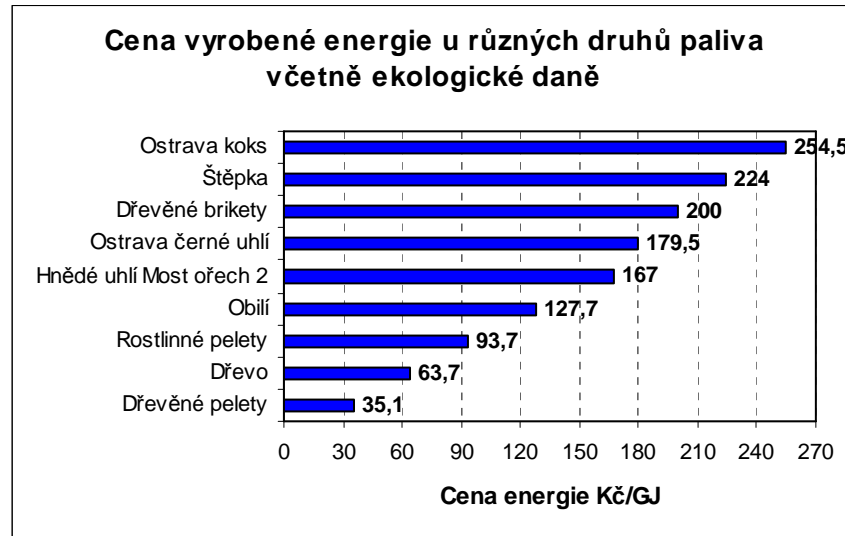
Od prvního ledna 2008 platí lidé více za energie, které mají negativní vliv na životní prostředí, jak uvádí také internetové stránky [25]. Ekologická daň, kterou sněmovna schválila v rámci reformních změn, počítá se spotřební daní na elektřinu ve výši jednoho procenta a na pevná fosilní paliva ve výši deseti procent. Naopak od spotřební daně jsou osvobozeny obnovitelné zdroje, zemní plyn pro vytápění domácností a elektřina pro pohon veřejné dopravy. Biomasa zároveň přechází do snížené devítiprocentní sazby DPH. Znevýhodnění cen fosilních paliv a elektřiny má pomoci snížit množství emisí znečišťujících ovzduší v České republice.

Vysoce škodlivé jsou především jemné prachové částice, které vznikají spalováním nafty a benzínu v autech a uhlí v domácích kotelnách. Ministerstvo životního prostředí chce tento problém řešit národním programem snižování emisí, který byl připraven v létě roku 2007. Obsahuje řadu konkrétních termínovaných úkolů. Vyhláškou o požadavcích na kvalitu paliv se má do roku 2014 postupně vytlačit z trhu méně kvalitní uhlí s vysokými emisemi a velká novela zákona o ovzduší má nově stanovit emisní limity pro malé spalovací zdroje. S výměnou kotlů na uhlí za ekologičtější topení má pomoci domácnostem, jejichž lokalita není zasířovaná rozvodem plynu [26], Nový dotační titul Státního fondu životního prostředí.

Podle [27] lze však do budoucna očekávat i narůstající cenu biopaliv vzhledem k zvyšujícímu se počtu spaloven. Rychle rostoucí dřeviny pěstované na větších rozlohách u nás zatím nemají tak dobré výsledky, aby se mohly výrazněji prosadit a alespoň částečně tak regulovat cenu doposud nejvíce využívaných druhů biomasy. Aktuální ceny paliv z počátku roku 2008 uvádí tab. 4.2 a v grafické podobě obr. 4.2.

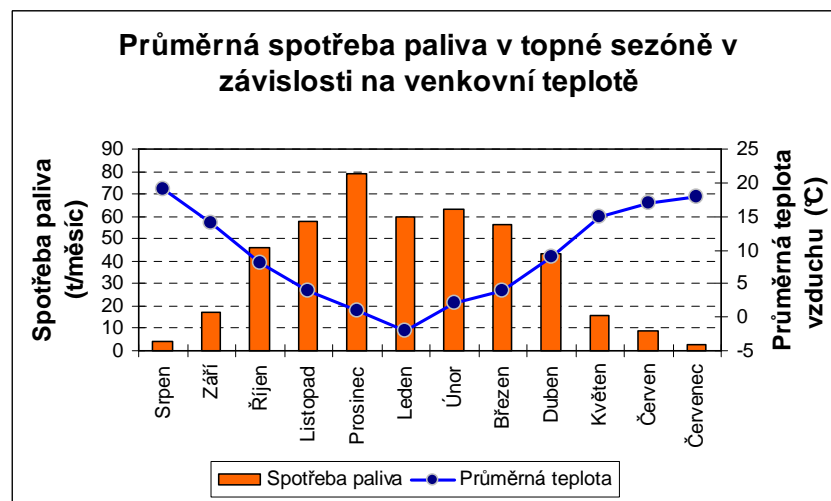
Druh paliva	Aktuální cena paliva [Kč/kg] (včetně DPH)	Výhřevnost [MJ/kg]	Cena vyrobené energie + (ekologická daň) [Kč/GJ]
Hnědé uhlí Most ořech 2	2,32	15	154 + (13)
Ostrava černé uhlí	5,3	31	170,9 + (8,6)
Ostrava koks	7,5	30,5	245,9 + (8,6)
Dřevo	0,93	14,6	63,7
Dřevěné brikety	3,5	17,5	200
Dřevěné pelety	3,25	18,5	35,1
Štěpka	2,8	12,5	224
Rostlinné pelety	1,5	16	93,7
Obilí	2,3	18	127,7

Tab. 4.2: Porovnání výkupních cen vyrobené energie pro biopaliva a fosilní paliva [28, 29]



Obr. 4.2: Srovnání ceny vyrobené energie různých druhů paliv

Oproti kotlům plynovým mají biomasové kotle větší rozměry a zhoršenou dynamiku, proto je doporučeno tyto kotle provozovat v rovnoměrném režimu bez rychlých výkyvů. U spaloven určené pouze k vytápění a ohřevu vody (výtopen), se projevuje však silná závislost průběhu spotřeby biopaliv na venkovní teplotě [30] viz obr. 4.3. V praxi je možné tuto problematiku řešit tak, že kotel na biomasu pokrývá pouze základní potřebu tepla. Je tedy provozován v dlouhodobém a stálém využití a vyrábí majoritní podíl veškerého tepla. Pro pokrytí energetických špiček je systém doplněn plynovým kotlem, který je uváděn do činnosti pouze v období zvýšené potřeby tepla (v zimních měsících, energetické špičky) a je v provozu pouze několik hodin denně. Tento zdroj pak nazýváme vícepalivový. Volba optimálního výkonu biomasového kotle (popř. jeho kombinace s plynovým) je tedy velmi důležitá a má přímý vliv na ekonomiku (nalezení optima mezi investičními a palivovými náklady), účinnost a emisní hodnoty [31].



Obr. 4.3: Průměrná spotřeba paliva během roku na vytápění a ohřev vody v závislosti na venkovní teplotě pro instalovaný výkon 1 MW [30]

4.5 Emise vyprodukované při spalování biomasy

Suchá biomasa je velmi složité palivo. Je to způsobeno velkým podílem prachové hořlaviny a různými teplotami spalování vzniklých plynů. Vzhledem k tomu, že nejdříve dochází ke zplyňování biomasy ve spalovací komoře (primární) a následně plyny vyhoří v dohořivací komoře (sekundární), řadí se spalování biopaliv mezi dvoustupňové [32].

Emise ze spalování biomasy se dělí na [32]:

- *emise z neúplného spalování* - CO, C_xH_y, dehet, saze, nespálené uhlovodíkové částice, vodík a neúplně okysličené sloučeniny dusíku (HCN, NH₃, N₂O), dioxiny
- *emise a požadované produkty z úplného spalování* - oxidy dusíku (NO, NO₂), CO₂, H₂O
- *emise ze stopových prvků nečistot biopaliv* - částice prachu (nespalitelné TZL), síra, sloučeniny chloru a stopové množství kovů (Cu, Pb, Zn, Cd)

Dostupný internetový zdroj [32] uvádí charakteristiky nejpodstatnějších emisí vyprodukovaných při energetickém využití biomasy. Nejpřísněji sledované emise jsou karcinogenní látky, jedovaté látky (CO) a plyny podporující skleníkový efekt, jako je CO₂, C₂O, CFC (freony), CH₄ a stopové plyny HFC, PFC, SF₆.

Oxidy uhlíku

Oxidy uhlíku jsou závislé především na dokonalosti spalování biomasy, jak se uvádí dále. Při spalování biomasy dochází k vytvoření relativně dlouhého plamene, který nesmí být ochlazen nikdy před dohořením, protože je tvořený oxidujícím CO. Ten při ochlazení vylučuje čistý uhlík (saze) a dochází tak k velkým tepelným ztrátám. To platí i pro nedokonalé hoření vyprodukovaných plynů, kde nespálený oxid uhlíku CO odnáší do vzduší značné množství energie a svůj jedovatý obsah. Z tohoto důvodu musí být spalovací a dohořivací komora pro biomasu mnohem větší než pro uhlí a do plamenů musí být přiváděný sekundární případně i terciární předehřátý vzduch. Oxid uhličitý se největší měrou podílí na vzniku skleníkového efektu, který způsobuje globálním oteplování. Jeho nárůst v ovzduší je způsoben zejména spalováním fosilních paliv a úbytkem lesů.

Sloučeniny síry

Oxid siřičitý je bezbarvý plyn reagující na povrchu různých tuhých suspendovaných částic. Snadno se rozpouští ve vodě a může být oxidován uvnitř vodních kapiček rozptýlených v ovzduší, a tak způsobovat „kyselé deště“. V biomase je však síry velice málo, a proto vznikají při jejím spalování emise SO₂ v malém množství. Navíc je v biopalivu množství vodní páry a vodíku, takže síra se spíše přeměňuje na H₂S.

Sloučeniny dusíku

Sloučeniny NO_x vznikají při teplotách 700 až 900 °C spalováním dusíku obsaženého v palivu. Při pálení biomasy vzniká malé množství oxidu dusného, které se odhaduje na 400 000 t ročně, včetně lesních požárů, což jsou asi jen 2 % emisí. Dominantnějším zdrojem produkce N₂O je automobilová doprava. Oxid dusný podporuje skleníkový efekt. Další možností, na co se může dusík během spalování přeměnit, jsou reaktivní oxidy NO, NO₂ anebo produkty nedokonalého spálení, například NH₃. NO vzniká při teplotách nad 1000 °C a většina ho oxiduje na NO₂, který je příčinou tvorby přízemního ozonu. NO₂ se také přeměňuje

na dusičnany, které způsobují kyselé deště, okyselují půdu, vytváření nadbytek dostupného dusíku v ekosystémech a často jsou masově vyplavovány do podzemních vod.

Dioxiny

Dioxiny nebo-li polychlorované dibenzodioxiny (PCDD) a polychlorované dibenzofurany (PCDF) se vyskytují v plynné i pevné fázi a jsou nepatrně rozpustné ve vodě či tucích. Lépe se rozpouští v chlorovaných organických rozpouštědlech. Jsou to mimořádně stabilní látky a v přírodě je rozkládá pouze ultrafialové záření. Hlavní nebezpečnost dioxinů spočívá v tom, že se v těle kumulují v tukových tkáních a tělo je nedokáže vyloučit či odbourat. PCDD/F jsou do 900 °C tepelně stabilní a vznikají snadno při zahřívání chlorovaných látek na teploty kolem 300 °C. Hlavní cestou ke vzniku dioxinů je heterogenní katalytická reakce mezi kyslíkem, uhlíkem a chlorem na ploše létajícího popílku.

Ze statisticky průkazných závislostí vyplývá, že emise PCDD/F jsou závislé na obsahu chloru v palivu, jestliže koncentrace Cl je vyšší než 2000 mg/kg. Vzhledem ke vlivu většího obsahu chloru a také podílu polévatého popílku jsou emise PCDD/F z bylinných paliv výrazně větší než u dřeva (tab. 4.3). Bylo zjištěno, že více než chlor obsažený v palivu, ovlivňují produkci organických látek přítomné prvky, které mohou působit jako katalyzátory (především měď). Největší vliv na množství PCDD/F má však technologie spalování (způsob spalování a konstrukce spalovacího zařízení) [32, 33].

Palivo	Cl mg/kg	HCl mg/m ³	ng TEQ ⁸ /m ³
Smrková štěpka	120	0,9	0,063
Topolová štěpka	16	0,13	0,003
Pelety z pšeničné	2056	74	1,822
Řezanka přeničné slámy	1500	89	0,631
Pelety ze sena	2890	173	0,835
Řezanka ze sena	1681	50	1,909
Pelety z triticales	575	72	0,078
Řezanka z triticales	1390	45	0,082
Řepkové pokrutiny	194	17	0,365

Tab. 4.3: Množství emisí PCDD/F a HCl při spalování biopaliv s různým obsahem Cl v kotli o výkonu 50 KW [33]

4.5.1 Nedokonalé spalování

Nedokonalým spalováním vznikají různé druhy emisí, které jsou popsány např. v [12].

Emise způsobené nedokonalým spalováním jsou převážně důsledkem, buď:

- nepřiměřeným směřováním vzduchu a paliva při spalování v komoře
- celkovým nedostatkem kyslíku
- nízkou spalovací teplotou
- krátkou dobou zdržení spalin při spalování
- nízkou energií hustoty paliva

⁸ „Toxický ekvivalent“ vyjadřený, jako hodnota koncentrace jednotlivých sledovaných látek přepočtená na ekvivalentní množství 2,3,7,8-tetrachlordibenzo-p-dioxinu.

Tyto možnosti jsou všechny spojeny se stupněm reakce vyjádřené základní reakcí spalování. V případech, kde je dostatečný přístup kyslíku, je nejdůležitější teplota kvůli vlivu na reakční rychlosti. V ostatních případech chceme dosáhnout optimalizace těchto variant, což přispěje k redukci všech emisí nedokonalého spalování. Mezi nejzávažnější produkt nedokonalého spalování patří oxid uhelnatý.

Oxid uhelnatý (CO)

Přeměna uhlíku z paliva na CO₂ vznikne několika základními kroky a přes několik různých reakčních cest. CO je velice závažný finální produkt. Pokud je dostupný kyslík, CO oxiduje na CO₂. Tato oxidace je závislá zejména na teplotě. CO může být považován za dobrý ukazatel kvality spalování. Rozsáhlé aplikace spalování mají obvykle lepší příležitost pro optimalizaci procesu spalování, než je tomu u omezených aplikacích. Emise CO jsou tedy obvykle u dokonalejších aplikací v nižším stupni. Pro každý systém existuje optimální množství přebytku vzduchu. Vysoká míra snižuje teplotu spalování a nízká míra přebytku vzduchu zase nestačí na směšovací poměry. Vhodná doba zdržení je důležitá k docílení nízkého stupně emisí CO hlavně proto, že CO je většinou pozdějším meziproduktem pro uhlovodíky.

