



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

SPOTŘEBIČE NA TUHÁ PALIVA PRO VYTÁPĚNÍ OBYTNÝCH PROSTORŮ

APPLIANCES FOR SOLID FUEL FOR HEATING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ROMAN LACKOVIČ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. OTAKAR ŠTELCL

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok:

2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Roman Lackovič

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Energetika, procesy a životní prostředí (3904R032)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Spotřebiče na tuhá paliva pro vytápění obytných prostorů

v anglickém jazyce:

Appliances for solid fuel for heating

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rešerše na téma emise a postupy měření pro spotřebiče na tuhá paliva.

Cíle bakalářské práce:

Student provede rešerši na téma emise a pracovní postupy při měření emisí (SOP)

Součástí bude experiment na zkušebně- ověření pracovních postupů na vybraném spotřebiči na tuhá paliva.

Seznam odborné literatury

Norma ISO 9096

Norma ČSN EN 303 – 5

Výpočty kotlů a spalinových výměníků, Doc. Ing. Tomáš Dlouhý, CSc.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Otakar Štelcl

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku
2014/2015. V Brně, dne 24.11.2014

L.S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
Ph.D. Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický,
Děkan fakulty

Abstrakt

Bakalárska práca *Spotřebiče na tuhá paliva pro vytápění obytných prostorů* sa zameriava na problematiku merania emisií kotlov na tuhé palivá. Prvou časťou je teoretický úvod, kde sú najprv stručne popísané tuhé palivá, ďalej sú uvedené druhy spotrebičov, ktoré využívajú tuhé palivá. V závere teoretickej časti je popísaná legislatíva týkajúca sa emisných limitov a princíp prístrojov používaných pri meraní emisií spotrebičov na tuhé palivo. V druhej časti je pozornosť venovaná popisu vykonaného merania, výpočtom účinnosti a emisií pre meranie. Nakoniec je uvedená emisná trieda, do ktorej kotol podľa merania patrí.

Kľúčové slová

emisie, EN 303-5, TZL, tuhé palivá, GEMOS KHW 110, meranie emisií

Abstract

Bachelor's thesis "Appliances for solid fuel for heating" aims on the issue of emission measurement for solid fuel boilers. The first part is a theoretical introduction, where solid fuels are described, following are the types of appliances, which are powered by solid fuels. There are described legislation related to emission limits and principles of devices used for measuring emissions of solid fuel appliances at the end of the theoretical part. The second part is the attention devoted to description of measurement, that we have done, calculation of efficiency and emissions for measurement. Lastly, there is specified emission class to which the boiler, according to measurement, belongs.

Keywords

emissions, EN 303-5, TZL, solid fuel, GEMOS KHW 110, measurement of emissions

Bibliografická citácia

LACKOVIČ, R. *Spotřebiče na tuhá paliva pro vytápění obytných prostorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 64 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Otakar Štelcl.

Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne a použil som zdroje a podklady uvedené v zozname literatúry.

V Brne dňa

Podpis:

PodĎakovanie

Týmto by som rád poĎakoval Ing. Otakarovi Štelcovi za ochotu, cenné pripomienky a rady pri vypracovávaní bakalárskej práce.

Obsah

1	Úvod	12
2	Tuhé palivá	13
2.1	Pevné palivá	13
2.1.1	Uhlie	14
2.1.2	Umelé uhlné palivá.....	15
2.1.3	Biomasa	15
3	Spaľovacie zariadenia na pevné palivá	18
3.1	Princípy spaľovania paliva	18
3.2	Lokálne spaľovacie zariadenia	19
3.2.1	Krby s otvoreným ohniskom	19
3.2.2	Krby so zatvoreným ohniskom	20
3.2.3	Krbové kachle	20
3.2.4	Kachľové pece.....	21
3.2.5	Kachle na pelety	21
3.3	Kotle pre ústredné vykurovanie.....	23
3.3.1	Kotle na ručnú obsluhu	23
3.3.2	Kotle s automatickým riadením	26
4	Meranie emisií spotrebičov na pevné palivá	28
4.1	Norma EN ČSN 303-5:2012	28
4.2	Plánované zmeny v legislatíve	30
4.2	Dotačné programy na zníženie emisií pre ČR	32
4.2.1	Nová zelená úsporám	32
4.2.2	Kotlíková dotace	34
4.3	Meracie prístroje.....	35
4.3.1	Meranie prietoku spalín.....	35
4.3.2	Meranie zloženia spalín.....	36
5	Popis skúšaného zariadenia.....	41
5.1	Splyňovacia jednotka	42
5.2	Teplovodný výmenník.....	42
5.3	Merací úsek	43
6	Použité meracie prístroje.....	44
6.1	Analyzátor vlhkosti KERN MLS 50-3.....	44
6.2	Sušiacia laboratórna pec Venticell LSIK/ VC11.....	44
6.3	Exsikátor.....	45

6.4 Analytické váhy Ohaus Explorer Pro	46
6.5 Vzorkovacie zariadenie pre odber TZL	46
6.6 Analyzátor kyslíku Siemens Ultramat 21	48
6.7 Analyzátor Siemens Ultramat 22	48
7 Výpočet účinnosti.....	49
7.1 Priama metóda.....	49
7.2 Nepriama metóda	49
7.2.1 Strata citeľným teplom spalín.....	50
7.2.2 Strata plynným nedopalom.....	50
7.2.3 Strata mechanickým nedopalom	50
7.2.4 Pomocné výpočty	50
8 Priebeh merania.....	52
8.1 Meranie.....	52
8.2 Záver merania	58
9 Záver.....	59
10 Zoznam použitej literatúry	60
11 Zoznam použitých skratiek a symbolov	63

1 Úvod

Malé zdroje tepla na tuhé palivá majú značný podiel na znečisťovaní ovzdušia hlavne vo vykurovacej sezóne, kedy sa stav ovzdušia v obciach približuje skôr znečistenému ovzdušiu v priemyselných oblastiach. Emisie z kotlov na tuhé palivá majú okrem iného neblahý vplyv na zdravie obyvateľstva a podporujú skleníkový efekt. To sú hlavné dôvody, prečo má EÚ snahu vyradiť z používania zastaralé spotrebiče na tuhé palivá s nízkou účinnosťou a vysokými emisiami znečisťujúcich látok.

Hlavným nástrojom proti neekologickým spotrebičom je ich certifikácia pred predajom v členských krajinách EÚ. Ďalšími z nástrojov bude kontrola technického stavu, a od roku 2022 zákaz používania zariadení s emisnou triedou 1 a 2. Účinnosť týchto opatrení ukáže až čas.

Táto bakalárska práca sa bude snažiť priblížiť proces skúšania kotla na tuhé palivo. Pre účely skúšania bude použitá experimentálna spaľovacia jednotka GEMOS 110 kW, po skúšaní bude nasledovať vyhodnotenie údajov a zaradenie kotla do emisnej triedy podľa normy EN 303-5:2012.

2 Tuhé palivá

Palivo je látka, ktorá obsahuje chemickú energiu a tá môže byť premenená na tepelnú energiu v procese spaľovania.

Základné delenie palív je znázornené v tabuľke 2.1.

Tabuľka 2.1 základné delenie palív [2]

Vek		Skupenstvo			Pôvod	
Fosílné	Recentné	Tuhé	Kvapalné	Plynné	Prírodné	Umelé
Z dávnejších geologických období	Zo súčasnosti Např. drevo	Uhlie, drevo	Vykurovací olej	Zemný plyn	Fosílné, Recentné	Produkty priemyselovej technológie, Např. svietiplyn

Najbežnejšie je však rozlišovať palivá podľa skupenstva, je to z dôvodu, že takto delíme aj spaľovacie zariadenia.

- a) Pevné palivá
- b) Kvapalné palivá
- c) Plynné palivá

Keďže sa moja práca zameriava na spotřebiče na tuhé palivá, ďalej popíšem podrobnejšie práve tento typ paliva.

2.1 Pevné palivá

Do skupiny tuhých palív môžeme zaradiť všetky druhy uhliá, ďalej sem patrí biomasa, z ktorej sa využíva najmä drevo a z neho vyrobené umelé palivá ako napríklad koks alebo pelety. Tuhé palivá sú zložené z horľaviny (h), popoloviny (A^r) a vody (W^r), kde pomer medzi jednotlivými zložkami určí hrubý rozbor.

Platí:

$$h + A^r + W^r = 100\% \quad (2.1)$$

kde index r značí, že ide o hmotnostné percentá v surovom palive

Horľavina je chemicky viazaná energia v palive, ktorá je tvorená uhlíkom, vodíkom, sírou, kyslíkom a dusíkom. Aktívne látky horľaviny (uhlík, vodík, síra), ktorých oxidáciou sa uvoľňuje teplo. Horľavina obsahuje aj pasívne látky (kyslík a dusík), ktoré pri chemickej reakcii teplo neuvolňujú. Horľavinu ďalej delíme na prchavú a neprchavú.

Prchavá horľavina je časť horľaviny, ktorá sa uvoľňuje v počiatku horenia pri teplotách nad 250°C napomáha vznecovaniu a stabilizuje proces spaľovania v ohnisku.

Prchavá horľavina sa určuje z úbytku hmotnosti analytickej vzorky po siedmych minútach žihania v uzavretom kelímku pri teplote 850°C (ČSN ISO 5071, ČSN P CEN/TS 15402 a pod.) [1]. Ostatná časť horľaviny je tuhý uhlík.

Popoloviny sú minerálne látky (oxidy kremíka, uhlíka, síry, hliníka a pod.), ktoré obsahuje palivo pred spálením. Minerálny zbytok po spálení tuhého paliva sa nazýva popol, vzniká rozkladom popolovín a oxidáciou. Popol môže byť primiešaný v priebehu ťažby alebo transportu.

Voda sa pri horení odparuje a tým znižuje základnú výhrevnosť paliva (na odparenie je potrebné latentné teplo vyparovania) a zvyšuje komínovú stratu. Je takisto zdrojom problémov pri doprave (zamrzá) a spaľovaní, kde pohlcuje časť tepla uvoľneného z paliva a tým zníži spaľovaciu teplotu. Z toho dôvodu je nutné palivo pred spaľovaním vysušiť na prípustný obsah vody (hlavne u biomasy).

Tabuľka 2.2 - Vlastnosti horľaviny pevných palív [3]

Palivo	Zloženie horľaviny		V^{daf} [%]	C^{daf} [%]	H^{daf} [%]	O^{daf} [%]	Spalné teplo Q_s^{daf} [MJ.kg ⁻¹]	Typ plameňa
	Druh	Popis						
Drevo	Na „otop“	cca 85	40-50	5,0-6,0	30-45	21,8	Dlhý- svietivý	
Rašelina	Sušená	Cca 60	35-50	3,5-6,2	20-35	20,4	Dlhý- svietivý	
Lignit	Hodonín	Cca 55	50-60	5,0-6,0	20-30	26,5	Dlhý- svietivý	
Hnedé uhlie	Severočes.	53-54	69-74	5,9-6,0	19-24	28,4-31,7	Dlhý- svietivý	
Čierne	Kravinské	32-39	81-85	5,6-5,8	10-14	33-35,8	Dlhý a silne svietivý	
Antracit	OKD	10-16	90-91	3,7-4,0	4,5-6,0	35,6-36,6	Krátky a málo svietivý	

Pevné palivá môžeme rozdeliť do skupín podľa geologického veku[3]:

- Drevo (súčasný - ani ho neradíme medzi fosilné palivá, ale medzi obnoviteľné zdroje energie)
- Rašelina (približne 10 tisíc rokov)
- Hnedé uhlie (približne 1 milión rokov)
- Čierne uhlie (približne 3 milióny rokov)
- Antracity (približne 5 miliónov rokov)

2.1.1 Uhlie

Uhlie sa zaraďuje medzi fosilné palivá vzniknuté za preuhoľňovania rastlinného materiálu pri pôsobení tepla a veľkého tlaku bez prístupu vzduchu. Tento materiál bol chránený pred úplným rozkladom a oxidáciou (hnitím) vrstvou bahna a vody. Rastlinný materiál sa rozloží len čiastočne a vytvára špongiovitú hmotu – rašelinu. Tá je neskôr pokrytá ďalšou vrstvou bahna, čo vytvára vyšší tlak. Rašelina sa potom pomaly za vysokého tlaku mení na hnedé uhlie (lignit). Uhlie sa delí najmä podľa geologického veku od jeho vzniku antracit, čierne uhlie, hnedé uhlie, lignit a rašelina (smerom od najstaršieho po najmladšie). [1] „U uhliá platí, čím je geologicky staršie, tým je vyššie spalné teplo, výhrevnosť a menší prchavý podiel horľaviny. Ďalej platí, že čím je geologicky staršie, tým je vyšší obsah uhlíka a klesá obsah kyslíka a vodíka a geologicky mladšie palivá (napr. hnedé uhlie a lignity) sa ľahšie zapalujú, horia dlhším plameňom za relatívne nižších spaľovacích teplôt.“ [1]

2.1.2 Umelé uholné palivá

Koks je palivo s vysokým obsahom uhlíka a je vyrábaný z vysoko kvalitného čierneho uhlia vysokoteplotnou karbonizáciou pri teplote 1000°C bez prístupu vzduchu.

Koks je šedý, pórovitý a tvrdý. Používa sa najmä vo vysokých peciach ako redukčné činidlo a v obmedzenej miere aj pre domácnosti.

Hnedouhoľné brikety sa vyrábajú z vysušeného pomletého uhlia lisovaním, zväčša bez použitia pojív.[1]

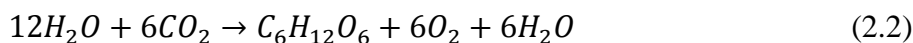
Tabuľka 2.3 Vlastnosti koksu a hnedouhoľných brikiet [1]

	Voda W^r [%]	Popol A^r [%]	Výhrevnosť Q_i^r [MJ.kg ⁻¹]	Obsah síry v horľavine [%]
Koks otopný	1-6	10-20	23-28	0,5-2
Hnedouhoľné brikety	9-10	13-14	21-22	

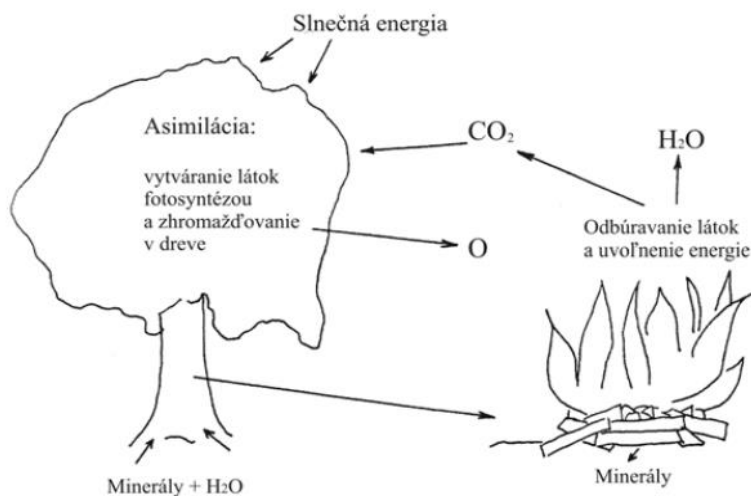
2.1.3 Biomasa

Biomasa je organická hmota rastlinného alebo živočíšneho pôvodu. Patrí medzi obnoviteľné zdroje energie.

Biomasa rastlinného pôvodu je organická hmota, ktorá uchováva energiu z fotosyntézy, využíva na svoj rast vodu, oxid uhličitý a energiu zo slnka. V procese fotosyntézy premieňa tieto vstupné látky na uhľovodíky – základné látky biomasy.



Táto energia môže byť premenená v rôznych procesoch, ako napríklad na tepelnú energiu v procese spaľovania. Oxid uhličitý, ktorý vzniká pri spaľovaní biomasy, je vstupnou látkou pre ďalšiu biomasu. To znamená, že proces je cyklicky uzavretý. Oxid uhličitý je v priebehu rastu akumulovaný do biomasy, a neskôr, ak je biomasa spaľovaná, neuvolní sa viac CO_2 ako bolo naakumulované v priebehu rastu do biomasy, preto hovoríme o tzv. nulovej alebo neutrálnej bilancii CO_2 . [4]



Obr.2.1 Schematické zobrazenie uzavretého uhlíkového cyklu [4]

Výhrevnosť, zloženie a ďalšie vlastnosti biomasy sú silne závislé od vlhkosti paliva, preto je dôležité ich vždy vzťahovať k určitej vlhkosti. Je ale dôležité uviesť, že aj existujú dva spôsoby ako uvádzať vlhkosť paliva: drevársky a energetický. Energetický udáva akú časť paliva tvorí voda, drevársky hovorí o pomere množstva vody a sušiny (popolovina a horľavina). [5]

Tabuľka 2.4 – Skutočná výhrevnosť dreva a kôry v závislosti na obsahu vody (topolové drevo) [4]

Obsah vody [%]	Palivo			
	Drevo		Kôra	
	[MJ.kg ⁻¹]	[kWh.kg ⁻¹]	[MJ.kg ⁻¹]	[kWh.kg ⁻¹]
0	18,5	5,1	18,8	5,2
10	16,4	4,6	16,7	4,6
20	14,3	4,0	14,6	4,1
30	12,2	3,4	12,5	3,5
40	10,1	2,8	10,5	2,9
50	8,0	2,2	8,4	2,3
60	6,0	1,7	6,3	1,8

Biomasa, ktorá sa používa v kotloch malých výkonov, sa používa vo forme kusového dreva, peliet, brikiet, poprípade štiepky.

Kusové drevo je jedným s najlacnejších a zároveň najviac používaných palív.

Drevo je najviac používané, hoci dnes už je jeho cena porovnateľná s hnedým uhlím.[6]

Kúrenie drevom nesie so sebou niekoľko nevýhod:

- Nutné sušenie, drevo musí mať maximálnu vlhkosť 15%, aby bolo jeho spaľovanie bezproblémové
- na uskladnenie treba mať k dispozícii dostatočne veľkú úložnú plochu
- poskytuje najmenej pohodlia čo sa týka obsluhy a prikladania
- nutná akumulčná nádoba (aby kotol mohol fungovať v ideálnom režime, čo má vplyv na životnosť a účinnosť kotla)

Delíme ho na ihličnaté a listnaté. Najvhodnejšie palivo je drevo listnatých drevín (dub, buk), ktoré má lepšiu výhrevnosť a vydrží dlhšie horieť. Na druhú stranu drevo z ihličnatých drevín je mäkkšie a zhorí o poznanie rýchlejšie.

V drevárskom priemysle sa nestanovuje množstvo dreva na základe jeho hmotnosti, ale je určené jeho objemom. Je to z dôvodu, že hmotnosť dreva je závislá na jeho vlhkosti.

Rozlišujú sa tri vyjadrenia objemu:

1. 1 plm pm – plnomet (pevný meter) je 1 m³ drevnej hmoty, bez medzier.
2. 1 prm rm – priestorový meter (obsahuje 60-75 % dreva [6]). Je to 1 m³ vyplnený drevom a medzerami, ktoré vznikajú kvôli kruhovému prierezu polien.
3. 1 prms – sypný meter. Voľne uložená nezhutnená štiepka, piliny, pelety.

