

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
AGRONOMICKÁ FAKULTA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

BRNO 2017

Bc. MONIKA ZBOJKOVÁ

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav techniky a automobilové dopravy



Hodnocení provozu kotle na biomasu z pohledu emisí

Diplomová práce

Vedoucí práce:

doc. Ing. Martin Fajman, Ph.D.

Vypracovala:

Bc. Monika Zbojková

Brno 2017

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: **Hodnocení provozu kotle na biomasu z pohledu emisí** vypracoval/a samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych tímto poděkovala vedoucímu své diplomové práce panu Ing. Martinu Fajmanovi, Ph.D. za odborné rady, připomínky, vstřícný přístup, konzultace a odborné vedení při zpracování této diplomové práce.

Zároveň děkuji svým rodičům za velkou podporu při celém mém studiu, svému manželovi za velkou trpělivost a všem, kteří mě podporují nebo se jakýmkoliv způsobem podíleli na vzniku mé diplomové práce.

Abstrakt

Práce je zaměřena na hodnocení provozu kotle na biomasu z hlediska emisí. Zahrnuje popis a vlastnosti využití energetické biomasy v termochemických transformacích a zabývá se především spalováním biomasy v kotlích pro domácnosti, řeší jeho výhody a nevýhody. Teoretická část dále popisuje rozdělení kotlů na spalování biomasy. Praktická část práce je zaměřena na provedení sledování konkrétních provozních režimů kotle na biomasu a vyhodnocení získaných dat. Je zde popsáno vyhodnocení provozu kotle z pohledu energetického využití a sledování jednotlivých polutantů z hlediska lidského zdraví a ochrany ovzduší. V závěru je nastíněn pohled na lokální spalování v obcích.

Klíčová slova: biomasa, emise, kotel, spalování

Abstrakt

This thesis is aimed to evaluate the biomass combustion boiler service in the emission point of view. There is summarized description and features of biomass energy utilization in thermochemical transformations as well as in-the-house use within solving of advantages and disadvantages. In theory part the biomass boiler distribution is described. The practical part is aimed to monitor and evaluate service modes of biomass boiler in the way of energetic use, individual pollutant monitoring especially in the human health and air protection. In the conclusion the municipality use is mentioned.

Keywords: biomass, emission, boiler, combustion

Obsah

1	Úvod.....	8
2	Cíl práce.....	9
3	Biomasa	10
3.1	Biomasa pro energetické účely	12
3.1.1	Odpadní biomasa ze zemědělské / rostlinné produkce	13
3.1.2	Odpadní dendromasa	13
3.1.3	Živočišná výroba a její odpady	14
3.2	Způsoby rozdělení druhů biomasy dle různých kritérií	14
3.2.1	Další možné členění biomasy	15
3.2.2	Rozdělení biomasy z hlediska původu.....	15
3.2.3	Rozdělení biomasy dle vlastností	15
4	Vlastnosti paliva biomasy	17
4.1	Struktura paliva biomasy.....	17
4.2	Granulometrie paliva.....	17
4.3	Vlhkost biomasy.....	18
4.4	Výhřevnost biomasy.....	18
4.5	Vlastnosti dřevní popeloviny	19
5	Technologické procesy pro energetické využití biomasy.....	20
	Termochemická přeměna biomasy (transformace).....	21
5.1	Spalování.....	21
5.1.1	Rozdělení kotlů na spalování biomasy	22
5.1.2	Zařízení pro spalování pevných paliv z biomasy.....	25
5.1.3	Spalovací proces v ohništi (krbových kamnech)	28
5.1.4	Výhody a nevýhody procesu spalování	29
5.2	Pyrolýza.....	30
5.2.1	Pyrolýza biomasy.....	31
5.3	Zplyňování	31
6	Možnosti energetického využití biomasy	33
6.1	Kusové dřevo	33
6.2	Pelety.....	34
6.3	Brikety.....	34
6.4	Využití biomasy v domácnostech	35

6.5	Výhody a nevýhody biomasy pro energetické využití.....	36
7	Znečišťující látky v ovzduší.....	38
7.1	Emise při spalování biomasy	39
	Mezi nejvýznamnější polutanty v ovzduší:	40
7.1.1	Oxidy síry	40
7.1.2	Oxidy dusíku.....	40
7.1.3	Oxid uhelnatý.....	41
7.2	Emisní třídy kotlů.....	41
8	Metodika práce	43
8.1	Popis poloautomatického kotle na spalování biomasy.....	43
8.1.1	Chladicí systém.....	45
8.1.2	Emisní analyzátor	46
8.2	Popis regulace a řídicího systému	46
8.3	Způsob vyhodnocení naměřených údajů.....	46
9	Výsledky	48
10	Závěr a diskuse	54
11	Literární přehled	56
12	Seznam obrázků.....	60
13	Seznam tabulek	62
14	Přílohy.....	63

1 Úvod

Už minimálně před dvěma desítkami let se začaly pěstovat rostliny na zemědělské půdě za účelem produkce biomasy k energetickému využití. V poslední době se čím dál více začínají vyvíjet a používat technologie, které jsou schopny transformovat jakoukoliv biomasu k energetickým účelům a částečně nahradit fosilní paliva, jejichž zásoby jsou odhadovány na několik stovek let. Fosilní paliva stále představují hlavní zdroj energie. Technologie přeměňující biomasu k energetickým účelům mají pozitivní vliv i na životní prostředí. Tyto technologie směřují ke snižování emisí skleníkových plynů, kvůli kterým dochází k oteplování planety Země, což vede ke klimatické změně. Obnovitelné zdroje přijímáme v různých formách, jako jsou sluneční energie, biomasa, energie vody a vln, energie větru. Z lidského hlediska budou jejich zásoby stálé. Není možné, aby došlo k jejich vyčerpání, poněvadž vznikají převážně energetickými přeměnami ze slunečního záření a pak se zase přeměňují.

Pro využití potenciálu obnovitelných zdrojů v České republice představuje biomasa přibližně 80% podíl dostupných obnovitelných zdrojů energie. V dnešní době zemědělci v České republice hospodaří přibližně na 4 264 tis. ha zemědělské půdy. Do zemědělské půdy se zahrnují kromě orné půdy a trvalých travních porostů (TTP) také chmelnice, vinice, zahrady a ovocné sady. Zemědělství patří k hlavním produkčním oblastem bioenergetiky.

Biomasa je organická hmota všeho druhu nacházející se na naší planetě. Jsou to těla organismů – živočichů, rostlin, bakterií, hub a sinic. Mezi hlavní oblasti energetického využití biomasy patří zpracování pevné biomasy pro přímé spalování za účelem výroby tepla a elektrické energie, výrobu bioplynu a kapalných biopaliv.

2 Cíl práce

Cílem diplomové práce je na základě zdrojů sestavit a popsat využití energetické biomasy v termochemických transformacích v kotlích pro domácnosti. Dále pak uvést základní sledované a nesledované polutanty, jejich nebezpečnost, mechanismy depozice v prostředí, popř. zdravotní rizika.

V praktické části je cílem zaměřit se na rozbor měření na vybraném kotli na biomasu a provést hodnocení provozu kotle z pohledu energetické efektivity i míry jednotlivých sledovaných polutantů v závislosti na zvolených provozních režimech kotle. Sestavit metodiku pro hodnocení naměřených ukazatelů a tyto následně vyhodnotit dle údajů z praktického měření.

3 Biomasa

Pod pojmem biomasa se rozumí veškerá organická hmota (biologicky rozložitelná těla všech organismů – živočichů, rostlin, bakterií, hub a sinic). Tento pojem dále zahrnuje biologicky odbouratelné části výrobků, materiálů, odpadů a zbytků ze zemědělství (včetně rostlinných a živočišných látek). Kromě výše uvedených se sem řadí i biologicky rozložitelná část průmyslového či komunálního odpadu. Biomasa v podobě rostlin je současně jedna z všeobecných a nejrozšířenějších zdrojů energie na Zemi. Používá se jako stavební materiál, vyrábí se z ní léky, chemikálie nebo papír, je také výborným palivem a nejvíce poskytuje výživu. Největší výhodou biomasy je její všestranné využití nejen na výrobu tepla, ale i na výrobu elektrické energie v moderních spalovacích zařízeních (Vobořil, 2015).

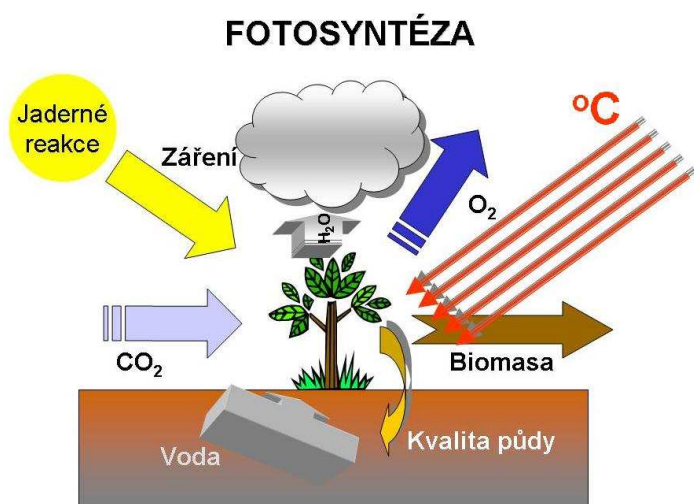
Rostlinná biomasa vzniká při jedné z nejdůležitějších reakcí vůbec – fotosyntéze. Během fotosyntézy dochází k zachycení sluneční energie (fotonů) a k následné syntéze organických látek (sacharidy, mastné kyseliny, aj.) z oxidu uhličitého a vody. Odpadním produktem fotosyntézy je kyslík vypuštěný do atmosféry (Šenovský, 2012).

Rovnice reakce fotosyntézy:



Oxid uhličitý + voda → sluneční energie, chlorofyl → cukr + kyslík + voda

Obrázek č. 1 ukazuje, jak rostliny poutají velké množství CO_2 , který vydechují všechny organismy do ovzduší, a také velké množství skleníkových plynů ze spalování fosilních paliv. Na obrázku č. 2 lze vidět, že opravdu důležitou roli v průběhu fotosyntézy hraje sluneční záření (sluneční energie).



Obrázek č. 1: *Fotosyntéza a její průběh (google.cz)*



Obrázek č. 2: *Fotosyntéza u dřevní biomasy a její průběh (google.cz)*

Mezi významné druhy biomasy řadíme dřevní hmotu, dále pak všechny užitkové plodiny i planě rostoucí rostliny a rychle rostoucí dřeviny (RRD). Odpadní biomasu lze využít z lesních, rostlinných a průmyslových odpadů. V tabulce číslo 1 je shrnuto rozdělení odpadní biomasy a druhy odpadů (Beranovský et al., 2004).

Tabulka č. 1: *Rozdělení odpadní biomasy a její druhy odpadů (Beranovský et al., 2004)*

Odpadní biomasa	Druhy odpadu
Rostlinné odpady	sláma, seno, zbytky náletových dřevin a křovin
Lesní odpady	pařezy, kořeny, šišky, větve, zbytky kůry
Odpady z živočišné výroby	hnůj, kejda, zbytky krmiv
Komunální organické odpady	kaly, komunální tuhý organický odpad
Průmyslové odpady	piliny, hobliny, odřezky

Při úpravě biomasy pro energetické využití převládá termochemická přeměna biomasy (spalování) u suchých procesů a biochemická přeměna biomasy (výroba bioplynu anaerobní fermentací) u mokrých procesů, dále je pak nutné zmínit fyzikální a chemické přeměny biomasy (výroba metylesteru, kyselin bio olejů) (Pastorek et al., 2004).

Základem veškeré živé hmoty je uhlík a jeho chemické vazby, které obsahují energii. (Vobořil, 2015).

3.1 Biomasa pro energetické účely

V současné době v České republice není trendem zakládání lesů pro energetické účely (energetické lesy), poněvadž fosilních paliv je zatím dostatek. Cena fosilních paliv je pro většinu lidí přijatelná a topení uhlím, naftou, elektřinou je snadné. Za negativní faktor se považuje to, že dnes založený nový les začne produkovat palivo nejdříve za několik let, respektive za několik desítek let. Kromě klasické lesnické produkce se produkce energetických dřevin také orientovala na pěstování rychle rostoucích dřevin a jejich klonů na původně zemědělské půdě.

Jediným cílem pro vytvoření lesa s rychle rostoucími dřevinami je vyprodukování co největšího množství určité biomasy pro energetické využití na co nejmenší ploše. Ve světě je tento způsob pěstování RRD za příznivých podmínek velmi známý. Lesy podporující pěstování RRD se nazývají plantáže. Mezi nejznámější rychle rostoucí dřeviny patří topoly, vrby a olše. Výsadba stromů je uspořádána do rovných řad v pravidelných vzdálenostech. Tento způsob pěstování je výhodný pro použití jednoduchých technologií při výsadbě, ošetřování a sklizni.

Pro získání biomasy k energetickým účelům se mohou také pěstovat rostliny bylinného charakteru, například amaranthus, šťovík, košťava nebo energetické trávy jako jsou sloní tráva, chrastice, ovsík vyvýšený, psineček velký a trvalé travní porosty. Výkonné druhy trav, jako vedlejší produkt biomasy, se nachází zejména na lokalitách

s nadmořskou výškou nad 400 m. n. m. a ve svažitém terénu (z důvodu erozního ohrožení). U bylin energetického charakteru je snadný výsev, a hlavně krátké vegetační období. Výnos suché biomasy by měl dosahovat minimálně 12 t/ha, avšak z ekonomického hlediska je nutné, aby produkce suché biomasy energetických rostlin činila alespoň 15 tun z ha (biom.cz).

3.1.1 Odpadní biomasa ze zemědělské / rostlinné produkce

Biomasu lze obecně rozdělit na cíleně získávanou a odpadní, přičemž odpadní může být z vedlejších produktů jiného cíleného využití (např. sláma) nebo přímo z odpadů organického původu. Odpadní biomasa se používá jako alternativní obnovitelný zdroj energie. Odpadní biomasa je více vyhledávaná jako biopalivo než cíleně pěstovaná biomasa z důvodu dobré dostupnosti (Červinka, 2009).

Mezi velmi významné zdroje biomasy pro energetické účely patří rostlinné odpady, které mají dobrou výhřevnost, zejména sláma, která má výhřevnost až 14,4 MJ/kg. Pro energetické využití z celkového množství vyprodukované obilní slámy se spotřebuje maximálně 20–30 %. Zbývající sláma se používá třeba ke krmení anebo na stelivo. Zbytek slámy zůstává na polích k zaorání (Červinka, 2009).

V České republice se z celkové zemědělské plochy půd využívá něco málo přes 50 % k pěstování rostlin za účelem produkce potravin. Nejvíce se ze zemědělské prvovýroby zpracovává řepková a kukuřičná sláma.

3.1.2 Odpadní dendromasa

Jak bylo popsáno výše, mezi nejznámější lesní odpady patří dřevní hmota, která se využívá jak u nás, tak v celé Evropě. Výhřevnost dřevní hmoty, která se pohybuje v rozmezí 15–19 MJ/kg, závisí především na vlhkosti dřeva (Trávníček et al., 2015).

Lesní či dřevní odpady vznikají převážně při probírkách, prořezávkách a hlavně jako vedlejší produkty při těžbě dřeva. Také při prvotním i druhotném zpracování dřeva dochází ke ztrátám a tím vzniká produkce lesního odpadu. Sekundární produkt dřevní biomasy bývá nabízen v následujících formách:

- piliny,
- štěpka,
- zbytková kulatina,
- sekané dýhy,
- odřezky.

V poslední době se zvyšuje používání dřevní biomasy pro výrobu velkoplošných materiálů, například dřevotřískové desky, OSB desky, MDF desky apod.

Dle statistik lze říci, že při těžbě dřeva vzniká asi 30 % dřevního odpadu. Při zpracování dřevní hmoty vzniká 36 % dřevního odpadu (Trávníček et al., 2015). V následující tabulce je znázorněna výhřevnost určitých druhů dřevní biomasy.

Tabulka č. 2: Výhřevnost vybraných druhů dřevní biomasy [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$] (Trávníček et al., 2015)

Dřevní biomasa	Výhřevnost [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$]
Dřevní štěpka	10 509
Piliny	10 511
Průmyslové odřezky vznikající při zpracování kulatiny	10 500
Průmyslové odřezky vznikající při výrobě lepených dřevěných desek	16 000
Zbytková kulatina	10 520

3.1.3 Živočišná výroba a její odpady

Mezi nejobvyklejší odpady z živočišné výroby patří exkrementy hospodářských zvířat, zbytky krmiv a kejda. Nejjednodušší nakládání s těmito odpady je jejich přímá aplikace na půdu. Kejda hospodářských zvířat je obvykle využívána jako hnojení pro zemědělské půdy. Je důležité, aby tento způsob přirozeného hnojení byl preferován z důvodu vysokého obsahu mikroorganismů (Červinka, 2009). Avšak i biomasa živočišného původu může být využita k energetickým účelům. Jako základní příklad lze uvést řízenou anaerobní fermentaci biomasy, kde podstatnou část receptury tvoří právě exkrementy hospodářských zvířat. V zemědělských bioplynových stanicích se využívá živočišná biomasa pro tvorbu využitelného plynného paliva – bioplynu. Dále je možno zmínit přeměnu živočišných tuků na kapalná biopaliva. Tímto samozřejmě nejsou všechny příklady vyčerpány, ale vzhledem k zaměření práce nebude oblast využívání odpadní biomasy živočišného původu dále v práci rozváděna.