4.6 Vlivy fyzikálních vlastností a chemických prvků biomasy na spalování a produkci emisí

Při komplexním studiu fyzikálních vlastností biomasy se v posledních letech docílilo mnoho zajímavých poznatků, které jsou uvedeny např. v [11].

Mezi významné fyzikální vlastnosti patří hustota, výhřevnost a množství vody. Energie hustoty, vyplývající z hodnoty hustoty a výhřevnosti, má významný vliv na uchování tepelné kapacity, a tedy i na průběh dodávky paliva do kotle. Množství vody ovlivňuje způsob spalování, tj. adiabatický průběh spalování a množství vyprodukovaných spalin. Vlhká biomasa potřebuje větší žár a delší zdržení na vysušení před zplyněním. Z toho plyne, že palivo ve výsledku zabere větší místo ve spalovací komoře. Těmto znalostem fyzikálních vlastností je nutné přizpůsobit systém regulace teploty kotle (vyhnout se zestruskování), správné dávkování množství paliva a dostatečně dlouhé zdržení spalin ve spalovacích komorách.

Pro tvorbu a složení emisí, mimo samotného spalovacího procesu, je velice důležité zastoupení jednotlivých chemických prvků v palivu. Určitou nevýhodou biomasy je to, že má velmi rozmanité fyzikálně mechanické a chemické vlastnosti. Obsahuje například uhlík, vodík, dusík, chlór a zpravidla neobsahuje fluor. Obsah kovů v biomase závisí na lokalitě, kde biomasa byla vypěstována. Lze ale konstatovat, že obsah těžkých kovů se blíží nule. Poněkud významnější je obsah železa a lehkých kovů (nejvíce vápníku, hořčíku, draslíku, sodíku a zinku). Rozptyl jednotlivých složek v palivu je patrný z tab. 4.4 [32].

Prvek	% hm. sušiny	Prvek	% hm. sušiny	Prvek	% hm. sušiny
C	40 ÷ 46	K	0,3 ÷ 5	Si	0,05 ÷ 3
H	5,5 ÷ 6,5	Na	0,3 ÷ 0,5	Cu	<0,01
O	40 ÷ 44	Ca	0,3 ÷ 5	Mg	0,01 ÷ 1
N	1 ÷ 5	B	< 0,01	Mn	<0,03
S	0,05 ÷ 0,8	Fe	0,005 ÷ 0,1	Zn	<0,01
Cl	0,02 ÷ 1	F	0,05 ÷ 0,08		

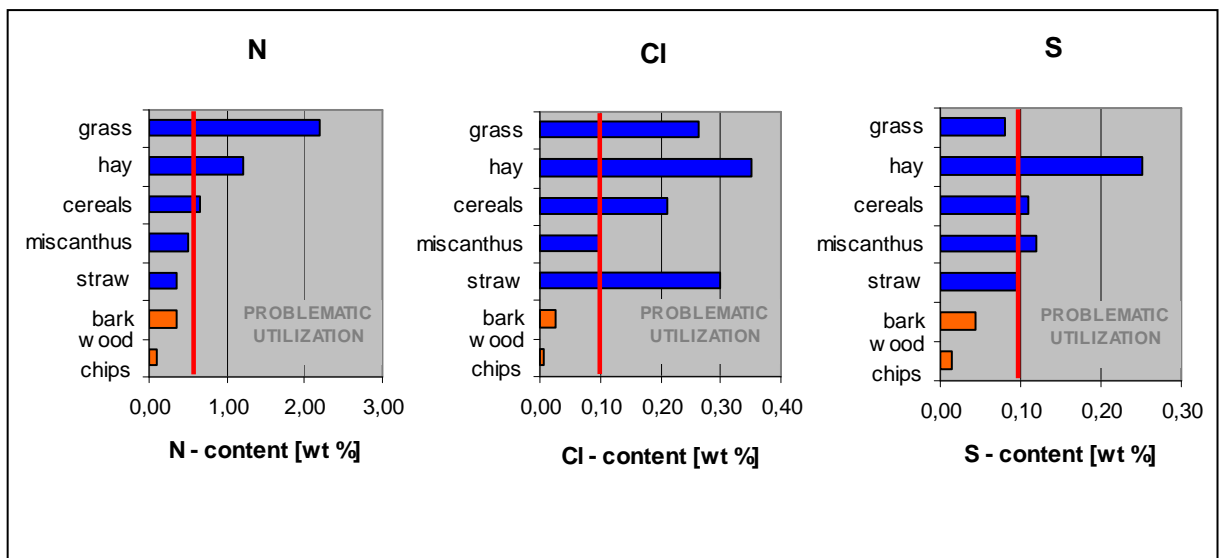
Tab. 4.4: Rozsah množství jednotlivých složek v biomase [32]

Nejdůležitějšími chemickými prvky biomasy z hlediska negativního vlivu na životní prostředí jsou, podle literatury [11], N, Cl a S. Odhad složení těchto prvků u různých druhů biopaliv, včetně vyznačení problémové oblasti uvádí obr. 4.4.

Dusík je závažný prvek, protože při spalování se vytváří přímo NO_x . Jinak je to však u chlóru, který se částečně přemění na fázi páry ve formě HCl, Cl_2 a na chloridy alkalických kovů. S klesající teplotou spalin v kotli chloridy alkalických kovů a kovů alkalických zemin kondenzují na létajícím popílku nebo na ploše tepelného výměníku. Při spalování se tedy část Cl váže na létající popílek a zbytek odchází ve formě HCl ve spalinách. Měřením a výpočtem materiálové rovnováhy při spalování biomasy se zjistilo, že množství chlóru obsahující palivo se ve 40 až 80 % váže na popílek. Záleží však na koncentraci alkalických kovů a kovů alkalických zemin v biomase a také na množství vyprodukovaného popílku při procesu spalování. Spalováním biomasy se také tvoří heterogenní reakcí na ploše létajícího popílku nežádoucí persistentní organické látky, a to zejména polychlorované dibenzodioxiny a dibenzofurany (PCDD/F), vznikající za přítomnosti Cl, C a O v teplotním rozsahu 250 až 500 °C. Potlačit vznik PCDD/F lze dokonalejším spalováním, redukcí přebytečného kyslíku, nízkým množstvím koncentrace chlóru v palivu a poletujícího popílku ve spalinách. Dále pak za reakční zónou kotle dodržováním teploty nižší jak 200 °C, kde nemůže docházet k reakční tvorbě PCDD/F [11].

Síra vytváří při procesu spalování plynné složení SO_2 , SO_3 a sírany alkalických kovů. Největší část síry se přemění v parní fázi. U kotle, kde se spaliny rychleji ochlazují, kondenzují sírany na létajících částech popílku a na povrchu výměníku. SO_2 se může vázat na létající popílek pomocí reakce síry. Tato schopnost je však závislá na koncentraci kovů alkalických zemin (obzvláště Ca). Z testů a vyhodnocení vyplývá, že 40 až 90 % celkového množství S v biomase je vázáno v popílku a zbytek je vyprodukovaný se spalinami jako SO_2 a v menším množství SO_3 . Za nejzávažnější se považuje u síry tvorba SO_2 odcházející do ovzduší pomocí spalin, ale velkou roli může hrát síra i při tvorbě koroze.

Zatímco obsah síry je v biomase nižší než u většiny jiných paliv (objevuje se jen u stromové kůry a některých druhů stébelnin), celkový obsah chlóru je poněkud vyšší (dokonce vyšší než u uhlí). Ale je třeba zdůraznit, že nejde o organický vázaný chlor, ale chlor ve formě anorganických chloridů, což je důležitý poznatek zejména pro produkci škodlivého chlorovodíku, protože ten vzniká převážně konverzí organicky vázaného chlóru [32].

**Pozn.:**

grass - tráva

hay - seno

cereals - obilí

miscanthus - sloní tráva

straw - sláma

bark - kůra

wood chips - štěpka

problematic utilization - problematické využití

content - objem

wt % - % hm.

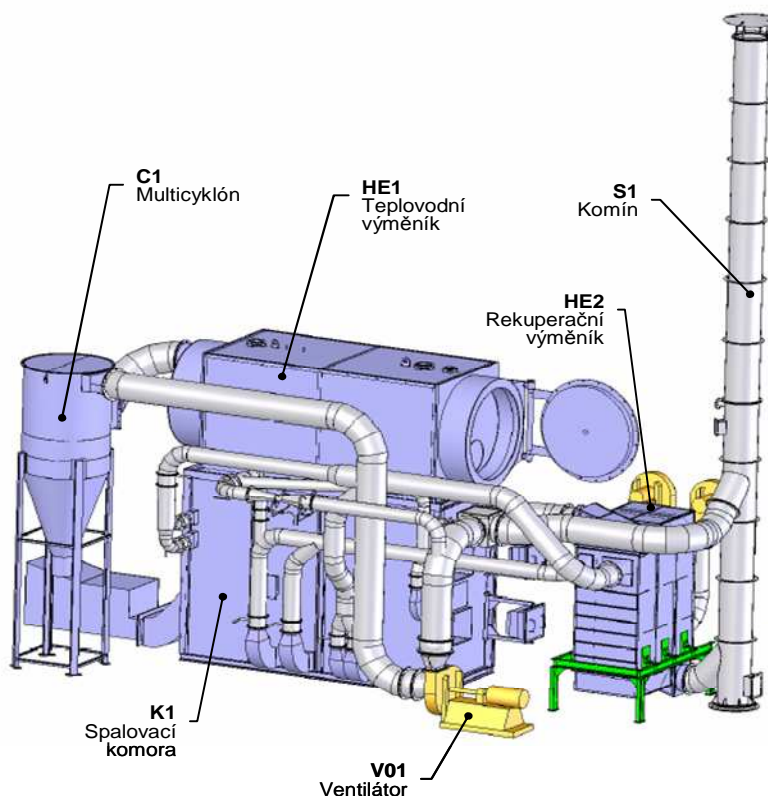
Obr. 4.4: Odhad složení N, Cl a S u různých druhů biomasy [11]

5. ROZSAH MĚŘENÍ NA EXPERIMENTÁLNÍ JEDNOTCE A VLASTNOSTI TESTOVANÝCH PALIV

V následujících podkapitolách je uveden popis experimentální jednotky na spalování biomasy, dále měřicí místa a přehled testovaných paliv, což je důležité pro pochopení jednotlivých provozních charakteristik. Data se vyhodnocovaly na základě experimentálního měření, které probíhalo na jednotce pro spalování biomasy o výkonu 1 MW. Měření probíhalo v určitém časovém intervalu ve čtyřech dnech, přičemž každý den byl spalován jiný druh biomasy.

5.1 Experimentální jednotka pro energetické využití biomasy

Prototyp kotelní jednotky o tepelném výkonu 1 MW je určen jen pro spalování biomasy. Technologické uspořádání oxidační spalovny ve 3D modelu je zobrazeno na obr. 5.1. Palivo je dávkováno do kotle dvěma otvory, z nichž jeden je určen na přísun stébelnaté fytomasy a druhý na dřevní odpad. Kotel s posuvným roštem K1 je členěn na primární spalovací komoru a sekundární. V primární komoře dochází k oxidaci paliva pomocí přívodu primárního vzduchu. Sekundární komorou se docílí dohoření spalin pomocí regulovaného přísunu sekundárního vzduchu, kterým se udržuje teplota v sekundární komoře. Spaliny dále odchází do teplovodního výměníku HE1 o výkonu 1 MW, kde se ochladí a předají tak množství tepla potřebné k ohřevu užitkové vody. Ochlazené spaliny dále prochází multicyklonem C1 na odstranění tuhých znečišťujících látek. Z multicyklonu jsou spaliny vedeny pomocí spalinového ventilátoru VO1 do děliče, který část spalin oddělí do rekuperačního výměníku HE2, v němž dochází k předehřevu sekundárního a primárního vzduchu. Komínem S1 jsou pak všechny spaliny odváděny do ovzduší. Mezi spalinovým ventilátorem a děličem je odbočka recyklu spalin, který je veden zpět do spalovací komory.

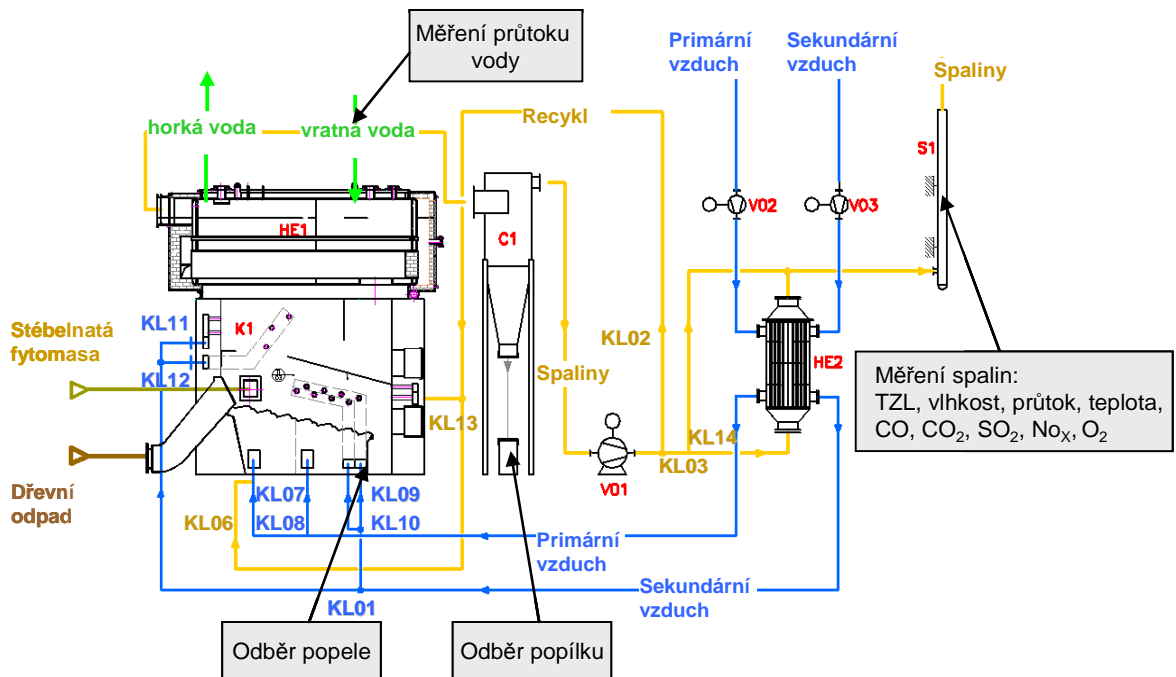


Obr. 5.1: 3D schéma prototypu jednotky pro energetické využití biomasy o výkonu 1 MW [31]

5.2 Lokalizace měřících míst

Přehled měřících míst a sledovaných veličin znázorňuje obr. 5.2. Měření příslušných hodnot bylo realizováno využitím následujících měřících přístrojů:

- Při měření množství CO, CO₂, SO₂, NO_x, O₂, které se provádělo v měřícím místě „na komíně“, byl použit automatický analyzátor spalin INFALYT 50 pracující na základě infračervené spektroskopie.
- „Na komíně“ se dále provádělo měření koncentrace TZL, ve spalinách odcházejících do atmosféry, gravimetrickou soupravou GTE a měření relativní vlhkosti, průtoku a teploty spalin, které zaznamenával univerzální přístroj pro měření v technice prostředí Testo 445.
- Měření objemového průtoku vody do teplovodního výměníku HE1 pomocí průtokoměru s lopatkovým kolem Data Industrial SDI.