Tabuľka 2.5 – porovnanie výhrevností jednotlivých drevín [6]

Druh dreva	Objemová hmotnosť sušiny	Objemová hmotnosť pri vlhkosti 25 %		Výhrevnosť pri vlhkosti 25 %		
	[kg.m ⁻³]	[kg.pm ⁻¹]	[kg.rm ⁻¹]	[MJ.kg ⁻¹]	[MJ.pm ⁻¹]	[MJ.rm ⁻¹]
Smrek	430	575	415	13,1	7350	5440
jedľa	430	575	415	14,0	8040	5800
Borovica	510	680	495	13,6	9250	6730
Topoľ	400	530	360	12,3	6540	4440
Olša	480	640	430	12,9	8260	5550
Vrba	500	665	450	12,8	8490	5740
Breza	585	780	525	13,5	10550	7100
Jasan	650	865	585	12,7	11010	7450
Buk	650	865	585	12,5	10830	7320
Dub	630	840	565	13,2	11050	7430
Agát	700	930	630	12,7	11850	8030

Drevené pelety sú čisto ekologickým palivom, ktoré umožňuje kotlom na tuhé palivá automatickú prevádzku prostredníctvom šnekového podávača. Tým pádom kúrenie peletami poskytuje podobný komfort ako kotol na plyn alebo elektrinu.

Sú to granule kruhového prierezu s priemerom 6 až 25 mm (pričom s priemerom viac ako 10 mm sa nepoužívajú do kotlov malých výkonov) do dĺžky 50 mm s mernou objemovou hmotnosťou 1,1 až 1,4 kg.dm⁻³. Výhrevnosť peliet sa pohybuje od 16,5 do 18,5 MJ.kg⁻¹. Obah vlhkosti je 6 -12 %. Tieto parametre sú porovnateľné s hnedým uhlím. Vstupnou surovinou sú prevažne zbytky z drevospracujúceho priemyslu (piliny, hobliny a pod.) bez akejkoľvek chemickej prísady. [7] Pelety sú vyrábané na granulačných lisoch, kde lisovanie prebieha pod vysokou teplotou a tlakom. Pri tejto teplote sa z pilín vylučuje lignín a živice, ktoré pôsobia ako pojivo.



Obr. 2.2 Pelety [4]



Obr. 2.3 Brikety [4]

Drevené brikety (Obr. 2.3) sú väčšinou tvaru valca, šesťhranu alebo hranolu s priemerom 40 až 100 mm a dĺžkou do 300 mm, ostatné parametre sú rovnaké ako u drevených peliet.

3 Spaľovacie zariadenia na pevné palivá

Spaľovanie pevných fosílnych palív je dnes už na ústupe. Dôvodom je nízky komfort, nutnosť odstraňovania tuhých zbytkov po spálení, zlá regulovateľnosť a vysoká produkcia emisií. Nízka cena v porovnaní s inými druhmi paliva často nedokáže kompenzovať neduhy pevných fosílnych palív. Preto sú tieto palivá v posledných rokoch využívané hlavne v lokálnych aplikáciách (vo výkone v desiatkach kW) na miestach, kde nie je dostupné iné palivo. Stredné zdroje rádovo v stovkách kW predstavujú dožívajúce kotle domových alebo priemyselných kotolní, nové aplikácie sa prakticky nestavajú. Využitie pevných palív je zaujímavé v centrálnych zdrojoch s výkonom od 1MW. Výnimkou je však spaľovanie biomasy, najčastejšie dreva a palív z neho vyrobených (pelety, brikety, atď.), ktoré je dnes v rozmachu.[3]

V malých zdrojoch tepla na pevné palivá sa najviac spaľuje drevná biomasa a uhlie. Spaľovacie zariadenia obecné delíme na dve skupiny:

- Lokálne spaľovacie zariadenia. Sú to zariadenia, ktoré zväčša sálaním vykurejú priestory, v ktorých sa nachádzajú. Patria sem krby, kachle, krbové kachle a sporáky.
- Centrálné (kotlové) spaľovacie zariadenia. Teplo uvoľnené pri spaľovaní prechádza do teplonosného média a následne je médium rozvádzané do jednotlivých vykurovacích telies v objekte, a časť média je použitá ako teplá úžitková voda.

3.1 Princípy spaľovania paliva

Pri lokálnych a centrálnych spaľovacích zariadeniach s ručnou obsluhou sa používajú tieto princípy horenia paliva:

1. **Spaľovanie na rošte (prehorievanie paliva)** prebieha spaľovacím vzduchom cez rošt a celú vrstvu paliva odspodu. Spaľovanie sa deje naraz v celom objeme naloženého paliva. Častým príkladom je možné dosiahnuť rovnomernejší priebeh horenia. Tento spôsob spaľovania sa používal najmä pri uhlí. Hlavná časť tepla z uhlia pochádza z horenia pevného uhlíka, pretože uhlie obsahuje len nepatrnú časť prchavej horľaviny. Dnes sa najviac tento princíp používa najviac u lokálnych zdrojov na spaľovanie dreva ako sú napríklad krby a kachle. U súčasných centrálnych spaľovacích zariadení sa prakticky spaľovanie kusového dreva s prehorievaním nepoužíva.
2. **Odhorievanie** prebieha tak, že je zahriata vždy len malá časť paliva. Splyňovanie a konečné spaľovanie prebieha v oddelených komorách, ktoré zaisťujú viac stabilné horenie. Popol prepadá skrz rošt do popolníka. Najčastejšie sa ako palivo používa drevo, drevené brikety a uhlie. Spaľovací proces je stabilnejší a preto produkuje menej emisií ako u prehorievacieho princípu. [8]
3. **Splyňovanie** spočíva v tepelnom rozklade organických a anorganických látok v uzavretej komore kotla za mierneho pretlaku primárneho vzduchu v podstechometrickom množstve, ktorý vytvára vzduchový ventilátor riadený termostatom. Splyňovanie prebieha v zásobníku paliva nad keramikou alebo žiarobetónovou dýzou. [9]

Spařovací priestor rozdeľujeme na 3 zóny [3]:

- Zóna na vysušanie a splyňovanie paliva
- Zóna na spařovanie vzniknutého plynu na dýze pomocou predhriateho sekundárneho vzduchu
- Zóna na dohorenie v nechladenom spařovacom priestore

V hornej komore, ktorá je aj zásobníkom, horí predovšetkým uhlík na CO (produkt nedokonalého - podstechiometrického spařovania). Pritom sa uvoľňujú aj ďalšie horľavé plyny z termického rozkladu (v prípade dreva). Vzniknuté spaliny a plyn sú následne spařované v spařovacej komore, kde je privedený predhriaty sekundárny vzduch. Spaliny sú vedené cez výmenník, kde odovzdávajú svoje teplo vode. Plynné palivo sa spařuje lepšie ako pevné, spařovanie tak má aj lepšie emisie a účinnosť.

3.2 Lokálne spařovacie zariadenia

Konštrukcia lokálnych spařovacích zariadení je prispôsobená na spôsob výmeny tepla s okolím. Prestupu tepla dochádza zväčša sálaním a sčasti konvekciou.

Základné druhy konštrukcií sú:

- Otvorené a zatvorené krby
- Krbové kachle
- Kachle na pelety

3.2.1 Krby s otvoreným ohniskom

Majú otvorené ohnisko priamo v miestnosti ako jediné s lokálnych spařovacích zariadení. Nie je možné zaistiť dostatočný prívod vzduchu pre optimálne spařovanie. Kvôli nebezpečenstvu vzniku spalín do obytného priestoru je nutné zabezpečiť veľký komínový ťah, čo má za následok veľký prebytok spařovacieho vzduchu, a to spôsobuje veľkú komínovú stratu. Spařovací vzduch je odoberaný z obytného priestoru, niekedy sa na spařovanie privádza vonkajší vzduch cez vzduchové kanály. Vplyvom vysokého prebytku spařovacieho vzduchu je teplota spařovania nízka.

Kvalita horenia závisí najmä od teploty horenia, a tá je vplyvom veľkého prebytku vzduchu pomerne nízka. Vykurovací priestor prijíma teplo hlavne sálaním z krbu.

Tento typ krbu má veľkú produkciu emisií a nízku účinnosť, a to približne 10 %.[10],[11]



Obr.3.1 Krb s otvoreným ohniskom [13]

3.2.2 Krby so zatvoreným ohniskom

Vznikne uzavretím zasklenými dverkami. Dosiahne sa vyššia teplota plameňa, vyššia účinnosť, nenastáva vnik spalín do obytného priestoru, čo znamená vyššiu kvalitu spaľovania. Dnes sa už používajú krbové vložky, ktoré sú zabudované do konštrukcie takým spôsobom, aby mohol teplý vzduch prúdiť okolo krbovej vložky. Teplo je z nich odvádzané sálaním cez sklenené dverka a prúdením ohrievaného vzduchu konvekciou. Využitím teplovzdušných rozvodov do iných miestností je možné realizovať ich vykurovanie (tzv. dvojplášťové krbové vložky). Na trhu sú dostupné krbové vložky aj s teplovodným výmenníkom, kedy je časť tepla odovzdaná teplovzdušným ohrevom miestnosti, v ktorom je umiestnený krb. Na vykurovanie ostatných miestností sa využíva teplovodné vykurovanie prostredníctvom vykurovacích telies. Krbové vložky sú vyrábané z ocele alebo liatiny. [11]

Časti krbovej vložky:

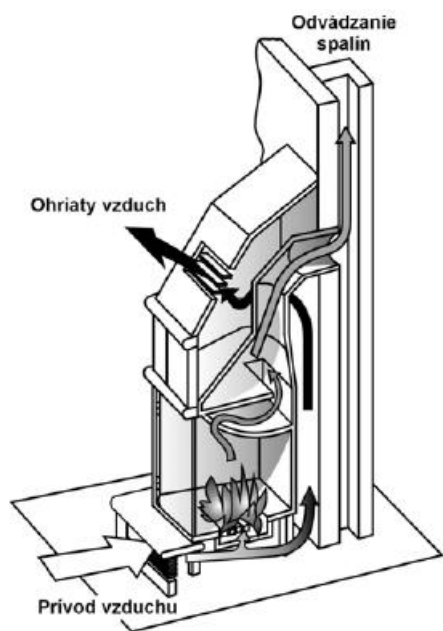
1. **Kúrenisko (ohnisko)**
2. **Prívod primárneho a sekundárneho spaľovacieho vzduchu** – rozdelený tak, aby spaľovanie prebiehalo optimálne. Časť sekundárneho vzduchu je využívaná na tzv. oplach skla, aby nedošlo k zaneseniu skla krbovej vložky sadzami.
3. **Deflektory** – slúžia na to, aby horúce spaliny nešli hneď do komína. Ich použitím sa predĺži trasa do komína, tým aj čas ich zotrvania, kedy môže dôjsť k lepšiemu spáleniu horľaviny, ktorú obsahujú a zároveň odovzdajú viac tepla zohrievanému vzduchu konvekciou. Deflektory týmto zlepšujú účinnosť a produkciu emisií krbových vložiek.



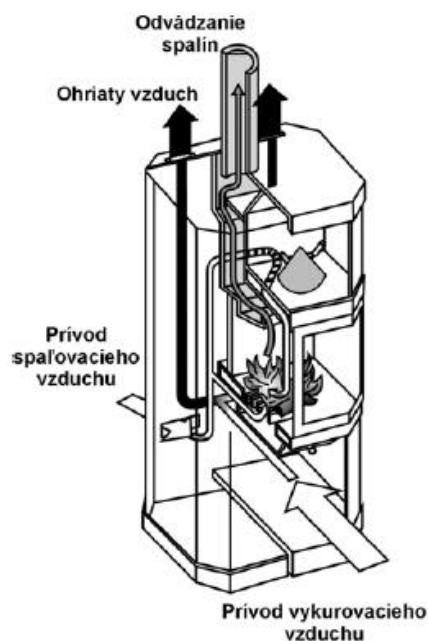
Obr. 3.2 Krbové kachle

3.2.3 Krbové kachle

Sú konštrukciou podobné krbovým vložkám, ale ich konštrukcia je prispôbená priamemu vykurovaniu priestoru bez väčšej stavebnej úpravy. Pri krbových kachliach je dôležitá najmä estetická realizácia vonkajšej konštrukcie, ktorá je obložená kachlicami, kameňom a pod. Zaberajú menší zastavaný priestor ako krby. Na odovzdávaní tepla sa podieľa hlavne sálanie a menším dielom konvekcia. Spaľovací a ohrievaný vzduch je privádzaný do krbových kachlí spoločne (obrázok 3.3) alebo oddelene (obrázok 3.4).



Obr. 3.3 Spoločný prívod
spaľovacieho vzduchu



Obr. 3.4 Oddelený prívod spaľovacieho
a ohrievaného vzduchu

Používanie krbových vložiek a krbových kachlí obnáša riziko popálenia napríklad pri neopatrnnej manipulácii s drevom pri nakládke, to znamená je potrebné dodržiavať požadované bezpečnostné pokyny stanovené výrobcom. Najlepšie krbové vložky a krbové kachle dosahujú účinnosť od 70 do 80 %. [11]

3.2.4 Kachľové pece

Tvorí najstarší spôsob vykurovania. Pec tvoria keramické hmoty o veľkej hmotnosti, ktoré do seba akumulujú teplo a potom ho pomaly uvoľňujú do vykurovaného priestoru. Palivo tvorí drevo alebo drevené brikety. Konštrukcia kachľovej pece obsahuje prepážky, okolo ktorých prúdia spaliny smerom do komína a zároveň spaliny odovzdávajú svoje teplo do konštrukčného materiálu pece. Týmto pec pomaly akumuluje množstvo tepla, ktoré sa tiež pomaly počas niekoľkých hodín až celého dňa uvoľňuje do okolia v závislosti od veľkosti pece. Táto konštrukcia sa nazýva *ťažká konštrukcia* kachľových pecí. Povrchové teploty sa pohybujú v intervale 80 až 130 °C. Týmto typom kachlí nie je možné zohriať obytný priestor v krátkej chvíli, preto boli vyvinuté tzv. *ľahké konštrukcie*. Táto konštrukcia je odlišná len v množstve akumulačnej hmoty.

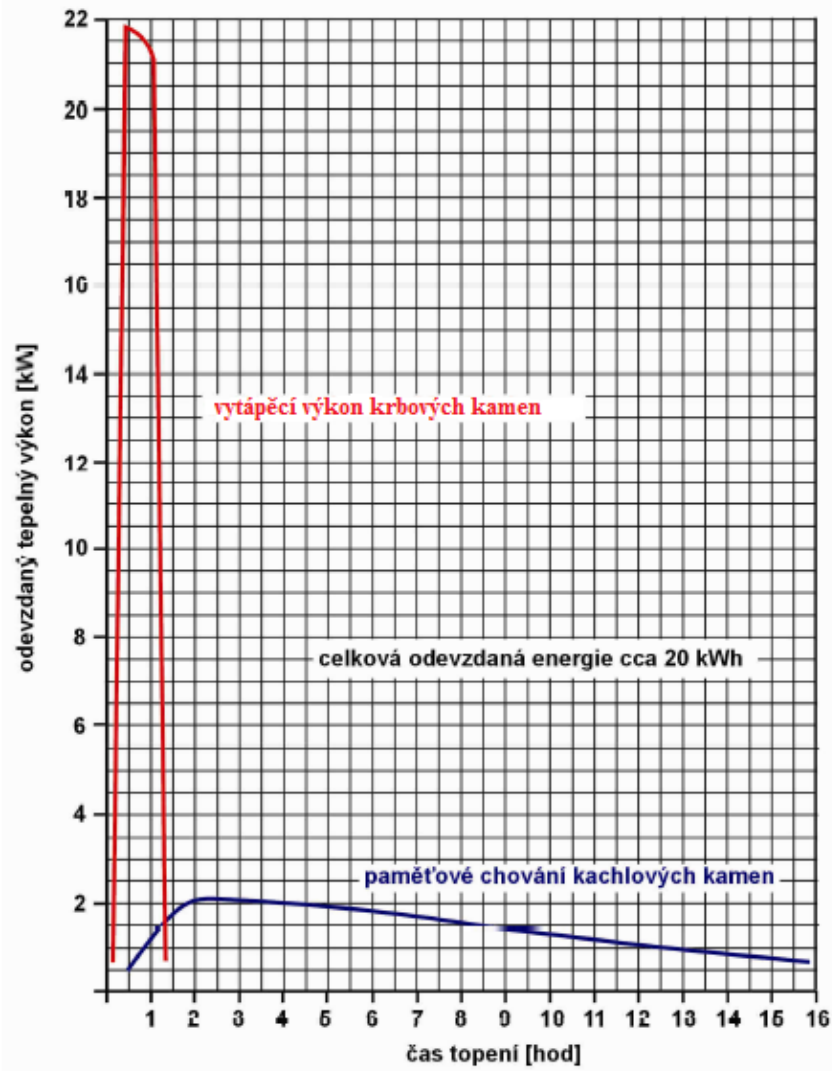
[11],[12]

3.2.5 Kachle na pelety

Použitím peliet ako paliva je možné zautomatizovať proces spaľovania. Tým eliminujú jednu najväčšiu nevýhodu klasických krbových kachlí – manuálnu obsluhu. Manuálne je treba len raz za 1 až 4 dni naložiť pelety do zásobníku o kapacite 20 až 50 kg, ktorý je súčasťou kachlí. Množstvo popola je tak isto malé, pretože poplatnosť peliet je 0,5 %, čo predstavuje 0,25 kg z 50 kg peliet. Pelety sú zo zásobníka kontinuálne dopravované do kúreniska kachlí. Zapalujú sa buď ručne alebo automaticky pomocou horúceho vzduchu.

Spaľovací proces v peletových kachliach je plne automatizovaný, riadiaci systém pre spaľovací proces má vstup napríklad z izbovej teploty.

Automatické riadenie spaľovania zaisťuje vysokú efektivitu a nízke emisie spaľovania. Účinnosť peletových kachlí dosahuje až 90 %. [11]



Graf 3.1 Znárodnenie priebehu odovzdávania tepla do okolia z kachľovej pece (ťažkej konštrukcie - modrá) a z krbových kachiel, ktoré rýchlo vyhrejú miestnosť. [12]

3.3 Kotle pre ústredné vykurovanie

Konstrukcie všetkých kotlov obsahujú tepelný výmenník, v ktorom je ohrievané teplonosné médium prúdom horúcich spalín. Na súčasnom trhu je veľa variant konštrukcií zdrojov tepla, ktoré sa odlišujú v použiteľnom palive, stupni komfortu obsluhy a tepelnom výkone, a samozrejme svojej cene. „*Voľba výkonu kotla je závislá od výpočtu tepelných strát, ktoré sú dané tepelnotechnickými vlastnosťami objektu a klimatickými podmienkami lokality, v ktorých sa vykurovaný objekt nachádza.*“ [2]

Ideálny kotol by bol taký, ktorý je schopný spaľovať „*všetko, čo sa do neho nasype.*“

To je však možné len v klasickom roštovom kotly, ktorý má nedostatočnú účinnosť, kvalitu spaľovania, komfort obsluhy a emisie. Kotle na pevné palivá môžu byť na ručnú obsluhu alebo automatické.