3.2 Způsoby rozdělení druhů biomasy dle různých kritérií

Shrneme-li výše uvedený výčet druhů biomasy, jsme schopni biomasu cíleně pěstovat jako rychle rostoucí dřeviny (RRD) pro energetické účely nebo ji můžeme získávat z potravinářské a zemědělské výroby, odpadů lesního hospodářství a údržby krajiny. Je

možno ji získat i z komunálního odpadu a bioodpadu. Z hlediska výše uvedeného pak biomasa představuje velmi širokou skupinu hmot s různými fyzikálními vlastnostmi i variabilním chemickým složením. Pro další efektivní energetické využití biomasy je nutno právě tyto rozdíly zohlednit. Proto se biomasa dělí dle řady různých kritérií, kterými můžeme konkrétní druh biomasy lépe specifikovat. Biomasa s hmotnostním podílem 50 % sušiny tvoří předěl mezi suchými a mokrymi procesy (Pastorek et al., 2004).

Podle obsahu vody můžeme biomasu rozlišit na:

- Suchou biomasu – nejvíce dřevo a dřevní odpady, sláma a suché zbytky z pěstování zemědělských plodin. Lze ji spalovat přímo, případně po dosušení.
- Mokrou biomasu – především tekuté odpady, jako kejda a další odpady ze živočišné výroby, a tekuté komunální odpady. Mokrou biomasu nelze spalovat přímo, využívá se spíše v bioplynových technologiích.
- Speciální biomasu – olejniny, škrobové a cukernaté plodiny. Využívají se ve speciálních technologiích k získání energetických látek – zejména bionafty nebo lihu.

3.2.1 Další možné členění biomasy

Díky velmi rozvinuté skupině materiálů označovaných jako biomasa můžeme biomasu také členit z hlediska původu, kde se rozeznává cíleně pěstovaná biomasa (bod 4.) a biomasa odpadní (bod 1. až 3.). Další rozdělení je podle základních vlastností biomasy (Fajman. 2013).

3.2.2 Rozdělení biomasy z hlediska původu

1. Primární – vedlejší produkty z lesnické výroby a zemědělské výroby z pěstování potravin například sláma.
2. Sekundární – vedlejší produkty z výroby potravin a využití biomasy například se sem řadí piliny, odpady z potravinářských provozů, papírenského průmyslu apod.
3. Terciární – vedlejší produkty z biomasy použité jako výrobky například vyřazené palety, dřevo z bourání apod.
4. Energetické plodiny

3.2.3 Rozdělení biomasy dle vlastností

- Dendromasa – dřevo z demolic, měkké a tvrdé dřevo.

- Bylinná biomasa – sláma, stonky, traviny apod.
- Biomasa vodního prostředí – oceánů, sladkovodní.
- Odpadní biomasa – kaly z čistíren odpadních vod.
- Odpady ze zpracovatelského průmyslu – z potravinářství, z výroby papírů apod.

Rozdělení biomasy dle vlastností je totožné například s rozdělením podle oficiálního informačního centra britské vlády – Biomass Energy Centre. Biomasu rozčleňují na energetické plodiny, dřevo, zbytky ze zemědělské produkce, odpady z potravinářství, průmyslu a jiné odpady (Fajman, 2013).

4 Vlastnosti paliva biomasy

Biomasa je v současné době cenným energetickým zdrojem a její využívání pro vytápění a výrobu elektrické energie v současné době narůstá. Díky významným složkám hořlaviny biomasy, kterými jsou uhlík a vodík, vzniká při dokonalém spalování dřeva oxid uhličitý a voda. Obě tyto látky se přirozeně vyskytují a jsou součástí atmosféry (Noskovič et al., 2009).

Při skladování se musí biomasa dobře vysušit, aby nedocházelo při spalování k velkému podílu spalného tepla, což by vedlo ke snížení výhřevnosti biomasy.

4.1 Struktura paliva biomasy

Mezi hlavní a zároveň základní charakteristiky paliv patří hmotnostní podíl uhlíku, vodíku, kyslíku a dusíku. Ve složení paliva je hlavním nositelem energie uhlík, v menší míře potom vodík. Z tabulky č. 3 je zřejmé, že ve srovnání s klasickým tuhým palivem, jakým je například koks či černé uhlí, má dřevo poměrně nízký obsah uhlíku. U dřeva se obsah uhlíku pohybuje kolem 50 %, u černého uhlí je tato hodnota kolem 90 % a u hnědého uhlí se pohybuje obsah uhlíku v rozmezí 50–80 %. Dřevnatá biomasa má velkou výhodu v tom, že má nulový či velmi nízký obsah síry než fosilní paliva.

Tabulka č. 3: Základní složení paliva (dřeva) (Trávníček et al., 2015)

Typ dřeva	Prvky (%)			
	C	H	O	N
Smrk	50,3 – 51,4	6,1 – 6,3	41,6 – 43,1	0,1 – 0,9
Jedle	50,4 – 51,3	5,9 – 6,0	43,4 – 44,0	0,1 – 0,8
Borovice	49,5 – 49,6	6,4	44,0 – 44,4	0,9
Dub	49,4 – 50,6	6,1 – 6,2	41,8 – 44,5	1,2
Buk	48,5 – 50,9	6,1 – 6,3	42,1 – 45,2	0,12 – 0,9

4.2 Granulometrie paliva

Z hlediska tvarů, velikostí, hmotností a dalších možností může mít palivo pocházející z biomasy mnoho forem. Biomasa ze dřeva je obchodována nebo distribuována většinou ve formě polen, štěpky, drcených větví, briket, pelet, různých odpadních odřezků, případně pilin či hoblin.

Při sestavení kotle se musí upravit dopravní systém i spalovací komora pro daný rozměr a tvar paliva. Před začátkem konstrukce spalovací komory je nutno znát předem rozměry paliva, aby mohla být správně navržena soustava přívodu spalovacího vzduchu (Trávníček et al., 2015).

4.3 Vlhkost biomasy

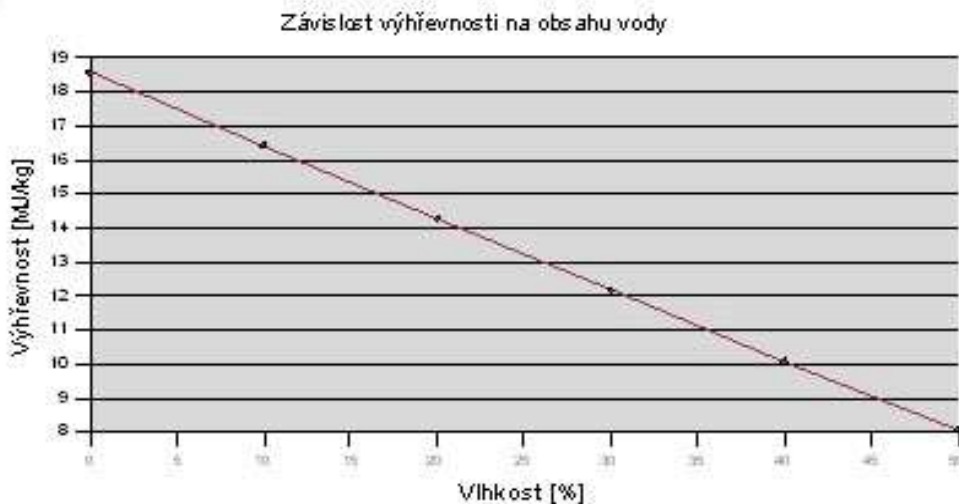
Jednou z nejdůležitějších vlastností při využití v termochemických přeměnách biomasy je obsah vody v biomase neboli její vlhkost. Největší vlhkost mají čerstvě pokácené dřeviny, což je asi 55 %. Obsah vlhkosti biomasy je však velice variabilní, navíc se vlivem okolního prostředí (vzdušná vlhkost, teplota, tlak) v čase mění. Bezprostřední měření vlhkosti biomasy není z hlediska provozu nutností, je ale velkou výhodou, protože spalování vlhkého paliva výrazně snižuje účinnost kotle, a může tak i dojít ke snížení jeho životnosti (biomasa-info.cz).

Všeobecně se doporučuje hodnoty vlhkosti snížit pod 30 %. Za optimální hodnotu se považuje vlhkost do 20 %. Optimální hodnotu pro vlhkost biomasy určenou k energetickému využití lze také dosáhnout běžným sušením pod přístřeškem (například kusové dřevo se obvykle nechává vyschnout 2 roky) (Trávníček et al., 2015).

4.4 Výhřevnost biomasy

Výhřevnost dřeva se pohybuje v rozpětí 18 až 19 MJ/kg (sušina). Výjimku tvoří dřeva s vysokým obsahem pryskyřic nebo olejů, kde výhřevnost roste, a naopak výrazně klesá s rostoucím obsahem vody (Červinka, 2009).

Níže na obrázku č. 3. je znázorněna závislost výhřevnosti biomasy na obsahu vlhkosti. Při spalování dřevní štěpky s vlhkostí 50 %, zjistíme, že se jedná o nevýhodný proces, protože využijeme necelou polovinu energie obsažené v palivu. Nejefektivnější tedy je, když je dřevní biomasa co nejvíce vysušená.



Obrázek č. 3: Závislost výhřevnosti na obsahu vody (biom.cz)

4.5 Vlastnosti dřevní popeloviny

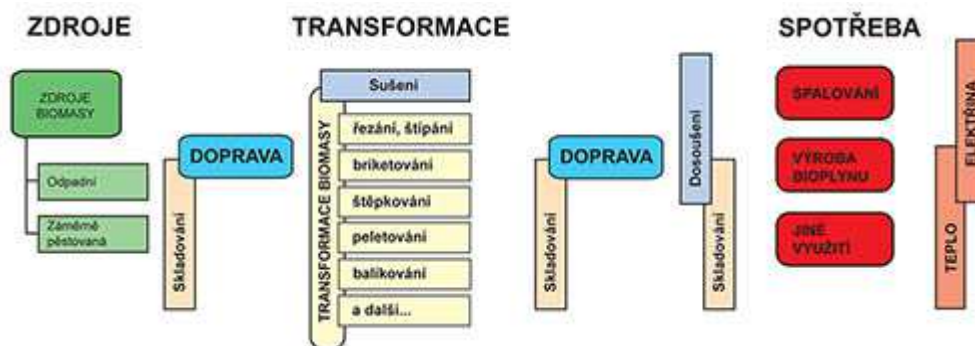
Dřevní popelovina je produkt spalování biomasy, která vždy obsahuje podíl hořlaviny, popeloviny a vody. Právě podíl popeloviny určuje podíl vzniklého popela po spálení biomasy. Popel z biomasy, především ze dřeva, se původně vždy používal jako hnojivo nebo byl na zemědělských statcích přidáván ke hnoji a následně zapraven do půdy.

Vlastnosti popela se odvíjí od spousty činitelů, jakými jsou zejména druh dřeviny nebo části spalovaného stromu, průběh spalovacího procesu, teplota spalování, výskyt nečistot atd. Dřevní popel je jemný, porézní a silně alkalický (pH 9,5–13) materiál s dobrými sorpčními schopnostmi. Dřevní popel tvoří velikostní rozmezí částic od nejjemnějšího popílku (0–1 mm) po největší díly tvořené spečeninami. Dřevní popel obsahuje mnoho makro i mikroelementů potřebných pro růst rostlin. Má vysoký podíl Ca, K, Mg a P. Obsah uhlíku se mění podle použité technologie spalování. Při efektivním spalování biomasy vzniká světle hnědý popel s minimálním obsahem uhlíku. Obsah dusíku, který v průběhu spalování biomasy přechází takřka úplně do plynné fáze, je minimální. Dokonalým spálením dřevní hmoty vzniká 2–3 % popela (biom).

Vyšší obsah popelovin se nachází po spálení kůry stromu než samotného dřeva, protože kůra je vystavena většímu znečištění v průběhu růstu stromu a také při těžbě. Obsah popela ve dřevě je relativně nízký (asi 0,6–1,6 %), u kůry většinou nepřekročí 3 % (Šenovský, 2012).

5 Technologické procesy pro energetické využití biomasy

Energii z biomasy lze získávat různými způsoby. Technologické procesy můžeme rozdělit na termochemické přeměny (transformace), biochemické transformace a mechanicko-chemické přeměny. Nejčastěji se energie z biomasy získává termochemickou přeměnou, tedy spalováním. Podle výhřevnosti, která je dána podílem a složením hořlaviny, se odvíjejí základní technologie zpracování a přípravy ke spalování. Z důvodu rozsahu práce nebudou dále rozváděny biochemické transformace a mechanicko-chemické přeměny. Pouze částečně je mechanicko-chemická přeměna popsána v kapitole 6. Schéma procesu přeměny biomasy je znázorněno na obrázku č. 4.



Obrázek č. 4: Schéma procesu přeměny biomasy v různé formě (google.cz)

Hlavní rozdělení skupin energetických přeměn a jejich hlavních produktů a vlastní energetické využití je popsáno v tabulce číslo 4.

Tabulka č. 4: *Přehled hlavních skupin energetických transformací biomasy a jejich využití (Baláš, 2008)*

Technologie	Produkt	Energetické využití
Termochemické přeměny (suché procesy)		
Spalování	teplo	výroba el. energie, vytápění
Pyrolýza	olej, plyn	vytápění, pohon vozidel, chem. průmysl, výroba el. energie
Zplyňování	plyn	vytápění, chem. průmysl, výroba el. energie
Biochemické přeměny (mokré procesy)		
Metanové kvašení	bioplyn	chemický prům., vytápění, výroba el. energie
Kompostování	hnojivo	hnojivo
Alkoholové kvašení	etanol, butanol	pohon vozidel
Mechanicko-chemická přeměna		
Zkapalňování	olej	pohon vozidel
Esterifikace	bionafta	pohon vozidel
Mechanická úprava	štěpka, pelety, brikety	vytápění

Termochemická přeměna biomasy (transformace)

Za termochemickou změnu obecně považujeme rozklad materiálu na bázi uhlíku pomocí vysokých teplot. Jak už bylo popsáno výše, existuje několik způsobů termochemické přeměny a to spalování, zplyňování a pyrolýza (Trávníček et al., 2015).

5.1 Spalování

Nejstarší a zároveň nejjednodušší termochemickou přeměnou biomasy za dostatečného přísunu kyslíku je spalování. Při tomto procesu dochází k rozkladu organického materiálu na hořlavé plyny a jiné látky a při následné rychlé oxidaci se uvolňuje energie, oxid uhličitý (CO₂) a voda. Uvolněná energie je následně přeměněna na energii tepelnou, která je vhodná pro vytápění, ohřev vody, výrobu elektrické energie nebo technologické procesy. Při spalování biomasy je produkce CO₂ neutrální a má v podstatě nulovou bilanci CO₂ oproti spalování fosilních paliv. Nízký je také obsah uvolňovaných oxidů síry (0 až 0,1 % síry má dřevo nebo sláma oproti hnědému uhlí, které obsahuje někdy i více než 2 %). Množství vznikajícího NO_x můžeme kontrolovat např. úpravou teploty spalování.

Díky rozdílným vlastnostem paliva dochází v ohništi k různým typickým fázím. Mezi takové procesy (fáze) patří sušení, odplyňování, hoření prchavé hořlaviny, zapálení vrstvy tuhé hořlaviny, dohořívání tuhé fáze a chladnutí tuhých zbytků. U fáze sušení v ohništi u paliva dochází k ohřívání uhlí, čímž se odpařuje povrchová a hygroskopická voda (Trávníček et al., 2015).

Aby bylo spalování ideální a efektivní, je potřeba dodržovat určité podmínky. Pro dokonalé spalování je důležitá vysoká teplota, účinné směšování se vzduchem a prostor. Prostor by měl být dostačující k tomu, aby všechny plyny dobře shořely v topeništi, resp. jeho dohořívací komoře, a ne až v komíně (cez.cz).

Základní podstatou spalování dřeva je oxidační proces hořlaviny paliva vzdušným kyslíkem. Tato oxidační reakce je exotermická, což znamená, že se při této reakci uvolňuje teplo, jehož množství odpovídá množství chemicky vázané energie v hořlavině paliva. Množství uvolňovaného tepla se zvyšuje s rostoucí rychlostí reakce, tj. tepelný výkon. Celý proces spalování má charakter řetězové reakce. O hoření biomasy můžeme mluvit v okamžiku, kdy se objeví plamen (Noskiewič et al., 2009).