Obr. 5.2: Zjednodušené schéma spalovacího zařízení o výkonu 1 MW s vyznačením míst měření [31]

5.3 Charakteristiky použitého paliva

Během experimentálního měření na jednotce pro spalování biomasy se testovaly celkem čtyři následující paliva:

- dřevní štěpka
- amaranth
- obilná sláma
- řepkové pokrutiny

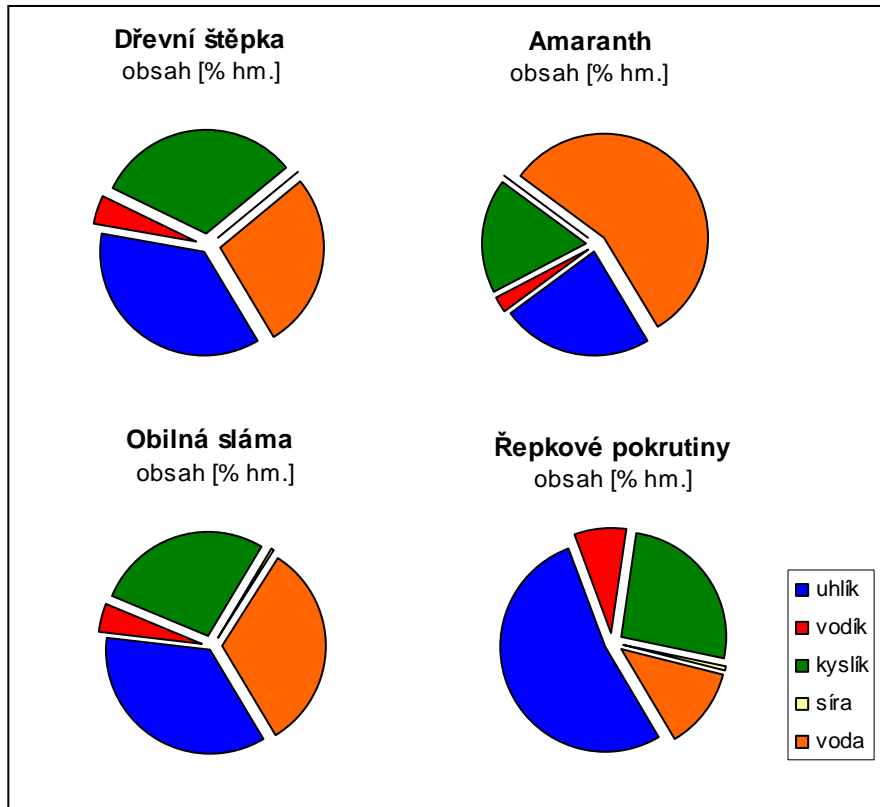
Nejdůležitější parametry paliv jsou shrnuty v následujících tabulkách na základě výsledků analýz, které byly provedeny akreditovanou laboratoří.

Druh spalované biomasy	Výhřevnost [MJ/kg]	Spalné teplo [MJ/kg]
Dřevní štěpka	13,82	15,38
Amaranth	5,10	10,52
Obilná sláma	10,47	16,30
Řepkové pokrutiny	17,94	20,51

Tab. 5.1: Energetický obsah testovaných druhů biomasy

Druh spalované biomasy	Obsah [% hm.]				
	uhlík	vodík	kyslík	síra	voda
Dřevní štěpka	37,47	4,48	32,64	0,05	28,00
Amaranth	17,46	1,94	12,93	0,07	41,79
Obilná sláma	32,81	4,03	25,36	0,06	30,10
Řepkové pokrutiny	47,08	7,16	23,04	0,66	10,91

Tab. 5.2: Elementární složení hořlaviny použitých paliv



Obr. 5.3: Grafické znázornění složení testovaných druhů biomasy

6. VÝSLEDKY EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ

V následujících podkapitolách jsou shrnuty pracovní podmínky během měření a dále výsledky emisního měření z experimentální jednotky pro spalování biomasy o výkonu 1 MW. Při měření TZL gravimetrickou soupravou u amaranthu došlo k protržení filtru, proto tedy nemohly být emise TZL vyhodnoceny. Pro informativnost je mezi grafy koncentrací znečišťujících látek uveden i graf srovnání množství kyslíku v měřicím místě „na komíně“ s referenčním obsahem kyslíku.

6.1 Základní údaje experimentálního měření

Při měření se zaznamenávaly tyto následující veličiny a parametry, které jsou pro jednotlivé dny měření kompletně zpracovány v programu MS Excel, který je součástí přílohy:

- Koncentrace
- Absolutní a relativní vlhkost
- Teploty
- Průtoky
- Tlaky
- Otáčky
- Aktuální výkon podavače
- Poloha klapky sekundárního vzduchu
- Poloha klapky recyklačního vzduchu
- Poloha regulační klapky ústředního topení

V průběhu měření se vedl deník měření, do kterého se zaznamenávaly následující informace:

- Nastavení biomasového kotle
- Čas provedení změn nastavení biomasového kotle a případné poruchy
- Začátek a konec měření koncentrací znečišťujících látek a TZL
- Váha filtru, objem spalin a kondenzátu při měření TZL
- Váha paliva

Časové intervaly měření jednotlivých dnů byly následující:

- Měření dřevní štěpky dne 15. 11. 2007 se provádělo od 10:09 do 16:32
- Měření amaranthu dne 19. 11. 2007 se provádělo od 10:02 do 13:31
- Měření obilné slámy dne 20. 11. 2007 se provádělo od 09:40 do 14:50
- Měření řepkových pokrutin dne 21.11. 2007 se provádělo od 09:56 do 16:24

Pro samotné vyhodnocení emisních charakteristik byly vybrány pro jednotlivé dny měření takové časové intervaly, během nichž byla experimentální jednotka v ustáleném provozu. Tyto časové intervaly jsou uvedeny v tab. 6.1.

Datum měření	Interval měření	Palivo
15. 11. 2007	12:40 – 16:32	dřevní štěpka
19. 11. 2007	12:26 – 12:40	amarant
20. 11. 2007	13:20 – 14:00	obilná sláma
21. 11. 2007	12:25 – 13:30	řepkové pokrutiny

Tab. 6.1: Časové intervaly měření při ustáleném provozu

V následujících tabulkách jsou uvedeny průměrné hodnoty základních technologických podmínek pro jednotlivé dny měření ve výše uvedených časových intervalech.

Průměrná naměřená teplota [C°]	Dřevní štěpka	Amaranth	Obilná sláma	Řepkové pokrutiny
Venkovní teplota	2	3	5	7
Primární vzduch	75	77	59	88
Sekundární vzduch	76	76	65	77
Prostor kotelny	19	18	15	16
Spaliny za kotlem	121	117	108	135
Vstup spalin do komína	64	65	60	70
Spalovací komora	750	757	697	812
Sekundární komora	714	741	718	824

Tab. 6.2: Průměrné hodnoty teplot zaznamenávané při všech měření

Po kalibraci hodnot průtoků vzduchů a recyklu bylo zjištěno, že je zapotřebí provést korekci průtoků primárního vzduchu a recyklu, protože nesouhlasily s hodnotami zobrazovanými v řídicím systému. Hodnoty průtoku sekundárního vzduchu odpovídaly řídicímu systému, a proto je tedy nebylo nutné korigovat. Přehled průměrných hodnot průtoků a otáček ventilátorů při jednotlivých měření je uveden v tab. 6.3.

Průměrné hodnoty průtoků [m ³ /h] a otáček [%]	Dřevní štěpka	Amaranth.	Obilná sláma	Řepkové pokrutiny
Průtok sekundárního vzduchu	619	648	529	1041
Průtok recyklu	879	871	911	970
Průtok primárního vzduchu	464	578	605	118
Průtok spalin do komína	1648	1627	1673	nezměřeno
Otáčky spalínového ventilátoru	37	37	39	42
Otáčky primárního ventilátoru	25	30	30	20
Otáčky sekundárního ventilátoru	19	20	17	36

Tab. 6.3: Průměrné hodnoty průtoků a otáček zaznamenávané při všech měření

Množství CO₂, přesto že bylo zaznamenáváno při měření, nebylo bráno v potaz při hodnocení naměřených dat, protože emise oxidu uhličitého ze spalování biomasy se rovnají množství oxidu uhličitého, které je absorbováno rostlinami během fotosyntézy. Tab. 6.4 uvádí průměrné hodnoty sledovaných koncentrací u všech měření.

6.2 Výsledky emisních měření

V souladu s platnými legislativními předpisy [3] byla na experimentální jednotce pro spalování biomasy provedena jednorázová měření následujících znečišťujících látek:

- oxid uhelnatý (CO)
- tuhé znečišťující látky (TZL)
- oxidy síry (jako SO₂)
- oxidy dusíku (jako NO₂)

Koncentrace škodlivin byly zjišťovány v koncových spalinách odváděných komínem do atmosféry a vztaheny na suchý nosný plyn.

Z uvedených dat v tab. 6.4 plyne, že byly splněny emisní limity při jednorázovém měření pro všechny znečišťující látky. Konstrukční řešení experimentální jednotky zajišťuje plnění požadovaných emisních limitů.

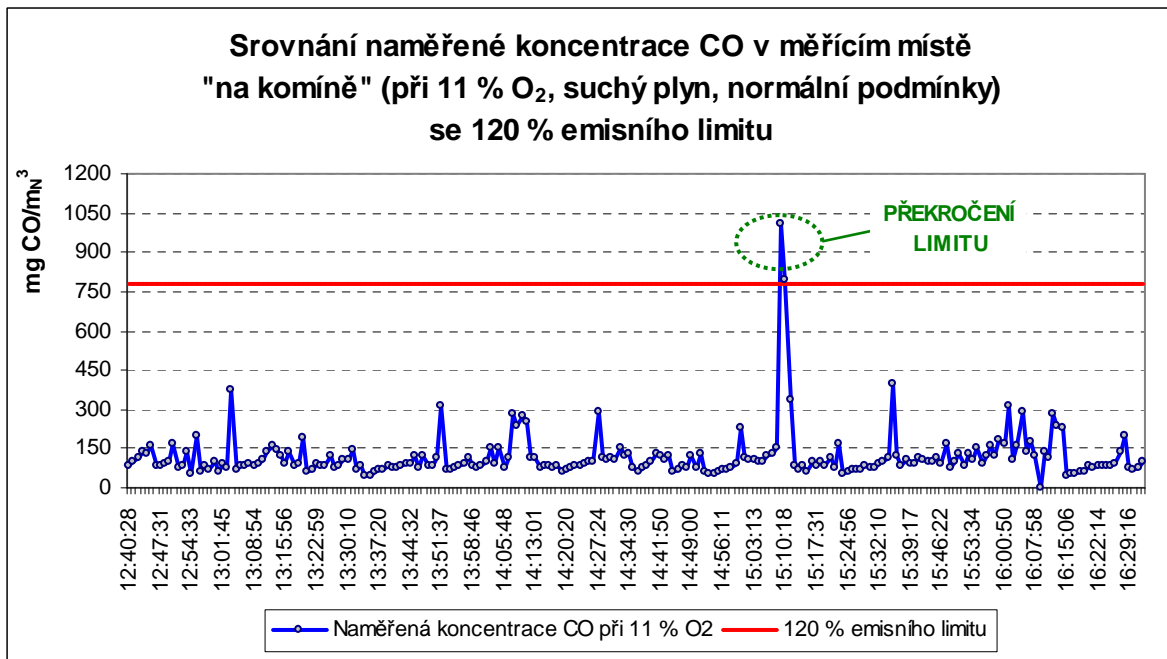
Průměrné koncentrace		Dřevní štěpka	Amaranth	Obilná sláma	Řepkové pokrutiny
CO	[mg/m _N ³]	117	199	455	81
NO ₂	[mg/m _N ³]	114	170	160	522
SO ₂	[mg/m _N ³]	122	0	59	423
TZL	[mg/m _N ³]	55	nezměřeno	93	24

Tab. 6.4: Průměrné hodnoty znečišťujících látek v koncových spalinách

Na následujících obrázcích obr. 6.1 až obr. 6.26 jsou v grafické formě zpracovány hodnoty emisních koncentrací, které byly získány při jednorázovém měření znečišťujících látek v odpovídajícím časovém intervalu a pro konkrétní typ spalované biomasy.

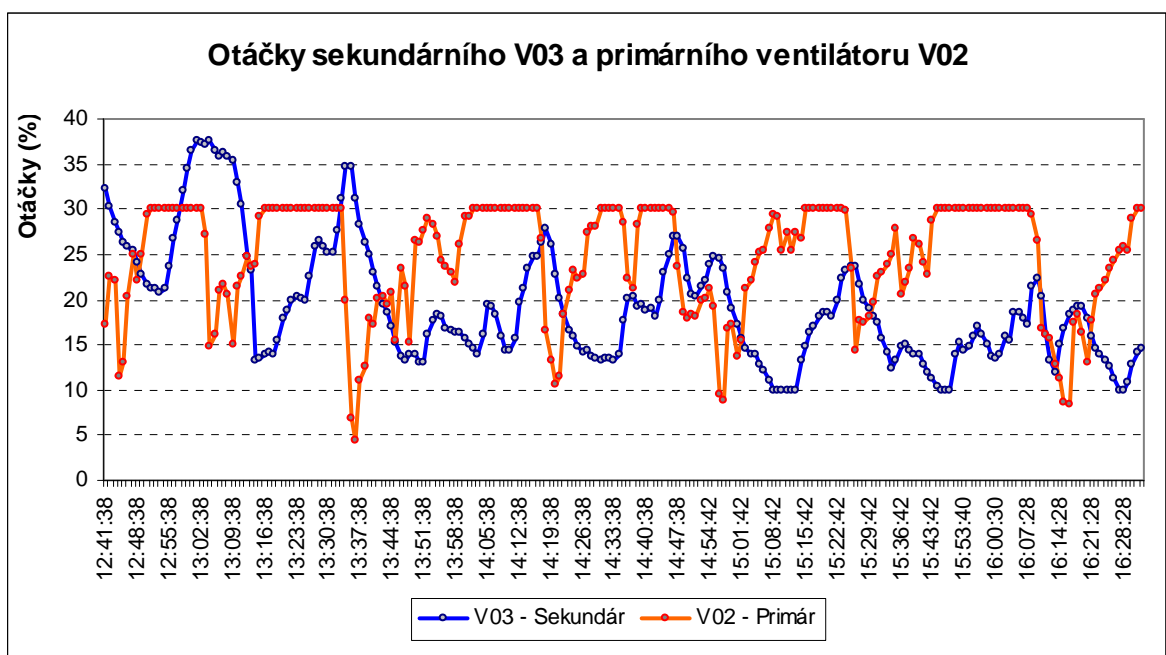
6.3 Spalování dřevní štěpky

Časový interval ustáleného provozu při měření dřevní štěpky je 12:40 až 16:32.