3.3.1 Kotle na ručnú obsluhu

Sú charakteristické praciejšou manuálnou obsluhou. Ako palivo je väčšinou použité kusové drevo, uhlie alebo koks. V dôsledku náročnosti obsluhy sa kotle s ručnou obsluhou používajú najviac do výkonu 50kW. Dnes sa ale vyrábajú ešte s menším výkonom ako v minulosti, z dôvodu znižovania potreby tepelného výkonu u nových a hlavne u nízkoenergetických domov. Nakladanie paliva je riešené hornými nakladacími dvierkami alebo dvierkami umiestnenými z čelnej strany kotla.

Spaľovací vzduch zabezpečuje prirodzený komínový ťah alebo je zabezpečovaný ventilátorom. Prívod spaľovacieho vzduchu pomocou ventilátora je výhodnejší, pretože nie je závislý na vonkajších poveternostných podmienkach, tým ani proces spaľovania nie je od nich závislý. Pričom prirodzený komínový ťah je silne ovplyvňovaný vonkajšími poveternostnými podmienkami.

Konstrukcia kotlov tohto druhu musí mať aj isté bezpečnostné prvky. Konštrukcia kotla musí zabezpečiť rozptyl tepelného výkonu v prípade výpadku elektrického prúdu, aby sa nezvýšila teplota a tlak vo vykurovacom systéme nad bezpečné hodnoty. Tento rozptyl je zabezpečený tzv. bezpečnostnou bariérou, ktorá zamedzuje zvýšeniu teploty v kotly nad teplotu 110°C, a to tzv. vychladzovacou smyčkou (chladiacou vodou prúdiacou cez bezpečnostný výmenník). Chladiacu smyčku spúšťa bezpečnostný ventil, ktorý sa otvorí pri teplote 95°C. [2] [11]

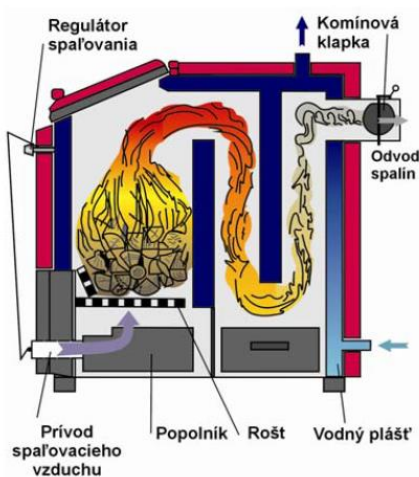
Pri kotloch s ručnou obsluhou je nemožná regulácia tepelného výkonu a spaľovacieho procesu pomocou dodávok paliva. Regulácia je realizovaná množstvom primárneho a sekundárneho spaľovacieho vzduchu. V praxi existujú tieto druhy regulácie kotlov s ručnou obsluhou [2]:

- **Kotle s mechanickou reguláciou spaľovacieho vzduchu** – množstvo spaľovacieho vzduchu je zabezpečené bez ventilátora – prirodzeným ťahom komína. Výkon je regulovaný teplotou vody pomocou termoregulačného ventilu. Mechanický prevod nastaví polohu regulačnej klapky, čím obmedzuje tok spaľovacieho vzduchu.
- **Kotle s reguláciou tepelného výkonu** – množstvo spaľovacieho vzduchu je zabezpečené vzduchovým alebo spalínovým ventilátorom. Reguláciou otáčok ventilátoru alebo regulačnou klapkou sa reguluje prívod spaľovacieho vzduchu. Množstvo spaľovacieho vzduchu je závislé od rozdielu medzi nastavenou a skutočnou teplotou vody.

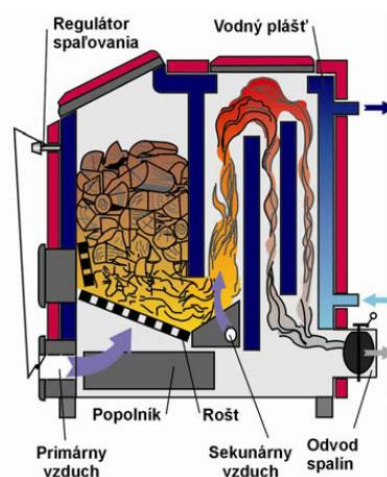
- **Kotle s reguláciou tepelného výkonu a s reguláciou procesu spaľovania** – spaľovací vzduch je dodávaný tak, ako v predošlom prípade. Možná je tu však aj regulácia kvality spaľovania prostredníctvom merania teploty spalín, podľa ktorej sa nastaví množstvo spaľovacieho vzduchu. U kvalitnejších kotlov je regulácia zabezpečená meraním súčiniteľa prebytku vzduchu pomocou lambda sondy alebo meraním obsahu CO v spalínach.

Kotle na pevné palivá s ručnou obsluhou sa ešte delia na :

1. **Kotle s prehorievaním paliva** – najjednoduchšia konštrukcia, spaľovací vzduch je privádzaný odspodu a prechádza skrz palivo hore. Vhodným palivom je koks, v prípade iných palív (hnedé uhlie alebo drevo) sa horšie reguluje a emisie sú vyššie. Drevo v tomto kotly zhorí rýchlo a prchavá horľavina úplne nezhorí, pretože je na to väčšinou nedostatočná teplota – vzniká väčší chemický nedopal. Zároveň aj spaliny majú malý priestor na odovzdanie tepla v teplovodnom výmenníku, tak odchádzajú do komína pomerne horúce. Vzniká tak veľká komínová strata, čím sa zasa znižuje účinnosť. Preto nie sú kotle tejto konštrukcie vhodné na spaľovanie dreva. Veľakrát sa použije rovnaká konštrukcia kotla na hnedé uhlie aj koks, len sa presunie klapka určujúca spôsob horenia. Na porovnanie Obr. 7 a 8. [2]



Obr. 3.5 Kotel s prehorievaním paliva

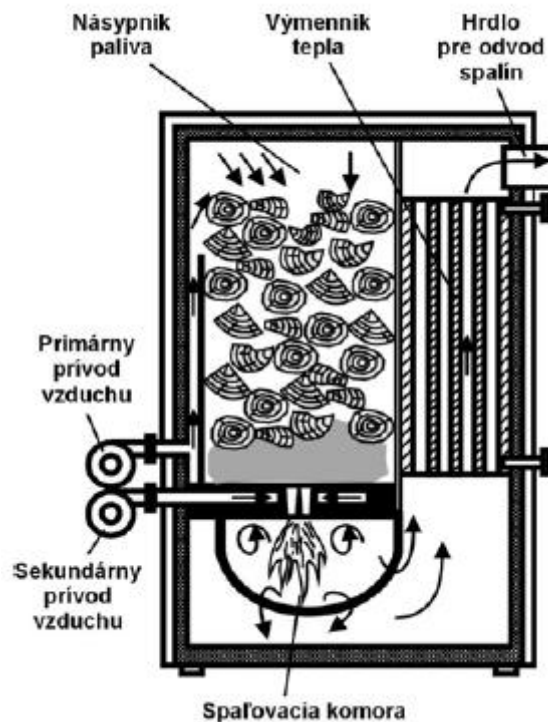


Obr. 3.6 Kotel s odhorievaním paliva

2. **Kotle s odhorievaním paliva** – Vzduch pri tomto type kotlov nie je vedený cez celý objem paliva, ale iba k jeho časti. Horí len spodná vrstva paliva v zásobníku. Ostatné palivo v zásobníku sa pomaly vysušuje. Výkon je regulovaný množstvom sekundárneho vzduchu v zadnej časti kúreniska. Tam sa sekundárny vzduch zmiešava a vyvoláva horenie s prchavou horľavinou a oxidom uhoľnatým (CO), ktorý vzniká vo vrstve žeravého paliva. Výkon týchto kotlov je možné regulovať v rozsahu 40 – 100 % menovitého výkonu) a ich účinnosť sa pohybuje okolo 60 %. Rozsah výkonov sa nepodkračuje, pretože dochádza k zadechtovaniu, tak emisie výrazné stúpajú a klesá účinnosť.

To je dôvod, prečo sa k týmto kotlom používajú väčšinou akumulčné nádrže, pri ktorých je kotol prevádzkovaný na optimálnom výkone bez ohľadu na momentálnu spotrebu tepla. Ako palivo je používané hnedé uhlie a drevo.

3. **Kotly so splyňovaním paliva** – pracujú na princípe odhorievania paliva, ale proces horenia je rozdelený na dve fázy: na splyňovanie a následné spaľovanie horľavých plynov. Splyňovanie prebieha pri podstechiometrickom množstve primárneho spaľovacieho vzduchu. Spaľovanie plynov vzniknutých pri splyňovaní prebieha v spaľovacej komore, kam je privedený sekundárny spaľovací vzduch. Odchádzajúce spaliny odovzdávajú svoje teplo výmenníku do ohrievanej vody. Vhodné palivo je najmä drevo s nízkou vlhkosťou 12 až 20 % a výhrevnosťou 15 až 18 $MJ.kg^{-1}$. Kotle tohto typu majú vysokú účinnosť od 85 do 90 %. Tepelný výkon je možné regulovať stupňovite alebo plynule v rozsahu 50 až 100 % menovitého výkonu. Na spaľovací priestor aj trysku sú použité špeciálne žiaruvzdorné materiály. „Pri uvedenej výhrevnosti paliva je ročná spotreba paliva cca 1 m³ na 1 kW inštalovaného výkonu kotla.“



Obr. 3.7 - Schéma splyňovacieho kotla

3.3.2 Kotle s automatickým riadením

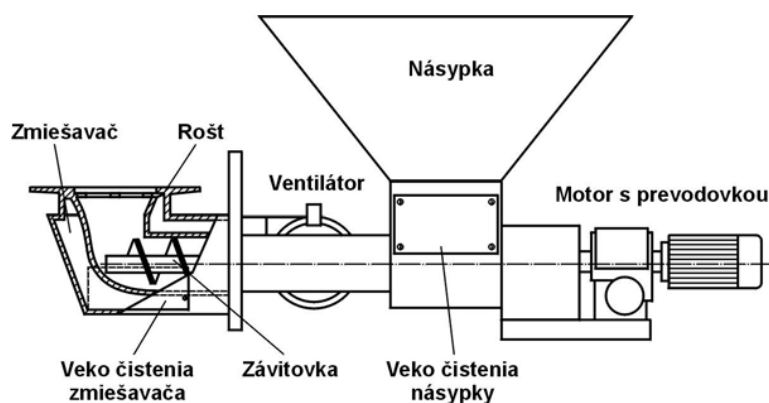
Kotle s automatickým riadením sú charakteristické tým, že sú schopné regulovať okrem tepelného výkonu aj prívod paliva. Prívod paliva je možný kontinuálne alebo stupňovite. Pre automatickú dodávku paliva do kotla sa používa prispôbená forma paliva. Najčastejšie je to dendromasa vo forme peliet štiepky alebo brikiet. Ale ako palivo sa často používa aj uhlie.

O automatizovaných kotloch hovoríme, ak zapalovanie a odstraňovanie popola neprebíha automaticky, ale je potrebná obsluha kotla. Automatické zapalovanie je realizované pomocou horúceho vzduchu, ktoré je menej náročné na elektrickú energiu ako zapalovanie žihacou elektródou. Popol je odvádzaný do zásobníka popola, ale tu je nutný občasný zásah obsluhy pri vyprázdnení zásobníka. Účinnosť automatických kotlov sa pohybuje v intervale 80 až 95 %.

Ku kotlu s automatickým riadením patrí aj externý zásobník a automatický podávač paliva. Pre pelety je potrebný väčší zásobník ako pre uhlie, pretože platí že čím nižšia výhrevnosť, tým väčší objem paliva sa spotrebuje. V prechodných obdobiach je potrebné doplniť zásobník len zhruba raz do týždňa. [2]

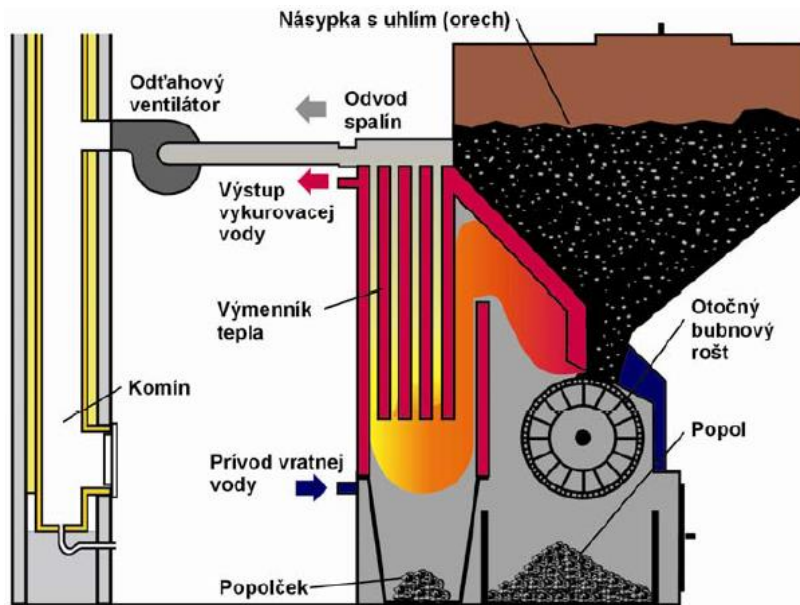
Najčastejšie užívaným u automatických kotlov na ústredné kúrenie, je systém spaľovania so spodným prívodom paliva.

Systém spaľovania so spodným prívodom paliva je používaný pri retortovom horáku kúrenisku s otočným roštom. Pri retortovom horáku (viď obr. 3.8) je palivo z násypky dopravované závitovým podávačom do liatinového kolena nazývaného retorta. Podávač tlačí palivo hore retortou na kruhový rošt. Retorta je umiestnená v zmiešavači, do ktorého je ventilátorom hnaný primárny vzduch drážkami medzi retortou a roštom do vrstvy paliva. Škrtiacou klapkou na ventilátore je regulované množstvo spaľovacieho vzduchu. Horľavina uvoľnená z paliva je oksyločovaná sekundárnym spaľovacím vzduchom pred vstupom do dohorievacej komory. Spaliny odovzdávajú svoje teplo vode vo výmenníku, následne odchádzajú do komína. Popol prepadáva z roštu do popolníka, ktorý je pod zmiešavačom. Kvôli použitiu závitníkového dopravníka je možné použiť palivá len s rovnomernou, jemnozrnnou štruktúrou. Tento horák je vhodný na spaľovanie peliet, ale je využívaný aj pre čierne uhlie.



Obr. 3.8 Schéma zdroja tepla so spodným prívodom paliva cez retortu

Kúrenisko s otáčavým roštom (Obr. 3.9), je určené pre uhlie. V hornej časti valcového roštu je spaľované palivo. Z vnútra je do hornej časti nasávaný spaľovací vzduch, na ktorý sklzáva palivo z násypky a je vnášané do spaľovacieho priestoru. Intenzívne spaľovanie je podporované ťahom spalínového ventilátora. Spaliny sú vedené cez spalínový výmenník, kde sa ochladzujú na 180 °C a následne sú cez dymovod vedené, vŕhané ventilátorom do komína.



Obr. 3.9 Schéma zdroja tepla s kúreniskom s otáčavým

4 Meranie emisií spotrebičov na pevné palivá

Spaľovanie pevných palív spôsobuje vždy tvorbu znečisťujúcich látok a skleníkových plynov. V Českej republike, podľa posledného sčítania ľudu z roku 2011, vykuruje 621 000 domácností tuhými palivami. Veľká časť domácností prešlo z uhlia na drevené biopalivá a celkový počet domácností vykurujúcich tuhými palivami sa od posledného sčítania ľudu (rok 2001) znížil o 100 000. Štúdie[14] ukazujú, že malé spaľovacie zariadenia majú veľký, v niektorých prípadoch až dominantný vplyv na zhoršenie kvality ovzdušia. Obyvateľstvo v niektorých dedinách mnohokrát v zimnom období pozoruje zhoršený stav ovzdušia, ktorý je porovnateľný s priemyselnými zónami alebo veľkomestami. Príčinou môže byť kombinácia zlých rozptylových podmienok (inverzia) a malej výšky komínov vypúšťajúcich polutanty. Aj preto je dnes veľká snaha zo strany EÚ sprísňovať požiadavky kladené na tieto zdroje znečistenia z pohľadu znečisťujúcich látok ale aj z pohľadu zvyšovania účinnosti. Jeden z nástrojov, ktorý je uplatňovaný pri snahe o znižovanie emisií sú legislatívne požiadavky, ktoré sa uplatňujú pri certifikácii spaľovacích zariadení. Certifikácia je nutným predpokladom pre uvedenie spaľovacieho zariadenia na trh EÚ.

4.1 Norma EN ČSN 303-5:2012

Pre certifikáciu pred uvedením na trh EÚ je potrebné, aby teplovodný kotol na tuhé palivo prešiel skúšaním na autorizovanej skúšobni. Pre toto skúšanie je v platnosti norma EN 303-5:2012 (*Kotle pro ústřední vytápění – Část 5: Kotle pro ústřední vytápění na pevná paliva, s ruční a samočinnou dodávkou, o jmenovitém tepelném výkonu nejvýše 500 kW – Terminologie, požadavky, zkoušení a značení*). V tejto norme sú stanovené požiadavky na použité konštrukčné materiály, bezpečnosť, spôsoby skúšania kotla a emisné limity, ktoré kotol musí splniť pri nominálnom a minimálnom výkone (okrem TZL, ktoré je nutné splniť len pri menovitom výkone). Za optimálnych podmienok na skúšobni musí kotol spĺňať emisné limity pre danú emisnú triedu. Česká harmonizovaná (preklad totožný s EN 303-5:2012) norma vyšla 1.1.2013, do platnosti vstúpila 1.2.2013.

Avšak v skutočnej prevádzke je nemožné zaistiť optimálne podmienky, preto sú často emisie rádovo vyššie ako pri certifikácii. To je dôvod, prečo niektoré krajiny v EÚ (Nemecko, Rakúsko) požadujú pravidelné kontroly niektorých parametrov (CO, TZL, komínová strata) v prevádzke. Tieto kontroly realizujú kominárske firmy, kde kominár vloží sondu do komínu a prenosným analyzátorom skontroluje emisie na danom zariadení.

Nová norma EN 303-5:2012 už nemá emisné triedy 1 a 2, ako jej pôvodná verzia z roku 1999. Obsahuje emisné triedy (Tabuľka 3) 3,4 a 5, 3. emisná trieda zostala skoro nezmenená, zmena nastala len v hodnotení TZL u alternatívnych palív (napríklad agropelety). V tejto novej verzii normy EN 303-5 je ešte ďalšie sprísnenie, ktoré hovorí, že kotol musí spĺňať emisné limity na TZL ako pri nominálnom, tak aj pri minimálnom výkone (ktorý je maximálne 30 % z nominálneho).

V nasledujúcich troch tabuľkách sú znázornené emisné limity pre kotle na tuhé palivá EN 303-5:2012 a sú zároveň porovnávané so starou, zrušenou normou EN 303-5 (1999).