5.1.1 Rozdělení kotlů na spalování biomasy

Ekolist uvádí několik druhů zařízení na spalování biomasy.

- **Lokální topidla:** jako lokální topidla se používají krbová, klasická, ocelová, kachlová, litinová kamna a cihlové pece. Tato topidla se využívají pro vytápění malých prostor v oblastech, kde je dostatek paliva. Mohou být součástí ústředního vytápění s připojením na radiátorový okruh. Lokální topidla mají spousty výhod, kterými jsou například nízká pořizovací cena, levný provoz (zejména když je vlastní zdroj paliva), možnost kombinace s ústředním vytápěním na plyn nebo elektrickou energii a nízká pořizovací cena (Ekolist.cz).
- **Kotle pro ústřední vytápění:** kotle tohoto typu se využívají jako zdroj k vytápění sušáren nebo k ohřevu užitkové vody. Jsou určeny výhradně pro spalování dřeva, polen, briket či štěpků. Kotle pro rodinné domky pracují obvykle tak, že se nejprve palivo zplyňuje a teprve potom se plyn spaluje. Za největší výhodu se považuje levný provoz díky zajištění vlastního zdroje paliva a dále snadná regulace kotle (Ekolist.cz).
- **Kotle pro automatické spalování:** tyto kotle mají velké výkony – do 2,5 MW. Jsou sestavovány jako bezobslužné, pouze s občasným dozorem. Většinou jsou

vybaveny automatickým přikládáním paliva a jsou schopny spalovat i méně kvalitní a vlhčí biomasu (dřevní štěpku, kůru, piliny, slámu, papír atd.).

Kotle nad 100 kW mají průmyslové uplatnění nebo se využívají v systémech centrálního zásobování teplem. Automatické kotle na spalování dřevní štěpky a pelet s tepelným výkonem 100–600 kW se používají ve větších budovách nebo v menších komplexech (Ekolist.cz). Přehled všech zařízení topenišť je popsán v tabulce č. 5.

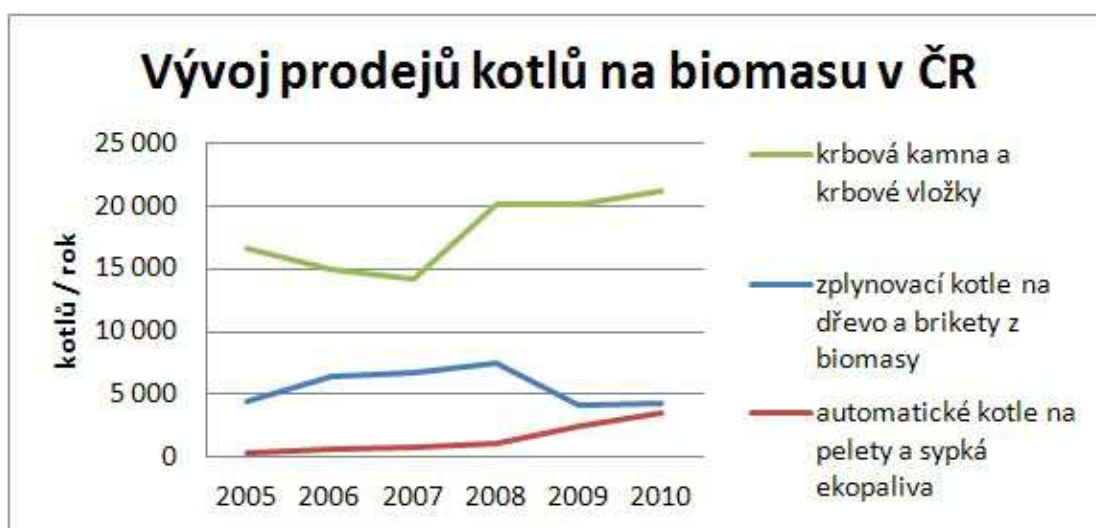
Tabulka č. 5: Přehled spalování na spalování biomasy (Šenovský, 2012)

Zařízení		Popis	Použití	Palivo
Lokální topeniště (několik kW)	klasická kamna a krby	Dnes již prakticky nejsou efektivním řešením, krby slouží spíše jako doplněk interiéru	rodinné domy, dílny, restaurace, menší budovy	polena, brikety
	krbová kamna	Moderní krbová kamna mohou mít vestavěnou krbovou vložku, takže mohou sloužit také jako kotel ústředního topení		
	cihlové pece a kachlová kamna	Většinou nalézají použití jako estetická součást interiéru, mají poměrně vysokou účinnost		
Malé kotle na biomasu (20–100 kW)	zplyňovací kotle na kusové dřevo	Palivo je zplyňováno a plyn následně spalován. Výkon se dá pohodlně regulovat	rodinné domy, menší budovy, dílny	brikety, polena (dřevní odpad s manuální obsluhou)
	automatické kotle	Součástí systému s bezobslužným provozem je podavač paliv a upravený hořák	školky, školy, administrativní budovy, hotely	pelety, obiloviny, štěpka

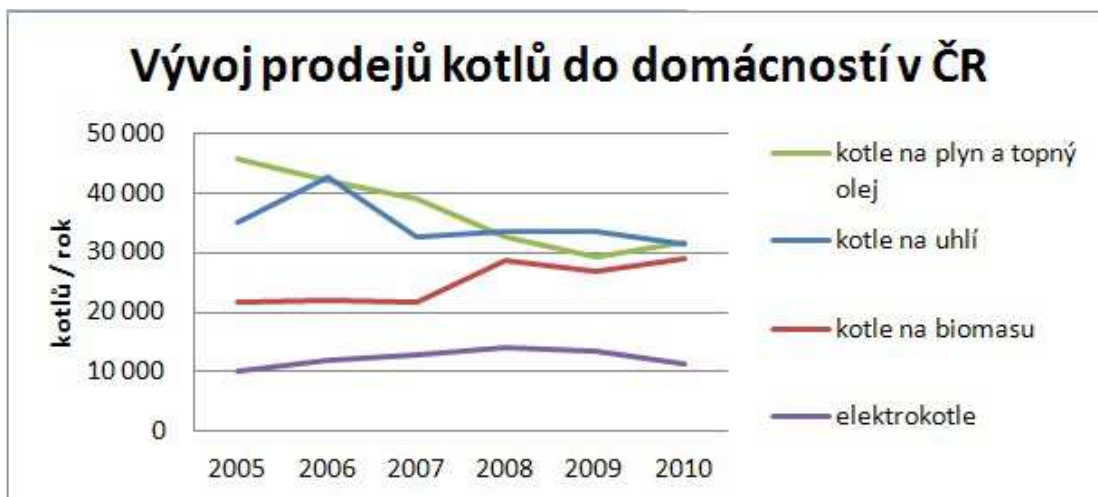
Střední kotle (nad 100 kW)	automatické kotle	Jedná se obvykle o roštové kotle s posuvným roštem. Lze v nich spalovat i méně kvalitní či vlhčí biomasu	větší zdroje průmyslového vytápění, průmyslové objekty	štěpka, sláma, pelety, brikety
----------------------------	-------------------	--	--	--------------------------------

Kotelny velkých výkonů (MW)	spalování na roštu	Stále ještě je rozšířenější alternativou spalování na roštu, nicméně fluidní technologie se pro své výhody rychle vyvíjí. Jednou z nich je možné využití pro spoluspalování biomasy s tuhými fosilními palivy	velké areály výrobních podniků, školy, obecní budovy, obce	piliny, sláma, štěpka, energetické rostliny, dřevní odpad
	fluidní technologie			

Ze statistik vývoje prodeje kotlů na biomasu a do domácností do roku 2010 (viz obr. č. 5) je zřejmé, že u kotlů na biomasu je rostoucí poptávka na krbová kamna a krbové vložky. Naproti tomu vývoj prodeje zdrojů tepla pro domácnost do roku 2010 (viz obr. č. 6) ukázal, že stabilním prodejem jsou elektrokotle. Prodej kotlů na biomasu mírně stoupá a nejvíce klesly kotle na uhlí a zemní plyn (Stupavský, 2012).



Obrázek č. 5: Vývoj prodeje kotlů na biomasu v ČR (Stupavský, 2012)



Obrázek č. 6: Vývoj prodejů kotlů do domácnosti v ČR (Stupavský, 2012)

5.1.2 Zařízení pro spalování pevných paliv z biomasy

Spalovací zařízeními jsou v tomto případě lokální topeniště, například krby a kamna, kotle pro ústřední vytápění různých provedení. Dřevní biomasu můžeme rozdělit podle způsobu spalování na spalování roštu a fluidní spalování se spodním přívodem paliva (Ochodek et al., 2007).

5.1.2.1 Spalování na roštu

Pro spalování biomasy se většinou používají kotle roštové. V současné době se uplatňuje tento způsob spalování biomasy takřka ve všech jejích formách. Jsou to například štěpka, pelety, kusové dřevo, dřevní odpady z lesnictví atd. Spalování u roštových ohnišť probíhá jak ve vrstvě na roštu, tak i v prostoru nad vrstvou paliva. Nevýhodou spalování na roštu je především pro materiály s jemnou frakcí možnost propadu roštem (Šenovský, 2012).

Podle Trávníčka (2015) patří rošt mezi základní vybavení roštových ohnišť a má uvedené funkce:

- podpěra pro kusová paliva, umožňuje vytvoření vrstvy požadované tloušťky a prodyšnosti,
- dochází k postupnému vysušení paliva, zahřátí na zápalnou teplotu, hoření a dokonalé vyhoření paliva,
- zajišťuje přívod spalovacího vzduchu do jednotlivých míst roštu tak, aby spalování probíhalo při optimálním přebytku vzduchu,

- zajišťuje shromažďování a odvod tuhých zbytků po spálení z ohniště do popelníku,
- umožňuje střídat regulaci výkonu ohniště a tím i regulaci zatížení kotle.

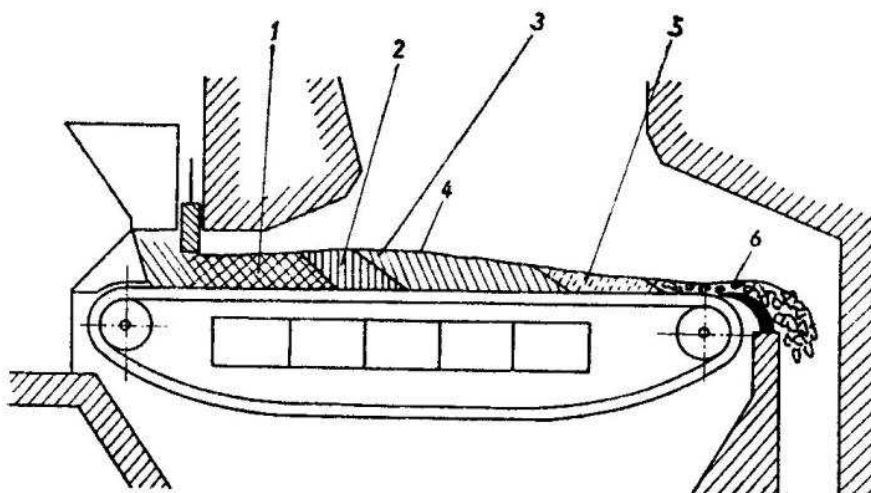
Šenovský (2012) ve své publikaci uvádí, že spalování na pevném roštu je charakteristické většinou pro kotle o malých výkonech. Rošt je pevný s nehybnou vrstvou paliva. Přes něj do popelníku propadávají zbytky po spalování a jeho velikost do jisté míry ovlivňuje výkon zařízení. Pro odvod zbytků po spalování má rošt pohyblivý mechanismus. U roštů s pohyblivým mechanismem je rozvinutá druhotnost realizací roštu, která je dána jejich rozdílným tvarem, velikostí otvorů v roštu, nakloněním roštu, mechanismem k odvodu popela a četnými dalšími rozdílnostmi.

Šenovský (2012) dále popisuje ve své publikaci, že pro rošty mechanické jsou typické kotle o větších výkonech. Mechanické rošty jsou pohyblivé a zabezpečují pohyb paliva směrem do míst spalování v ohništi. Rozměry roštů velmi ovlivňují výkon zařízení. Primární vzduch je přiváděn v několika fázích. Podle výběru daného paliva ke spalování musí mít rošt přesnou velikost daných mezer mezi roštnicemi, aby nedocházelo k jeho propadání. Palivo je na rošt přiváděno prostřednictvím různých druhů dopravníků, například šnekového, hrabicového dopravníku atd., přímo z násypky.

Rozdělení mechanických roštů:

- pásové,
- přesuvné,
- vratisuvné
- válcové.

Na celkové roštové ploše dochází k odplynění a samotnému hoření. Oblasti, kde dochází také k procesu uvolňování tepla z paliva, se nazývá účinná plocha roštu. Zbývající část plochy roštu je označena jako pomocná, protože slouží k přípravě paliva pro zapálení a k dohořívání. Obrázek č. 7 popisuje a znázorňuje spalování paliva na pásovém roštu.



Obrázek č. 7: *Spalování paliva na pásovém roštu (google.cz)*

Vysvětlivky k obrázku č. 7:

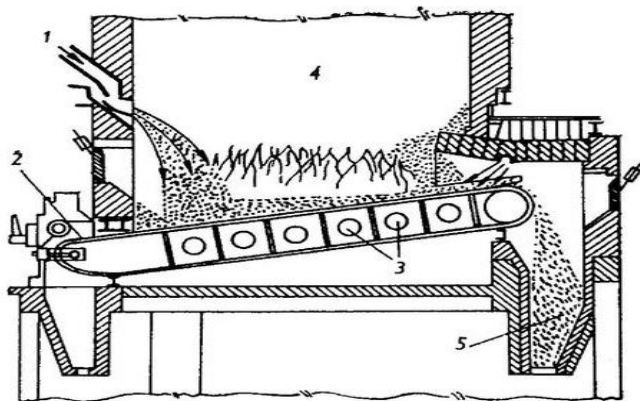
- | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| 1 - sušení paliva | 4 - vrstva hořlaviny (paliva) |
| 2 - odplynění a vzněcování paliva | 5 - dohořívání škváry (popel) |
| 3 - hoření prchavé (tuhé) hořlaviny | 6 - škvára (popel) |

5.1.2.2 Fluidní spalování

Mezi další způsoby spalování biomasy můžeme zařadit fluidní spalování paliv. Zásadou tohoto procesu je spalování paliva ve fluidní vrstvě, tj. ve vznosu, která má vysokou tepelnou kapacitu. Fluidizačním médiem je pro fluidní spalování nejčastěji vzduch, ale může být i kapalina nebo plyn. Do spalovacího prostoru je vháněn vzduch, který jednotlivé částice paliva dostane do vznosu. Rostoucí výška fluidní vrstvy nastává tehdy, když se zvětšuje rychlost proudění, tzn., že podle výšky fluidní vrstvy můžeme regulovat výkon kotle. Fluidní spalování má i nevýhodu. Takovou nevýhodou tohoto druhu spalování jsou vysoké požadavky na velikost částic a jejich strukturu, která by měla být homogenní. V tomto kotli se může spalovat palivo maximálně do 15 mm. Kvůli vysokým požadavkům na velikost a celkovou úpravu paliva je toto fluidní spalování mnohdy energeticky náročné. Fluidní kotle pro spalování biomasy se spíše využívají pro vyšší výkony. Výkon kotle pro fluidní spalování by měl být minimálně od 8 MW_t až po stovky MW_t. Částice ve fluidní vrstvě se pohybují rychlostí od 0,7 do 1,5 m/s. Pomocí toho-

to spalování ve fluidním kotli se spaluje čistá biomasa v teplárenském provozu v Hodoníně, kde elektrický výkon náležejícího fluidního kotle se blíží k hodnotě 30 MW.

Další metodou využívání energetického potenciálu biomasy je tzv. spoluspalování biomasy ve fluidních kotlích. Spoluspalování se například využívá v teplárenském provozu v Poříčí u Trutnova (Trávníček et al., 2015). Obrázek č. 8 znázorňuje fluidní ohniště.



Obrázek č. 8: *Fluidní ohniště (google.cz)*

Vysvětlivky k obrázku č. 8:

- 1 – přívod paliva
- 2 – šikmý řetězový rošt
- 3 – přívod fluidizačního vzduchu
- 4 – spalovací prostor
- 5 – odvod škváry (popela)

5.1.3 Spalovací proces v ohništi (krbových kamnech)

Ve dně krbových kamen nebo ohništi se nachází rošt, díky kterému se k hořícímu palivu přivádí primární vzduch. Stěny ohniště jsou z keramického materiálu tzv. šamotu. Šamot je nejvíce používán k zabránění odvodu tepla stěnami a k udržení dostatečně vysoké teploty v ohništi, která je důležitá k zapálení a stabilnímu hoření paliva. Po okrajích stěn v ohništi jsou umístěny další otvory, kterými se přivádí sekundární vzduch. Ten by měl zajistit dokonalejší spálení hořlavých plynů v prostoru nad hořícím palivem. Přední stěna krbových kamen či ohniště je prosklená a odchází z ní sáláním menší část uvolněného tepla do místnosti. Hlavní teplo z krbů jde z horní části kamen, která není izolovaná a předává teplo ze spalin do místnosti. Spaliny z krbu jdou kouřovým hrdlem směrem do komína, kde je horní nebo zadní vývod. Horní vývod představuje další tep-

losměnnou plochu, kterou je vytápěna místnost zvyšující se množstvím předaného tepla (Noskovič et al., 2009).