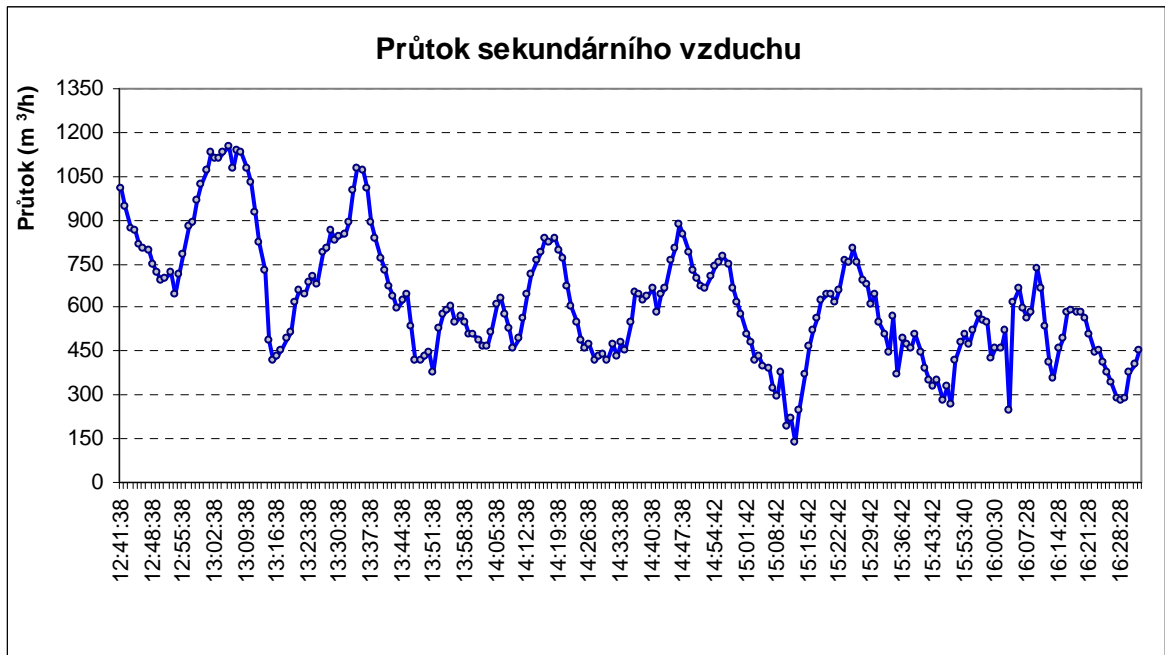
Obr. 6.1: Srovnání koncentrace CO ustáleného stavu se 120 % emisního limitu při spalování dřevní štěpky

Překročení limitu CO patrné z obr. 6.1 pravděpodobně ovlivnily malé otáčky sekundárního ventilátoru viz obr. 6.2.

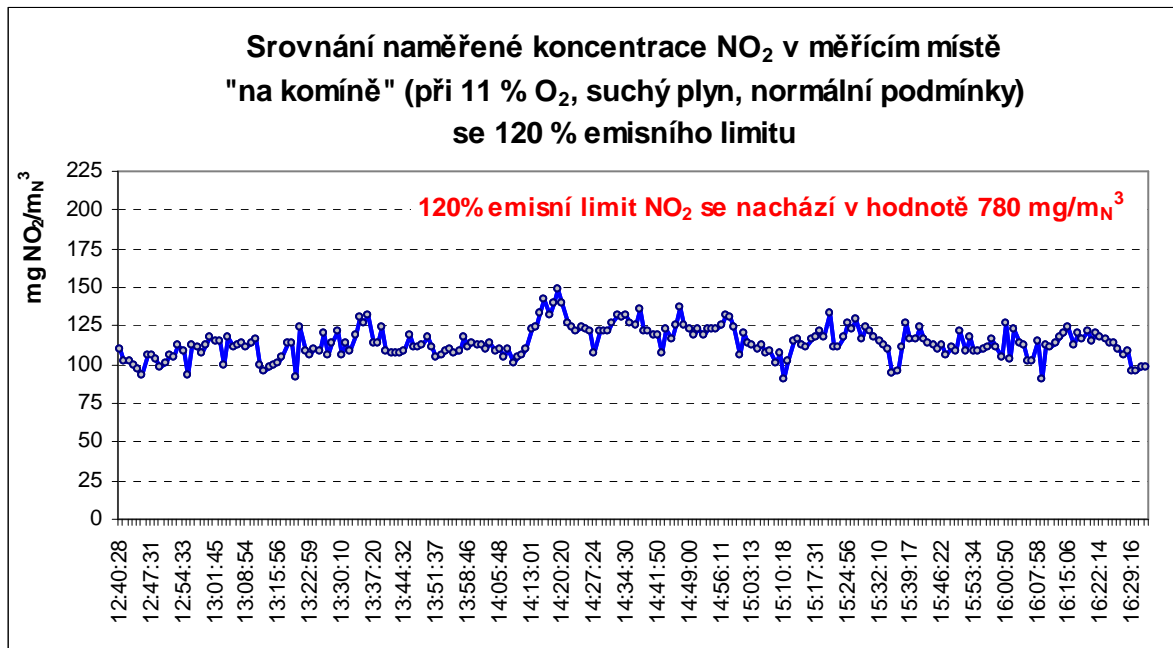


Obr. 6.2: Otáčky sekundárního a primárního ventilátoru při spalování dřevní štěpky

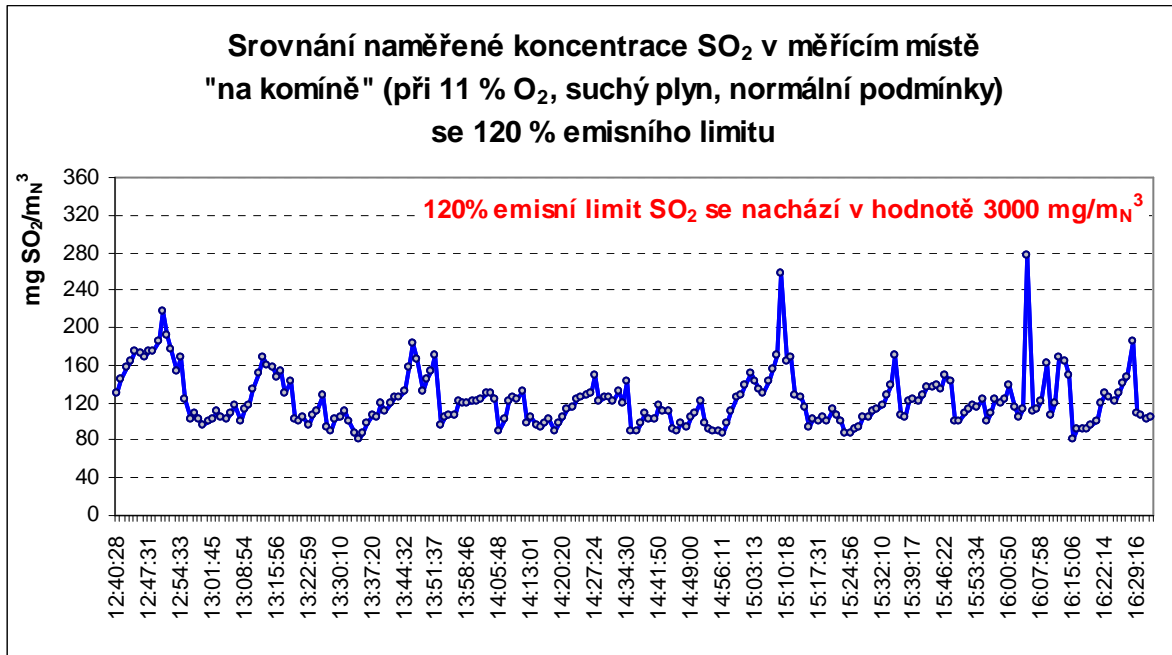
Malé otáčky ventilátoru snížily průtok sekundárního vzduchu (obr. 6.3), což vedlo ke zvýšení množství oxidu uhelnatého ve spalinách.



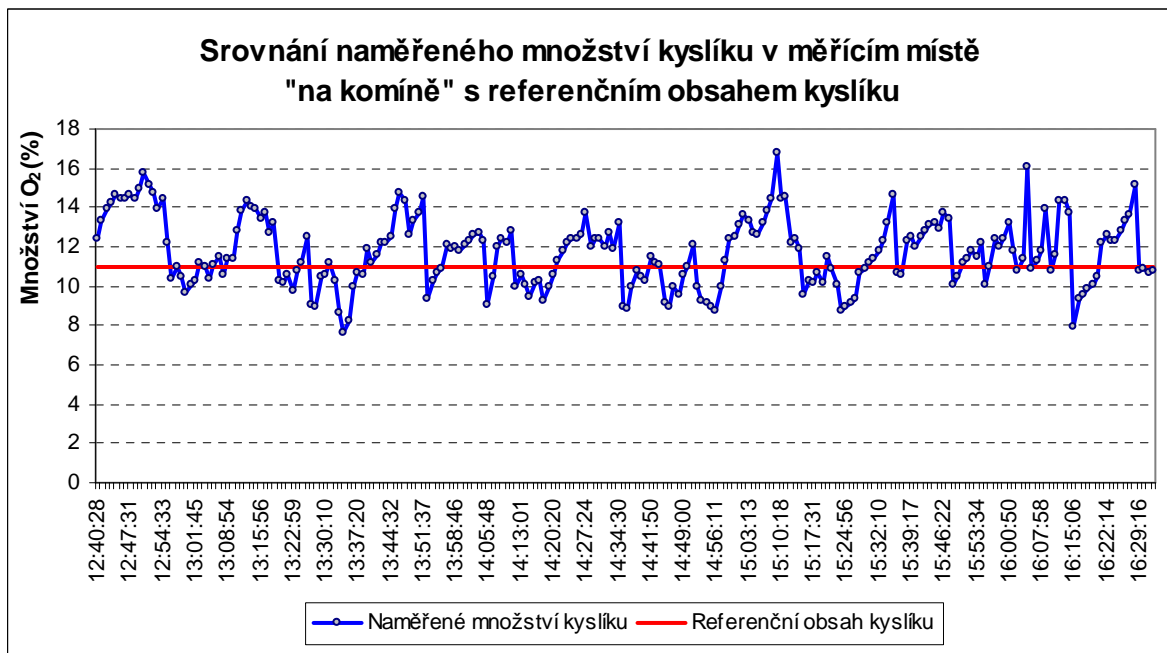
Obr. 6.3: Grafické znázornění průtoku sekundárního vzduchu při spalování dřevní štěpky



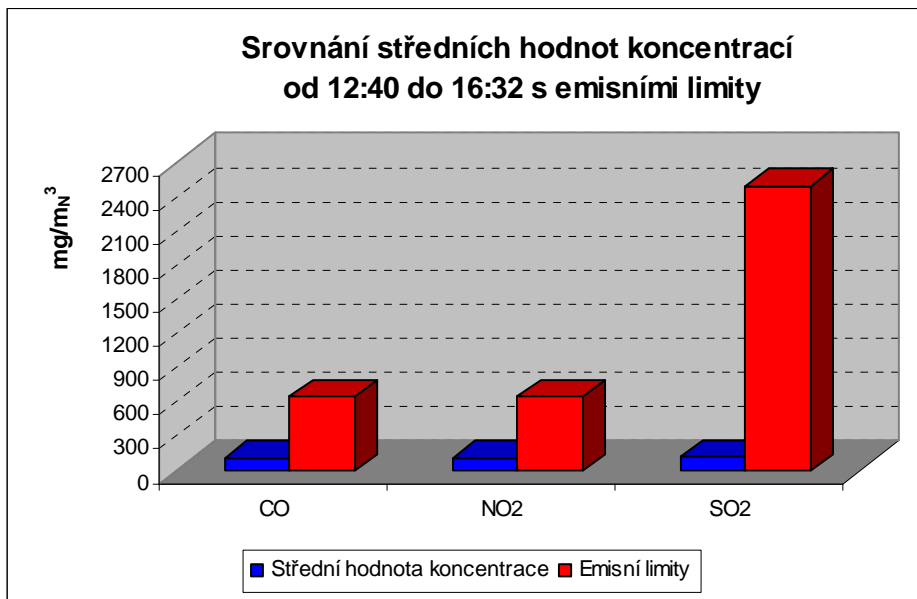
Obr. 6.4: Srovnání koncentrace NO₂ ustáleného stavu se 120 % emisního limitu při spalování dřevní štěpky



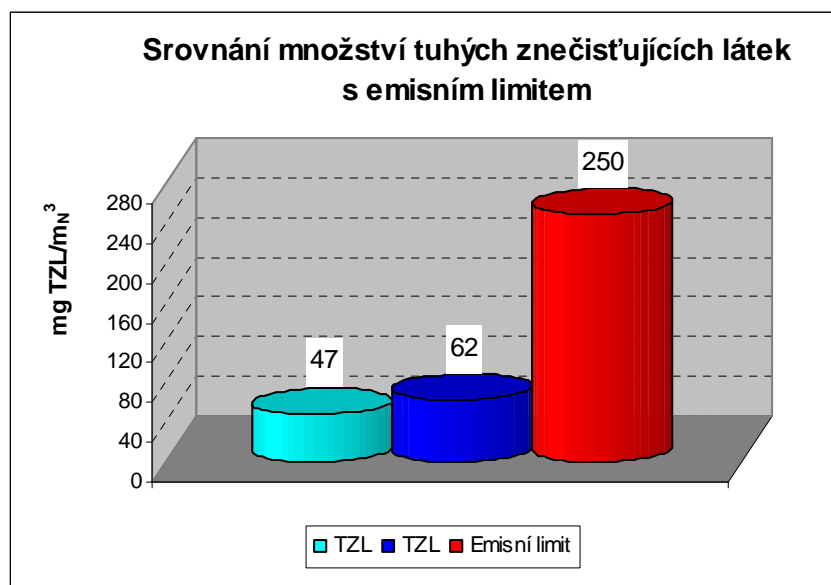
Obr. 6.5: Srovnání koncentrace SO₂ ustáleného stavu se 120 % emisního limitu při spalování dřevní štěpky



Obr. 6.6: Informativní srovnání naměřeného množství kyslíku s referenčním obsahem kyslíku při spalování dřevní štěpky



Obr. 6.7: Srovnání středních hodnot koncentrací ustáleného stavu s emisními limity při spalování dřevní štěpky