Tab. 4.1 Porovnanie emisných limitov pre CO podľa EN 303-5:1999 a 2012 [15]

Dodávka paliva	Palivo	Jmenovitý tepelný výkon [kW]	Mezní hodnoty emisí (koncentrace)				
			CO				
			mg/m ³ _N při 10% O ₂ (mg/m ³ _N při 13% O ₂)				
			Třída 1 ¹⁾	Třída 2 ¹⁾	Třída 3 ²⁾	Třída 4 ²⁾	Třída 5 ²⁾
Ruční	Biologické	≤ 50	25 000 (18 182)	8 000 (5 818)	5 000 (3 636)	1 200 (873)	700 (509)
		> 50 až 150	12 500 (9 091)	5 000 (3 636)	2 500 (1 818)		
		> 150 až 300 ¹⁾ , 500 ²⁾	12 500 (9 091)	2 000 (1 455)	1 200 (873)		
	Fosilní	≤ 50	25 000 (18 182)	8 000 (5 818)	5 000 (3 636)		
		> 50 až 150	12 500 (9 091)	5 000 (3 636)	2 500 (1 818)		
		> 150 až 300 ¹⁾ , 500 ²⁾	12 500 (9 091)	2 000 (1 455)	1 200 (873)		
Samočinná	Biologické	≤ 50	15 000 (10 909)	5 000 (3 636)	3 000 (2 182)	1 000 (727)	500 (364)
		> 50 až 150	12 500 (9 091)	4 500 (3 273)	2 500 (1 818)		
		> 150 až 300 ¹⁾ , 500 ²⁾	12 500 (9 091)	2 000 (1 455)	1 200 (873)		
	Fosilní	≤ 50	15 000 (10 909)	5 000 (3 636)	3 000 (2 182)		
		> 50 až 150	12 500 (9 091)	4 500 (3 273)	2 500 (1 818)		
		> 150 až 300 ¹⁾ , 500 ²⁾	12 500 (9 091)	2 000 (1 455)	1 200 (873)		

¹⁾ dle již zrušené EN 303-5:1999

²⁾ dle nové EN 303-5:2012

Tab. 4.2 Porovnanie emisných limitov pre OGC podľa EN 303-5:1999 a 2012 [15]

Dodávka paliva	Palivo	Jmenovitý tepelný výkon [kW]	Mezní hodnoty emisí (koncentrace)				
			OGC				
			mg/m ³ _N při 10% O ₂ (mg/m ³ _N při 13% O ₂)				
			Třída 1 ¹⁾	Třída 2 ¹⁾	Třída 3 ²⁾	Třída 4 ²⁾	Třída 5 ²⁾
Ruční	Biologické	≤ 50	2 000 (1 455)	300 (218)	150 (109)	50 (36)	30 (22)
		> 50 až 150	1 500 (1 091)	200 (145)	100 (73)		
		> 150 až 300 ¹⁾ , 500 ²⁾	1 500 (1 091)	200 (145)	100 (73)		
	Fosilní	≤ 50	2 000 (1 455)	300 (218)	150 (109)		
		> 50 až 150	1 500 (1 091)	200 (145)	100 (73)		
		> 150 až 300 ¹⁾ , 500 ²⁾	1 500 (1 091)	200 (145)	100 (73)		
Samočinná	Biologické	≤ 50	1 750 (1 273)	200 (145)	100 (73)	30 (22)	20 (15)
		> 50 až 150	1 250 (909)	150 (109)	80 (58)		
		> 150 až 300 ¹⁾ , 500 ²⁾	1 250 (909)	150 (109)	80 (58)		
	Fosilní	≤ 50	1 750 (1 273)	200 (145)	100 (73)		
		> 50 až 150	1 250 (909)	150 (109)	80 (58)		
		> 150 až 300 ¹⁾ , 500 ²⁾	1 250 (909)	150 (109)	80 (58)		

¹⁾ dle již zrušené EN 303-5:1999

²⁾ dle nové EN 303-5:2012

Tab. 4.3 Porovnanie emisných limitov pre TZL podľa EN 303-5:1999 a 2012 [15]

Dodávka paliva	Palivo	Jmenovitý tepelný výkon [kW]	Mezní hodnoty emisí (koncentrace)				
			Prach (TZL)				
			mg/m ³ N při 10% O ₂ (mg/m ³ N při 13% O ₂)				
		Třída 1 ¹⁾	Třída 2 ¹⁾	Třída 3 ^{2),3)}	Třída 4 ²⁾	Třída 5 ²⁾	
Ruční	Biologické	≤ 50	200 (145)	180 (131)	150 (109)	75 (55)	60 (44)
		> 50 až 150	200 (145)	180 (131)	150 (109)		
		> 150 až 300 ¹⁾ , 500 ²⁾	200 (145)	180 (131)	150 (109)		
	Fosilní	≤ 50	180 (131)	150 (109)	125 (91)		
		> 50 až 150	180 (131)	150 (109)	125 (91)		
		> 150 až 300 ¹⁾ , 500 ²⁾	180 (131)	150 (109)	125 (91)		
Samočinná	Biologické	≤ 50	200 (145)	180 (131)	150 (109)	60 (44)	40 (29)
		> 50 až 150	200 (145)	180 (131)	150 (109)		
		> 150 až 300 ¹⁾ , 500 ²⁾	200 (145)	180 (131)	150 (109)		
	Fosilní	≤ 50	180 (131)	150 (109)	125 (91)		
		> 50 až 150	180 (131)	150 (109)	125 (91)		
		> 150 až 300 ¹⁾ , 500 ²⁾	180 (131)	150 (109)	125 (91)		

¹⁾ dle již zrušené EN 303-5:1999

²⁾ dle nové EN 303-5:2012

³⁾ U kotlů emisní třídy 3 pro alternativní biopaliva není třeba splnit požadavek na emise prachu. Skutečná hodnota musí být uvedena v technické dokumentaci a nesmí překročit 200 mg/m³ N při 10% O₂ (145 mg/m³ N při 13% O₂).

4.2 Plánované zmeny v legislatíve

Kotle emisnej triedy 1 a 2 sa mohli predávať do 31.12.2013. Zákon č. 201/2012 Sb. – o ochrane ovzdušia určuje, že od 1.1.2014 sa môžu na území ČR predávať len kotle s emisnou triedou 3 a vyššie. Ďalej má prevádzkovateľ kotla povinnosť do 31.12.2016 podstúpiť kontrolu technického stavu a prevádzky spaľovacieho zariadenia (nie splnenia emisného limitu), túto kontrolu môže vykonať len odborne spôsobilá osoba. Ak prevádzkovateľ nepredloží po 1.1.2017 doklad o kontrole, obecný úrad s rozšírenou pôsobnosťou mu môže udeliť pokutu 20 000 Kč. Od 1.1.2018 bude zastavený predaj kotlov emisnej triedy 3 a od 1.1.2020 bude zákaz predaja kotlov emisnej triedy 4. Od 1.1.2022 budú zrovnateľné požiadavky aj pre lokálne spaľovacie zariadenia. A nakoniec od 1.9.2022 príde zákaz používania spaľovacích zariadení s emisnou triedou 1 a 2, čo zabezpečia zrejme obecné úrady a úrady mestských častí.

Pred 1.1.2014 stanovovali základné emisné limity a požiadavky na účinnosť normy pre lokálne spaľovacie zariadenia normy podľa tabuľky 4.4. V ďalšej tabuľke (tab. 4.5) sú uvedené emisné požiadavky podľa zákona č.201/2012 Sb. - o ochrane ovzdušia príloha číslo 10, ktoré platia od 1.1.2014 pri uvedení výrobku na trh.

Tab 4.4 Emisné limity podľa jednotlivých noriem [21,22,23,24,25]

Norma	Predmet normy*	Limit pre CO** [%]	Limit pre CO** [mg.m ³ N]	Minimálna účinnosť [%]
EN 13 240	Krbové kachle	1,0	12 500	50
EN 13 229	Krbové vložky	1,0	12 500	30
	Kachľové pece a ostatné dekoratívne spotrebiče do 15 kW	0,2	2 500	75
EN 14 785	Spotrebiče spaľujúce drevené pelety	0,04/0,06***	500/750***	75/70***
EN 15 250	Akumulačné kachle	0,3	3750	70
EN 12 815	Sporáky	1,0	12 500	60

*pre normu typické spotrebiče

**referenčný obsah O₂ = 13%

*** hodnoty pri zníženom výkone

Tab. 4.5 Minimálne emisné požiadavky na spaľovacie stacionárne zdroje na tuhé palivá o menovitom príkone 300 kW a nižšom, určené pre pripojenie na teplovodnú sústavu ústredného vykurovania [26]

Dodávka paliva	Palivo	Menovitý tepelný príkon [kW]	Hodnoty emisných limitov*	
			CO	TZL
			[mg.m ⁻³ pri 13%O ₂]	
Ručná	Biologické	≤65	5 000	150
		>65 až 187	2 500	150
		>187 až 300	1 200	150
	Fosílné	≤65	5 000	125
		>65 až 187	2 500	125
		>187 až 300	1 200	125
Samočinná	Biologické	≤65	3 000	150
		>65 až 187	2 500	150
		>187 až 300	1 200	150
	Fosílné	≤65	3 000	125
		>65 až 187	2 500	125
		>187 až 300	1 200	125

*Vzťahuje sa k suchým spalinám, teplote 273,15 K, tlaku 101,325 kPa a k referenčnému obsahu kyslíku 13 %

Od januára 2018 bude možné predávať len lokálne zdroje tepla, ktoré plnia požiadavky na emisie podľa tabuľky 4.6, ktorá vyplýva zo zákona č.201/2012 Sb. - o ochrane ovzdušia. Jedná sa o mierne nižšie požiadavky ako tie ktoré sú kladené na emisnú triedu 4 teplovodných kotlov podľa ČSN EN 303-5:2012.

Tab. 4.6 Minimálne emisné požiadavky na spaľovacie stacionárne zdroje na tuhé palivá platné od 1.1.2018 [26]

Dodávka paliva	Palivo	Menovitý tepelný príkon [kW]	Hodnoty emisných limitov*	
			CO	TZL
			[mg.m ⁻³ pri 13%O ₂]	
Ručná	Biologické/ Fosílné	≤ 300	1 200	75
Samočinná	Biologické/ Fosílné	≤ 300	1 000	60

*Vzťahuje sa k suchým spalinám, teplote 273,15 K, tlaku 101,325 kPa a k referenčnému obsahu kyslíku 13 %

Tieto údaje (tab. 4.7, 4.8) vychádzajú zo *Smernice o Ekodesigne 2009/125/ES*, ktorá určuje požiadavky pre lokálne spotrebiče na tuhé palivá (s nominálnym tepelným výkonom do 50 kW a kotle pre ústredné kúrenie s nominálnym tepelným výkonom do 120 kW).

Tab. 4.7 Zhrnutie obmedzení do budúcnosti pre kotle na tuhé palivá [26]

Platnosť	Popis predpisu
1.1.2014	Zákaz predaja kotlov 1. a 2. emisnej triedy
1.1.2017	Povinnosť prevádzkovateľa predložiť doklad o kontrole kotla
1.1.2018	Zákaz predaja kotlov 3. emisnej triedy
1.1.2020	Zákaz predaja kotlov 4. emisnej triedy
1.9.2022	Zákaz používania kotlov 1. a 2. emisnej triedy

Tab. 4.8 Zhrnutie potvrdených obmedzení do budúcnosti pre lokálne spotrebiče na tuhé palivá podľa Smernice o Ekodesigne 2009/125/ES

Parametre – lokálne spotrebiče	Emisné limity – platnosť od 1.1.2022		
	Otvorené	Uzavreté (aj sporáky)	Peletové
Sezónna energetická účinnosť vykurovania [%]	30	65	79
Pevné častice (TZL): HF[mg.m ⁻³]/DT[g.kg ⁻¹]*	50 / 6	40 / 5	20 / 2,5
Organické plynné zlúčeniny (OGC) [mg.m ⁻³]	120	120	60
Oxid uhoľnatý (CO) [mg.m ⁻³]	2000	1500	300
Oxidy dusíku (NOx) [mg.m ⁻³]**	200 / 300	200 / 300	200 / 300

Pozn.:*) metodika na meranie obsahu TZL je voliteľná (HF – vyhrievaný filter, DT – riediaci tunel)

***) emisný limit pre NOx pre lokálne spotrebiče na biomasu/ fosílnu palivá

4.2 Dotačné programy na zníženie emisií pre ČR

4.2.1 Nová zelená úsporám

Je dotačný program na rozšírenie obnoviteľných zdrojov energie pre rodinné domy a úspory energie obecné. Financie na tento program sú z predaja emisných povoleniek na vypúšťanie skleníkových plynov podľa Kjótskeho protokolu. Tento program je určený majiteľom rodinných, bytových domov a verejných budov.

Podporu je možné čerpať na rodinné domy, ktorých celková podlahová plocha po uskutočnení projektu nepresiahne 350 m². Príjem žiadostí bol od 1.4.2014 do 31.12.2014. Žiadosti sa vždy podávajú počas časovo obmedzených výziev, pričom žiadosť je možné podať pred, počas alebo po dokončení podporovaného projektu, ktorý bol realizovaný po 1.1.2013. Podľa oficiálnych informácií bude možné zasa podávať žiadosti od 15.5.2015 na oblasť podpory A,B aj C (podľa tabuľky č. 9).Alokácia finančných prostriedkov pre túto výzvu činí 600 miliónov Kč.

Tab. 4.9 Oblasti podpory Nová zelená úsporám [15]

A	Znižovanie energetickej náročnosti existujúcich rodinných domov	Podpora zateplenia a výmeny okien v troch hladinách podľa dosiahnutých parametrov: 30, 40, 55% z výdajov. Podpora odborného posudku a odborného technického dozoru
B	Výstavba rodinných domov s veľmi nízkou energetickou náročnosťou	Podpora novostavby rodinného domu v nízkoenergetickom alebo pasívnom štandarde: 400 alebo 550 tisíc Kč. Podpora odborného posudku a odborného technického dozoru
C	Efektívne využitie zdrojov energie	Podpora ekologických zdrojov tepla na vykurovanie v dvoch max. úrovniach 55 a 75 %, podpora solárnych systémov v max. úrovni 40 %, podpora systémov núteného vetrania so spätným získavaním tepla v max. úrovni 75 %. Podpora odborného posudku

Žiadateľ bude mať tento rok voľnejšiu ruku vo výbere dodávateľa a materiálu. Dodávateľa ani materiál už žiadateľ už nemusí vyberať zo zoznamu (*Seznam odborných dodávateľů a Seznam výrobků a technologií*), ale pri výbere výrobku, ktorý nie je zapísaný v zozname (*Seznam výrobků a technologií*), musí doložiť, že výrobok spĺňa podmienky programu.

4.2.2 Kotlíková dotace

Spoločný program kraja a MŽP na podporu výmeny jestvujúcich ručne plnených kotlov na tuhé palivá do tepelného výkonu 50 kW. Túto dotáciu môže žiadať len fyzická osoba, ktorá je vlastníkom obytnej budovy. Nie je určená pre podnikateľov. Dotácia je formou jednorazovej účelovej finančnej podpory, ktorá musí byť využitá v rámci určitého kraja. Dotácia môže byť využitá len na nákup a inštaláciu nového kotla alebo akumuláčnej nádoby. Kotel musí spĺňať minimálne emisnú triedu 3-pre kotle s automatickým dávkovaním paliva alebo splyňovací kotel emisnej triedy 4 a vyššie len s akumuláčnou nádobou (podľa ČSN EN 303-5) a musí byť zapísaný v zozname SVT (Seznamu výrobků a technologií). Posledná – 9.výzva na podanie žiadostí na Kotlíkovú dotaci skončila 9.9.2014, bolo v nej vyplatených 80 mil. Kč a bola obmedzená pre Stredočeský kraj.

Tab. 4.10 prehľad možností v kotlíkovej dotácii

Typ kotla		Max. výška podpory
A	Kotel na tuhé palivá emisnej triedy 3 s automatickým dávkovaním paliva	40 000 Kč
B	Kotel na tuhé palivá emisnej triedy 4 alebo vyššej s automatickým dávkovaním paliva	60 000 Kč
C	Splyňovací kotel na tuhé palivá emisnej triedy 4 alebo vyššej s akumuláčnou nádobou s celkovým objemom min. 55 l na každý kW inštalovaného výkonu	55 000 Kč
D	Plynový atmosférický kotel na zemný plyn	15 000 Kč
E	Plynový kondenzačný kotel na zemný plyn	20 000 Kč

4.3 Meracie prístroje

Účelom merania emisií je určenie hmotnostného prietoku emisií znečisťujúcich látok zo sledovaného zdroja.

V praxi sa meria nepriamo pomocou výpočtu zo zmeraného prietoku a chemickej analýzy spalín, pretože priame meranie hmotnostného prietoku znečisťujúcich látok je nemožné. Vo väčšine prípadov postačí jeden vzorkovací bod (podľa normy EN 13284-1 pri priemere meracieho úseku menšom ako 0,35 m) v meracom úseku spalín umiestnený od 1/3 do 1/2 priemeru meracieho úseku spalín.[17]

4.3.1 Meranie prietoku spalín

Keďže priemer meracieho úseku spalinovodu poznáme, meranie prietoku spalín pozostáva z týchto krokov:

- Meranie strednej prierezovej rýchlosti prúdenia spalín
- Meranie teploty spalín
- Meranie statického tlaku spalín

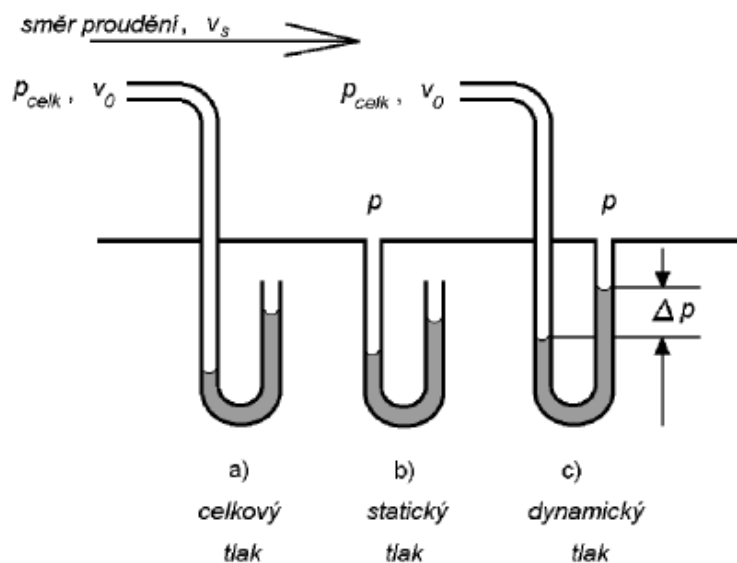
Meranie strednej prierezovej rýchlosti prúdenia spalín – v praxi sa najčastejšie používajú Prandltové trubice. Týmto zariadením sa meria diferenčný tlak, ktorý tvorí rozdiel medzi celkovým a statickým tlakom. Statický tlak (p) je definovaný ako zložka celkového tlaku, ktorá je kolmá na smer prúdenia tekutiny. Celkový tlak tvorí súčet statického a dynamického tlaku. Celkový tlak (p_{celk}) je možné merať manometrickou trubicou, ktorá ústi ako je zobrazené na obrázku 4.1a). Diferenčný tlak (Δp) Prandltovej trubice dáva vzťah:[19]

$$\Delta p = p_{celk} - p \quad (4.1)$$

Diferenčný tlak je možné určiť aj prostredníctvom diferenčného manometru (obr.4.1c)). Jednoduchý vzťah na výpočet rýchlosti (v) v bode meracieho prierezu je možné odvodiť z Bernulliovej rovnice.

