

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Návrh Kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z
kotle

Project of waste Gases Continual Monitoring on the Boiler
Output

Student:

Bc. David Literák

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Tomáš Výtisk, Ph.D.

Ostrava 2014

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle

Diplomová práce

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. David Literák**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T006 Energetické stroje a zařízení
Téma: **Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle**
Project of Waste Gases Continual Monitoring on the Boiler Output

Zásady pro vypracování:

- 1) Studie zaměřená na problematiku měření koncentrace plyných škodlivin.
- 2) Popis a rozbor extraktivního nezředovacího systému kontinuální analýzy spalin.
- 3) Problematika stanovení účinnosti kotlů ve vztahu ke složení spalin.
- 4) Metodika stanovení měřicích míst pro složení spalin na výstupu z kotle K3 v Energetice Třinec
- 5) Výběr a optimalizace měřicích prvků, včetně konstrukčního řešení nového zařízení.
- 6) Hydraulický výpočet navržené varianty řešení a návrh čerpadla pro dopravu vzorku spalin.
- 7) Vyhodnocení investičních nákladů nutných pro realizaci navržené varianty kontinuálního monitoringu.

Seznam doporučené odborné literatury:

RAJNIÁK I.: Tepelno energetické a emisné merania. Bratislava 1997, ISBN 80-88683-20-3.
SERBOUSEK A.: Přístrojová technika pro měření čistoty ovzduší. VŠB 1992, ISBN 80-7078-136-x.
DRÁBKOVÁ S.: Mechanika tekutin. Skripta VŠB 2007, ISBN 978-80-248-15508-4.
NOVÝ R.: Technika prostředí. Skripta ČVUT 2006, ISBN 80-01-03492-5.
ČSN ISO 9096: Stacionární zdroje emisí - Stanovení hmotnostní koncentrace a hmotnostního toku tuhých částic v potrubí - manuální gravimetrická metoda. ČNI Praha 1998.
ČSN 070305 Hodnocení kotlových ztrát. ČNI Praha 1983.
Zákon MŽP ČR č.201/2012 Sb. O ochraně ovzduší.

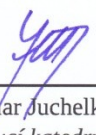
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Výtisk, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014




prof. Ing. Dagmar Buchelková, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle
Diplomová práce

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

Podpis studenta

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle

Diplomová práce

Prohlašuji, že

- Jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Adresa trvalého pobytu autora práce :

Bc. David Literák

Nerudova 747

Klimkovice

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle
Diplomová práce

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto svému vedoucímu diplomové práce Ing. Tomáši Výtiskovi, Ph.D. za odborné vedení, množství cenných rad a připomínek, bez kterých bych tuto práci nemohl dokončit.

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle

Diplomová práce

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

LITERÁK, D. *Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2014, 57 s. Vedoucí práce: Ing. Tomáš Výtisk, Ph.D.

V teoretické části diplomové práce je obsaženo seznámení s legislativou ochrany ovzduší, s možnostmi a způsoby odběru odpadních spalin a s možnostmi stanovení účinnosti kotlů. V praktické části byla navržena odběrová sonda, příruba a sběrná trubice. Následně bylo zvoleno odběrové potrubí, filtr s odvodem kondenzátu a rotametry a následně byl proveden hydraulický výpočet navržené varianty, zvoleno vhodné čerpadlo a na závěr bylo provedeno vyhodnocení investičních nákladů.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

LITERÁK, D. *The Project of waste Gases Continual Monitoring on the Boiler Output: Master Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Energetics, 2014, 57 p. Thesis head: Ing. Tomáš Výtisk, Ph.D.

In the theoretical part of the thesis is included familiarization with air protection legislation, the possibilities and the collection of waste flue gas as in measuring the efficiency of boilers. In the practical part was designed sampling probe, flange and collection tube. Subsequently, the selected sampling pipe filter with condensate and rotameters. Finally, hydraulic calculation was performed designed variants, selected appropriate sampling pump and lunch series were evaluated investment costs.

Obsah:

	Strana
Seznam použitých značek a symbolů	8
1 Úvod	10
2 Legislativa v ochraně ovzduší	11
3 Popis způsobů měření koncentrace škodlivin	11
3.1 Jednorázové měření plynných škodlivin	12
3.2 Kontinuální měření plynných škodlivin	13
4 Popis a rozbor extraktivního nezředňovacího systému	15
4.1 Odběrová sonda	16
4.2 Filtr	16
4.3 Vzorkovací trať	17
4.4 Chladič plynu	17
4.5 Vzorkovací čerpadlo	18
4.6 Průtokoměr	18
4.7 Analyzátor	18
4.8 Dynamické vlastnosti analyzátorů.....	19
4.9 Koncentrace plynných složek	20
5 Stanovení účinnosti kotlů ve vztahu ke složení spalin	22
5.1 Ztráta hořlaviny v tuhých zbytcích po spalování	23
5.2 Ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků po spalování	23
5.3 Ztráta hořlaviny ve spalinách	24
5.4 Ztráta fyzickým teplem spalin (komínová ztráta)	24
5.5 Ztráta sdílením tepla do okolí (ztráta sáláním).....	24
5.6 Ztráta chlazením pomocných zařízení	25
6 Metodika stanovení měřicích míst na výstupu z kotle	25
6.1 Stanovení měřicích míst na kotli K3 v Energetice Třinec	26
7 Výběr a optimalizace měřicích prvků	27