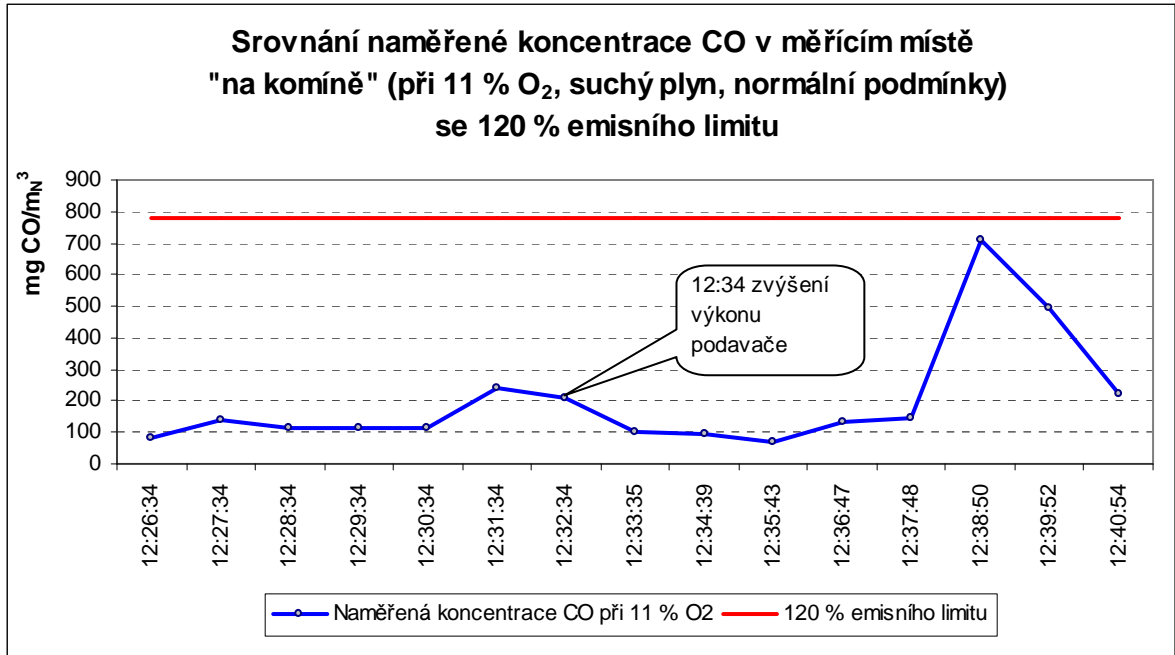
Obr. 6.8: Srovnání množství TZL s emisním limitem při spalování dřevní štěpky

6.3.1 Vyhodnocení splnění podmínek legislativy při spalování dřevní štěpky

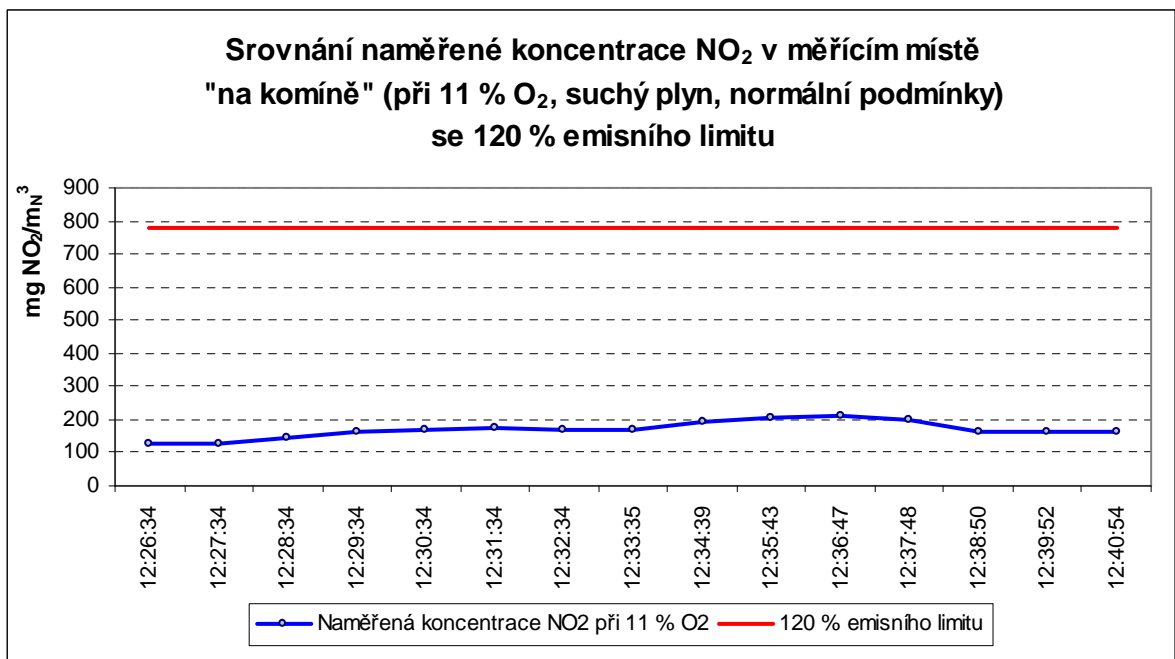
Porovnáním naměřených koncentrací znečišťujících látek v ustáleném úseku měření s emisními limity legislativy lze dospět k závěru, že veškeré naměřené koncentrace a jejich střední hodnoty splňují s dostatečnou rezervou emisní limity s výjimkou množství CO, který přesahuje zhruba o 270 mg/m³ 120% emisní limit v krátkém časovém úseku.

6.4 Spalování amaranthu

Při spalování amaranthu došlo k protržení filtru, a proto nebylo možné vyhodnotit a srovnat množství tuhých znečišťujících látek s emisním limitem. Časový interval ustáleného provozu při měření amaranthu je 12:26 až 12:40. Z důvodu toho, že se amaranth dostal do kotle až v druhé polovině celého měření a navíc v této druhé polovině došlo k zahlcení paliva v kotli, bylo možné stanovit jen krátký časový úsek ustáleného stavu.

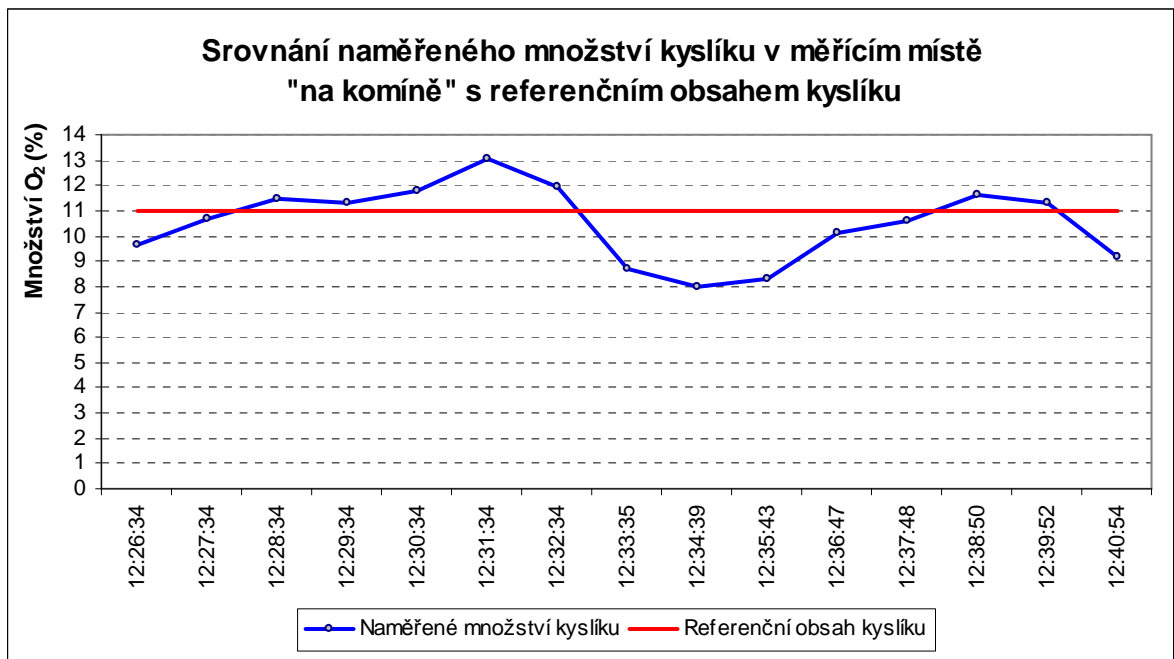


Obr. 6.9: Srovnání koncentrace CO ustáleného stavu se 120 % emisního limitu při spalování amaranthu

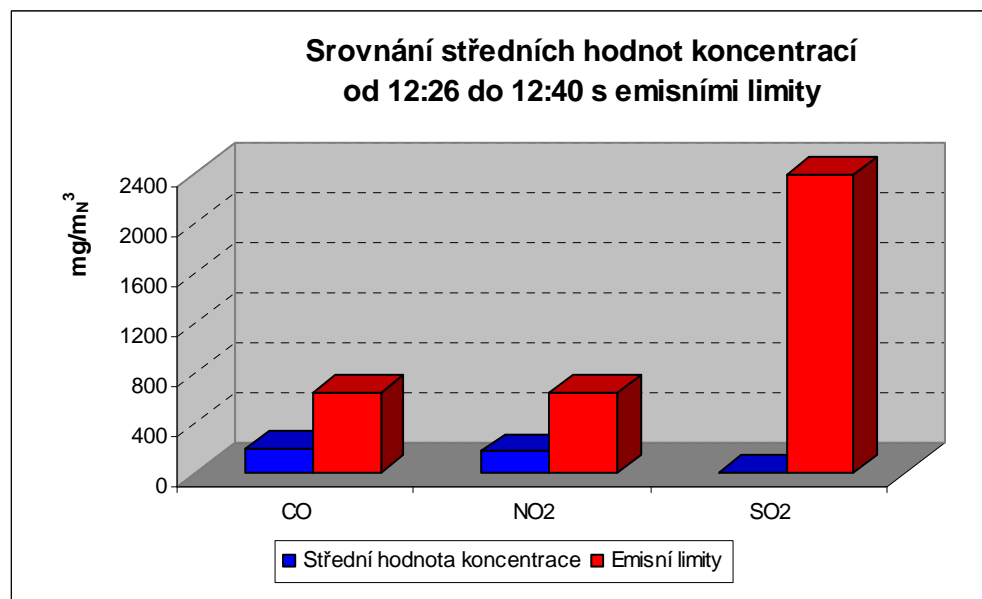


Obr. 6.10: Srovnání koncentrace NO₂ ustáleného stavu se 120 % emisního limitu při spalování amaranthu

Emise SO₂ nebyly naměřeny, což značí velmi nízký obsah síry v tomto palivu, viz tab. 5.2.



Obr. 6.11: Informativní srovnání naměřeného množství kyslíku s referenčním obsahem kyslíku při spalování amaranthu



Obr. 6.12: Srovnání středních hodnot koncentrací ustáleného stavu s emisními limity při spalování amaranthu

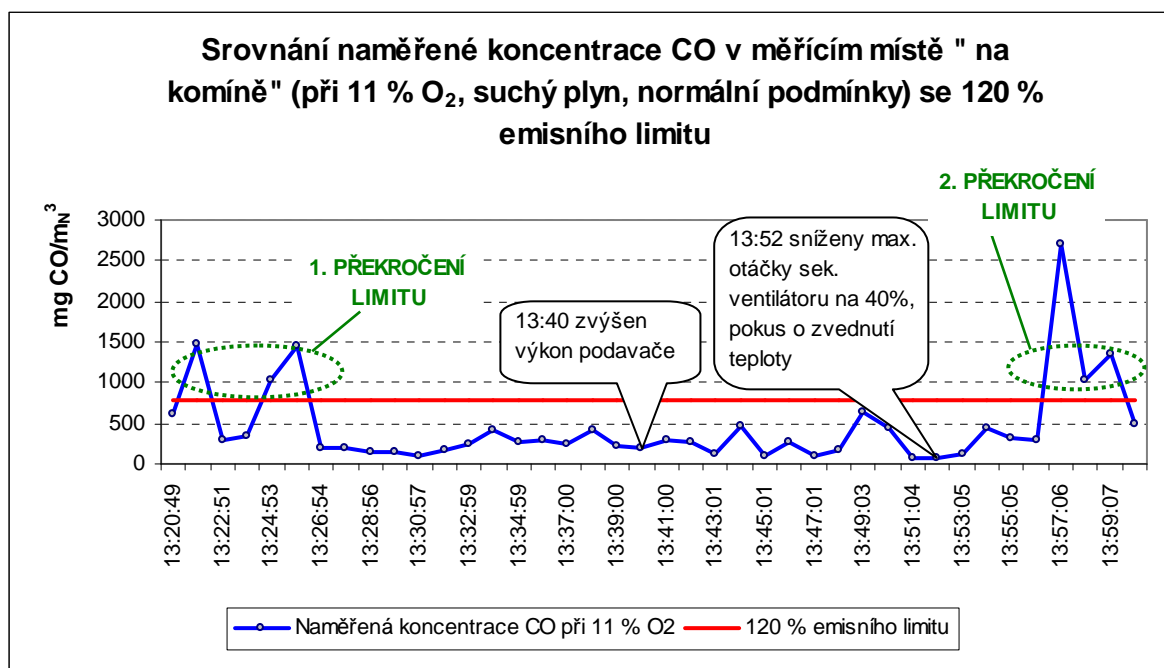
Při měření koncentrace TZL došlo k protržení filtru, a proto nebylo možné porovnat TZL s emisním limitem.

6.4.1 Vyhodnocení splnění podmínek legislativy při spalování amaranthu

Při ustáleném provozu jednotky byly splněny všechny emisní limity legislativy. Nebylo zde však možné vyhodnotit TZL. Emisní koncentrace SO₂ nebyly při spalování tohoto typu paliva naměřeny, což značí téměř nulový obsah síry v palivu.

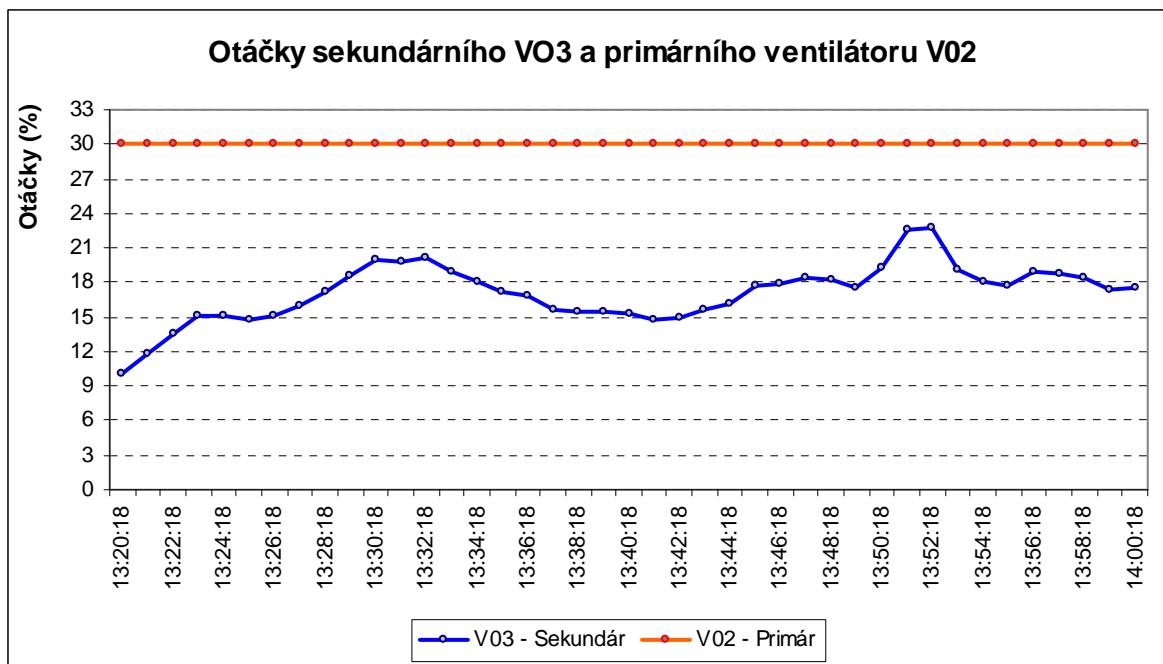
6.5 Spalování slámy

Časový interval ustáleného provozu při měření obilné slámy je 13:20 až 14:00.