Proces hoření kusového dřeva v ohništi má cyklickou povahu. Cyklus začíná přiložením dávky paliva na dohořívající zůstatky předchozí dávky a končí přiložením další dávky.

Plynulý průběh cyklu je kromě konstrukce ohniště ovlivňován kvalitou, množstvím přiloženého paliva a vzduchovým režimem. Rozhodujícím významem pro kvalitativní průběh spalovacího cyklu je průběh rychlosti hoření paliva, která přímo určuje okamžitý tepelný výkon spalovacího procesu (Kubesa et al., 2012).

U moderních kotlů na spalování biomasy se používá systém kontinuálního přívodu paliva do ohniště. Takové kotle s tímto využitím jsou již konstrukčně náročné a musí být řešeny jinak. U těchto kotlů jde palivo dopravovat parodicky a celý proces tím tak zautomatizovat. Spouštěčem dopravníku nového paliva do ohniště je výstupní teplota spalin nebo vody. Dopravník může být spouštěn také cyklicky, jak již bylo řečeno, s určenou dobou plnění a prodlevy. O automatizovaném kotli mluvíme tehdy, jestliže jde o kotel s automatickým přikládáním paliva a jeho regulací. Díky tomu je hoření rovnoměrné, zvyšuje se účinnost a je sníženo vypouštění emisí do ovzduší. V tomto případě je nutná obsluha minimální – jednak na zapálení biomasy, následně pak na odstranění zbytků po spálení.

Automatický kotel je opatřen automatickým zapalováním a odvodem tuhých zbytků. Obsluha se zde využívá minimálně. Obslužnost závisí na velikosti zásobníku pro paliva a na popel (Ochodek et al., 2007).

5.1.4 Výhody a nevýhody procesu spalování

Výhody a nevýhody procesu spalování biomasy jsou popsány v tabulce č. 6.

Tabulka č. 6: *Nevýhody a výhody spalování biomasy (Voláková, 2009)*

Nevýhody procesu spalování
<ul style="list-style-type: none"> • Vysoké nároky na skladovací prostory. • Nelze spalovat biomasu s vysokým obsahem vlhkosti. • Možnost vzniku škodlivých emisí při nesprávném spalování biomasy. • Úprava biomasy před spalováním je finančně náročná.
Výhody procesu spalování
<ul style="list-style-type: none"> • Nejrozšířenější a nejjednodušší proces pro výrobu tepla a elektrické energie. • Lze spalovat majoritu pevné biomasy. • Při spalování biomasy vzniká menší množství škodlivých látek, ve srovnání se spalováním fosilních paliv. • Odpadem je popel, který je využitelný i jako hnojivo.

5.2 Pyrolýza

Pyrolýza je další termochemický proces, při kterém se zpracovává biomasa. Pyrolýza se od spalování a zplyňování liší v tom, že je zde zamezen přístup kyslíku, vzduchu nebo jiné zplyňovací látky. Pomocí pyrolýzního procesu se mohou zpracovávat různé druhy materiálů na bázi uhlíku. Obecně probíhá pyrolýza ve třech fázích. Tyto fáze se nazývají sušení (vznikají v oblasti do 200 °C), karbonizace (rozmezí teplot 200–500 °C) a tvorba plynu. K tvorbě plynu (stabilní plyn vodík, oxid uhelnatý, oxid uhličitý a metan) z organických látek dochází v rozmezí 500 až 1200 °C. Produktem pyrolýzy je pyrolytický plyn, pyrolytický olej a pyrolytický koks (Staf, 2005).

Pyrolýzní proces nastává při různých teplotách podle složení látek. Průběh chemické reakce při odplynění je ovlivněn spoustou faktorů. Toto ovlivnění závisí na kvantitativním rozdělení a kvalitativním složení produktů, které určují následující faktory (Trávníček et al., 2015):

- chemické složení, obsah vody a velikost částic vstupního materiálu,
- provozní podmínky jako teplota odplynění, doba ohřevu, doba zdržení, tlak,
- plynná atmosféra.

Materiály, které se mohou účastnit procesu pyrolýzy, jsou například pneumatiky, plastové odpady, komunální odpady, městské kaly aj. Ke každému druhu materiálu se musí přistupovat jinak z důvodu rozdílného způsobu zpracování. Nejlepším řešením je mít

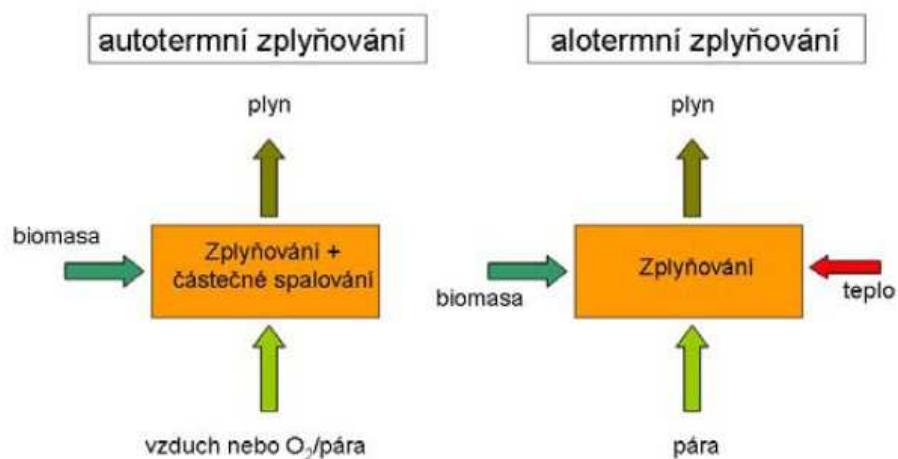
homogenní materiál, například biomasu nebo pneumatiky, u kterých jsou známy jejich chemicko-fyzikální vlastnosti. V takovém případě je proces jednodušeji předvídatelný a dá se dobře korigovat.

5.2.1 Pyrolýza biomasy

Biomasa je vhodný materiál pro pyrolytické procesy. Dřevo lze přiměřenými tepelnými úpravami převést na produkty s vyšší koncentrací energie. Při procesu pyrolýzy dřeva vzniká hlavní produkt, tzv. kapalný bio-olej, který může být následně zužitkován jako bio-palivo do motorových vozidel nebo i jako surovina pro výrobu organických chemikálií. Pyrolýza je proces energeticky nezávislý a dá se při něm využít zbytkové teplo. Nevýhodou je, že při procesu pyrolýzy může bio-olej pojímat vysoké množství popelovin, záleží to ovšem na technologii zpracování. Další nevýhodou pro biomasu je spékání, a hlavně tento proces (technologie) je hodně náročný na finance (Trávníček et al., 2015).

5.3 Zplyňování

Zplyňování je souhrnný proces, kterého se účastní celá řada reakcí. Při tomto procesu dochází ke čtyřem základním pochodům, mezi které patří: sušení, pyrolýza, redukce a oxidace. Tyto procesy mohou probíhat postupně. První tři procesy, tj. sušení, pyrolýza a redukce, jsou endotermní reakce a znamená to, že spotřebovávají teplo. Potřebné teplo může být získáno přímo v reaktoru oxidací (hořením) části paliva nebo může být přivezeno z okolního prostředí. Pokud je uplatněn první způsob, tedy pokrytí tepelné spotřeby částečným spálením paliva přímo v reaktoru, používá se termín autotermní neboli přímé zplyňování. V případě že je teplo přiváděno z okolí do reaktoru, mluvíme o tzv. alotermním či nepřímém zplyňování. Na následujícím obrázku jsou tyto pojmy zobrazeny schematicky (Pohořelý, 2010).



Obrázek č. 9: Schéma autotermní a alotermní zplyňování (biom.cz)

Zplyňování biomasy je nejúčinnějším způsobem přeměny její energie do energetického plynu, popřípadě do elektrické energie. Vzhledem k omezeným zdrojům biomasy je dobré využívat tyto omezené zdroje co nejefektivnějším způsobem, na co nejúčinnějších zařízeních, která vyrábí především elektrickou energii (biom.cz).

Jako zplyňovací médium bývá využíván volný či vázaný kyslík nebo vodík. Produktem je plyn, který obsahuje výhřevné složky (H₂, CO, CH₄ a další organické menšinové sloučeniny), doprovodné složky (CO₂, H₂O a N₂) a znečišťující složky (dehet, prach, sloučeniny síry, chlóru, alkálie a další) (Pohořelý et al., 2012).

6 Možnosti energetického využití biomasy

Biomasa má poměrně široké spektrum druhů, a i možností jejich využití jsou rozsáhlé. Biomasa je základem pro výrobu tvarovaných paliv – především palivového dřeva. Nejčastěji se setkáme s biomasou ve formě polen (kusového dřeva), pelet nebo briket.

6.1 Kusové dřevo

Topení kusovým dřevem patří u nás k nejlevnějším zdrojům energie pro vytápění především rodinných domů, avšak cena kusového dřeva stále roste – viz tabulka č. 7 s orientačními cenami jednotlivých druhů biomasy (tzb-info.cz).

Velikost jednotlivých polen je omezena realizací příkladacího otvoru a dohořivacího prostoru. Do větších kotlů proto můžeme přikládat polena až do délky 1 m, v rodinných domech se většinou setkáváme s provedením kotlů pro polena o délce 0,25 až 0,5 m (Stupavský, 2010).

Kusové dřevo je ideální pro všechny, kdo si mohou palivo opatřit sami; například z místního lesního hospodářství. Dřevo musí být náležitě suché, dobře uskladněno a vykazovat co nejmenší možnou zbytkovou vlhkost (tzb-info.cz).

Tabulka č. 7: *Průměrné orientační ceny jednotlivých komodit biomasy a kusového dřeva (tzb-info.cz)*

DŘEVO	MĚKKÉ (smrk, borovice)	1,7 Kč/kg	od 650–1200 Kč/PRM*
	TVRDÉ (buk, dub, jasan)	2,1 Kč/kg	od 1 000 Kč/PRM
DŘEVĚNÉ BRIKETY		4,0 Kč/kg	-
DŘEVĚNÉ PELETY		4,3 Kč/kg	-
ŠTĚPKA		2,0 Kč/kg	-
ROSTLINNĚ PELETY		2,8 Kč/kg	-
OBILÍ (starší – horší kvalita)		3,2 Kč/kg	-

ceny platné po 1. 4. 2008

* prostorový metr (PRM)

6.2 Pelety

Pelety, viz obrázek č. 10, jsou vyrobeny z dřevních nebo zemědělských zbytků pomocí silného stlačení. Peletováním vzniká biopalivo s vysokou energetickou hustotou a výhřevností (16 až 18 MJ/kg). Další výhodou pelet je ta, že mají výborné vlastnosti z hlediska dopravy a manipulace. Pelety se vyznačují nízkou vlhkostí kolem 8 % a nízkým obsahem popela (cca 1%). Pelety se mohou používat do různých druhů kotlů a kamen v rodinných domech. Vlastnosti pelet při spalování jsou velmi pozitivní. Je to velmi čistý a obnovitelný zdroj energie. Další druhy pelet, které se vyrábí, jsou například pelety rostlinné, kůrové nebo rašelinové.

Výhodou pelet je ta, že na rozdíl od spalování dřeva se při hoření pelet nevytváří kouř a vzniká jen malé množství popela. Tento popel je možno výhodně využít jako zahradní hnojivo (eagri.cz).



Obrázek č. 10: Ukázka pelet (google.cz)

6.3 Brikety

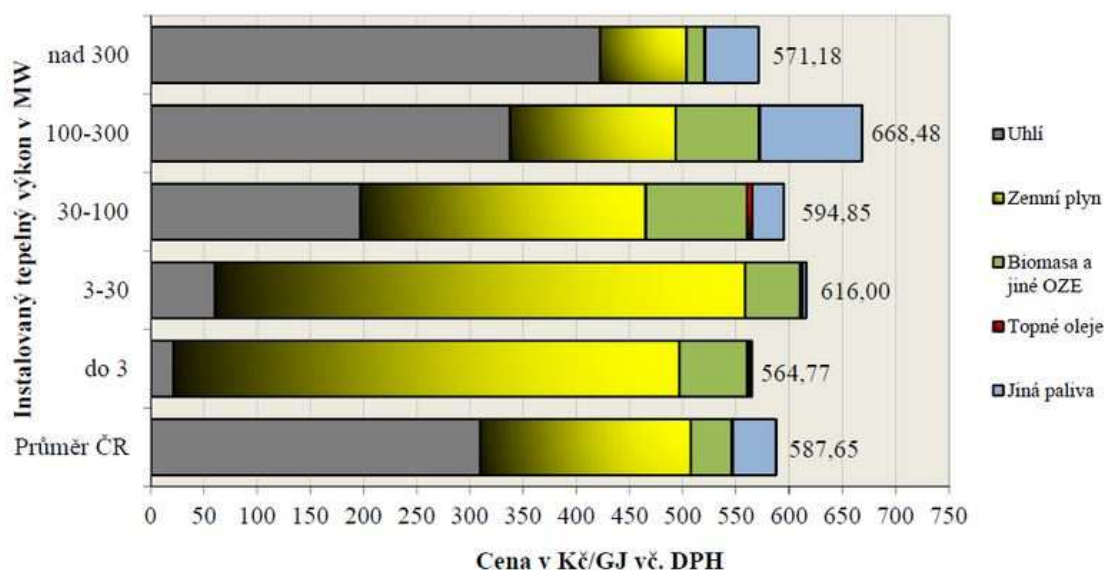
Brikety se vyrábí podobným způsobem jako pelety, jen jsou slisovány do tvarů válečků nebo hranolů o průměru 40 až 100 mm a délky do 300 mm. U briket se uvádí vysoká objemová hmotnost až 1200 kg/m³, nízká vlhkost kolem 8 % a nízký obsah popela v rozmezí 1–3 %. Brikety z biomasy se nejlépe využijí na spalování v kotlích na dřevoplyn, kde dochází k efektivnímu spalování. Dají se spalovat i v jiných topeništích, například v kotlích na dřevo, krbech a kachlových kamnech. Brikety, znázorněné na obrázku č. 11, považujeme jako ekologickou náhradu uhlí. Využívají se jako dobrá alternativa ke spalování v obcích, aby nedocházelo ke škodlivému kouři ze spalování tuhých fosilních paliv v domácnostech (eagri.cz).



Obrázek č. 11: *Ukázka briket (google.cz)*

6.4 Využití biomasy v domácnostech

Z energetického hlediska se biomasa využívá v domácnostech pro výrobu tepla. Obnovitelné zdroje se v dnešní době podílejí na výrobě tepla v domácnostech okolo 17 %, většinu tvoří biomasa v podobě kusového dříví, dřevěných pelet a briket. Obecně se dá říci, že podíl výroby palivového dříví na celkové lesní těžbě narůstá již od poloviny 90. let (5 % v roce 1995) až na současných 12 % (2011). Nejefektivnější formou pro užití biomasy v domácnostech je palivové dříví, pelety a eventuálně brikety určené pro vytápění a přípravu teplé vody (TV). Využití těchto paliv v domácnostech je levnější než vytápění jinými druhy paliv, například fosilními nebo elektřinou (Trávníček et al., 2015). Srovnání nákladů na vytápění domu dle podílu paliva za rok 2015 je uvedeno na obrázku č. 12.



Obrázek č. 12: Průměrné výsledné ceny tepelné energie znázorněním podílu paliva pro konečné spotřebitele za rok 2015 (tzb-info.cz)

Na obrázku jsou také znázorněny průměrné ceny tepelné energie za rok 2015 v závislosti na instalovaném tepelném výkonu zdrojů tepelné energie. Výkon instalovaného tepelného zdroje je rozdělen do pěti skupin. Je vidět také podíl paliv použitých při výrobě tepelné energie v jednotlivých skupinách. U větších zdrojů převládá podíl uhlí, se snižující výší instalovaného tepelného výkonu se zvyšuje podíl ostatního paliva (obzvláště zemního plynu) (tzb-info).

6.5 Výhody a nevýhody biomasy pro energetické využití

Biomasa má své jisté výhody. Dobře se ukládá, má nízký obsah síry i oxidu siřičitého ve spalinách, naprostý zlomek v porovnání například s hnědým uhlím. Biomasa je široce dostupná (na rozdíl od fosilních paliv). Nemusí se dovážet na velké vzdálenosti, využití biomasy napomáhá místní ekonomice a snižuje vazbu státu na importovaných zdrojích energie. Z tohoto důvodu je třeba používat biomasu tam, kde je to nejvýhodnější - například náhrada kotle na hnědé uhlí moderními kotli na pyrolýzní spalování dřeva může dramaticky zlepšit ovzduší v inverzním údolí. Spálení stejného množství dřeva společně s uhlím ve velké, moderní a uhelné elektrárně žádný efekt na čistotu vzduchu nemá (biom.cz).