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot (p_{celk} - p)}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} \quad (4.2)$$

Kde ρ je hustota spalín



Obr. 4.1 Princíp merania Prandltovou trubicou

Meranie teploty spalín prebieha odporovými teplomermi alebo termočlánkami. V praxi sa používa aj spojenie termočlánku a Prandltovej trubice. Teplota je meraná priebežne, v maximálnych intervaloch 20 sekúnd, z ktorých je následne zaznamenaná priemerná hodnota za maximálne jednu minútu.

Meranie statického tlaku spalín sa realizuje nepriamou metódou, ktorá je založená na meraní tlaku v meracou úseku spalín voči atmosfére pomocou diferenčného manometru.

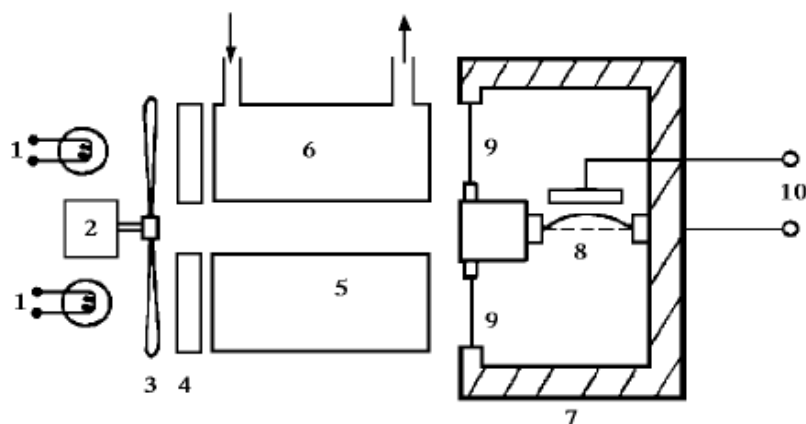
4.3.2 Meranie zloženia spalín

Zloženie spalín sa udáva v objemových percentách suchých spalín. Pokiaľ spaliny obsahujú vodné pary, je ich objem väčší o objem pár. Zloženie spalín potrebujeme poznať pre porovnanie s emisnými limitmi z noriem, určenie straty plynným nedopalom a straty citelným teplom spalín (určenie tepelnej kapacity spalín). Z toho vyplýva, že zloženie spalín nám udáva s akou účinnosťou pracuje skúšaný spotrebič. Toto všetko je dôvodom na analýzu spalín.

Prístroje na analýzu spalín využívajú rôzne fyzikálne a fyzikálno-chemické princípy. Analyzátory na fyzikálnom princípe merajú fyzikálnu veličinu, ktorej vzťah ku zložke analyzovaného plynu je presne stanovený. Fyzikálno-chemický princíp je založený na sledovaní fyzikálnych javov prebiehajúcich za chemickej reakcie, ktorej sa zúčastňuje zložka spalín alebo ju pozorovateľne ovplyvňuje.

Najčastejšie sa z fyzikálnych princípov využíva absorpcia infračerveného žiarenia (IR) a paramagnetizmus. Z fyzikálno-chemických princípov sa najčastejšie používajú analyzátory na bázy elektrochemických chemických analyzátorov.

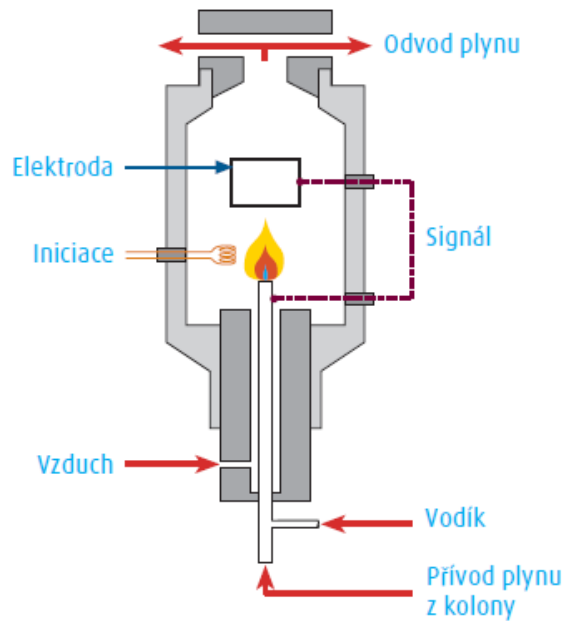
1. **Nedisperzivny infračervený spektrometer (NDIR)** je najstarším a zároveň najrozšírenejším typom infračerveného spektrometra. Tento typ spektrometra využíva vlastnosť molekúl plynov, ktoré sú aktívne v infračervenej oblasti a absorbujú elektromagnetické žiarenie a premieňajú ho na tepelnú energiu. Ak sa meraný plyn nachádza v uzavretom priestore, tento nárast tepelnej energie sa prejaví zvýšením tlaku, kde ide o tzv. fotoakustický jav. Každá molekula vibruje a rotuje na inej frekvencii. Tieto frekvencie spôsobujú, že molekuly absorbujú žiarenie len špecifickej vlnovej dĺžky.



Obr. 4.2 Schéma NDIR spektrometra [19]

Bežné konštrukcie NDIR spektrometrov (obr.4.2) obsahujú dvojicu termických zdrojov infračerveného žiarenia, ktoré majú veľký rozsah vlnových dĺžok(1). Spojité žiarenie zdrojov je modulované rotačnou clonou (3), ktorá je poháňaná elektromotorom (2). Interferenčným filtrom (4) z polychromatického žiarenia prechádza už len žiarenie s úzkym rozsahom vlnových dĺžok, ktoré putuje cez porovnávaciu (5) a mernú prietochnú kyvetu (6). Porovnávacia kyveta je naplnená referenčným plynom (dusíkom, kyslíkom apod.). Takto upravené žiarenie prijíma termický detektor (7). Spaliny môžu obsahovať len malé množstvo vodných pár, pretože narúšajú fungovanie analyzátoru, tým že zasahujú svojimi absorpčnými pásmi do niektorého z pozorovaných intervalov vlnových dĺžok. Je tiež nutné zabrániť kondenzácii vodných pár, poprípade musí byť systém vykurovaný.

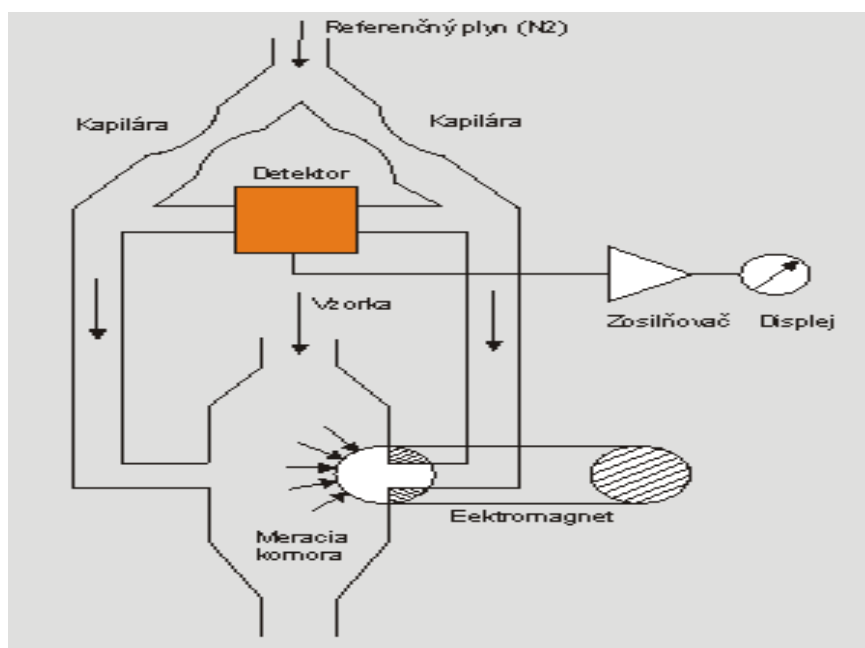
2. **Plameňoionizačný detektor (FID)** je najrozšírenejším detektorom v plynovej chromatografii. FID je vhodný na analýzu uhl'ovodíkov v spalínach (OGC). Vzorka je najprv spaľovaná v plameni vzniknutom horením vodíku vo vzduchu. V plameni sa vytvárajú ióny a voľné elektróny. Nabité častice v nosnom plyne vytvárajú merateľný tok elektrického prúdu medzi elektródami detektoru. Výsledný elektrický prúd je väčší ako keby prúdil len vodík a nosný plyn. Meraná veličina je elektrický prúd, ktorý je závislý na ionizácii a tá závislá na zložení spalín. [27],[28]



Obr. 4.3 Schéma plamenoionizačného detektoru (FID) [28]

- Paramagnetický princíp** je používaný pre meranie obsahu kyslíka O_2 v spalinách, pretože má z plynov najvýraznejšie paramagnetické vlastnosti. Kyslík sa v nehomogénom magnetickom poli pohybuje v smere vyššej intenzity magnetického poľa. Ak sú do tohto magnetického poľa privedené dva plyny (zvyčajne býva druhým plynom dusík), potom medzi nimi vznikne tlakový rozdiel úmerný koncentrácií kyslíka.

Spaliny prúdia cez meraciu komoru. Referenčný plyn (napr. dusík N_2) prúdi do meracej komory prostredníctvom dvoch kanálov. V blízkosti jedného zo vstupných otvorov je generované nehomogénne magnetické pole, čo spôsobuje, že parciálny tlak v tejto oblasti vzrastie. Tento tlak je úmerný obsahu kyslíka v spalinách. „Detekcia je založená buď priamo na výslednom rozdiel tlaku medzi dvomi referenčnými plynovými kanálmi (membránový kondenzátor) alebo na kompenzovanom prúde v spojovacom kanále medzi kanálmi s referenčným plynom (detektor mikroprúdenia).“ [29]



Obr. 4.4 Schéma merania kyslíka paramagnetickou metódou [29]

4. **Gravimetrická metóda** je používaná na meranie emisií prachu (TZL). Vzorka je odoberaná z prúdu spalín, následne prechádza cez membránový filter, ktorého hmotnosť je zaznamenaná pred a po odbere. Využívajú sa filtre zo sklenených alebo kremíkových vlákien. Aby bol odber reprezentatívny, musí byť vykonávaný vhodnou sondou a správnou rýchlosťou podľa izokinetickej podmienky [20],

$$w_{s,j} = w_i \rightarrow c_{s,j} = c_i, \quad (4.3)$$

kde $w_{s,j}$ – rýchlosť v ústí sondy [$m \cdot s^{-1}$]
 w_i – rýchlosť spalín v meracom úseku [$m \cdot s^{-1}$]
 $c_{s,j}$ – koncentrácia v ústí sondy [$g \cdot m^{-3}$]
 c_i – koncentrácia v prúde spalín [$g \cdot m^{-3}$]

ktorá vyjadruje požiadavku, aby sa rýchlosť v ústí sondy pri meraní zhodovala s rýchlosťou prúdiacich spalín. Za tohto predpokladu je potom koncentrácia v ústí sondy zhodná s koncentráciou v prúde spalín. Pri meraní TZL musí byť meraná rýchlosť spalín Prandltovou trubicou, pre dodržanie izokinetickej podmienky. Množstvo odsávaných spalín sondou s membránovým filtrom je regulované automaticky, na základe nameranej rýchlosti spalín tak, aby bolo dosiahnuté izokinetickej podmienky. Podľa normy EN 303 - 5 ma byť rýchlosť $w_{s,j}$ 70 až 150% z w_i . Koncentrácia tuhých znečisťujúcich látok je prepočítavaná na normálne fyzikálne podmienky ($p_n = 101325 Pa$, $T_n = 273,15 K$) a na vlhké alebo suché spaliny. Preto je pred snímačom množstva spalín meraná teplota a tlak. Objem nameraný plynomerom (V^W) za čas (τ) bude prepočítaný na normálne fyzikálne podmienky pomocou stavovej rovnice:

$$V_{(n)}^W = V^W \cdot \frac{p}{101325} \cdot \frac{273,15}{T} \quad [m_N^3] \quad (4.4)$$

kde p - absolútny tlak na vstupne do plynomera [Pa]
 T – termodynamická teplota na vstupe do plynomera [K],[20].

Koncentrácia TZL sa ale vzťahuje na suché spaliny. Objem $V_{(n)}^W$ je nutné zmenšiť o objem sýtej vodnej pary v ňom obsiahnutej podľa vzťahu:

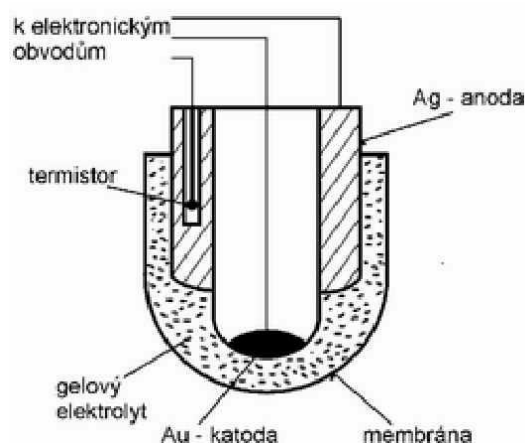
$$V_{(n)}^S = V_{(n)}^W \cdot \left(1 - \frac{p_p}{p}\right) \quad [m_N^3]. \quad (4.5)$$

Koncentrácia TZL vzťahnutá na suché spaliny je daná vzťahom:

$$c_{(n)}^S = \frac{\Delta m}{V_{(n)}^S} \quad [mg \cdot m_N^3] \quad (4.6)$$

kde Δm je hmotnostný prírastok na filtri po meraní v mg. Hmotnostný prírastok sa určuje meraním hmotnosti vysušeného filtra pred meraním, vysušeného filtra po meraní a hmotnosti častíc zachytených v odsávacom potrubí, ktorá sa pridáva ku hmotnosti filtra po meraní. Meranie uvedených hmotností sa vykonáva na analytických váhach.

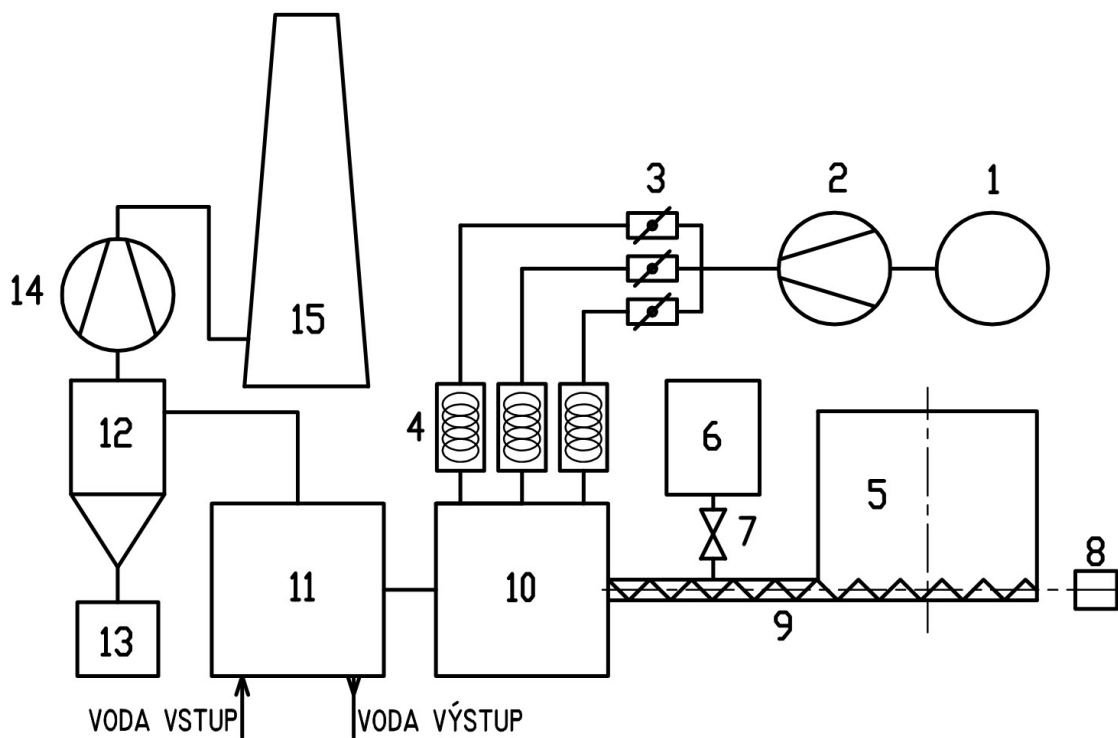
- 5. Elektrochemický senzor kyslíku** obsahuje elektrolyt (vodný roztok KCl), do ktorého sú zasunuté dve elektródy a medzi nimi je následne meraný elektrický prúd. V odvode je zapojený zdroj jednosmerného napätia (vložené napätie), ktoré odpovedá limitnému prúdu kyslíku v meraných spalinách. Tento prúd je funkciou koncentrácie kyslíku v analyte. Na meraciu (Au) a referenčnú (Ag) elektródu sa vkladá veľké napätie, aby bolo zaručená premena (oxidácia alebo redukcia) kyslíku na pracovnej elektróde. Medzi elektrolytickým prúdom a medzi oboma elektródami a množstvom kyslíka, ktorý sa zúčastní na premene na meracej elektróde je priama úmera. [31]



Obr. 4.5 Elektrochemický senzor kyslíku [31]

5 Popis skúšaného zariadenia

Skúška prebehla na experimentálnej spaľovacej jednotke GEMOS 110 kW. je to teplovodný kotol, ktorý disponuje dvojkomorovým spaľovaním s oddelením odplyňovacej a dopaľovacej komory.