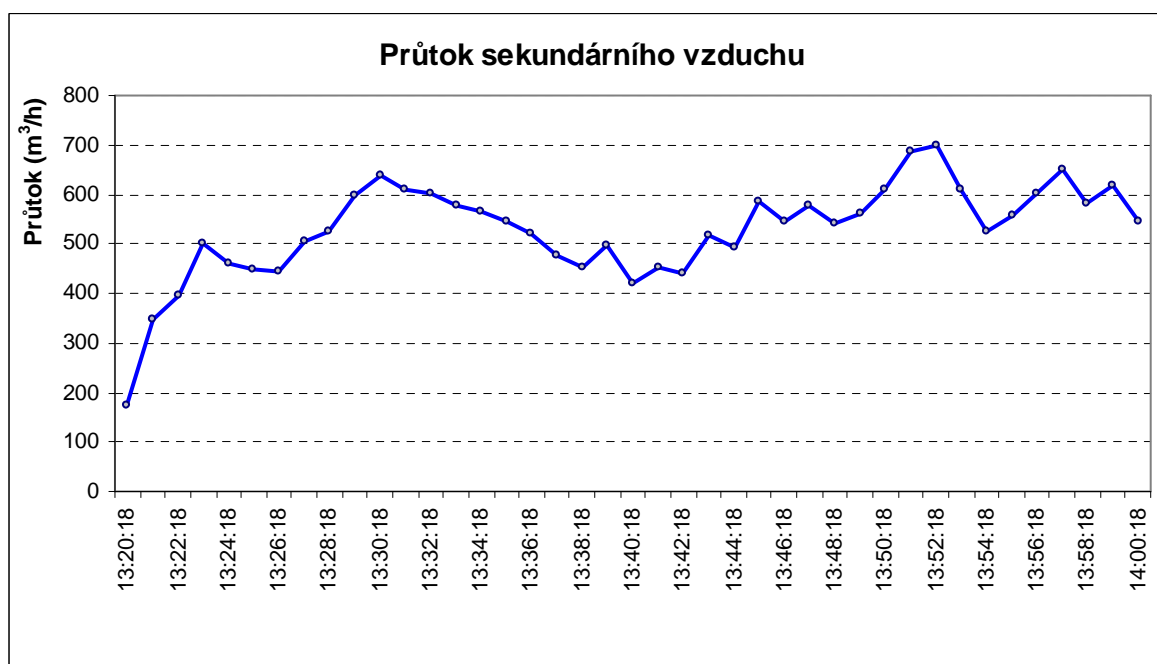


Obr. 6.13: Srovnání koncentrace CO ustáleného stavu se 120 % emisního limitu při spalování slámy

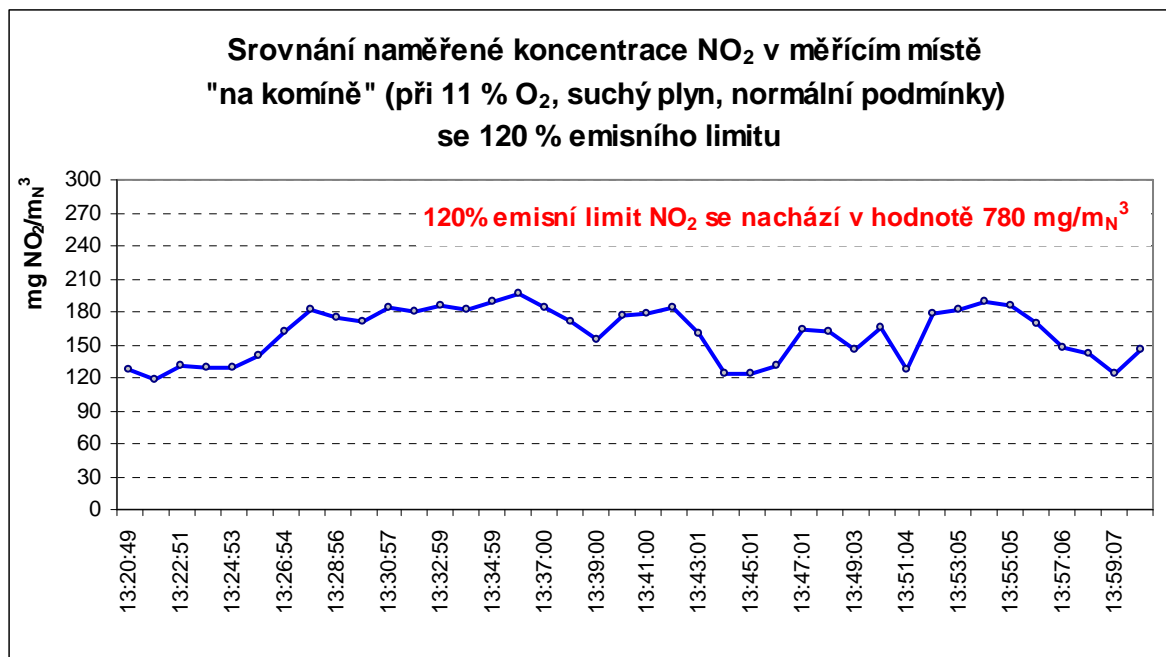
První i druhé překročení emisního limitu bylo způsobeno narůstající vrstvou paliva v primární komoře, která moc nehořela, ale spíše zplyňovala. Toto hromadění bylo důsledkem toho, že sláma nebyla rozdružená a nebylo možné zajistit zcela optimální dávkování paliva. Při prvním překročení se projevil pravděpodobně i vliv nízkých otáček sekundární ventilátoru, čímž byl snížen průtok sekundárního vzduchu (viz obr. 6.14, 6.15).



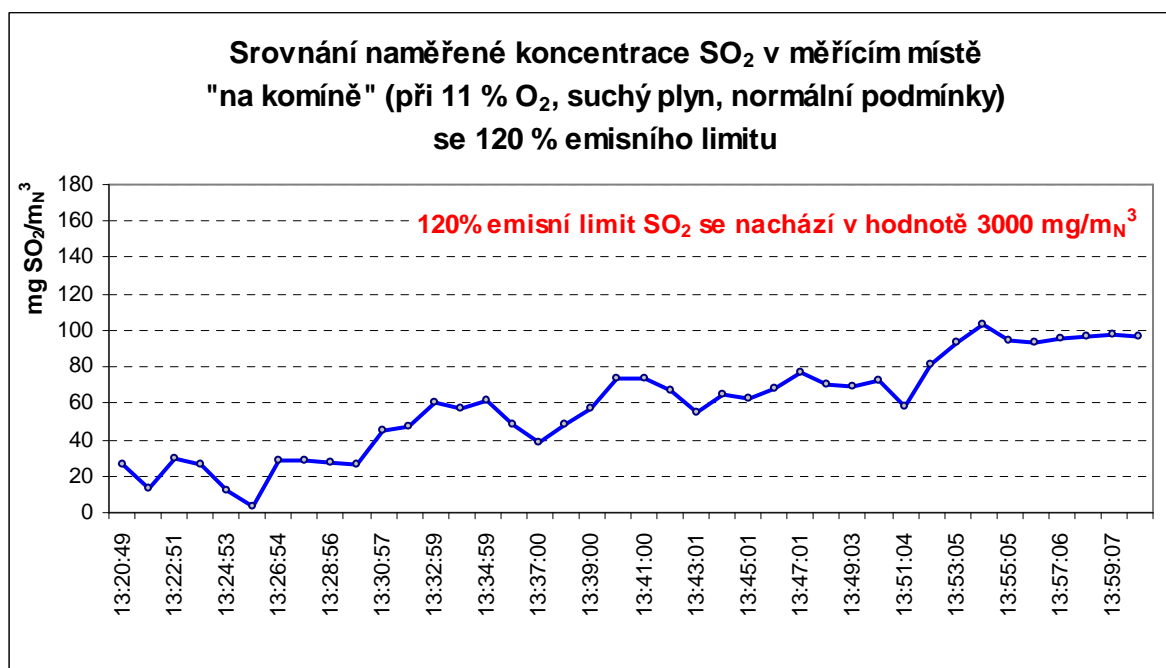
Obr. 6.14: Otáčky sekundárního a primárního ventilátoru při spalování slámy



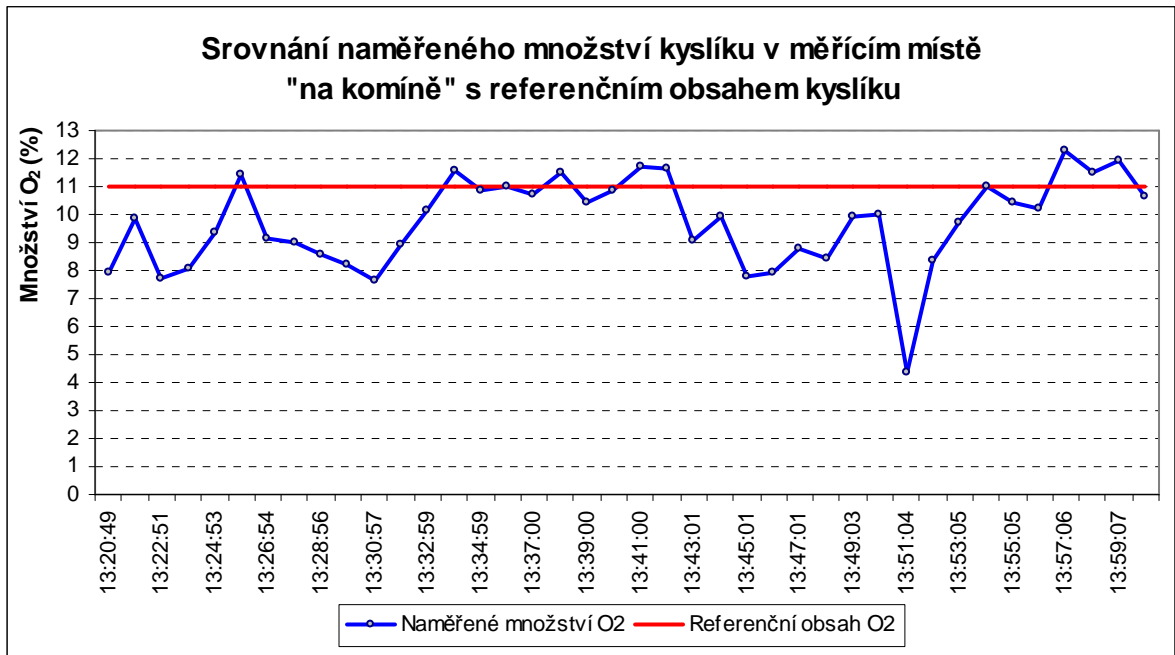
Obr. 6.15: Grafické znázornění průtoku sekundárního vzduchu při spalování slámy



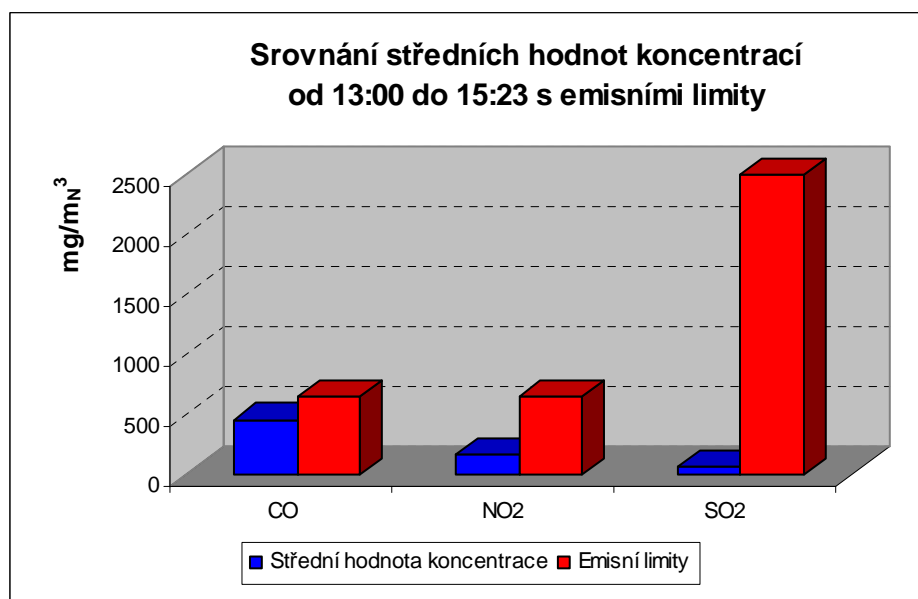
Obr. 6.16: Srovnání koncentrace NO₂ ustáleného stavu se 120 % emisního limitu při spalování slámy



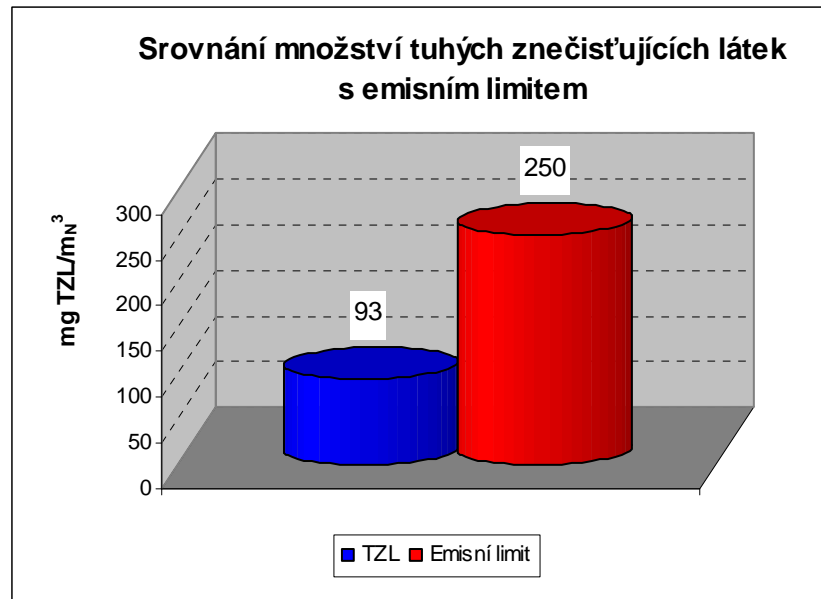
Obr. 6.17: Srovnání koncentrace SO₂ ustáleného stavu se 120 % emisního limitu při spalování slámy