I přesto, že biomasa je přírodní produkt a obnovitelný zdroj energie, tak i tak při jejím spalování může dojít ke vzniku škodlivých emisí, které znečišťují ovzduší. Jestliže spalujeme dřevo v běžných kachlových kamnech nebo krbech, tak kouř obsahuje celou řadu škodlivých látek, jako jsou například fenoly nebo polycyklické aromatické uhlovodíky. Tyto obdobné látky se vyskytují také při topení uhlím (biom.cz).

7 Znečišťující látky v ovzduší

Na začátku této kapitoly bych chtěla vymezit čtyři důležité základní pojmy, které se k tomuto tématu pojí.

- **Emisní limit** – nejvyšší přípustné množství znečišťující látky vypouštěné do ovzduší ze zdroje znečišťování. Je to koncentrace znečišťující látky v ovzduší, která způsobuje tmavost kouře.
- **Imisní limit** – nejvýše přípustná hmotnostní koncentrace znečišťující látky obsažená v ovzduší. Imise vyskytují do výše asi 1,8 m (přízemní koncentrace látek). Imise mají velký význam pro hodnocení kvality ovzduší a vliv na lidské zdraví.
- **Depoziční limit** – nejvýše přípustné množství znečišťující látky usazené po dopadu na zemský povrch za jednotku času.
- **Smog** – odvozeno od kouře (smoke) a mlha (fog).
 - Redukční smog (londýnský, zimní) – směs městského a průmyslového kouře s mlhou, vyskytující se většinou v zimě s přízemními inverzemi, složen převážně z oxidu siřičitého.

Za tuhé znečišťující látky se považuje poléťavý prach, který je tvořen tuhými částicemi o průměru pod 10 μm (značeno jako frakce PM10). Imisní monitoring je v poslední době pozorován již u frakce PM2,5 (průměr pod 2,5 μm). Poléťavý prach má vliv na znečištěné ovzduší a transport znečišťujících látek do půdy i k rostlinám.

Poléťavý prach způsobuje kardiovaskulární onemocnění, choroby dýchacích cest, snižuje délku života a zvyšuje kojeneckou úmrtnost. Může způsobovat rakovinu (arnika.cz).

Povolený imisní limit: PM10 - 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}/24$ hod.
 PM2,5 - 25 $\mu\text{m}\cdot\text{m}^{-3}/\text{rok}$

Pro vyskytující se polutanty v ovzduší jsou stanoveny legislativní limity krátkodobé a dlouhodobé. Legislativa udává imisní limity pro látky SO₂, NO_x, CO, PM10, olovo, kadmium, arsen, nikl a troposférický ozon.

Množství těchto látek nacházející se v ovzduší je dáno typem paliva a druhem spalovacího zařízení. Mezi hlavní znečišťující látky v ovzduší se řadí:

- Anorganické látky:
 - oxid siřičitý (SO₂),
 - oxidy dusíku (NO, NO₂, N₂O),
 - oxid uhelnatý (CO),
 - tuhé znečišťující látky (TZL).
- Organické látky:
 - perzistentní organické polutanty (POPs) tvořící skupiny organických látek typu polyaromatických uhlovodíků, dioxinů atd.,
 - těkavé organické uhlovodíky a jejich deriváty – označeny jako VOC, zástupcem je benzen

Mezi další látky, které se vyskytují v ovzduší, avšak nemají tak negativní účinky, patří složky PCDD/F (polychlorované dibenzodioxiny / furany), HCl (chlorovodík) a PCB (polychlorované bifenyly) (Trávníček et al., 2015).

V dnešní době k základním problémům kvality ovzduší patří znečištění suspendovanými částicemi, přízemním ozónem a polycyklickými aromatickými uhlovodíky (PAH).

Imisní limity udává zákon o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb. a vyhláška č. 330/2012 Sb. O způsobu posuzování a zhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích. Díky přijetí zákona o ovzduší došlo k dostavbě odsiřovacích zařízení v elektrárnách a velkých zdrojích znečištění (Hejtmánková, 2015).

7.1 Emise při spalování biomasy

Zákon o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb. říká, že „ochranou ovzduší se rozumí předcházení znečišťování ovzduší a snižování úrovně znečišťování tak, aby byla omezena rizika pro lidské zdraví způsobená znečištěním ovzduší, snížení zátěže životního prostředí látkami vnášenými do ovzduší a poškozujícími ekosystémy a vytvoření předpokladů pro regeneraci složek životního prostředí postižených v důsledku znečištění ovzduší.“

Kdysi dávno mělo využívání biomasy jako paliva menší dopad na životní prostředí. Dnes je tomu bohužel jinak, neboť při spalování libovolných paliv dochází vždy k uvolňování látek, které mohou mít na životní prostředí negativní vliv. Při spalování biomasy

kvůli fyzikálním dějům a termochemickým reakcím dochází k uvolňování látek, které jsou více či méně prospěšné životnímu prostředí (Havlů, 2008).

Mezi nejvýznamnější polutanty v ovzduší:

7.1.1 Oxidy síry

Oxid siřičitý SO_2 vzniká při vulkanické činnosti oxidací sopečných plynů. Jeho významná část vzniká i při spalování fosilních paliv, ve kterých je síra obsažena 1-3 % jako sulfidy.

Oxid siřičitý bývá často oxidován na oxid sírový nebo vznikne kyselina sírová, která vytvoří se vzduchem aerosol a padá s deštěm na zemský povrch (kyselé deště).

Při spalování biomasy tvoří podíl SO_x v rozmezí 0,06 – 0,52 %. U dřevní hmoty je minimální.

SO_2 dráždí lidský organismus a působí negativně na sliznici očních spojivek a také horních cest dýchacích. Může tak docházet ke kašli a v horším případě vzniká i edém plic. SO_2 může dále způsobit astma, záněty průdušek či vznik akutní bronchitidy.

Co se týče SO_2 a rostlin, tak SO_2 ničí zelené barvivo v rostlinách, a narušuje tím průběh fotosyntézy. Dochází ke zpomalení růstu rostliny, a tak klesá produkce biomasy.

Velmi významným krokem ke zlepšení životního prostředí je odsíření uhelných elektráren. Vzhledem k ekonomické náročnosti odsíření uhlí se v praxi odsířují pouze kouřové plyny. Z chemického hlediska jde odsířit jak palivo, tak i kouřové plyny. Kouřové plyny se díky odsíření zbaví 30–40 % síry (Hejtmánková, 2015).

Povolený imisní limit: $125 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

7.1.2 Oxidy dusíku

Oxidy dusíky se značí NO_x (nazývají se také „noxy“). Pojem noxy zahrnuje oxid dusnatý NO, oxid dusičitý NO_2 a N_2O_5 . NO a N_2O v atmosféře oxiduje na toxický NO_2 .

Oxidy dusíky se vyskytují všude tam, kde něco hoří, což jsou i domácí kotle, kamna a krby. Automobilová doprava je velmi významným zdrojem emisí oxidů dusíku. V České republice je kvůli dopravě podíl mobilních zdrojů znečištění zatím jen 20 %. V ostatních zemích dosahuje automobilová doprava až 60 %. Tento zdroj emisí celosvětově stále narůstá.

Množství emisí NO_x závisí na teplotě plamene ve spalovacím procesu. Vysoké teploty v topeništi či ohništi přispívají přímou oxidací dusíku k tvorbě NO_x . Výskytem NO_2

v ovzduší vznikají kyselá deště a při reakci s vodou vznikne kyselina dusitá HNO_2 nebo dusičná HNO_3 (Hejtmánková, 2015).

Palivový dusík z biopaliva se na celkové tvorbě NO_x podílí minimálně a u dřevní biomasy velmi málo spíše vůbec (Krempaský, 2009).

Povolený imisní limit: oxid dusičitý - $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}/\text{rok}$

7.1.3 Oxid uhelnatý

Oxid uhelnatý (CO) je nejběžnější a nejrozšířenější látka znečišťující ovzduší. CO vzniká nedokonalým spalováním uhlíkatých materiálů a je výsledkem některých průmyslových a biologických procesů.

Ze zdravotního pohledu má tato látka také vliv na lidské zdraví. Oxid uhelnatý působí na srdce, cévní a nervový systém. Při jeho nízkých koncentracích může dojít u zdravého člověka k únavě, člověk se srdečními problémy pociťuje bolest na prsou. Při jeho vyšších koncentracích může dojít k poruchám vidění a koordinace, bolestem hlavy, závratím, zmatečnému chování a může být pociťována žaludeční nevolnost. Hodně vysoké koncentrace (CO) mohou být až smrtelné (arnika.cz).

Povolený imisní limit: $10\,000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}/\text{maximální denní 8hod. klouzavý průměr}$

7.2 Emisní třídy kotlů

Díky zvyšující se poptávce na kvalitu života a lepší podmínky na životní prostředí, musí dojít nejprve určitým způsobem k minimalizaci (omezení) emisí znečišťujících látek do ovzduší. Bohužel při spalování tuhých paliv se vždy vyprodukuje určité množství znečišťujících látek. Cílem je snížení těchto látek na minimum, tedy na určitou přijatelnou úroveň. Jediným východiskem, jak docílit snížení množství vypouštěných látek, jsou legislativní požadavky. V dnešní době lze zaznamenat trend vyššího používání automatických a zplyňovacích kotlů v domácnostech (tzb-info.cz).

Vzhledem k tomu, že emise ze spalování tuhých paliv při vytápění domácností v malých kotlích výrazně ovlivňují kvalitu ovzduší, došlo ke zpřísnění limitních hodnot. Dojde také ke zvýšení požadavků na vývoj technologií pro spalovací zařízení a projeví se to i ceně kotlů. Od 1. 1. 2020 musí každý výrobce či dovozce kotlů splnit požadavky na Ekodesign kotlů na tuhá paliva, který vyšel ve věstníku EU 21. 7. 2015. V tabulce č. 8 je shrnut přehled povinností, které souvisí s prodejem i provozem kotlů na tuhá paliva pro domácnosti (tzb-info.cz).

Tabulka č. 8: *Přehled povinností dle platnosti pro provoz a prodej kotlů na tuhá paliva pro domácnosti (tzb-info.cz)*

Platnost od	Popis nařízení
1. 1. 2014	Zákaz prodeje kotlů 1. a 2. emisní třídy (možnost legálně koupit a používat kotle 3., 4. a 5. emisní třídy)
1. 1. 2017	Povinnost na vyžádání předložit revizi kotle (včetně označení emisní třídy)
1. 1. 2018	Zákaz prodeje kotlů 3. emisní třídy (možnost legálně koupit a používat kotle 4. a 5. emisní třídy)
1. 1. 2020	Zákaz prodeje kotlů 4. a 5. emisní třídy (možnost zakoupit a používat pouze kotle splňující požadavky EKODESIGN) - pro celou EU
1. 9. 2022	1. 9. 2022 zákaz používání kotlů 1. a 2. emisní třídy bez ohledu na to, kdy byly pořízeny

8 Metodika práce

Praktická část práce je zaměřena na provedení sledování konkrétních provozních režimů kotle na biomasu a vyhodnocení získaných dat. Praktické měření bylo realizováno v Laboratoři termochemických transformací biomasy, v budově R, areálu Mendelovy univerzity v Brně. Laboratoř je vybavena jak spalovacím zařízením, tak systémem chlazení topného výkonu spalovacího zařízení. Celý systém je řízen autonomním regulačním systémem, který umožňuje záznam prakticky všech podstatných provozních veličin.

8.1 Popis poloautomatického kotle na spalování biomasy

Mezi základní vybavení pro topné testování patří poloautomatický kotel na biomasu typu CATfire 25 USZ v prototypovém provedení. Výrobce je Hamont Contracting and Trading, s.r.o., Sedliště.

Kotel byl vyroben na zakázku a byly na něm provedeny změny. Od standardního řešení kotlů se liší zejména vytvořenými prostupy pro měření teplot uvnitř vlastní spalovací komory. Také na tomto typu kotli byl snížen objem základního zásobníku paliva, který byl zbytečně velký a pro experimentální měření stačí menší (Fajman, 2013). Základní a technické parametry kotle podle výrobního štítku jsou uvedeny v tabulce č. 9.

Tabulka č. 9: Základní parametry kotle typu CATfire 25 USZ (Fajman, 2013)

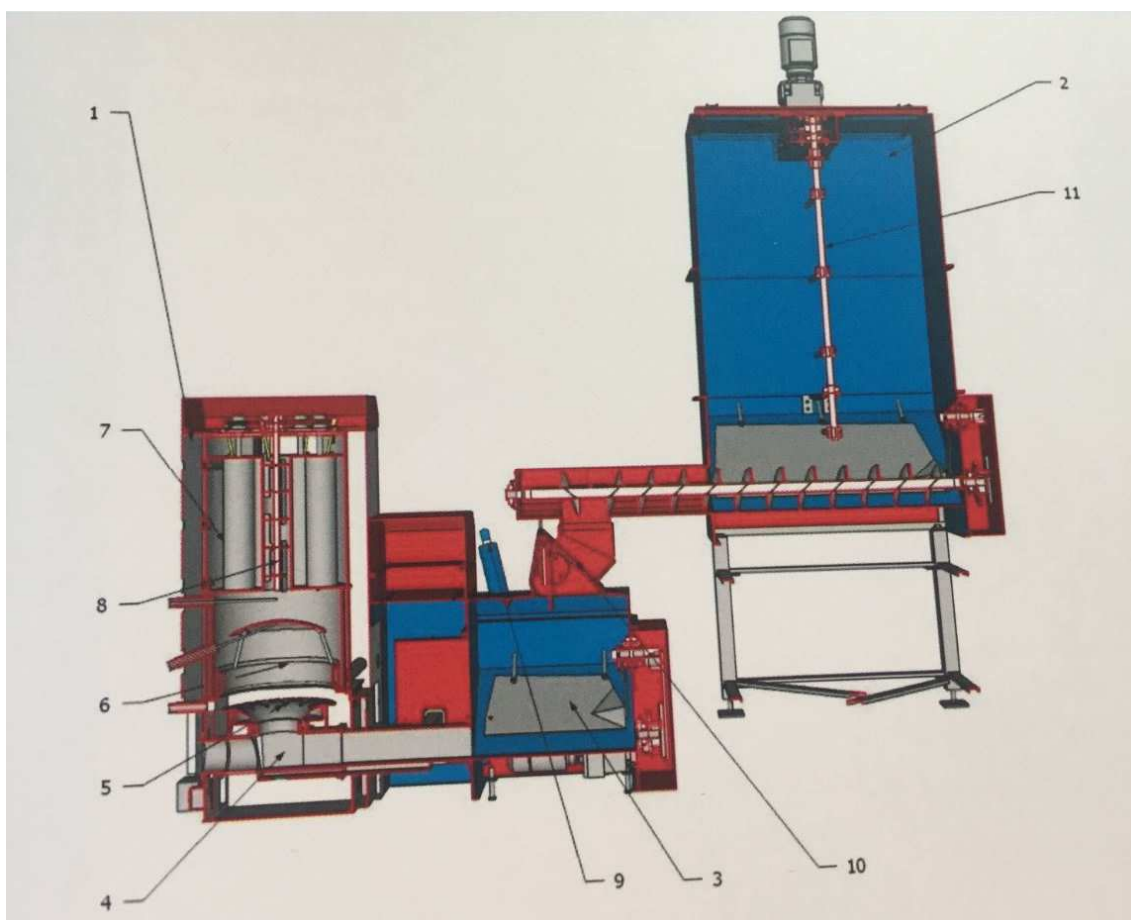
Typ	CATfire 25 USZ
Výrobní číslo	25/31/08
Výkon	7–25 kW
Max. přetlak	3,5 bar
Max. teplota vody	90 °C
Kapacita vody	64 l
Elektrické zapojení	3~400 V/ 50 Hz
Rok výroby	2008
Jmenovitý příkon	3,553 kW
Třída kotle	3
Krytí	IP45
Hmotnost	577 kg

Kotel typu CATfire je vybaven spodním podáváním paliva šnekovým dopravníkem do retortovaného topeniště s funkcí odstraňování vyhořelého paliva. Přívod primárního spalovacího vzduchu je přímo stěnou talíře, na kterém je vyhrnováno palivo (tzv. primární hořák). Sekundárním hořákem je přiváděn sekundární vzduch pomocí prstencem opatřeným jednotlivými tryskami. Sekundární hořák vyústí nad primární hořák, proud spalin je směřován krytem hořáku do stran, odkud je nasáván do svislých trubec výměníku spalin/vytápěcí vodou. Přičemž spaliny prostupují vnitřní stěnou trubec umístěných ve vodním plášti. Tento typ kotle má automatický systém čištění teplosměnných ploch pomocí mechanických hrabic uvnitř trubec. Kotel má společnou část topeniště a dohořivací komory. Dále je kotel vybaven automatickým zapalováním na horkovzdušné bázi, které je komfortnější pro obsluhu (Fajman, 2013).