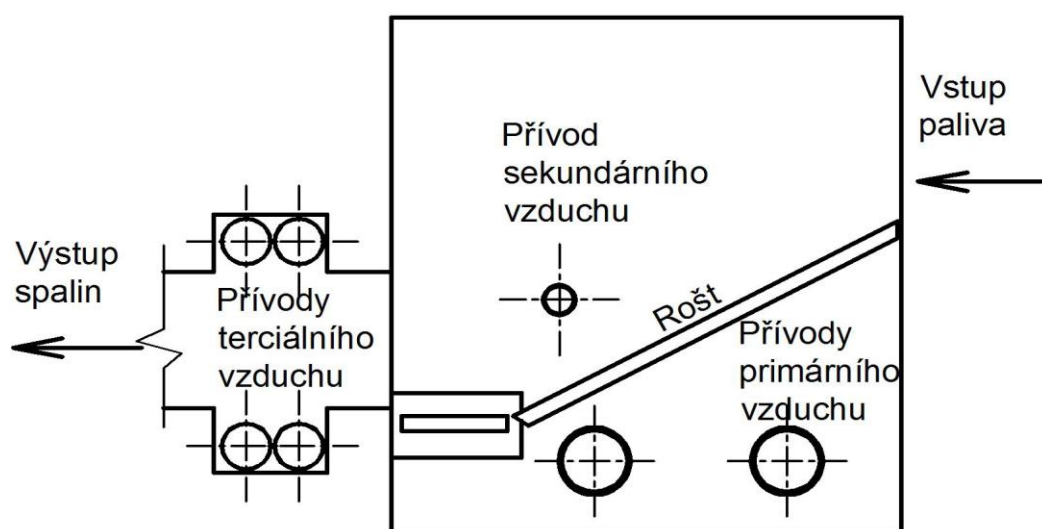
Obr. 5.1 Schéma experimentálnej spaľovacej jednotky GEMOS 110 kW a jeho zapojenie [30]

Popis schémy na obrázku 5.1:

1. Vstupný otvor pre spaľovací vzduch
2. Vzduchový ventilátor
3. Klapky na reguláciu primárneho, sekundárneho a terciárneho vzduchu
4. Elektrické ohrievaky primárneho, sekundárneho a terciárneho vzduchu
5. Zásobník paliva
6. Bezpečnostná nádrž s vodou
7. Bezpečnostný termostatický ventil
8. Asynchrónny motor s frekvenčným meničom pre pohon šnekového podávača
9. Šnekový podávač
10. Splyňovacia komora ZKG
11. Teplovodný kotol KWH
12. Cyklón na odlúčenie popolčeka
13. Nádobu na odlúčený popolček
14. Spalinový ventilátor
15. Komín

5.1 Splyňovacia jednotka

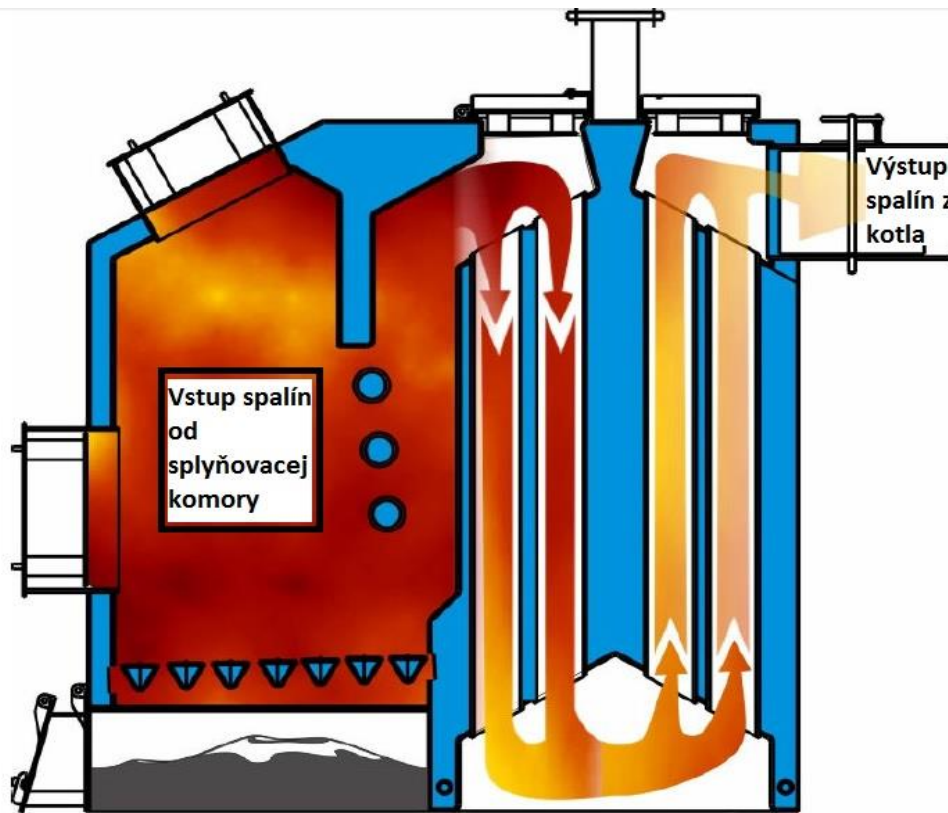
Splyňovacia komora je usporiadaná na splyňovanie pilín, štiepky a peliet do maximálnej veľkosti zrna 30 mm. Konštrukcia je vyrobená z ocele a výmurovka zo šamotových tehli. V bočnej stene sú nad roštom umiestnené dvierka. Pod roštom je otvor na vyberanie popola. Palivo je privádzané nad šikmý rošt, po ktorom je zosúvané smerom dole vplyvom prísunu ďalšieho paliva a gravitačnej sily. Na šikmom rošte dochádza k odplyneniu a horeniu paliva. Do komory je privádzaný primárny, sekundárny a terciárny vzduch účinnšie spaľovanie. Po šikmom rošte nasleduje vodorovný, odkiaľ vstupuje do trysky plameň a uvoľnená prchavá horľavina. V tryske dochádza k horeniu prchavej horľaviny, vplyvom predhriateho terciárneho vzduchu. Spaliny ďalej postupujú do konvekčného výmenníku GEMOS KWH.



Obr. 5.2 Splyňovacia jednotka [30]

5.2 Teplovodný výmenník

Jedná sa o kotol GEMOS KWH 110, ktorý je v zostave využívaný ako teplovodný výmenník. Je to konvekčný výmenník so žiarovými trúbkami. Má menovitý výkon 110kW, hmotnosť bez vody 1150 kg a maximálnu pracovnú teplotu 95 °C. Spaľovacia komora má všetky steny chladené vodou. Sú dvojité s vodou v medzipriestore. V bočnej stene telesa je vstupný otvor pre spaliny zo splyňovacej komory (viď obr. 5.3). Modrou farbou sú na obrázku 5.3 naznačené priestory zaplnené vodou.



Obr. 5.3 Schematické znázornenie kotla GEMOS
KWH 110

5.3 Merací úsek

Spalinovod je zo štvorcového potrubia, v ktorom sú umiestnené meracie otvory pre meranie emisií CO, NO, O₂ a SO₂, ďalej je tu otvor pre umiestnenie sondy vzorkovacieho systému na internú filtráciu TZL. Za kotlom je meraná teplota spalín. Spaliny na vyúšti prechádzajú odprášením pomocou cyklónu za ktorým je taktiež meraná teplota. Odlúčený popolček je uskladňovaný v zbernej nádobe. Pred komínom je umiestnený spalinový ventilátor, ktorý zaisťuje dostatočný podtlak na odťah spalín.

6 Použité meracie prístroje

6.1 Analyzátor vlhkosti KERN MLS 50-3

Slúžia na určenie vlhkosti v palive. Obsahuje halogénový žiarič s výkonom 400 W. Teplotu sušenia je možné regulovať od 50 do 160 °C s citlivosťou 1 °C.

Priebeh merania:

- Naloženie vzorky paliva na misku analyzátoru a jej vloženie do analyzátoru
- Nadstavenie teploty sušenia na 115 °C a nadstavenie programu sušenia (ukončenie sušenia pri dosiahnutí konštantnej hmotnosti vzorky)
- Odčítanie výslednej vlhkosti z displeja analyzátoru



Obr. 6.1 analyzátor vlhkosti KERN

6.2 Sušiacia laboratórna pec Venticell LSIK/ VC11

Slúži na vysušanie filtrov pre meranie TZL.

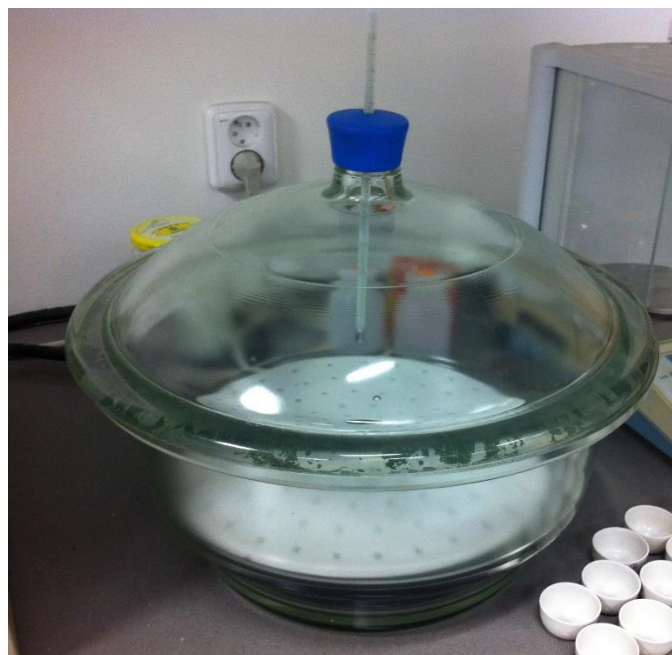
Postup pri meraní: Pred a po odbere vzorky sa použitý filter vysúša v sušiacей peci až do dosiahnutia konštantnej hmotnosti, pec Venticell váhu neobsahuje, tak bol zo skúsenosti zvolený čas sušenia 120 minút. Teplota sušenia musí byť v rozmedzí 110 ± 5 °C, túto teplotu zaisťujú sušiacia pec Venticell. Po vysušení filtru a pred procesom váženia sa filtre uložia do exsikátoru. Exsikátor sa umiestni do miestnosti, v ktorej sa váži vzorka, pokiaľ teplota exsikátoru nedosiahne ± 3 K teploty miestnosti. [32]



Obr. 6.2 Sušiča laboratorna pec Venticell

6.3 Exsikátor

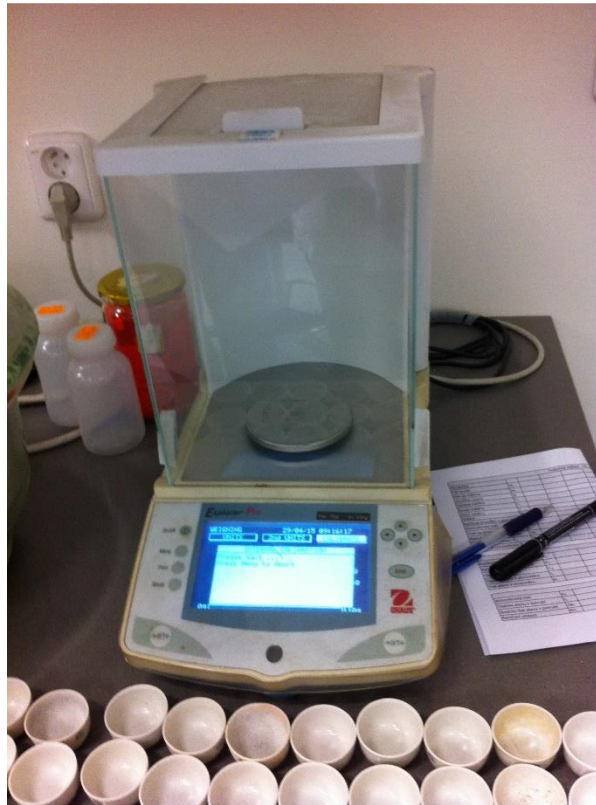
Je hrubostenná sklená nádoba, ktorá slúži na ochladenie a vysušanie filtrov pri meraní emisií TZL. Poklop je vybavený objímkou do ktorej je zasúvaný teplomer. Hrana poklopu musí byť namazaná, aby nedošlo k vniku vzdušnej vlhkosti do exsikátoru. Vo vnútri je perforovaná porcelánová doska, ktorá oddeľuje vzorky od sušiaceho činidla - silikagelu.



Obr.6.3 Exsikátor

6.4 Analytické váhy Ohaus Explorer Pro

Tieto váhy slúžia na váženie filtrov po sušení a uložení v exsikátore, ako je popísané v kapitole 6.2. Vážiacia plošina s tenzometrami je umiestnená vo vnútri štítu, ten zaisťuje optimálnu ochranu voči prúdeniu vzduchu, ktorý by ovplyvňoval meranie týmito váhami.



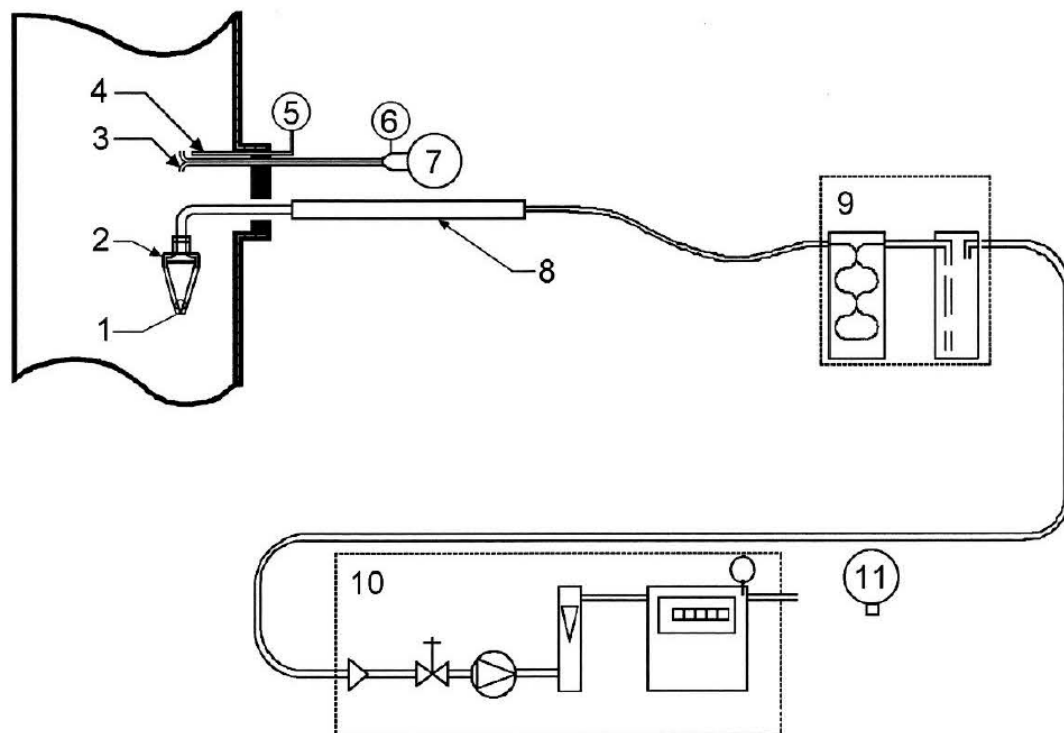
Obr. 6.4 Analytické váhy Ohaus

6.5 Vzorkovacie zariadenie pre odber TZL

Zostava na meranie TZL využíva interného odberu vzorky (vo vnútri spalínovodu). Výhodou interného odberu vzorky TZL je, že zostava filtra nemusí byť vyhrievaná. V prípade externej filtrácie je vyhrievanie nutnosť, pretože musí byť zaistené odparenie kvapiek vody, ktoré by zalepili filter a odber by bol zastavený.

Vzorkovacie zariadenie pozostáva z:

- hubica sondy
- zostava filtra
- spojovacia trubica
- čerpadlo
- systém pre meranie objemu odobranej vzorky plynu pri známej teplote a tlaku
- systém pre riadenie odberu vzorky pri dodržaní izokinetickej podmienky (viď vzorec 4.3)



Obr. 6.5 Příklad vzorkovacího systému pro interní filtraci [17]



Obr. 6.6 Použitá hubica, zostava filtra a
nosná trubka sondy pre internú filtráciu

6.6 Analyzátor kyslíku Siemens Ultramat 21

Ultramat 21/O₂ je využíva elektrochemický analyzátor kysíku, ktorý je popísaný v kapitole 4.2.1. Pred analyzátorom je zaistené ochladenie a vysušenie vzorky tak, aby nebol analyzátor poškodený. Takisto je pred analyzátorom zaistená aj filtrácia tuhých častíc, ktoré by prístroj znehodnotili. Dáta sú zaznamenané každých 20 sekúnd a následne je ukladaný do počítača ich priemer za jednu minútu. Na čelnej strane sú umiestnené dva displeje na zobrazenie aktuálnych hodnôt. A na zadnej strane je vstup pre merané spaliny, digitálny výstup do počítača a vstup pre napájací kábel.

6.7 Analyzátor Siemens Ultramat 22

Tento analyzátor spalín je založený na NDIR technológií, ktorá je popísaná v kapitole 4.2.1. Jeho meranie môže byť narušené v dôsledku vniku vodných pár do analyzátoru, preto je vzorka spalín pred prístrojom ochladená pod teplotu 5 °C, aby skondenzovalo dostatočné množstvo vlhkosti. Pri analyzátoe je k dispozícii tlaková nádoba so stlačeným dusíkom, ktorý slúži ako kalibračný plyn pre analyzátor.



Obr. 6.7 Siemens Ultramat 21/O₂ a Ultramat 22

7 Výpočet účinnosti

7.1 Priama metóda

Účinnosť je obecné definovaná ako pomer výkonu a príkonu, môžeme teda napísať

$$\eta = \frac{\text{výkon}}{\text{príkon}} = \frac{P_v}{P_p} \quad [-], \quad (7.1)$$

prícom príkon je množstvo energie dodanej do zariadenia v palive, a výkon je množstvo tepla obsiahnuté v teplej vode, ktorú ohrevom získame.

Tepelný výkon teplovodného kotla je určený vzťahom

$$P_v = m_v \cdot c_v \cdot \Delta t \quad [\text{kW}], \quad (7.2)$$

kde m_v je množstvo vody za jednotku času $[\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$,
 c_v je merná tepelná kapacita vody $[\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$,
 Δt je teplotný rozdiel výstupnej a vstupnej vody $[\text{K}]$.

Príkon v palive je daný množstvom a výhrevnosťou paliva, čiže

$$P_p = m_{pal} \cdot Q_i^r \quad [\text{kW}], \quad (7.3)$$

kde m_{pal} je množstvo paliva za jednotku času $[\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$,
 Q_i^r je výhrevnosť paliva $[\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$.

7.2 Nepriama metóda

Priama metóda určovania účinnosti je síce najjednoduchší spôsob na jej určenie, ale nemá dostatočnú výpovednú hodnotu. Týmto postupom síce je možné zistiť hodnotu účinnosti, ale nie kam sa energia stráca, ak je jej hodnota nízka.

Na otázku jednotlivých strát je možné odpovedať pomocou výpočtu účinnosti nepriamou metódou.

Tepelné straty budú stanovené z priemerných hodnôt teplôt spalín a v miestnosti a zloženia spalín počas merania.

Účinnosť nepriamou metódou sa stanoví podľa tohoto vzorca:

$$\eta = 100 - (q_a + q_b + q_r) \quad [\%], \quad (7.4)$$

kde q_a je pomerná strata citeľným teplom spalín $[\%]$,
 q_b je pomerná strata plynným nedopalom $[\%]$,
 q_r je pomerná strata mechanickým nedopalom $[\%]$ -

7.2.1 Strata citeľným teplom spalín

Strata citeľným teplom spalín, ktorá je bežne označovaná ako komínová strata, je najväčšou stratou kotla. Vyjadruje množstvo tepelnej energie odchádzajúcej v spalinách.

Je možné ju vyjadriť pomocou vzorca:

$$Q_a = (t_a - t_r) \cdot \left[\frac{c_{pmd} \cdot (C - C_r)}{0,536 \cdot (CO + CO_2)} + \left[C_{pmH_2O} \cdot 1,224 \cdot \left(\frac{9H+W}{100} \right) \right] \right] \quad (7.5)$$

$$q_a = 100 \cdot \frac{Q_a}{Q_i^r} \quad (7.6)$$

7.2.2 Strata plynným nedopalom

Vyjadruje stratu dôsledkom nedokonalého spaľovania prchavej horľaviny z paliva. Najväčšie zastúpenie má v prchavej horľavine CO.

Je možné ju vypočítať na základe vzťahu:

$$Q_b = 12644 \cdot CO \cdot \frac{(C - C_r)}{[0,536 \cdot (CO + CO_2) \cdot 100]} \quad (7.7)$$

$$q_b = 100 \cdot \frac{Q_b}{Q_i^r} \quad (7.8)$$

7.2.3 Strata mechanickým nedopalom

S touto stratou je počítané len pri použití roštového kúreniska pri spaľovaní tuhých palív.