Obr. 6.18: Informativní srovnání naměřeného množství kyslíku s referenčním obsahem kyslíku při spalování slámy



Obr. 6.19: Srovnání středních hodnot koncentrací ustáleného stavu s emisními limity při spalování slámy



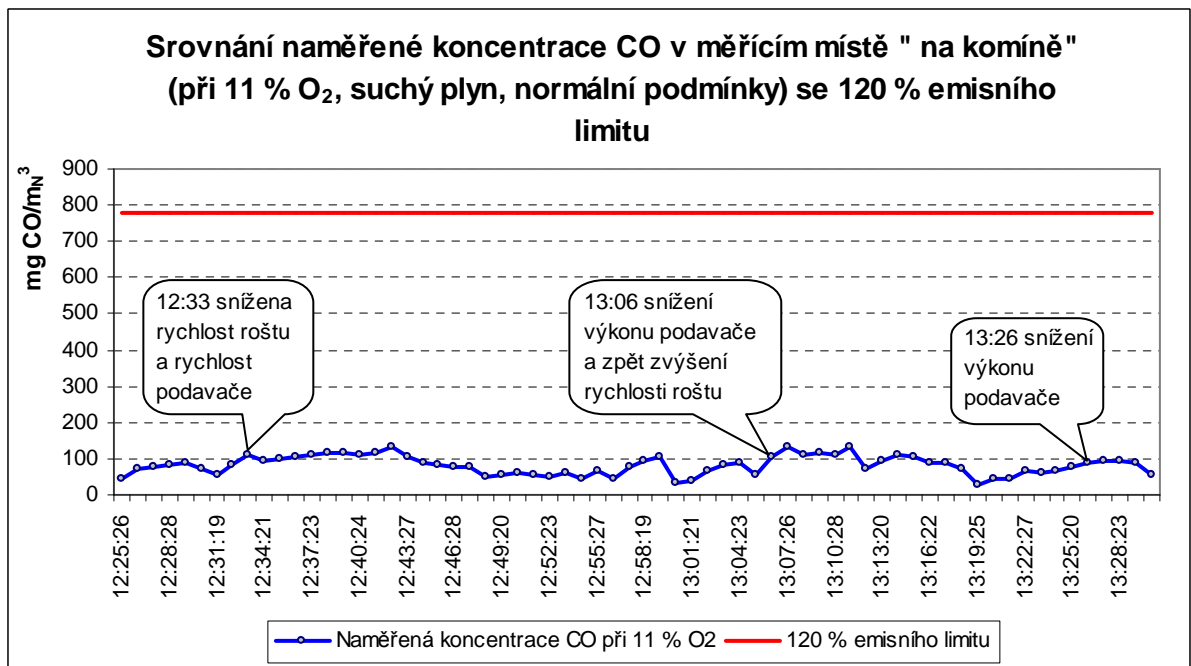
Obr. 6.20: Srovnání množství TZL s emisním limitem při spalování slámy

6.5.1 Vyhodnocení splnění podmínek legislativy při spalování slámy

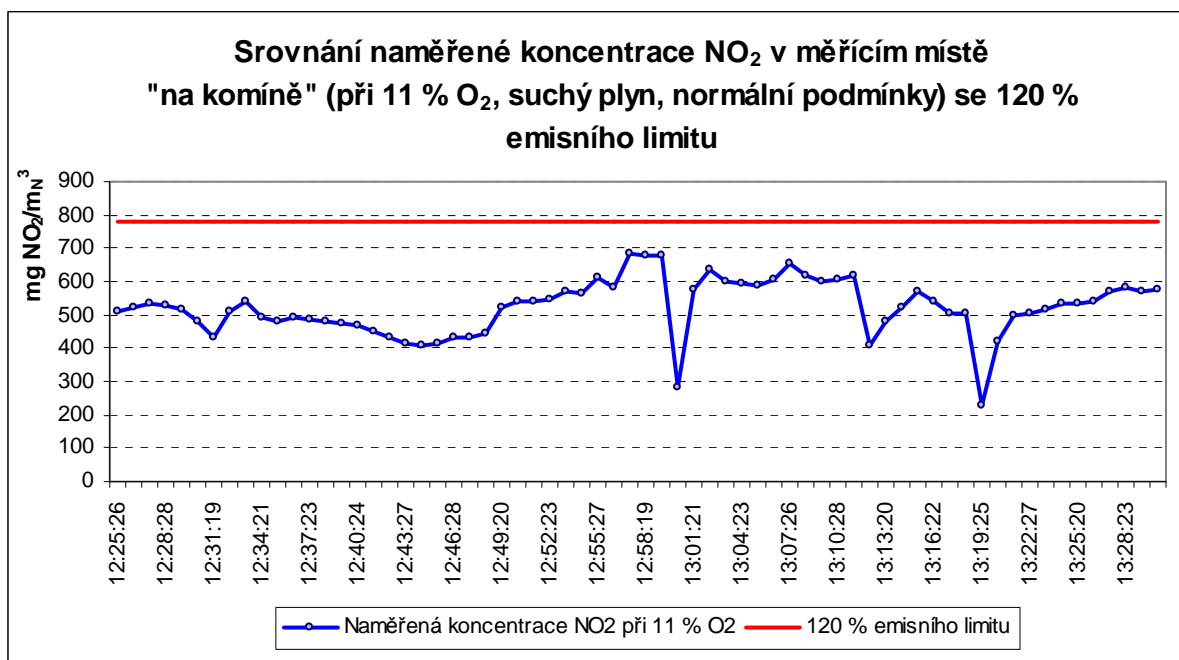
Vyhodnocením naměřených koncentrací znečišťujících látek v ustáleném rozsahu měření s emisními limity lze konstatovat, že koncentrace NO_2 , SO_2 plní s dostatečnou rezervou 120% emisní limity s výjimkou emisí CO , které překročily limit z výše uvedených důvodů. Střední hodnoty koncentrací a TZL vyhovují legislativním podmínkám.

6.6 Spalování řepkových pokrutin

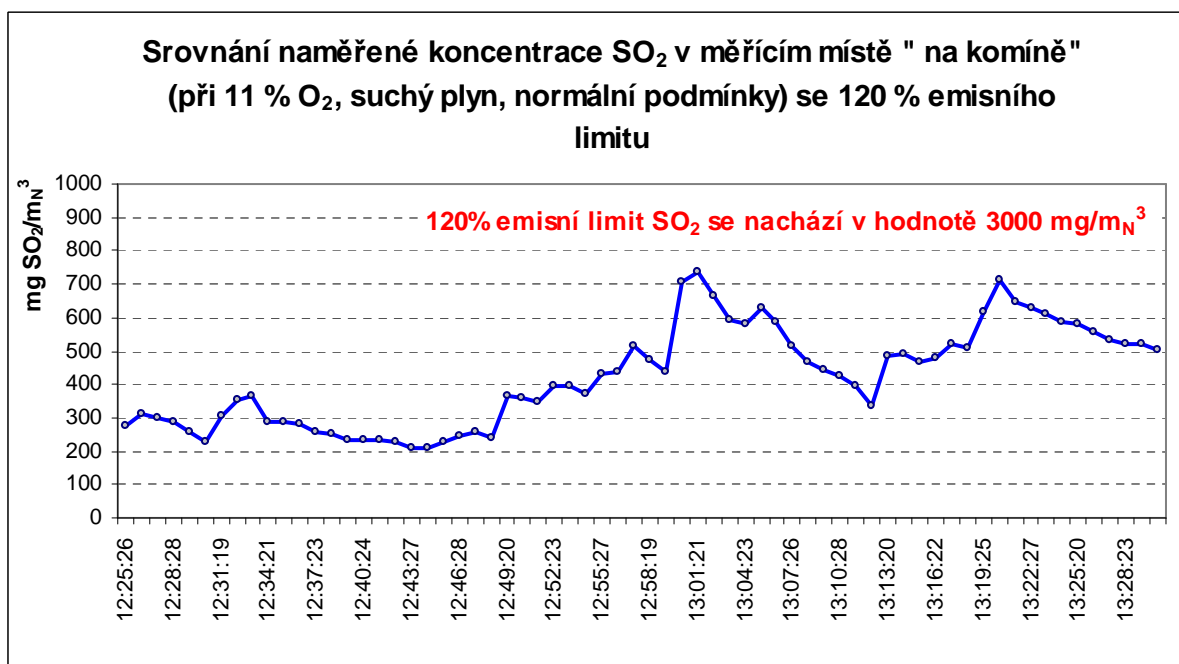
Časový interval ustáleného provozu při měření řepkových pokrutin je 12:25 až 13:30.



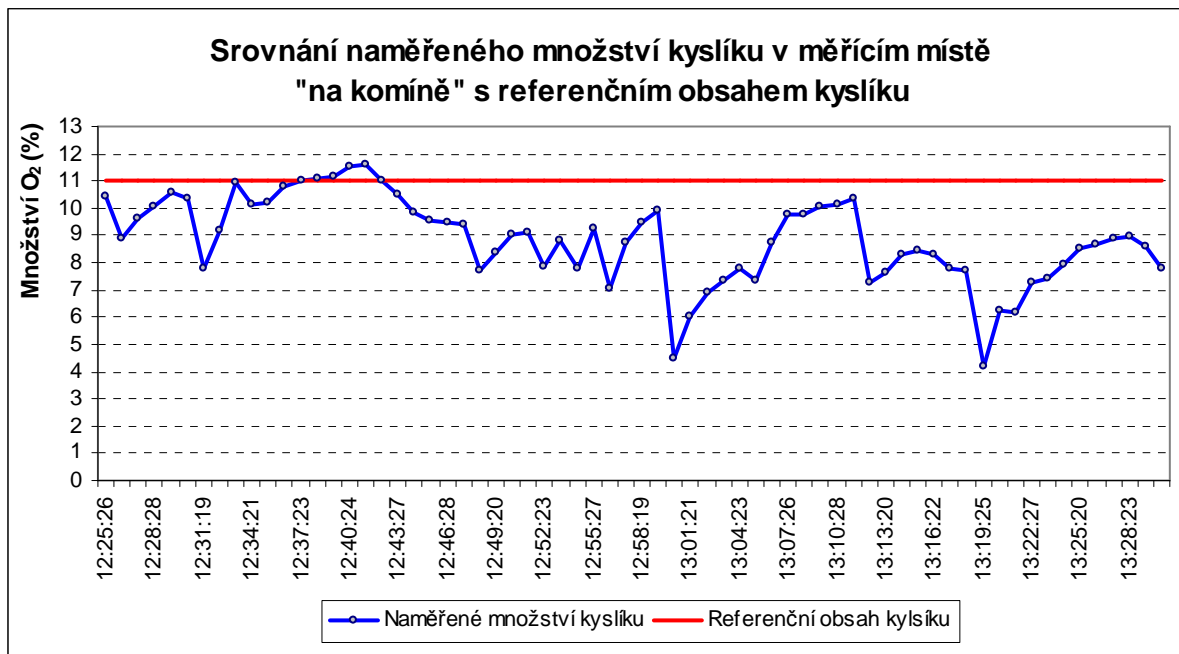
Obr. 6.21: Srovnání koncentrace CO ustáleného stavu se 120 % emisního limitu při spalování pokrutin



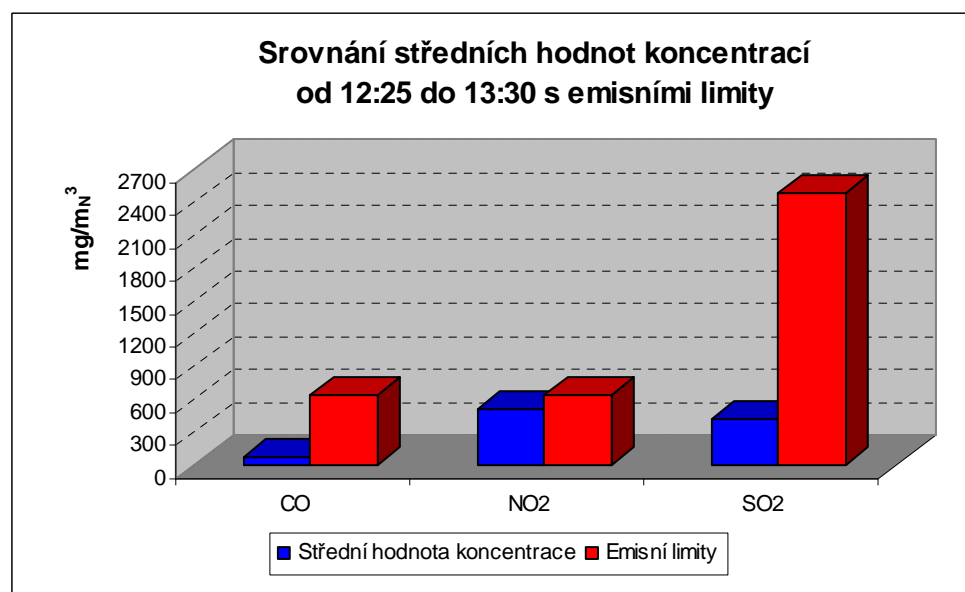
Obr. 6.22: Srovnání koncentrace NO₂ ustáleného stavu se 120 % emisního limitu při spalování pokrutin



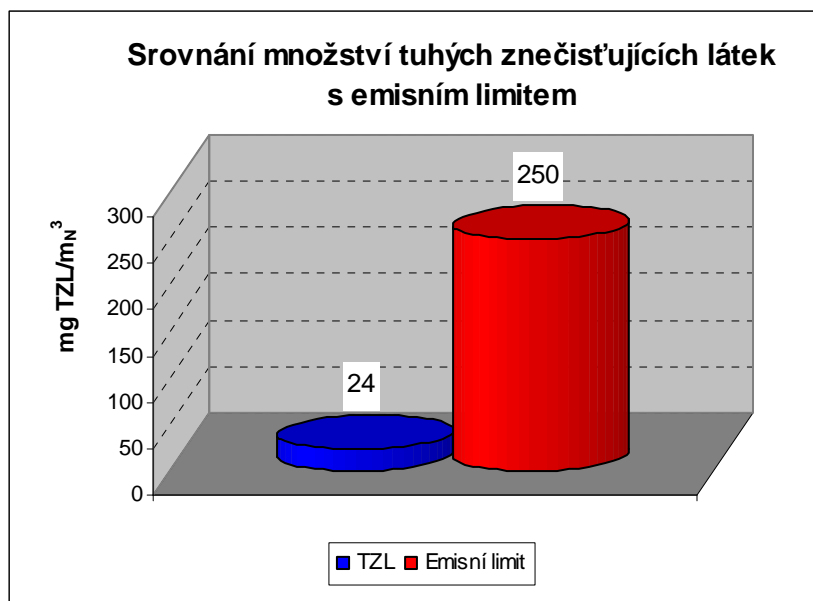
Obr. 6.23: Srovnání koncentrace SO₂ ustáleného stavu se 120 % emisního limitu při spalování pokrutin



Obr. 6.24: Informativní srovnání naměřeného množství kyslíku s referenčním obsahem kyslíku při spalování pokrutin



Obr. 6.25: Srovnání středních hodnot koncentrací ustáleného stavu s emisními limity při spalování pokrutin



Obr. 6.26: Srovnání množství TZL s emisním limitem při spalování slámy

6.6.1 Vyhodnocení splnění podmínek legislativy při spalování pokrutin

Z porovnání naměřených emisí v ustáleném úseku měření s limity legislativy lze vyvodit závěr, že všechny koncentrace plní 120 % emisního limitu a u CO s SO₂ je tento limit plněn s dostatečně velkou rezervou. Střední hodnoty koncentrací a TZL vyhovují emisním limitům legislativy.