Fotografie kotle jsou představeny v příloze č. II. obrázek č. 19 až obrázek č. 23.

Model kotle CATfire 25 USZ se skládá z dalších jednotlivých, základních a hlavních částí viz obrázek č. 13.

Obrázek č. 13: Model kotle CATfire 25 USZ (Fajman, 2013)



Vysvětlení k obrázku č. 13 k jednotlivému vybavení kotle:

1) model kotle CATfire 25 USZ dle podkladů výrobce

2) hlavní zásobník paliva

3) mezizásobník, do kterého přes hermeticky uzavíranou klapku (10) dodává palivo šnekový dopravník z hlavního zásobníku (2)

4) zaplňující kanál podávacího šneku, který vytváří přirozenou bariéru proti zpětnému prohoření paliva. Kotel je vybaven automatickým zhášením při případném zpětném prohoření paliva. K tomu slouží bezpečnostní ventil ovládaný v závislosti na teplotě a je k dispozici zásoba vody na zadní stěně kotle, která při havarijním stavu skrání kanál podávacího šneku paliva.

5) primární hořák se spoustou trysek (otvorů průměru cca 1 mm) přes který podávací šnek vyhrnuje palivo pro přívod primárního vzduchu. Na stejném místě, jak je primární hořák jsou trojúhelníkové vzájemně přesuvné břity samočisticího mechanismu. Při jehož spuštění je popel vysunován do popelníku na levé straně kotle (1). Palivo na povrchu primárního hořáku také odhořívá.

6) meziprostor pro přívod sekundárního vzduchu

7) spaliny směřované odtahovým ventilátorem okolo stěn kotle stoupající sadou devíti trubic výměníku (7)

8) v každé sadě trubic výměníku (7) je řetězovým převodem v horní části kotle poháněna soustava hrabic (8) pro čištění teplosměnných ploch

9) snímač hladiny paliva, který udržuje dostatek paliva v mezizásobníku (3)

11) v zásobníku se nachází ovládaný bořič klenby, jehož pohyb je stejný s pohybem posuvných desek na šikmých dnech zásobníku (2). Mechanismus posuvných desek je synchronizovaný pohyb s podávacím šnekem.

8.1.1 Chladicí systém

Při experimentálním měření je nezbytné zajistit přesnou odezvu chladicího systému dle požadavků obsluhy, a to nezávisle na aktuálních klimatických podmínkách. Z toho důvodu bylo voleno chlazení tepelného výkonu kotle maření do atmosféry. Chladicí systém se skládá ze dvou okruhů, nezávisle na sobě, a to kotlový a dochlazovací, mezi kterými je teplo předáváno v deskovém výměníku. V kotlovém okruhu je teplosměnným médiem voda. V dochlazovacím okruhu je náplň tzv. glykolová směs, neboť tento okruh dochlazovací prostupuje přes fasádu objektu k chladicímu systému (výměník gly-

kol/vzduch) – maximální chladicí výkon 30 kW při venkovní teplotě 30 °C. V kotlovém okruhu je začleněn regulovatelný třicestný ventil, který rozděluje průtok vytápěcí vody mezi vratku přímo do kotle a obtok přes deskový výměník (Fajman, 2013).

8.1.2 Emisní analyzátor

Emisní analyzátor je od firmy MRU, která sídlí v Německu. Emisní analyzátor umožňuje měření základních sledovaných polutantů odpovídající sledované třídě kotle na biomasu. Nepřetržitý odběr určitého vzorku umožňuje vyhřívaná hadice, která je připojena pomocí rychlospojky k hubici zahrnující filtrování prachových částic, trubice pro odběr vzorku z kouřovodu a termočlánek pro měření teploty spalin. Naměřená data jsou díky měřicímu a regulačnímu systému pro ukládání dat převedeny do společné datové matice (Fajman, 2013).

8.2 Popis regulace a řídicího systému

Regulační a řídicí systém je důležitý pro zajištění komplexního řízení kotle včetně měření a plnění dalších funkcí a požadavků. Mezi základní požadavky k experimentálnímu systému patří možnost jak autonomního, tak plně manuálního provozu dle zadané úlohy. Při jakémkoliv nastavení kotle a režimu musí být schopen regulační a řídicí systém zajistit kontrolu v kritickém stavu například přehřátí kotle nebo ztráta signálu přes čidla. Při autonomním stavu by mělo dojít k přerušení úlohy a k automatickému přechodu do bezpečnostního stavu.

Regulační a řídicí systém pro laboratorní pracoviště byl navržen zpracován pracovníky Ústavu techniky a automobilové dopravy na základě technologií National Instruments. Podobně tak softwarové řešení bylo vynalezeno na stejném Ústavu na Mendelově univerzitě ve vývojovém prostředí LabView ve verzi 2010 (Fajman, 2013).

Obrázky programu a regulace kotle na PC jsou k dispozici v příloze č. III. obrázek č. 24 až obrázek č. 27.

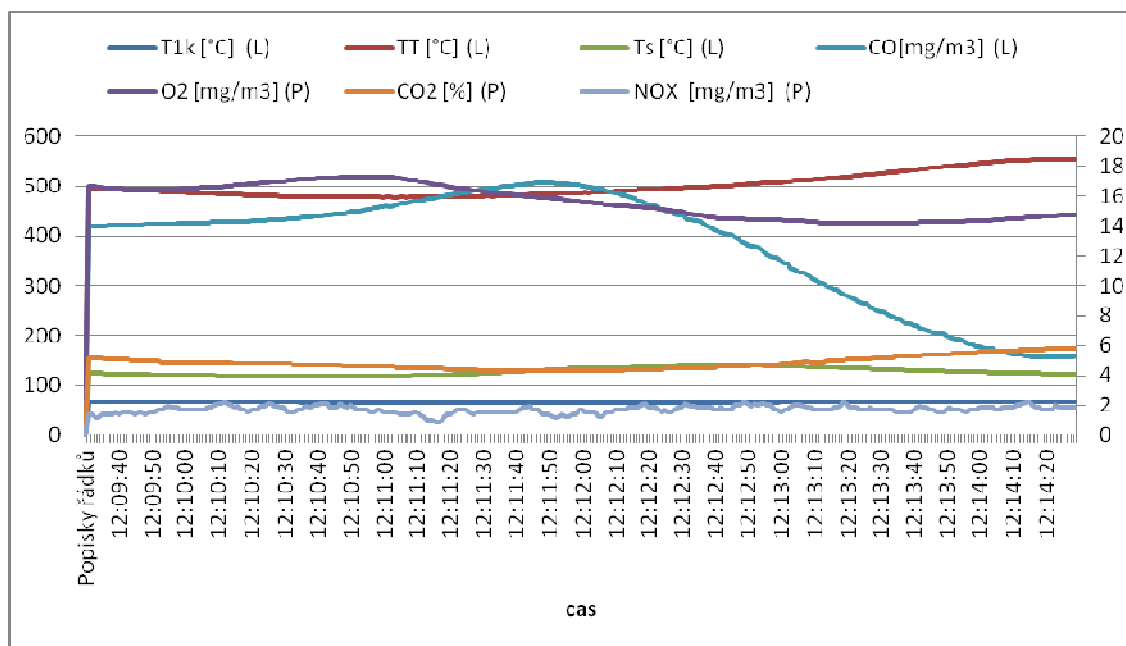
8.3 Způsob vyhodnocení naměřených údajů

Po zadání úlohy se naměřená data ukládala do příslušného programu s frekvencí 1 Hz. Následně byla převedena do tabulkového kalkulátoru MS Excel. Byly vybrány formou filtru úseky dat, které odpovídaly sledovaným režimům kotle tak, aby výběry dat nejlépe vykazovaly sledované rozdíly v chování kotle dle zadaných požadavků. V části výsledků budou uváděny pro jednotlivá sledování grafické závislosti pomocí grafů.

Z důvodu poměrně značného rozsahu naměřených údajů jsou v práci uváděna pouze ty hlavní grafy, zbylé jsou k dispozici u autorky práce.

9 Výsledky

V praktické části Vám představím výsledky konkrétního měření na kotli typu CATfire 25 USZ pro spalování biomasy za energetickým účelem a zhodnocení vypouštěných znečišťujících látek do ovzduší. V příloze č. I. tabulka č. 10 popisuje označení položek měřených v rámci laboratorního vybavení.



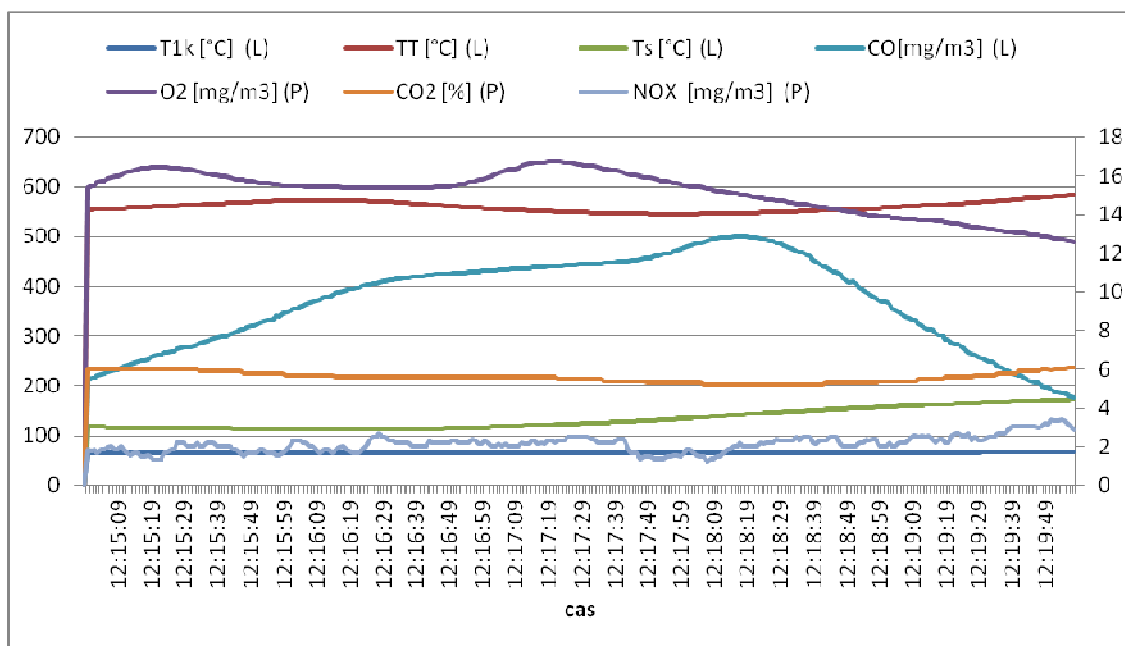
Obrázek č. 14: Sledování změny polutantů na závislosti zahřívání kotle (vlastní zpracování)

Pozn.: Písmena L a P v závorkách v legendě grafu označují, na které ose (pravá nebo levá) jsou vyneseny hodnoty dané veličiny.

Na obr. č. 14 je zobrazen jeden ze sledovaných režimů. Celá soustava kotle a řízeného chlazení byla na začátku sledovaného úseku rozehrátá a ve stabilním režimu výstupní teploty z kotle (T_{1k}) na úrovni 65 °C a odebíral se výkon 15 kW. V levé části grafu tak lze pozorovat vyrovnaný průběh sledovaných veličin i emisních charakteristik. V čase cca 12:12 došlo k záměrnému zvýšení požadavku na odebíraný topný výkon na 18 kW. Regulační systém kotle musel tedy zvýšit okamžitý topný výkon, což zahrnuje vyšší podávané množství paliva, ale hlavně zvýšení průtoku spalovacího vzduchu. Zvýšený přístup vzduchu, resp. kyslíku pro vlastní oxidační reakce v procesu hoření znamenají významný pokles emisí CO z úrovně 500 mg/m³ až na úroveň cca 150 mg/m³. Zároveň,

jako důkaz zlepšení kvality spalování došlo k poklesu zbytkového obsahu kyslíku ve spalínách a nárůstu emisí CO_2 . Tento vzájemný posun emisí CO , CO_2 a zbytkového O_2 povede pravděpodobně k vyšší efektivitě využití hořlaviny paliva.

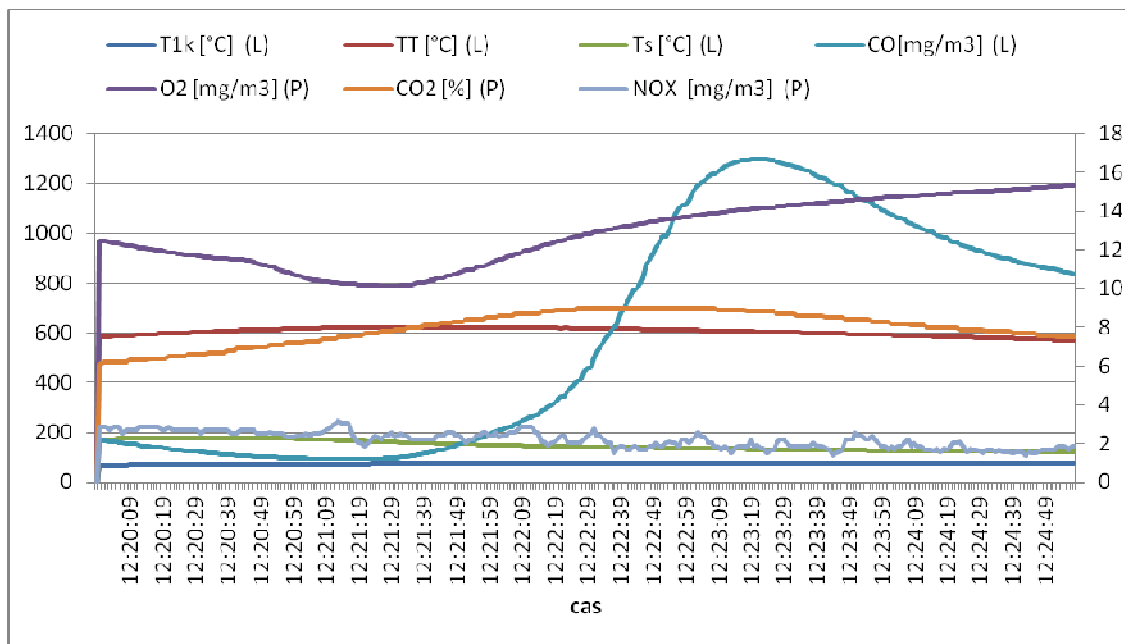
Je nutno uvést, že takovýto skokový nárůst požadovaného topného výkonu nebude v praxi typický, bude odpovídat zatápěcímu režimu a pravá část grafu bude také reprezentovat charakteristiky kotle blízké maximálnímu požadovanému výkonu, kde lze obecně očekávat nejnižší míru emisí a nejvyšší míru účinnosti kotle.



Obrázek č. 15: Sledování změny polutantů na závislosti zahřívání kotle (vlastní zpracování)

Zde na obrázku č. 15 se po prověření předchozího stavu soustavy nastavilo T_{1k} 70 °C a odebíraný výkon byl snížen na 12 kW. I když je nominální výkon kotle 25 kW, požadovaná úroveň topného výkonu je tak požadavkem na cca 50% výkon, současný požadavek na zvýšení pracovní teploty kotle z 65 °C na 70 °C vede k dalšímu využívání výkonových charakteristik kotle. Graf tak opět ukazuje poměrně vhodný provozní režim kotle. Sice se průběžně zvyšovaly emise CO a k maximu došlo v čase okolo 12:18:20 na úrovni cca 500 mg/m^3 , další výkonové zatížení kotle však, obdobně jako v předchozím případě, znamenalo návrat k velmi dobrému provoznímu režimu na konci sledovaného

časového úseku. V obou výše uvedených obrázcích je také možné sledovat mírnou korelaci nárůstu emisí NO_x s teplotou v topeništi.