Strata je spôsobená prepadom tuhej horľaviny cez rošt do popolníka.

$$Q_r = 335 \cdot b \cdot \frac{R}{100} \quad (7.9)$$

$$q_r = 100 \cdot \frac{Q_r}{Q_i^r} \quad (7.10)$$

7.2.4 Pomocné výpočty

Priemerná koncentrácia CO sa vypočítava ako priemerná hodnota CO za dobu skúšky.

Priemerná koncentrácia oxidu uhoľnatého (CO_{avg}) sa prepočíta na hodnotu koncentrácie CO podľa referenčného obsahu kyslíka, čo je 10% podľa normy EN 303-5:2012, alebo 13 % pre ostatné spotrebiče na tuhé palivá.

Prepočet je vykonaný na základe tohoto vzťahu:

$$\text{Koncentrácia CO} = CO_{avg} \cdot \frac{21 - O_{2 \text{ standardized}}}{21 - O_{2 \text{ avg}}} \quad (7.11)$$

Středná merná tepelná kapacita suchých spalín při zrovnatelných podmínkách (C_{pmd})

$$C_{pmd} = 3,6 \cdot \left[0,414 + 0,038 \cdot \left(\frac{t_a}{1000} \right) + 0,034 \cdot \left(\frac{t_a}{1000} \right)^2 + \left(0,085 + 0,19 \cdot \left(\frac{t_a}{1000} \right) - 0,14 \cdot \left(\frac{t_a}{1000} \right)^2 \right) \cdot \frac{CO_2}{100} + \left(0,03 \cdot \left(\frac{t_a}{1000} \right) - 0,2 \cdot \left(\frac{t_a}{1000} \right)^2 \right) \cdot \frac{CO_2}{100} \right] \quad (7.12)$$

Středná merná tepelná kapacita vodnej pary (C_{pmH_2O})

$$C_{pmH_2O} = 3,6 \cdot \left[0,414 + 0,038 \cdot \left(\frac{t_a}{1000} \right) + 0,034 \cdot \left(\frac{t_a}{1000} \right)^2 \right] \quad (7.13)$$

$$C_r = R \cdot \frac{b}{100} \quad (7.14)$$

8 Priebeh merania

Meranie prebehlo v skúšobni zariadení na tuhé palivá v budove D5 na experimentálnej spaľovacej jednotke GEMOS, ktorá je popísaná v kapitole 5. Použité boli dva druhy biopalív, drevená štiepka a drevené piliny.

Pri meraní bolo zaznamenávané zloženie spalín, pričom boli merané tieto zložky: oxid uhoľnatý (CO), kyslík (O_2), NO, SO_2) a tuhé znečisťujúce látky (TZL).

Meranie bude vyhodnotené za dobu 120 minút.

Najskôr sme nachystali meraciu sústavu v skúšobni a začali sme merať. Rýchlosť podávača paliva bola nastavená podľa skúsenosti vedúceho práce.

8.1 Meranie

Pri meraní bolo ako palivo použitá štiepka a meranie trvalo 120 minút. Synnosť podávača bola zmeraná deň po skúške. $38,55 \text{ kg} \cdot \text{hod}^{-1}$. Bola vyhodnotená ako priemer z troch po sebe nasledujúcich meraní.

Vyhodnocovaná bude: priemerná koncentrácia CO, dve odobrané vzorky TZL a účinnosť.

Palivo: ako palivo bola použitá štiepka a jej vlastnosti sú uvedené v tabuľke 8.1. [33]

Tab. 8.1 Vlastnosti použitého paliva

Výhrevnosť	Uhlík	Vodík	Kyslík	Dusík	Vlhkosť	Obsah popola	Uhlík v zbytku po spaľovaní
Q_i^r [kJ/kg]	C [hmot.%]	H [hmot.%]	O [hmot.%]	N [hmot.%]	W [hmot.%]	R [hmot.%]	b [%]
15500	42,3	5,25	36,8	0,253	10,521	0,25	21,3

Výpočet koncentrácie CO:

- 9 Výpočet priemernej koncentrácie CO za časový interval od 10:00 do 12:00.
- 10 Výpočet priemernej koncentrácie O_2 za tento interval.
- 11 Prepočet koncentrácie CO na porovnávacie podmienky, t.j. na referenčnú hladinu kyslíka pre skúšaný typ spotrebiča.

$$CO = 131,853 \cdot \frac{21 - 10}{21 - 10,681} = 140,558 \text{ mg} \cdot m_N^3$$

Požiadavka na 5. emisnú triedu pre daný typ zariadenia je $CO \leq 500 \text{ mg} \cdot m_N^3$ pri 10% O_2 .

Výpočet obsahu CO_2 v spalinách

a) Výpočet minimálního množství spařovacího vzduchu

$$V_{O_2 min} = \frac{22,39}{12,01} \cdot C + \frac{22,39}{4,032} \cdot H_2 - \frac{22,39}{32} \cdot O_2$$

$$= \frac{22,39}{12,01} \cdot 0,423 + \frac{22,39}{4,032} \cdot 0,0525 - \frac{22,39}{32} \cdot 0,368 = 0,823 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}_{pal}^{-1}$$

$$V_{vz min}^S = \frac{100}{21} \cdot V_{O_2 min} = 3,92 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}_{pal}^{-1}$$

$$V_{vz min} = f \cdot V_{vz min}^S = 1,016 \cdot 3,92 = 3,98 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}_{pal}^{-1}$$

Koeficient f sa volí pre bežné klimatické podmienky $f=1,016$. Platí pre 20°C a 70 % relatívnej vlhkosti.

b) Výpočet minimálního množství spalín

$$V_{CO_2} = \frac{22,26}{12,01} \cdot C + \frac{1}{100} \cdot 0,03 \cdot V_{vz min}^S = \frac{22,26}{12,01} \cdot 0,423 + \frac{1}{100} \cdot 0,03 \cdot 3,92$$

$$= 0,7852 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}_{pal}^{-1}$$

$$V_{N_2} = \frac{22,40}{28,013} \cdot N_2 + \frac{1}{100} \cdot 78,05 \cdot V_{vz min}^S = \frac{22,40}{28,013} \cdot 0,00253 + \frac{1}{100} \cdot 78,05 \cdot 3,92$$

$$= 3,06 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}_{pal}^{-1}$$

$$V_{Ar} = \frac{1}{100} \cdot 0,92 \cdot V_{vz min}^S = \frac{1}{100} \cdot 0,92 \cdot 3,92 = 0,036 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}_{pal}^{-1}$$

$$V_{H_2O} = \frac{44,81}{4,032} \cdot H_2 + \frac{22,41}{18,015} \cdot W^r + (f - 1) \cdot V_{vz min}^S$$

$$= \frac{44,81}{4,032} \cdot 0,0525 + \frac{22,41}{18,015} \cdot 0,10526 + (f - 1) \cdot 3,92 = 0,777 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}_{pal}^{-1}$$

c) Minimálne množstvo suchých spalín :

$$V_{sp min}^S = V_{CO_2} + V_{N_2} + V_{Ar} =$$

$$0,7852 + 3,06 + 0,036 = 3,8812 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}_{pal}^{-1}$$

d) Minimálny objem vlhkých spalín:

$$V_{sp min} = V_{CO_2} + V_{N_2} + V_{Ar} + V_{H_2O} = 0,7852 + 3,06 + 0,036 = 4,6582 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}_{pal}^{-1}$$

$$V_{CO_2 max} = \frac{V_{CO_2}}{V_{sp min}^S} \cdot 100 = \frac{0,7852}{3,8812} \cdot 100 = 20,23 \%_{obj}$$

e) Prebytok vzduchu: $\alpha = \frac{21}{21 - O_2} = \frac{21}{21 - 10,681} = 2,035$

$$\alpha = \frac{V_{CO_2 max}}{V_{CO_2}} \Rightarrow$$

f) CO_2 v spalinách: $V_{CO_2} = \frac{V_{CO_2 max}}{\alpha} = \frac{20,23}{2,035} = 9,941 \%_{obj}$ [1].

Výpočet koncentrácie TZL:

- a) Výpočet rozdielu hmotností vysušeného filtra pred a po meraní (sušenie popísané v kapitole 6.2)

$$\Delta m_1 = (m_2 - m_1) \cdot 1000 = (16,855 - 16,8177) \cdot 1000 = 37,3 \text{ mg}$$

$$\Delta m_2 = (m_2 - m_1) \cdot 1000 = (16,7535 - 16,7156) \cdot 1000 = 37,9 \text{ mg}$$

- b) Prepočet prietoku vzorky spalín na normálne fyzikálne podmienky a prenasobenie faktorom zriedením

$$f_1 = \frac{20,9 - \varphi_{ref}(O_2)}{20,9 - \varphi_m(O_2)} = \frac{20,9 - 10}{20,9 - 11,08} = 1,109$$

$$f_2 = \frac{20,9 - \varphi_{ref}(O_2)}{20,9 - \varphi_m(O_2)} = \frac{20,9 - 10}{20,9 - 10,793} = 1,0776$$

kde $\varphi_{ref}(O_2)$ je referenčná hodnota objemového zlomku kyslíku [%]
 $\varphi_m(O_2)$ je nameraná hodnota objemového zlomku kyslíku [%]

$$Q_{m1} = Q_a \cdot \frac{T_n}{T_{plynomer}} \cdot \frac{p_{plynomer}}{p_n} = 0,508 \cdot \frac{273,15}{(273,15 + 20)} \cdot \frac{102180}{101325} = 0,477 \text{ m}^3$$

$$Q_{m2} = 0,500 \cdot \frac{273,15}{(273,15 + 20)} \cdot \frac{102180}{101325} = 0,469 \text{ m}^3$$

- c) Výpočet koncentrácie TZL v 1 m^3 spalín

$$\rho_1(\text{prach}) = \frac{\Delta m}{Q_m} \cdot f = \frac{37,3 \text{ mg}}{0,477 \text{ m}^3} \cdot 1,109 = 86,720 \text{ mg} \cdot \text{m}_N^3$$

$$\rho_2(\text{prach}) = \frac{37,9 \text{ mg}}{0,469 \text{ m}^3} \cdot 1,0776 = 87,081 \text{ mg} \cdot \text{m}_N^3$$

- d) Priemerná koncentrácia TZL

$$\rho_{priemer}(\text{prach}) = \frac{84,592 + 84,909}{2} = 86,900 \text{ mg} \cdot \text{m}_N^3$$

Požiadavka na 3. emisnú triedu pre daný typ zariadenia je

$\rho_{priemer}(\text{prach}) \leq 150 \text{ mg} \cdot \text{m}_N^3$ pri 10% O_2 .

Pre 4. emisnú triedu je limit $\rho_{priemer}(\text{prach}) \leq 60 \text{ mg} \cdot \text{m}_N^3$ pri 10% O_2 .

Z toho vyplýva, že z hľadiska emisií TZL patrí kotol do 3. triedy.

Výpočet účinnosti priamou metódou

- a) Výpočet priemerných hodnôt vstupnej a výstupnej tepoty vody a prietoku vody za prvé meranie.

Výsledné hodnoty:

$$\begin{aligned} t_{vstup} &= 63,096^{\circ}\text{C} \\ t_{výstup} &= 73,241^{\circ}\text{C} \\ Q_{priemer} &= 7,976 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} = 2,21 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

- b) Prepočet prietoku vody na hmotnostný prietok

$$m_{priemer} = Q_{priemer} \cdot \rho_{vody} = 0,00221 \cdot 978,78 = 2,163 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Pričom ρ_{vody} je hustota vody pri teplote $t_{str} = \frac{t_{vstup} + t_{výstup}}{2} = \frac{63,096 + 73,241}{2} = 68,1685$.

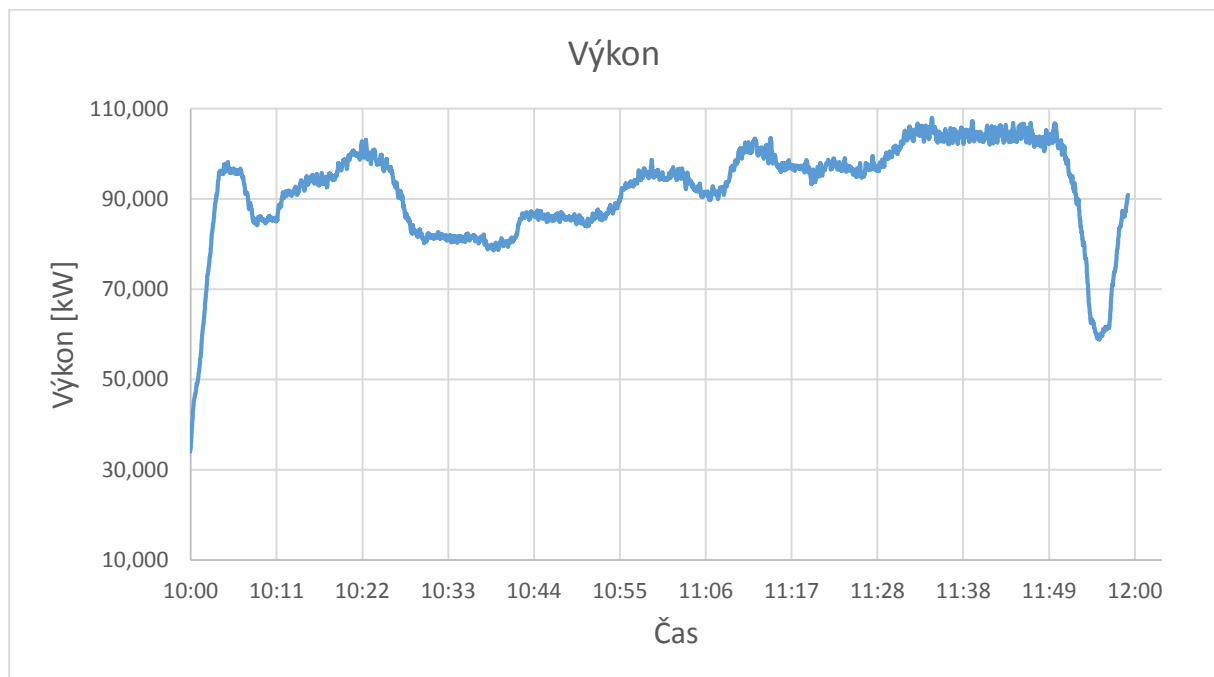
Bola vypočítaná pomocou programu X Steam, ktorý je založený na tabuľkách IAPWS IF-97.

- c) Výpočet priemerného výkonu, príkonu a účinnosti

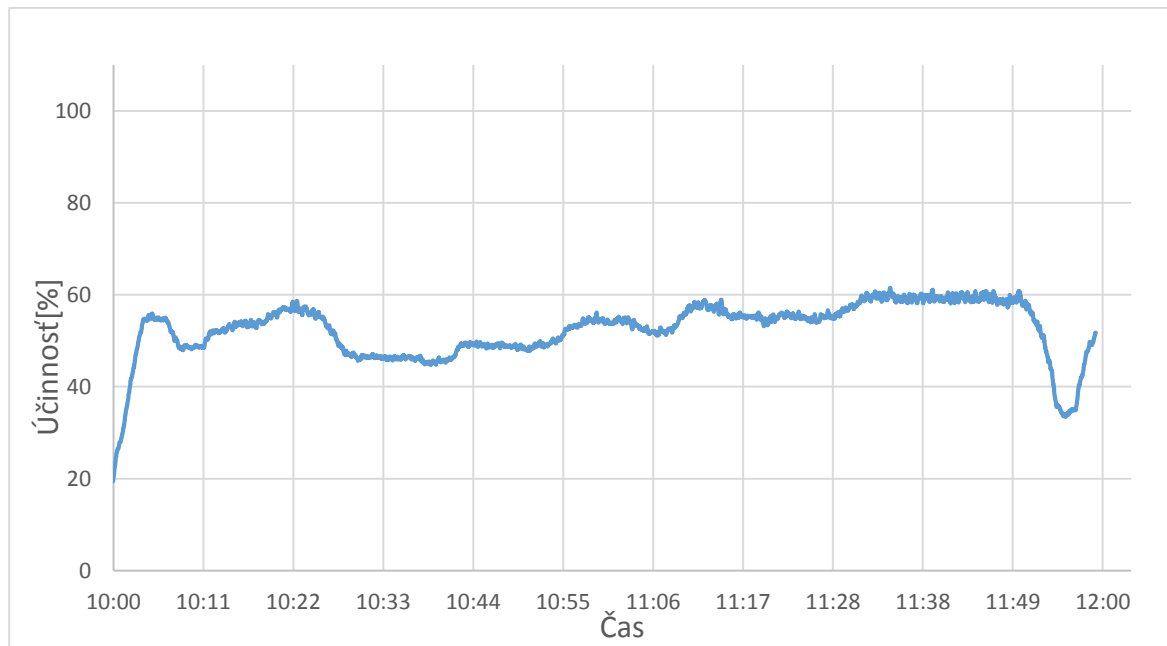
$$P_v = m_v \cdot c_v \cdot \Delta t = 2,163 \cdot 4,1839 \cdot (73,241 - 63,096) = 91,81 \text{ kW}$$

$$P_p = m_{pal} \cdot Q_i^r = \frac{38,55}{3600} \cdot 15500 = 165,97 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_v}{P_p} = \frac{91,81}{165,97} = 0,5228 = \mathbf{55,31\%}$$