6.7 Zhodnocení emisních měření

Emisní poměry u sledovaných škodlivin jsou obecně ovlivněny především neustáleným chodem experimentální jednotky, což s sebou nese negativní dopad na emise škodlivých látek. Proto byly vybrány z jednotlivých měření reprezentativní časové intervaly, v nichž byly měřeny všechny důležité procesní veličiny, a v těchto intervalech bylo provedeno emisní vyhodnocení v souladu s legislativními požadavky pro kotle středních výkonů. Další důležitou oblastí ovlivňující významně spalovací proces je kvalita biomasového paliva, která často souvisí s jeho nevhodným skladováním.

Nejlépe z hlediska splnění podmínek legislativy u ustálených úseků měření lze hodnotit měření ze dne 19.11., kde byl spalován amaranth. Nebyly zde překročeny žádné emisní limity.

Nejhůře při vyhodnocení u ustálených úseků dopadlo měření ze dne 20. 11. při spalování slámy, kde byl překročen 120% limit koncentrace oxidu uhelnatého.

Množství tuhých znečišťujících látek všech měření vyhovuje z hlediska legislativy, protože nedošlo k překročení emisního limitu. U spalování amaranthu nebylo možné TZL hodnotit, protože zde došlo k protržení filtru.

7. ZHODNOCENÍ TESTOVANÝCH PALIV

Při spalování dřevní štěpky se nevyskytly žádné problémy spojené s kvalitou hoření. Její oxidace probíhala rychle a v celém svém objemu, což bylo způsobeno především jejím nízkým obsahem vody, velkou výhřevností a také vysokým obsahem kyslíku. A jelikož dřevní štěpka neobsahuje velké množství dusíku, síry či uhlíku, které by negativně ovlivnilo množství emisí, jeví se jako velmi dobré biopalivo pro energetické využití. Na obr. 7.1 až 7.4 jsou zobrazeny všechny čtyři paliva, která byla použita při tomto experimentálním měření.

Spalovaný amaranth měl velice nízkou výhřevnost, vysoký obsah vody a nízké množství kyslíku. Vliv těchto negativů se při spalování amaranthu projevil pomalým hořením, a tedy ve výsledku nízkou energetickou hodnotou. Velice kladné jsou jeho výsledky z vyhodnocení emisí, což je způsobeno jeho nízkým obsahem síry a uhlíku.

U spalování obilné slámy byl problém s dopravou otýpek do kotle. Sláma byla nerozdružená, což mělo za následek spíše zplyňování paliva než jeho hoření. Zplyňování se projevovalo ohořelou vrstvou nadávkovaného paliva, která kryla spodní vrstvu a znesnadňovala tak její hoření. Výsledkem zplyňování je velké množství popela na roštu primární komory, které se musí shrabovat do popelníku. Velkou roli při spalování hraje i skladování paliva. Při nesprávném skladování dochází k heterogennímu složení a ke zvýšení celkové vlhkosti. Sláma obsahovala relativně vysoké množství vody, což bylo způsobeno nesprávným skladováním. Bylo tedy zapotřebí delší zdržení ve spalovací komoře a velký žár, aby došlo k vysušení paliva před vyhořením. Vyžadované zdržení paliva bylo tak velké, že se muselo dávkovat ručně, aby bylo docíleno dostatečného zpomalení přísunu paliva do kotle. Množství vody ve slámě také ovlivnilo zvýšení emisí v koncových spalínách.

Spalování řepkových pokrutin probíhalo velmi pomalu, což bylo způsobeno pravděpodobně vysokým obsahem vodíku. Pomalé hoření probíhalo i přesto, že pokrutiny měly velmi velkou výhřevnost až 18 MJ/kg. Při porovnání výsledků naměřených koncentrací SO₂ a NO₂ s předchozími druhy paliva je patrné, že zde docházelo k vyšší produkci těchto emisí. To bylo důsledkem složení paliva s vysokým obsahem síry a dusíku.



Obr. 7.1: Spalovaná dřevní štěpka



Obr. 7.2: Spalovaný amaranth



Obr. 7.3: Spalovaná obilná sláma



Obr. 7.4: Spalované řepkové pokrutiny (v kanále)

8. ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá vyhodnocením experimentálně naměřených dat na prototypu jednotky pro energetické využití různých druhů biomasy o výkonu 1 MW. Hlavním cílem je přitom grafické zpracování ve formě přehledných tabulek a grafů s následným popisem trendů důležitých provozních charakteristik a docílení diskuze vzájemných souvislostí.

Úvodní kapitola je věnována legislativě stacionárních zdrojů, kde jsou uvedeny platné emisní limity na území ČR a podmínky provozování spalovacích zdrojů znečišťování ovzduší.

Naměřené koncentrace CO, SO₂, NO_x a tuhých znečišťujících látek se musely přepočítat na vztažné podmínky legislativy, aby bylo možné je porovnat s emisními limity. Tyto výpočty jsou součástí druhé kapitoly.

Následující kapitola pojednává o problematice energetického využití biomasy v kotlích středních výkonů. V úvodní části jsou zmíněny závazky České republiky vůči Evropské unii v oblasti ochrany životního prostředí. Dále je zde seznámení se středními spalovacími zdroji a také s vývojem výkupních cen paliv. V závěru se tato část práce zabývá vlivy fyzikálních vlastností a chemických prvků biomasy na průběh spalování a produkci emisí. V páté kapitole jsou uvedeny místa, rozsah měření a charakteristiky použitého paliva.

Byly zpracovány přehledné grafy naměřených koncentrací u jednotlivých měření s popisem a vzájemnou diskuzí trendů. Dále byly vyhodnoceny výsledky a splnění legislativních podmínek všech měření.

V závěru této diplomové práce je celkové zhodnocení testovaných druhů paliv z hlediska průběhu spalování a produkce emisí.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KADRNOŽKA, J. *Energie a globální oteplování: Země v proměnách při opatřování energie*. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 2006. 189 s. ISBN 80-214-2919-4.
- [2] Zákon č. 86/2002 Sb., zákon o ochraně ovzduší. Dostupné také z <<http://www.env.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/354aa3c45fd4eb2cc12570280034a881?OpenDocument>>.
- [3] Nařízení vlády č. 352/2002 Sb., kterým se stanoví emisní limity a další podmínky provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší. Dostupné také z <<http://www.env.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/d328d2b607a535abc12570280037bea5?OpenDocument>>.
- [4] Příloha k nařízení vlády č. 352/2002 Sb., kterým se stanoví emisní limity a další podmínky provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší. Dostupné také z <<http://www.env.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/d328d2b607a535abc12570280037bea5?OpenDocument>>.
- [5] Příloha k nařízení vlády č. 146/2007 Sb., o emisních limitech a dalších podmínkách provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší. Dostupné také z <<http://www.env.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/362eb9e24eac4fe5c1257313003fcf03?OpenDocument>>.
- [6] BÉBAR, L. *Základy chemie v příkladech* [online]. Adobe Systems, listopad 2002 [cit. 2008-02-03]. Dostupné z <<http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/Chemie.pdf>>.
- [7] Příloha k nařízení vlády č. 354/2002 Sb., kterým se stanoví emisní limity a další podmínky pro spalování odpadu. Dostupné také z <<http://www.env.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/93f1a79955f5a9e4c125702800361ff8?OpenDocument>>.
- [8] PAVELEK, M. a kol. *Termomechanika*. 3., přeprac. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 2003. 284 s. ISBN 80-214-2409-5.
- [9] *Energetické centrum* [online]. 2007? [cit. 2008-01-20]. Dostupné z <http://www.energetik.cz/hlavni3.html?m1=/clanky/prepocety_zp.html>.
- [10] *Aplikovaná fyzika: Důležité pojmy, veličiny a symboly* [online]. 2006 [cit. 2008-01-22]. Dostupné z <<http://if.vsb.cz/Kontakt/Hlavacova/termodynamika2006.doc>>.
- [11] OBERNBERGER, I. *Decentralized biomass combustion: State of the art and future development*. Issue 1. Great Britain: Elsevier Science. 1998. pp. 33-56(24). Volume 14. Austria: Technical University of Graz. PII: S0961-9534(97)00034-2.
- [12] VAN LOO, S.; KOPPEJAN, J. *Handbook of Biomass Combustion and Co-Firing*. IEA Bioenergy Task 32: Biomass Combustion and Cofiring. Twente University Press. 2002. 348 s. ISBN 9036517737.

- [13] JOSSART, J.M. *Stanovisko AE BIOM k dokumentu Bílá kniha o obnovitelných zdrojích energie a k dokumentu AGENDA 2000* [online]. duben 1998. Praha: České sdružení pro biomasu - CZ Biom. [cit. 2008-02-20]. Dostupné z <http://stary.biom.cz/sborniky/sb98PrPetr/sb98PrPetr_stanovisko_AEBIOM.html>. ISBN: 80-238-2246-2.
- [14] *Atlas zřízení využívajících obnovitelné zdroje energie* [online]. 2008? [cit. 2008-02-03]. Dostupné z <<http://calla.ecn.cz/atlas/>>.
- [15] *America.gov* [online]. May 2007 [cit. 2008-02-05]. Dostupné z <<http://www.america.gov/st/washfile-english/2007/May/20070531171625saikceinawz0.4640924.html>>.
- [16] *Vše o Evropské unii* [online]. říjen 2006 [cit. 2008-02-03]. Dostupné z <<http://www.euroskop.cz/19629810/clanek-zpravodajstvi/brusel-chvali-cesko-zasnovani-emisi/>>.
- [17] *Zpráva o plnění indikativního cíle výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů za rok 2004* [online]. Adobe Systems, září 2005 [cit. 2008-02-25]. Dostupné z <<http://download.mpo.cz/get/26677/28591/313254/priloha001.pdf>>.
- [18] *Náklady na energetické zdroje středních výkonů* [online]. Energie z biomasy V - Sborník příspěvků ze semináře. 2006 [cit. 2008-02-03]. Dostupné z <http://oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa_v/biomasa_v.html>.
- [19] *Biomasa* [online]. duben 2002 [cit. 2008-02-03]. Dostupné z <<http://sf.zcu.cz/rocnik07/cislomm/1-6def.html>>.
- [20] *Pro atom web* [online]. březen 2006 [cit. 2008-02-03]. Dostupné z <<http://proatom.luksoft.cz/view.php?cisloclanku=2006031801>>.
- [21] PETŘÍKOVÁ, V.; PUNČOCHÁŘ, M. Biomasa – alternativní palivo z hlediska chemického složení. *EDUCO* [online]. říjen 2007 [cit. 2008-02-11]. Dostupné z <<http://www.scienceshop.cz/default.asp?ch=393&typ=1&val=64436&ids=0>>.
- [22] BERANOVSKÝ, J. a kol. Energie biomasy. *EkoWATT* [online]. 2007 [cit. 2008-03-22]. Dostupné z <<http://www.ekowatt.cz/index.php?id=121>>.
- [23] PETŘÍKOVÁ, V. Energetická biomasa z polních kultur. *Biom.cz* [online]. květen 2005 [cit. 2008-03-08]. Dostupné z <<http://biom.cz/index.shtml?x=235001>>. ISSN: 1801-2655.
- [24] SLADKÝ, V. Biomasa pro energetické využití a její palivové náklady. *TZB-info* [online]. květen 2003 [cit. 2008-02-03]. Dostupné z <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=1488&h=3>>. ISSN 1801-4399.
- [25] SEIFERTO VÁ, E. Elektřinu a uhlí zdražila nová daň. *Internetový zemědělský portál* [online]. leden 2008 [cit. 2008-02-03]. Dostupné z <http://www.agroweb.cz/Elektřinu-a-uhli-zdražila-nova-dan_s43x29615.html>.

- [26] „Směrnice Ministerstva životního prostředí o poskytování finančních prostředků ze Státního fondu životního prostředí ČR“ Dostupné také z <[http://www.env.cz/C1256D3D006B1934.nsf/\\$pid/MZPRPFOS5H21](http://www.env.cz/C1256D3D006B1934.nsf/$pid/MZPRPFOS5H21)>.
- [27] TAUCHMAN, D. Biomasa v soustavách měst a obcí - projekty a zkušenosti (III). *TZB-info* [online]. duben 2007 [cit. 2008-02-03]. Dostupné z <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4061&h=205&pl=49>>. ISSN 1801-4399.
- [28] *Stavebnictví a interiér* [online]. leden 2008 [cit. 2008-02-15]. Dostupné z <<http://si.vega.cz/clanky/ceny-uhli-2008-vliv-ekologicke-dane/>>.
- [29] *TZB-info* [online]. 2008? [cit. 2008-02-03]. Dostupné z <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=16&i=269>>. ISSN 1801-4399.
- [30] *Požadavky na bioenergetické suroviny a dodávky energie z energetických zdrojů* [online]. Adobe Systems, 2005 [cit. 2008-02-22]. Dostupné z <http://www.vuzt.cz/doc/rocenka2005/bioenrg_suroviny.pdf?menuid=100>.
- [31] URBAN, L.; MASA V.; Pavlas M.; Stehlik P. Novel type of technology for biomass utilization. Brno University of Technology: UPEI VUT. 2008?.
- [32] *Negativní vlivy energetického využití biomasy - emise* [online]. Energie z biomasy V - Sborník příspěvků ze semináře. 2006 [cit. 2008-02-05]. Dostupné z <http://oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa_v/biomasa_v.html>.
- [33] VÁŇA, J. Spalování biomasy s ohledem na životní prostředí a zdraví lidí. *Biom.cz* [online]. leden 2003 [cit. 2008-03-20]. Dostupné z: <<http://biom.cz/index.shtml?x=114825>>. ISSN: 1801-2655.

PŘÍLOHY

Příloha 1 Výsledky emisních měření a data řídicího systému v programu MS Excel