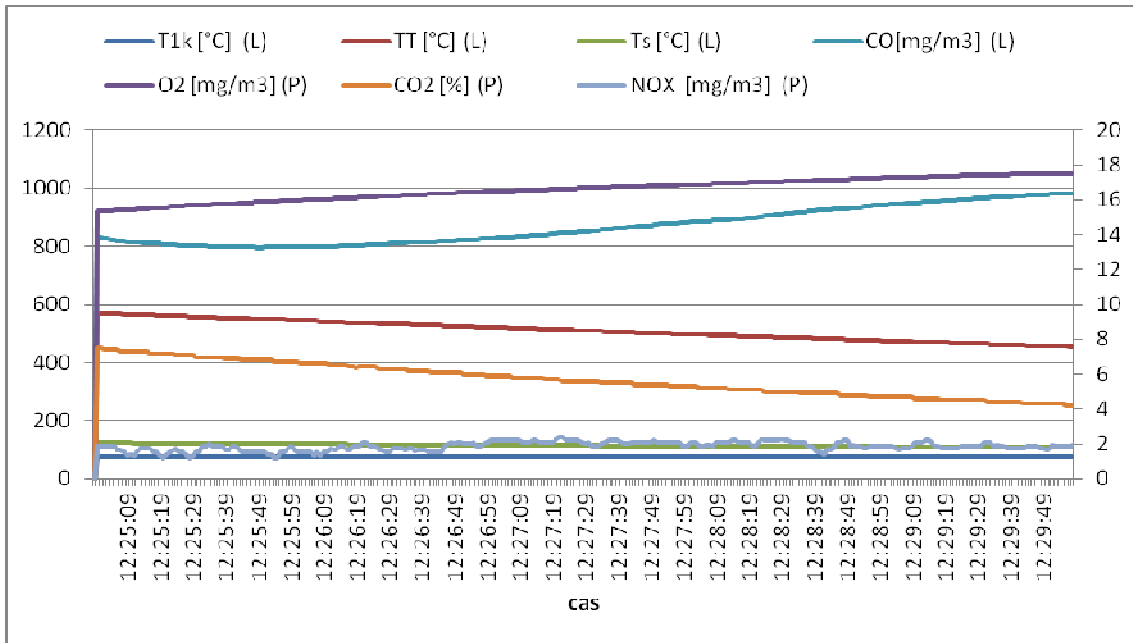


Obrázek č. 16: Sledování změny polutantů na závislosti zahřívání kotle (vlastní zpracování)

Oproti předchozím průběhům je v obr. č. 16 zobrazen režim práce kotle, který je z pohledu emisního zatížení výrazně horší. Je však třeba poznamenat, že stále s vysokou rezervou splňuje požadavky příslušných norem i pro maximální výkon kotle, byť jsme opět v částečném výkonovém zatížení. Požadavky na odebíraný výkon i výstupní teplotu jsou shodné s předchozím režimem. Přesto nyní dochází k vysokému nárůstu emisí CO, poklesu teploty v topeništi a poklesu NO_x . Oproti předchozím režimům se také zdánlivě nelogicky vyvíjí hodnota zbytkového O_2 ve spalinách.

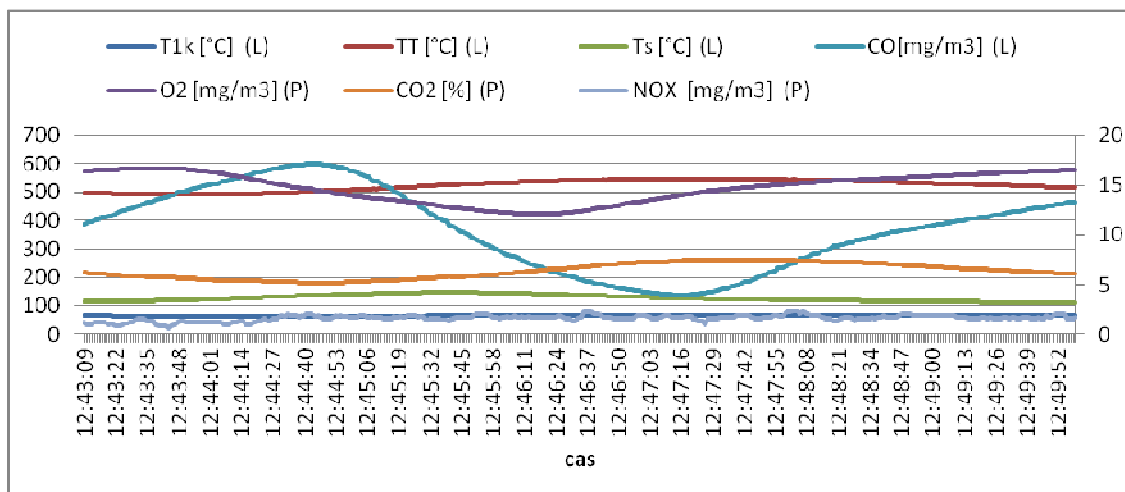
Velmi pravděpodobným vysvětlením tohoto provozního stavu bude přechod z režimu požadovaného okamžitého výkonu do režimu, kdy je dosaženo požadovaného provozního stavu, ale za cenu toho, že v topeništi je poměrně vysoké množství doposud nespáleného paliva. Protože však regulační systém dosáhl požadovaných parametrů, není záměrně přiváděn další spalovací vzduch v takové míře, jak by odpovídalo požadavků na zvyšování výkonu (protože to by vedlo ke zvýšení provozní teploty kotle, což je z hlediska požadavku regulace již nežádoucí). Pro dohoření nespáleného paliva tak není k dispozici okamžitě potřebné množství kyslíku. Proto dochází k razantnímu nárůstu

emisí CO. S tím je spojena nižší spotřeba kyslíku pro spalování, takže paradoxně jeho zbytkové množství ve spalinách také roste. I když teoreticky v čase cca 12:23:50 by mělo dojít k obratu tohoto trendu mezi CO a O₂, nárůst zbytkového O₂ je podpořen poklesem emisí CO₂.



Obrázek č. 17: Sledování změny polutantů na závislosti zahřívání kotle (vlastní zpracování)

Levá část obr. č. 17 pak představuje ustálený režim navazující na předchozí úsek. Všechny veličiny jsou relativně ustálené, sice hoření neprobíhá s nejvyšší možnou efektivitou (viz míra emisí CO), ale celkově je režim vyhovující jak požadavkům na emise, tak na celkovou efektivitu využití paliva. V čase cca 12:27:29 došlo opět ke změně požadavků na práci soustavy, snížení požadavku na výstupní teplotu kotle na 65 °C a odebíraný výkon byl zvýšen na 18 kW. Sice to znamená poměrně velký výkonový skok (opět nad úroveň běžných nárůstů v instalacích v domácnostech), avšak vzhledem k setrvačnosti celé soustavy a kapacitě tepla uchované v objemu teplosměnné kapaliny je tento režim vlastně setrváním na původních charakteristikách dokonce s mírným poklesem okamžitého topného výkonu, tzn. jen mírný nárůst emisí CO a poklesu dalších veličin.



Obrázek č. 18: Sledování změny polutantů na závislosti zahřívání kotle (vlastní zpracování)

I když z praktického hlediska představuje obr. č. 18 další sledovaný provozní režim, záměrně je popsán spíše obecně, jako jistý idealizovaný průběh spalování dávek paliva než s podrobným popisem nastavovaných provozních charakteristik, jako v předchozích příkladech. Poslední ukázka režimu kotle tak ukazuje jistou cykličnost v práci spalovacích zařízení na tuhá paliva. Přidání dávky paliva znamená ve vyrovnaném výkonovém režimu nárůst emisí CO, pokles zbytkového O₂ v tomto případě souvisí s nárůstem emisí CO₂. Cca od času 12:44:50 pak dochází po odsušení vody v přidaném palivu a generování těkavé hořlaviny k jejímu využití. Narůstá teplota spalin i teplota v topeništi, klesají emise CO a rostou emise CO₂. Po využití chemické energie dané dávky paliva opět nastává podání další dávky paliva a cyklus se opakuje. Jen je z grafu zřejmé jisté vzájemné zpoždění veličin zejména na úrovni emisí. To je dáno tím, že využití těkavé hořlaviny je po ochlazení topeniště a teploty spalin novou dávkou paliva poněkud zpožděno oproti vývinu těkavé hořlaviny z nového paliva, které je přímo vystaveno tepelnému působení fixního uhlíku na nové palivo.

Celkově lze shrnout, že i ve zkráceném (a mírně intenzivnějším než by odpovídalo provoznímu režimu v objektu) testování kotle na biomasu dochází k řadě různých provozních režimů kotle. Jak z pohledu využití energie paliva (efektivity) tak z pohledu emisí se tyto režimy poměrně významně liší. Sice po celou dobu testování nebylo dosaženo režimu, který by byl v rozporu s emisními limity pro sledovanou emisní třídu

kotle, přesto není možno vyloučit, že při méně kvalitní regulaci by takový režim mohl v praxi nastat. Sledované parametry ukazují, že i pro poměrně moderní kotel na biomasu je nutno správně volit provozní režim kotle, tento provozovat ponejvíce v režimu blízkému jmenovitému výkonu kotle a celkově věnovat jak okamžitému, tak dlouhodobému provoznímu stavu kotle pozornost.

10 Závěr a diskuse

Celosvětová výroba energie je z větší části závislá na využívání fosilních paliv, jejichž rezervy se postupně neustále snižují. Z tohoto důvodu se mnoho států a organizací snaží závislost na těchto zdrojích omezovat. Díky uvědomění si nastávajících problémů nebo omezení se stále více rozvíjí obnovitelné zdroje energie.

Biomasu je možno zpracovat více způsoby, ale v našich podmínkách je kladen důraz zejména na spalování biomasy, z kterého vyplývají největší energetické výnosy. Z hlavních a zásadních důležitých věcí pro spalování je správná úprava paliva před spalováním a volba správné biomasy. Spalovací procesy v kotlích lze dnes poměrně snadno automatizovat, kdy cílem regulace automatizovaných nebo poloautomatizovaných je zvýšení efektivity využívání biochemické energie paliva, což zároveň vede k minimalizaci produkce nežádoucích emisí. Pro spalování biomasy existují různé typy kotlů rozdělených dle emisních tříd, na které se klade čím dál větší důraz. Nejlepší zhodnocení energie obsažené v biopalivu poskytují kotle středních výkonů. Stále více firem se zabývá jejich výrobou, novou technologií, aby byl dopad na životní prostředí co nejmenší, a tyto kotle se na trhu stávají žádanými. Právě zdroje středních výkonů produkují nejmenší objem znečišťujících látek vypouštěných do ovzduší. To je způsobeno dobrou regulovatelností procesu spalování.

Jihomoravské ekologičtí odborníci popsaly výsledky měření imisní situace, která se odehrála v listopadu roku 2015 ve vybraných menších obcích. Cílem bylo zjistit, jaký je stav ovzduší při topné sezóně. Negativní vliv velkého počtu lokálních topenišť se díky tímto sledováním jednoznačně prokázal. Průzkum ukázal, že ve venkovských oblastech naměřili výrazněji vyšší hodnoty polévatého prachu i karcinogenních látek než v lokalitách centra Brna. Pomocí odborných analýz bylo dokázáno, že roční produkce tuhých znečišťujících látek v rodinném domě vytápěným starým prohřívacím kotlem na hnědé uhlí je odhadem 177 kg za rok. Naopak pro stejný dům, který bude vytápěn moderním automatickým kotlem na hnědé uhlí se dostanou emise prachu pouze na 2,7 kg za rok. Z toho vyplývá, že modernizace kotlů a nové technologie jsou opravdu vhodné k plošné aplikaci z důvodu ochrany ovzduší. Výměnu starých, nevyhovujících, kotlů za nové proto podporuje i stát formou investičních dotací.

V souladu se zjištěními z praktického sledování je zřejmé, že okamžitý provozní stav kotle výrazně ovlivňuje okamžitou míru emisí kotle. Ty samozřejmě obecně souvisejí také s kvalitou a chemickým složením používaného paliva, ale také s celkovým stavem

spalovacího zařízení. Je třeba tedy při dimenzování kotle a topné soustavy dbát na to, aby byl kotel provozován po co nejdelší provozní čas v režimech, kdy je odebíraný topný výkon blízký jeho jmenovitému výkonu. To typicky vede k zařazení systému akumulace tepla do topné soustavy. Zároveň je třeba dbát na celkovou údržbu kotle, provádění pravidelných revizí ze strany uživatele dobrovolně, nikoliv jen pod tlakem legislativy, kterého jsme v současné době svědky.

Regionální produkce má za cíl zvýšit jistotu dodávek energií a snížit závislost na dovozu. Česká republika by potenciálně mohla exportovat energetickou biomasu do EU, ale bohužel hrozí, že čeští producenti budou méně konkurenceschopní na všech trzích. V rámci uhlíkové stopy je nejvhodnější zpracovat biomasu v lokalitě, kde vyrostla. V tomto vidím zásadní problém, který brání rychlejšímu rozvoji obnovitelných zdrojů energií u nás. Z tohoto důvodu je nutné zaručeným způsobem tuto oblast podporovat. Můj názor na tuto problematiku je takový, že se Česká republika měla zabývat otázkou cíleného získávání a energetického využívání biomasy, již v dřívějších letech a vytvořit si tak určité zázemí a energetickou nezávislost, tak jako v některých státech, kterými jsou například Finsko nebo Švédsko.

Mezinárodní agentura pro energii (IEA) v analýze trhu s obnovitelnými zdroji za rok 2016 odhaduje, že do technologií týkajících se obnovitelných zdrojů pro produkci elektrické energie se v období 2016 až 2021 investuje téměř 1,5 bilionu dolarů. Česká republika se snaží rozšířit svoje kapacity v jaderné energii, aby posílila svoji energetickou nezávislost a bezpečnost dodávek energií.

Obecně lze říci, že kotle na biomasu jsou poměrně finančně náročné. Na zlepšení ovzduší ve venkovském prostoru či zatížených lokalitách například Ostravsko se vypisují dotační programy – nová zelené úsporám. Celkově lze shrnout, že dendromasa z rychle rostoucích dřevin je velmi vhodným zdrojem energie z biomasy, která představuje zdroj biomasy pro využití do budoucna.

11 Literární přehled

ANONYM: *Charakteristika popela ze spalování dřeva*. [online]. 2009-06-26 [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/zpravy-z-tisku/charakteristika-popela-ze-spalovani-dreva>

ANONYM: *Jak funguje výroba energie z biomasy*. [online]. [cit. 2017-02-17]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/biomasa/flash-model-jak-funguje-vyroba-energie-z-biomasy.html>

ARNIKA: *Látky znečišťující ovzduší*. [online]. [cit. 2017-02-23]. Dostupné z: <http://arnika.org/latky-znecistujici-ovzdusi>

BERANOVSKÝ, J., MACHOLDA, F., SRDEČNÝ, K., TRUFA, J. *Energie z biomasy*. [online]. 2004 [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://www.i-ekis.cz/?page=biomasa>

CELJAK, I.: *Biomasa je nezbytná součást lidského života*. Biom.cz [online]. 2008-12-22 [cit. 2017-01-23]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-je-nezbytna-soucast-lidskeho-zivota>>. ISSN: 1801-2655.

ČERVINKA, P.: *Využití biomasy v energetických výrobnách v ČR*. Bakalářská práce, BRNO. 2009

DOMONKOŠOVÁ, L.: *Zařízení na spalování biomasy*. [online]. 2000-03-08 [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: http://ekolist.cz/cz/zelena-domacnost/rady-a-navody/zarizeni-na-spalovani-biomasy?apc=/cz/zelena-domacnost/rady-a-navody/zarizeni-na-spalovani-biomasy&nocache=invalidate&sh_itm=47fa0f13309f5d18266a2bf16378a7be&sel_ids=1

EAGRI: *Možnosti energetického využití biomasy. Akční plán pro biomasu v ČR na období 2012-2020*. [online]. [cit. 2017-01-15]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/283371/Moznosti_energetickeho_vyuziti_biomasy.pdf

HAVLŮ, M.: *Využití biomasy v České republice*. Brno 2008. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.

HEJTMÁNKOVÁ, A., DOLEJŠKOVÁ J. *Význam prvků a jejich sloučenin v životním prostředí*. Praha. 2015. ISBN 978-80-213-2550-0

HORÁK J., HOPAN F., KRPEC K., KUBESA P.: *Co musí splnit nový kotel na tuhá paliva po roce 2020?* [online]. 29. 6. 2015 [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: <http://m.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy-12909-co-musi-splnit-novy-kotel-na-tuha-paliva-po-roce-2020>

JELEMENSKÝ, L., GAŠPAROVIČ, L., MARKOŠ, J.: *Energetické využití rostlinnej biomasy 2 – Termické procesy*. Biom.cz [online]. 2013-05-20 [cit. 2017-02-26]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/energeticke-vyuzitierastlinnej-biomasy-2-termicke-procesy>. ISSN: 1801-2655.

HELÁN, T.: *Lokální topeniště a kvalita ovzduší v topné sezóně*. Jihomoravské ekolisty 2016. [cit. 2017-03-30]. Tiskárna Helbich, a.s. MK ČR E 15264.

KREMPASKÝ, R.: *Posouzení a ověřování spalování biomasy v teplárenských kotlích*. Technická univerzita Ostrava. 2009. ISBN 978-80-248-2024-8

KUBESA P., HORÁK J.: *Proces hoření kusového dřeva*. Výzkumné energetické centrum. [online]. 2012-06-18 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z www: <http://energetika.tzb-info.cz/8716-proces-horeni-kusoveho-dreva>

MURTINGER, K. *Možnosti využití biomasy*. Biom.cz [online]. 2007-05-02 [cit. 2017-02-26]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-vyuziti-biomasy>>. ISSN: 1801-2655.

NOSKIEVIČ, P. a PILCH R.: *Spalování dřeva v malém ohništi*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2009. ISBN 978-80-248-1889-4.