Obr. 8.1 Výkon v priebehu merania



Obr. 8.2 Účinnost' priamou metódou v priebehu merania

Výpočet účinnosti nepriamou metódou

$$\eta = 100 - (q_a + q_b + q_r)$$

a) Výpočet straty citeľným teplom spalín

$$C_r = R \cdot \frac{b}{100} = 0,25 \cdot \frac{21,3}{100} = 0,053$$

$$C_{pmd} = 3,6 \left[\begin{aligned} &0,414 + 0,038 \cdot \left(\frac{171,2}{1000}\right) + 0,034 \cdot \left(\frac{171,2}{1000}\right)^2 \\ &+ \left(0,085 + 0,19 \cdot \left(\frac{171,2}{1000}\right) - 0,14 \cdot \left(\frac{171,2}{1000}\right)^2\right) \cdot \frac{9,941}{100} + \left(0,03 \cdot \left(\frac{171,2}{1000}\right) - 0,2 \cdot \left(\frac{171,2}{1000}\right)^2\right) \cdot \frac{9,941}{100} \end{aligned} \right]$$

$$\underline{\underline{= 1,558 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}}}$$

$$C_{pmH_2O} = 3,6 \cdot \left[0,414 + 0,038 \cdot \left(\frac{171,2}{1000}\right) + 0,034 \cdot \left(\frac{171,2}{1000}\right)^2 \right] = 1,52 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$Q_a = (171,2 - 20) \cdot \left[\left[\frac{1,54 \cdot (42,3 - 5,3)}{0,536 \cdot (0,012 + 9,941)} \right] + \left[1,52 \cdot 1,224 \cdot \left(\frac{9 \cdot 5,25 + 10,526}{100}\right) \right] \right]$$

$$= 1777,46 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$q_a = 100 \cdot \frac{1777,46}{15500} = \mathbf{11,47\%}$$

b) Výpočet straty plynným nedopalom

$$Q_b = 12644 \cdot 0,012 \cdot \frac{(42,3 - 0,053)}{[0,536 \cdot (0,012 + 9,941) \cdot 100]} = 12,0155 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$q_b = 100 \cdot \frac{12,0155}{15500} = \mathbf{0,0775\%}$$

c) Výpočet straty mechanickým nedopalom

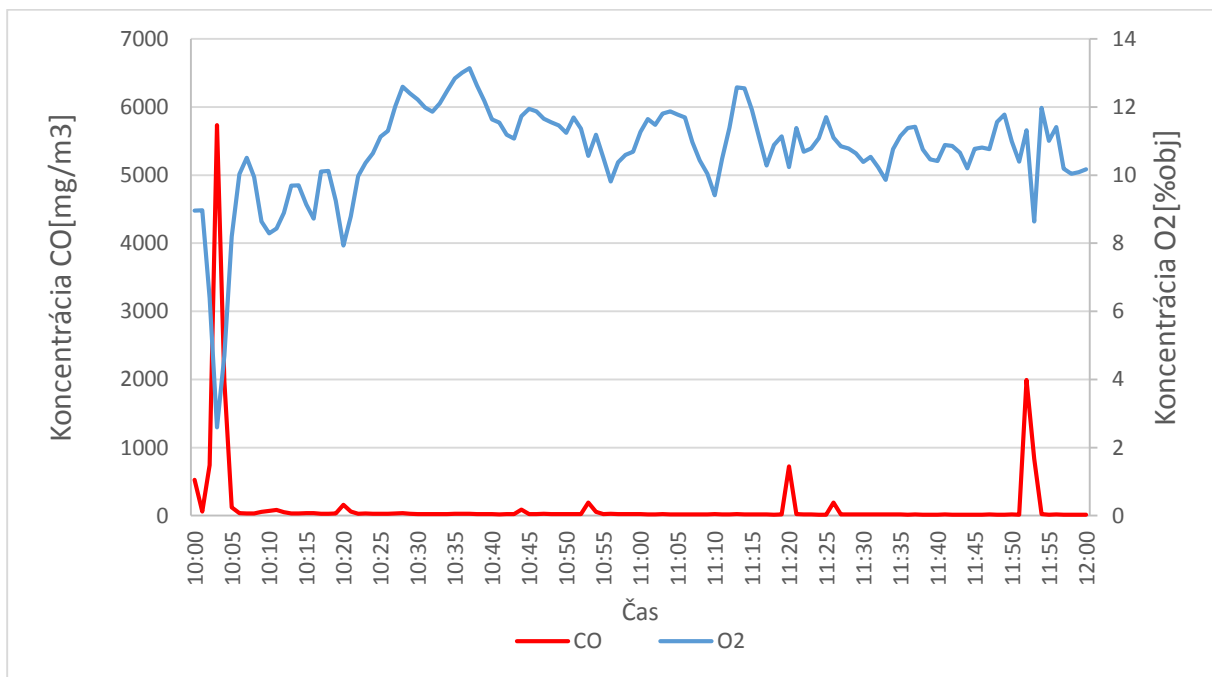
$$Q_r = 335 \cdot 21,3 \cdot \frac{0,25}{100} = 17,83 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$q_r = 100 \cdot \frac{17,83}{15500} = \mathbf{0,115\%}$$

d) Výpočet účinnosti

$$\eta = 100 - (11,47 + 0,0775 + 0,115) = \mathbf{88,34\%}$$

Požadovaná na 4. triedu $\eta = 84\%$ a pre 5. triedu 89% .



Obr. 8.3 Vzájomné porovnanie koncentrácií O₂ a CO v priebehu merania

8.2 Závěr merania

Meranie bolo úspešné, podarilo správne namerať hodnoty, ktoré sú potrebné na určenie emisnej triedy kotla. Meranie nebolo možné realizovať dôsledne podľa noriem z časových a materiálových dôvodov (pre samočinný kotol tri 6 hodinové skúšky pri menovitom, minimálnom tepelnom výkone a pri minimálnom tepelnom výkone v prerušovanej prevádzke).

Namerané hodnoty emisií CO boli pod hranicou $500 \text{ mg} \cdot \text{m}_\text{N}^3$ pri 10% O_2 , z toho vyplýva, že kotol patrí do 5. triedy podľa normy EN 303-5:2012. Priemerná hodnota z dvoch odberov vzorky pre TZL o hodnote $86,9 \text{ mg} \cdot \text{m}_\text{N}^3$ zaraďuje kotol do 3. emisnej triedy. Výsledná účinnosť z priamej metódy o výške 55,31 % však naznačuje istú odchýlku od skutočnosti. Neobvykle nízke hodnoty účinnosti môžu mať hneď niekoľko dôvodov: nižší skutočný tok paliva alebo vyšší skutočný tok vody ako zobrazovaný vo velíne, kolísavá vlhkosť paliva – teda aj výhrevnosť.

Výpočet účinnosti nepriamou metódou dopadol podľa očakávania. Tá mala hodnotu 88 %. Je ale treba pripomenúť, že nebola z dôvodu náročnosti určovania zahrnutá strata sálaním a vedením tepla do okolia. Táto strata činí pre toto zariadenie cca 6% [30], to znamená, že účinnosť kotla je úrovni 82%. Pričom kotol daného výkonu na splnenie účinnostného limitu pre 3. triedu musí prekonať hranicu účinnosti 79,25%.

Z uvedeného vyplýva, že kotol bude zaradený emisne do 3. triedy a podľa účinnosti taktiež do 3. triedy.

Podľa štítku na kotly zariadenie prešlo certifikáciou s výslednou triedou 3, to znamená, že naše meranie bolo porovnateľné s meraním na akreditovanej skúšobni.



Obr. 8.4 Štítok výmenníka GEMOS KWH 110

9 Záver

Vo svojej bakalárskej práci som sa zaoberal meraním emisií a výkonu kotla na tuhé palivo. Výsledky merania je možné využiť pre orientačnú certifikáciu spotrebiča podľa normy EN 303- 5:2012.

Prvá časť bola zameraná na teoretický popis problematiky merania emisií. Sú v nej popísané druhy palív, základné druhy spaľovacích zariadení, normy a dotačné programy podporujúce ekologické druhy spotrebičov na tuhé palivá. V závere tejto časti sú popísané princípy meracích prístrojov používaných v pri skúšaní.

Druhá časť sa zaoberala popisom a vyhodnotením merania. Na začiatku boli uvedené podrobnosti o skúšanom zariadení, ako napríklad typ spaľovacej komory, typ výmenníka, informácie o meracom úseku, atď. Pri použitých prístrojoch bol uvedený aj postup ich použitia. Nasledovalo predstavenie výpočtu účinnosti priamou a nepriamou metódou. Na konci kapitoly boli uvedené samotné výpočty koncentrácií emisií a účinnosti so zaradením do kotla do emisnej triedy.

Kotol pracoval optimálne a z merania vyplýva, že kotol patrí do 3. triedy, čo potvrdzuje aj štítok na kotly. Čiastkové výsledky z merania pred certifikáciou neboli k dispozícii, takže nebolo možné priamo porovnať naše meranie s tým, ktoré prebehlo na akreditovanej skúšobni.

Aby bola zaistená reprodukovateľnosť merania, museli by byť zaistené všetky podmienky, aké boli pri skúšaní na akreditovanej skúšobni (meracie prístroje, palivo, teplota a vlhkosť vzduchu v miestnosti a mnoho ďalších parametrov).

10 Zoznam použitej literatúry

- [1] BALÁŠ, Marek. *Kotle a výměníky tepla*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 119 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 978-80-214-3955-9.
- [2] KOLONIČNÝ, Jan, Jirí HORÁK a Veronika BOGOCZOVÁ. *Postupy správného topení*. Ostrava: Juraj Štefůň - GEORG, 2010. ISBN 978-80-248-2255-6.
- [3] BARTÁK, M, J BAŠTA a K BROŽ. *Topenářská příručka: Svazek 1. 120 let topenářství v Čechách a na Moravě*. 1. vyd. Praha: GAS, 2001, 2432 s. ISBN 80-86176-81-9.
- [4] JANDAČKA, J, M MALCHO a M MIKULÍK. *Biomasa ako zdroj energie*. Žilina: Juraj Štefůň - GEORG, 2007. ISBN 978-80-969161-3-9.
- [5] PASTOREK, Zdeněk, Jaroslav KÁRA a Petr JEVIČ. *Biomasa: obnovitelný zdroj energie*. Praha: FCC Public, 2004, 286 s. ISBN 80-865-3406-5.
- [6] Topení pohledem ekonoma – topíme dřevem (III. díl). In: *Tzb-info.cz* [online]. 2013 [cit. 2015-02-23]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/9766-topeni-pohledem-ekonoma-topime-drevem-iii-dil>
- [7] Brikety a pelety z biomasy v roce 2004. In: BUFKA, A a J PLEŠEK. [Http://www.mpo.cz/](http://www.mpo.cz/) [online]. 2005 [cit. 2015-02-23]. Dostupné z: <http://www.mpo.cz/dokument1316.html>
- [8] HARTMANN, H, K THUNEKE, A HOLDRICH a P ROZMANN. *Handbuch bioenergie - kleinanlagen*. Gülzow-Prüzen: FNR, 2003. ISBN 3-00-011041-0.
- [9] JAN KOLONIČNÝ, Jiří Horák. *Kotle malých výkonů na pevná paliva*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011. ISBN 978-802-4825-427.
- [10] HORÁK, J, P KUBESA, J DVOŘÁK, F HOPAN a K KRPEC. Jak si doma změřit účinnost spalovacího zařízení a lze účinnost nějak zvětšit?. In: *Tzb-info.cz* [online]. 2012 [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/9434-jak-si-doma-zmerit-ucinnost-spalovaciho-zarizeni-a-lze-ucinnost-nejak-zvetsit>
- [11] JANDAČKA, J, M MALCHO a M MIKULÍK. *Technológie pre prípravu a energetické využitie biomasy*. Žilina: Tilina: Jozef Bulejčík, 2007. ISBN 978-80-969595-3-2.
- [12] KOLONIČNÝ, J, J HORÁK a S ŠEVČÍKOVÁ. *Technologie kachlových kamen*. Ostrava: Juraj Štefůň - GEORG, 2009. ISBN 978-80-248-2071-2.
- [13] WWW stránky Kamnárství: Otevřený krb. [kamnarstvi.net](http://www.kamnarstvi.net) [online]. [cit. 2011-03-14]. Dostupné z WWW: <http://www.kamnarstvi.net/index.php?me=2g>

- [14] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Národní program snižování emisí České republiky* [online]. 2007 [cit. 2015-03-04]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/narodni_program_snizovani_emisi/\\$FILE/000-NPSE_CR-20120117.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/narodni_program_snizovani_emisi/$FILE/000-NPSE_CR-20120117.pdf)
- [15] Zelená úsporám na TZB-info. In: *Http://stavba.tzb-info.cz/zelena-usporam-na-tzb-info* [online]. 2014 [cit. 2015-03-09]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/zelena-usporam-na-tzb-info>
- [16] STUPAVSKÝ, Vladimír. Směrnice o Ekodesignu pro kotle a kamna na tuhá paliva. *Směrnice o Ekodesignu pro kotle a kamna na tuhá paliva* [online]. 2014, no. 11 [cit. 2015-03-23]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/11937-smernice-o-ekodesignu-pro-kotle-a-kamna-na-tuha-paliva>
- [17] ČSN EN 13284-1. *ČSN EN 13284-1:Stacionární zdroje emisí - Stanovení nízkých hmotnostních koncentrací prachu - Manuální gravimetrická metoda*. Praha: Český normalizační institut, 2002.
- [18] ČSN ISO 10780. *Stacionární zdroje emisí - Měření rychlosti a průtoku plynů v potrubí*. Praha: Český normalizační institut, 1998.
- [19] Instrumentace měření emisí. In: *Instrumentace měření emisí* [online]. 2007 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: http://www.irz.cz/dokumenty/irz/metody_mereni/instrumentace_mereni_emisi.pdf
- [20] MATUŠKA, Tomáš. *Experimentální metody v technice prostředí*. Vyd. 1. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005, 200 s. ISBN 80-010-3291-4.
- [21] ČSN EN 13240. *Spotřebiče na pevná paliva k vytápění obytných prostorů - Požadavky a zkušební metody*. Praha: Český normalizační institut, 2002.
- [22] ČSN EN 13229. *Vestavné spotřebiče k vytápění a krbové vložky na pevná paliva - Požadavky a zkušební metody*. Praha: Český normalizační institut, 2002.
- [23] ČSN EN 14785. *Spotřebiče spalující dřevěné pelety k vytápění obytných prostorů - Požadavky a zkušební metody*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [24] ČSN EN 15250. *Akumulační kamna na pevná paliva - Požadavky a zkušební metody*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [25] ČSN EN 12815. *Varné spotřebiče pro domácnost na pevná paliva – Požadavky a zkušební metody*. Praha: Český normalizační institut, 2002.
- [26] 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší. In: *2012*. 2012. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/zakon-c-201-2012-sb-o-ochrane-ovzdusi>

- [27] *Kvasný průmysl: odborný časopis pro výrobu nápojů a biochemické technologie* [online]. Praha: Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, Praha ve spolup. se Sahm, s. r. o, 2011 [cit. 2015-04-15]. ISSN 0023-5830. Dostupné z: <http://www.kvasnyprumysl.cz/download.php?clanek=59>
- [28] Plamenoionizační detektor. In: *Plamenoionizační detektor* [online]. 2009 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: http://www.linde-gas.cz/internet.lg.lg.cze/cs/images/PlamenoizolacniDetektor_INNA_22_4_200979_15731.pdf
- [29] Meranie koncentrácie plynných emisií. In: *Http://www.tuke.sk/* [online]. 2009 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: http://portal2.tuke.sk/hf-kim/inzinier/predmety-ing-1/ii.-rocnik/monitorovanie-a-ochrana-zivotneho-prostredia/predmety/prednaska%205.doc/at_download/file
- [30] KOIŠ, J. *Výpočtový model kotle KWH*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 86 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Lisý, Ph.D.
- [31] LAINKA, P. *Metody pro určování vlastností biomasy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 51 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Michaela Hrnčířová.
- [32] ČSN EN 303-5. *Kotle pro ústřední vytápění - Část 5: Kotle pro ústřední vytápění na pevná paliva, s ruční a samočinnou dodávkou, o jmenovitém tepelném výkonu nejvýše 500 kW - Terminologie, požadavky, zkoušení a značení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [33] Energetické vlastnosti štiepky z dendromasy porastov plantážnicky pestovaných rýchlorastúcich drevín. *Energetické vlastnosti štiepky z dendromasy porastov plantážnicky pestovaných rýchlorastúcich drevín* [online]. 2013, no. 1 [cit. 2015-05-22]. Available from: <http://ket.uniza.sk/subory/clanky/cezhranicna/seminar2014/dl.pdf>

11 Zoznam použitých skratiek a symbolov

symbol	popis	jednotka
A^r	Obsah popolovín v palive	%
b	Hmotnostný podiel spáliteľných zložiek v pevných zbytkoch spaľovania vo vzťahu k ich hmotnosti	%
C^{daf}	Hmotnostný podiel uhlíku v horľavine	%
C_{pmdH_2O}	Stredná merná tepelná kapacita vodnej pary pri porovnávacích podmienkach v závislosti na teplote	$kJ \cdot K^{-1} \cdot m^{-3}$
C_{pmd}	Stredná merná tepelná kapacita suchých spalín pri porovnávacích podmienkach v závislosti na teplote a zložení spalín	$kJ \cdot K^{-1} \cdot m^{-3}$
$c_{(n)}^S$	Koncentrácia TZL pri normálnych fyzikálnych podmienkach	$mg \cdot m^{-3}$
c_i	koncentrácia v prúde spalín	$g \cdot m^{-3}$
$c_{s,j}$	koncentrácia v ústi sondy	$g \cdot m^{-3}$
c_v	Merná tepelná kapacita vody	$kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
f	Koeficient pre zohľadnenie vlhkosti v spaľovacom vzduchu	-
H^{daf}	Hmotnostný podiel vodíku v horľavine	%
h	Obsah horľaviny v palive	%
m_{pal}	Množstvo paliva za jednotku času	$kg \cdot s^{-1}$
O^{daf}	Hmotnostný podiel kyslíku v horľavine	%
P_p	Príkon	kW
P_v	Tepelný výkon	kW
p	Statický tlak	Pa
p	Nameraný tlak	Pa
p_{celk}	Celkový tlak	Pa
R	Hmotnostný podiel pevných zbytkov spaľovania prepadnutých roštom vo vzťahu k hmotnosti spáleného skúšobného paliva	%
Q_s^{daf}	Spalné teplo	$MJ \cdot kg^{-1}$
Q_a	Straty citelným teplom spalín vo vzťahu k hmotnosti skúšobného paliva	$kJ \cdot kg^{-1}$
Q_i^r	Výhrevnosť	$MJ \cdot kg^{-1}$
Q_r	Redukovaný hmotnostný podiel uhlíku v pevných zbytkoch spaľovaní prepadnutých roštom v závislosti na množstve spáleného skúšobného paliva	%
q_a	Pomerná strata citelným teplom spalín	%
q_b	Pomerná strata plynným nedopalom	%
q_r	Pomerná strata mechanickým nedopalom	%
$V_{(n)}^W$	Objem spalín pri normálnych fyzikálnych podmienkach	m^3
V_{CO_2}	Objem CO_2 v spaliniach vzniknutých spálením 1 kg paliva	$m^3 \cdot kg^{-1}$
V_{CO_2max}	Maximálny podiel CO_2 v spaliniach	%

V_{H_2O}	Objem vodných pár po spálení 1 kg paliva (z vodíku v palive a vzdušnej vlhkosti)	$m^3 \cdot kg^{-1}$
V_{N_2}	Objem N_2 v spalinách vzniknutých spálením 1 kg paliva	$m^3 \cdot kg^{-1}$
V_{O_2min}	Minimálna objemová potreba kyslíku pri dokonalom spálení 1 kg paliva	$m^3 \cdot kg^{-1}$
V_{Ar}	Objem Ar v spalinách vzniknutých spálením 1 kg paliva	$m^3 \cdot kg^{-1}$
V^W	Objem spalín	m^3
γ_{daf}	Podiel prchavej horľaviny	%
$V_{sp min}$	Minimálny teoretický objem vlhkých spalín	$m^3 \cdot kg^{-1}$
$V_{sp min}^S$	Minimálny objem suchých spalín vzniknutých pri dokonalom spálení 1 kg paliva	$m^3 \cdot kg^{-1}$
$V_{vz min}$	Minimálna objemová potreba vlhkého vzduchu pri dokonalom spálení 1 kg paliva	$m^3 \cdot kg^{-1}$
$V_{vz min}^S$	Minimálna objemová potreba suchého vzduchu pri dokonalom spálení 1 kg paliva	$m^3 \cdot kg^{-1}$
v	Rýchlosť prúdenia spalín	$m \cdot s^{-1}$
W	Hmotnostný podiel vody v skúšobnom palive	%
W^r	Obsah vody v palive	%
w_i	rýchlosť spalín v meracom úseku	$m \cdot s^{-1}$
$w_{s,j}$	rýchlosť v ústí sondy	$m \cdot s^{-1}$
T	Nameraná teplota v spalinovode	K
Δm	Hmotnostný prírastok na filtri po meraní	mg
Δp	Diferenčný tlak	Pa
Δt	Teplotný rozdiel výstupnej a vstupnej vody	K
α	Súčiniteľ prebytku vzduchu	-
η	Tepelná účinnosť	%