NOVÁK L.: *Vytápíme tuhými palivy*. [online]. 2008-05-12 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z [www: http://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/4844-topeni-kusovym-drevem-je-nejlevnejsi-ale](http://www.vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/4844-topeni-kusovym-drevem-je-nejlevnejsi-ale)

OCHODEK T., KOLONIČNÝ J., BRANC M.: *Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy*. [online]. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/tech.pdf>
a energetické využití biomasy. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. ISBN 987-80-Ostrava 2007. ISBN 978-80-248-1426-1

OCHODEK, T., KOLONIČNÝ J. a BRANC M.: *Technologie pro přípravu paliva: Biom.cz* [online]. 2005-01-12 [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyzkum-termicke-konverze-odpadni-biomasy-naplynnna-a-kapalna-paliva>

PASTOREK Z., KÁRA J. a JEVIČ P. *Biomasa: obnovitelný zdroj energie*. Praha: FCC PUBLIC s.r.o., 2004. ISBN 80-86534-06-5.

PODPORA LOKÁLNÍHO VYTÁPĚNÍ BIOMASOU: *Vlastnosti biomasy* [online]. [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/biovlastnosti.htm>

POHOŘELÝ, M., JEREMIÁŠ M., KAMENÍKOVÁ P., SKOBLIAC S., SVOBODA K., PUNČOCHÁŘ M.: *Chemické listy 106*, 264–274 (2012) Referát 264.

POHOŘELÝ, M., JEREMIÁŠ, M.: *Zplyňování biomasy – možnosti uplatnění. Výsledky výzkumu, vývoje a inovací pro obnovitelné zdroje energie (OZE 2010)* Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zplynovani-biomasy-moznosti-uplatneni> citování dne 24.3.2017

Pyrolýza [online]. 2010-01-15 [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD_Biomasa_nove/Pdf/?C=S;O=D

STAF, M.: *Výzkum termické konverze odpadní biomasy na plynná a kapalná paliva*. Biom.cz [online]. 2005-01-12 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyzkum-termicke-konverze-odpadni-biomasy-na-plynnna-a-kapalna-paliva>. ISSN: 1801-2655.

STUPAVSKÝ, V.: *Biomasa na vzestupu, ostatní stagnují*. Biom.cz [online]. 2012-01-23 [cit. 2017-03-06]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-na-vzestupu-ostatni-stagnuji>>. ISSN: 1801-2655.

STUPAVSKÝ, V.: *Zplynovací kotel na kusové dřevo, polena a dřevěné brikety*. Biom.cz [online]. 2010-01-01 [cit. 2017-03-15]. Dostupné z www: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zplynovaci-kotel-na-kusove-drevo-polena-a-drevene-brikety>>. ISSN: 1801-2655.

ŠENOVSKÝ, P.: *Energetické využití biomasy*. Bakalářská práce. [online]. 2012 [cit. 2017-01-15]

TZB-INFO.CZ. *Ceny paliv a energie*. [online]. 2007-05-02 [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energie/15366-ceny-tepelne-energie-pro-konecne-spotrebitele-ve-vztahu-k-palivum-a-lokalitam>

VOBOŘIL, D. *Biomasa – využití, zpracování, výhody a nevýhody, energetické využití v ČR* [online]. [2017] [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/obnovitelne-zdroje-energie/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody/>

VOLÁKOVÁ, P.: *Biomasový popel – prvkové složení a možnosti jeho využití*. [online]. 26. 8. 2009 [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: http://www.energie21.cz/archivnovinek/Biomasovy-popel-%E2%80%93-prvkove-slozeni-a-moznosti-jehovyuziti__s303x34396.html

WOLTERS KLUWER ČR, A.S. *Zákon č. 201/2012 Sb. o ovzduší*. [online]. [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: www.aspi.cz

12 Seznam obrázků

Obrázek č. 1: <i>Fotosyntéza a její průběh (google.cz)</i>	11
Obrázek č. 2: <i>Fotosyntéza u dřevní biomasy a její průběh (google.cz)</i>	11
Obrázek č. 3: <i>Závislost výhřevnosti na obsahu vody (biom.cz)</i>	19
Obrázek č. 4: <i>Schéma procesu přeměny biomasy v různé formě (google.cz)</i>	20
Obrázek č. 5: <i>Vývoj prodejů kotlů na biomasu v ČR (Stupavský, 2012)</i>	24
Obrázek č. 6: <i>Vývoj prodejů kotlů do domácnosti v ČR (Stupavský, 2012)</i>	25
Obrázek č. 7: <i>Spalování paliva na pásovém roštu (google.cz)</i>	27
Obrázek č. 8: <i>Fluidní ohniště (google.cz)</i>	28
Obrázek č. 9: <i>Schéma autotermní a alotermní zplyňování (biom.cz)</i>	32
Obrázek č. 10: <i>Ukázka pelet (google.cz)</i>	34
Obrázek č. 11: <i>Ukázka briket (google.cz)</i>	35
Obrázek č. 12: <i>Průměrné výsledné ceny tepelné energie znázorněním podílu paliva pro konečné spotřebitele za rok 2015 (tzb-info.cz)</i>	36
Obrázek č. 13: <i>Model kotle CATfite 25 USZ (Fajman, 2013)</i>	44
Obrázek č. 14: <i>Sledování změny polutantů na závislosti zahřívání kotle (vlastní zpracování)</i>	48
Obrázek č. 15: <i>Sledování změny polutantů na závislosti zahřívání kotle (vlastní zpracování)</i>	49
Obrázek č. 16: <i>Sledování změny polutantů na závislosti zahřívání kotle (vlastní zpracování)</i>	50
Obrázek č. 17: <i>Sledování změny polutantů na závislosti zahřívání kotle (vlastní zpracování)</i>	51
Obrázek č. 18: <i>Sledování změny polutantů na závislosti zahřívání kotle (vlastní zpracování)</i>	52
Obrázek č. 19: <i>Celkový pohled na kotelnu (Fajman, 2013)</i>	63
Obrázek č. 20: <i>Celkový pohled na kotelnu (vlastní fotografie, 2017)</i>	64
Obrázek č. 21: <i>Chladicí systém (vnitřní část vlevo) a venkovní výměník (vpravo) (Fajman, vlastní fotografie)</i>	64
Obrázek č. 22: <i>Příprava kotle před samovznícením na primárním hořáku (vlastní fotografie, 2017)</i>	65
Obrázek č. 23: <i>Primární hořák po zapálení paliva (vlastní fotografie, 2017)</i>	65

Obrázek č. 24: Odběrová sonda emisního analyzátoru komínové části, vlevo rozvaděč s bezpečnostním vypnutím (Fajman).....	66
Obrázek č. 25: Zobrazení parametru kotle a chladicího systému (Fajman)	66
Obrázek č. 26: Manuální režim pro nastavení chladicího systému a soustavy kotle (Fajman)	67
Obrázek č. 27: Automatický režim regulace a řízení kotle (Fajman)	67

13 Seznam tabulek

Tabulka č. 1: <i>Rozdělení odpadní biomasy a její druhy odpadů (Beranovský et al., 2004)</i>	12
Tabulka č. 2: <i>Výhřevnost vybraných druhů dřevní biomasy [kJ·kg⁻¹] (Trávníček et al., 2015)</i>	14
Tabulka č. 3: <i>Základní složení paliva (dřeva) (Trávníček et. al., 2015)</i>	17
Tabulka č. 4: <i>Přehled hlavních skupin energetických transformací biomasy a jejich využití (Baláš, 2008)</i>	21
Tabulka č. 5: <i>Přehled spalování na spalování biomasy (Šenovský, 2012)</i>	23
Tabulka č. 6: <i>Nevýhody a výhody spalování biomasy (Voláková, 2009)</i>	30
Tabulka č. 7: <i>Průměrné orientační ceny jednotlivých komodit biomasy a kusového dřeva (tzb-info.cz)</i>	33
Tabulka č. 8: <i>Přehled povinností dle platnosti pro provoz a prodej kotlů na tuhá paliva pro domácnosti (tzb-info.cz)</i>	42
Tabulka č. 9: <i>Základní parametry kotle typu CATfire 25 USZ (Fajman, 2013)</i>	43
Tabulka č. 10: <i>Označení položek měřených v rámci laboratorního vybavení</i>	63

14 Přílohy

Příloha I. Struktura dat v datové matici měřicího a regulačního laboratorního vybavení pro topnou zkoušku

Tabulka č. 10: Označení položek měřených v rámci laboratorního vybavení

Název sloupce	Popis	Označení
dat	datum měření	Datum
cas	časová základna měření po sekundách	Čas
temp_mix_inp	výstupní teplota vody z kotle	T _{1k} (°C)
temp_fire	teplota v topeništi	T _T (°C)
temp_exhaust	teplota spalin na bloku výstupu kotle	T _s (°C)
O ₂ %	koncentrace O ₂ ve spalinách	O ₂ (%)
CO mg/m ³	koncentrace CO ve spalinách	CO (mg·m ⁻³)
CO ₂ %	koncentrace CO ₂ ve spalinách	CO ₂ (%)
NO _x mg/m ³	koncentrace NO _x ve spalinách	NO _x (mg·m ⁻³)

Příloha II. Snímky uspořádání laboratorního vybavení pro testování kotle na biomasu



Obrázek č. 19: Celkový pohled na kotelnu (Fajman, 2013)



Obrázek č. 20: Celkový pohled na kotelnu (vlastní fotografie, 2017)



Obrázek č. 21: Chladicí systém (vnitřní část vlevo) a venkovní výměník (vpravo) (Fajman, vlastní fotografie)



Obrázek č. 22: Příprava kotle před samovznícením na primárním hořáku (vlastní fotografie, 2017)

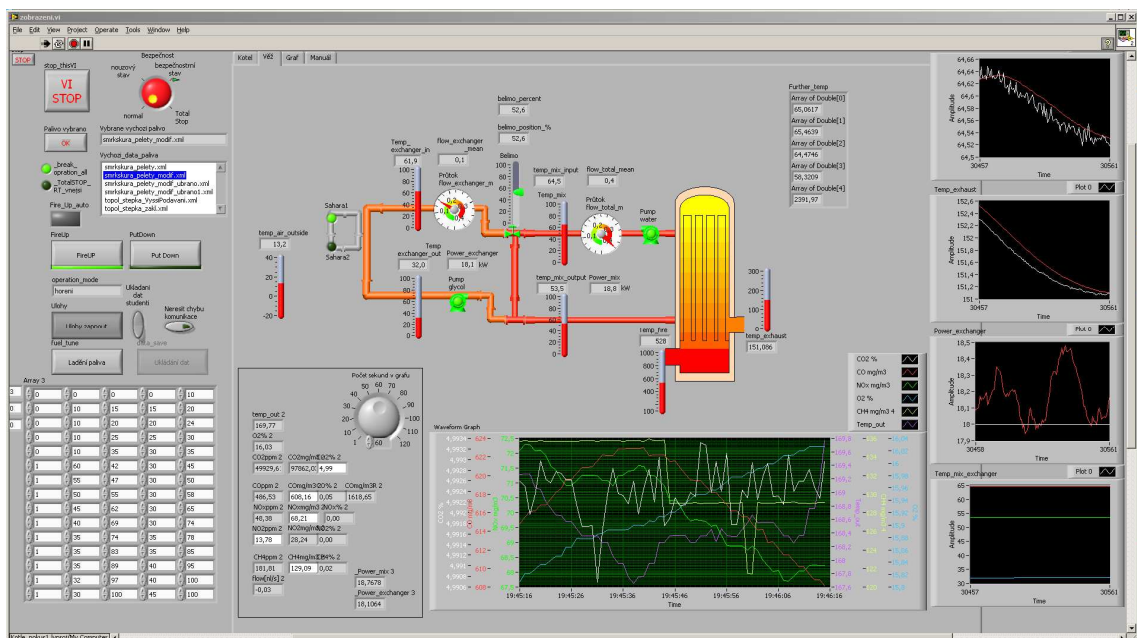


Obrázek č. 23: Primární hořák po zapálení paliva (vlastní fotografie, 2017)

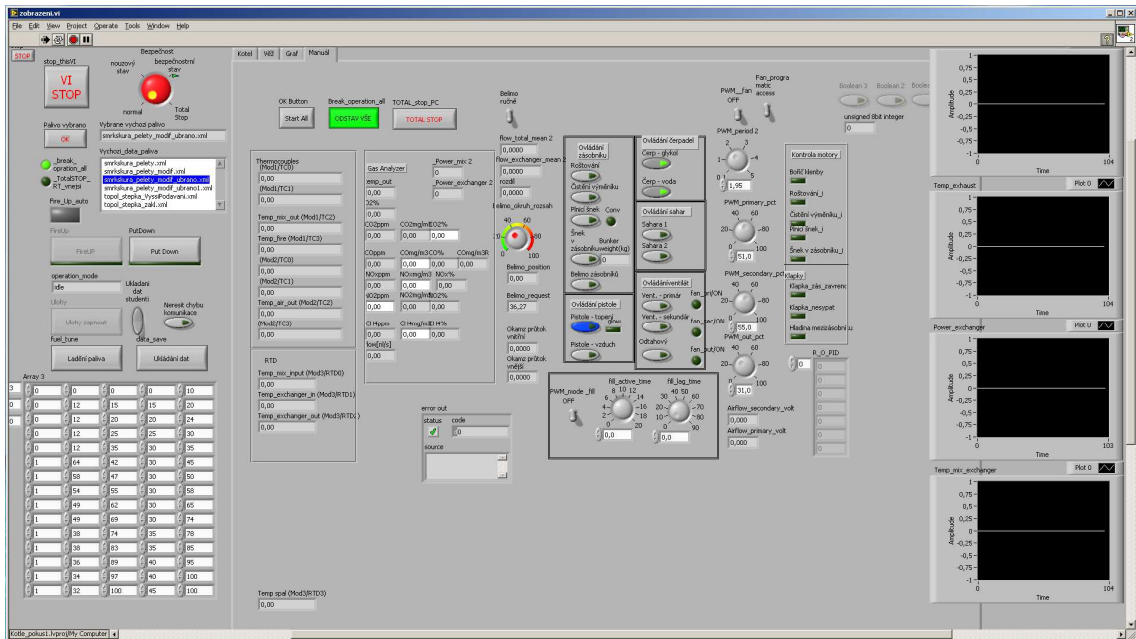
Příloha III. Ukázky programového kódu a regulace kotle



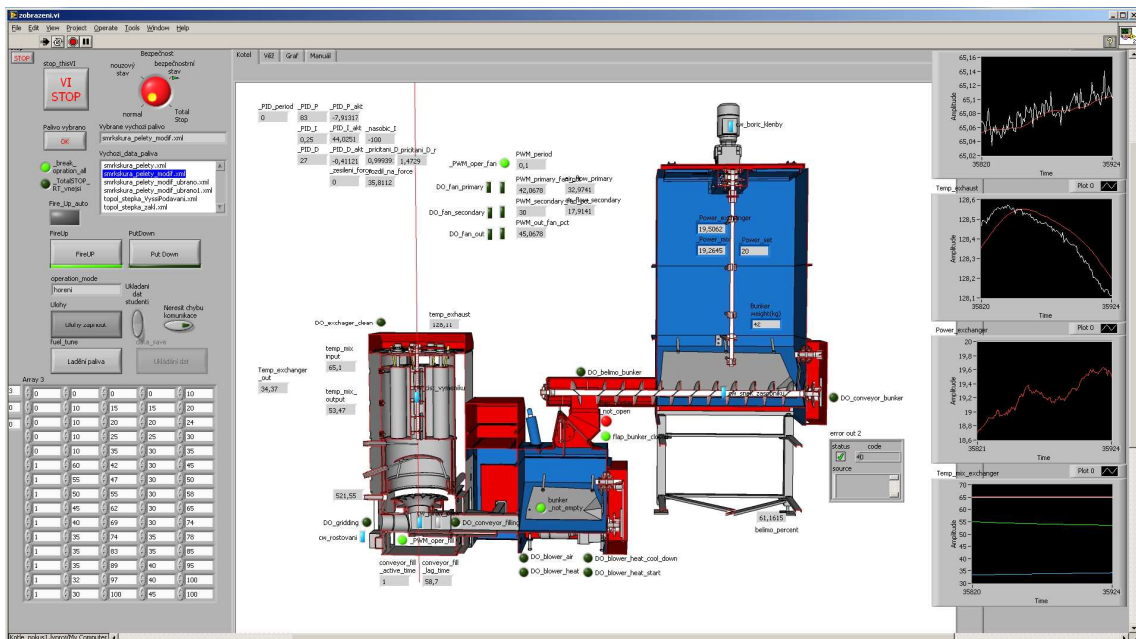
Obrázek č. 24: Odběrová sonda emisního analyzátoru v komínové části, vlevo rozvaděč s bezpečnostním vypnutím (Fajman)



Obrázek č. 25: Zobrazení parametru kotle a chladicího systému (Fajman)



Obrázek č. 26: Manuální režim pro nastavení chladicího systému a soustavy kotle (Fajman)



Obrázek č. 27: Automatický režim regulace a řízení kotle (Fajman)