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle

Diplomová práce

7.1	Konstrukční řešení	28
8	Hydraulický výpočet navržené varianty	29
8.1	Výpočet třecích ztrát v odběrovém potrubí	32
8.2	Výpočet třecích ztrát v odběrovém potrubí – část T_{sp}	33
8.3	Výpočet třecích ztrát v odběrovém potrubí – T_o	36
8.4	Výpočet místních tlakových ztrát v odběrovém potrubí – T_o	43
8.5	Odběrová charakteristika odběrové aparatury	48
8.6	Návrh dopravního čerpadla	49
8.7	Výpočet dopravního zpoždění	52
9	Ekonomické zhodnocení navržené varianty	54
10	Závěr	55
11	Seznam použité literatury	56
12	Přílohy	57

Seznam použitých značek a symbolů

L	Délka potrubí	[m]
M_i	Molekulová hmotnost plynné složky	[mg/m _N ³]
N_{MAX}	Horní hranice měřicího rozsahu	[1]
N_{MAX}	dolní hranice měřicího rozsahu	[1]
O_{2mer}	Referenční obsah kyslíku v provozních podmínkách	[%]
O_{2ref}	Referenční obsah kyslíku ve spalinách	[%]
Re	Reynoldsovo číslo	[1]
S	Průřez odběrového potrubí	[m ²]
S_p	Průřez spojovacího a společného potrubí	[m ²]
S_s	Průřez sběrnice	[m ²]
S_m	Skutečná hodnota měřené veličiny	[m ²]
T_d	Dopravní zpoždění	[s]
T_k	Čas promíchání plynu v měřicí kyteti analyzátoru	[s]
T_{90}	Čas dosažení 90% skutečné hodnoty koncentrace plynné složky	[s]
\dot{V}	Objemový průtok vzorku spalin	[m ³ /s]
V_k	Objem měřicí kytety	[m ³]
V_{mN}	Molární objem v normálních podmínkách	[m _n ³ /mol]
V_p	Objem odsávacího potrubí	[m ³]
X_i	objemová koncentrace i-té složky stanovené analyzátoře,	[ppm]
C_{mer}	Měřená koncentrace v normálních podmínkách	[mg/m _n ³]
C_n	Naměřená koncentrace v 1m ³ vlhkých spalin	[mg/m ³]
C_{ref}	Referenční koncentrace sledované složky spalin	[mg/m _n ³]
d	Průměr potrubí	[m]
d_p	Průměr spojovacího a společného potrubí	[m]
k	Absolutní drsnost potrubí	[m]
\dot{m}	Hmotnostní průtok vzorku spalin	[kg/s]

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle

Diplomová práce

ρ	Přetlak spalin	[Pa]
ρ_v	Výkon	[W]
ρ_p	Příkon	[W]
ρ_{zm}	Místní tlakové ztráty	[Pa]
ρ_{zt}	Třecí ztráty	[Pa]
t	Provozní teplota	[°C]
w	střední rychlost proudící vzdušiny	[m/s]
w_s	Odsávací rychlost	[m/s]
w_{H_2O}	Obsah vodní páry ve spalinách	[% _{obj}]
δ_p	Přesnost přístroje	[%]
Δ_{MAX}	Maximální dovolená chyba měření	[1]
ε	Relativní drsnost stěn potrubí	[%]
λ	Součinitel tření	[1]
η	Účinnost	[%]
ν_i	Kinematická viskozita proudící vzdušiny	[m ² /s]
ξ_m	Ztrátový součinitel místního odporu	[1]
ρ	Hustota proudící vzdušiny	[kg/m ³]

1 Úvod

V době, kdy se naše civilizace neustále rozvíjí a s ní také průmyslová činnost, vede tento fakt k nárůstu spotřeby energie. Jako zdroj energie se v současné době stále nejvíce využívají fosilní paliva. Získávání potřebné energie z tohoto druhu paliva ale bohužel vede při jeho spalování k tvorbě škodlivin a následnému vypouštění do ovzduší.

Pro sledování těchto škodlivých látek byly vyvinuty přístroje, které fungují na fyzikálních, fyzikálně – chemických nebo chemických principech. Následně se může kontrolovat dodržování emisních limitů u jednotlivých spalovacích zařízení. Překračování těchto emisních limitů vede k finanční penalizaci a proto tato skutečnost nutí provozovatele zdrojů znečišťování ke snížení produkce škodlivin.

Při zjišťování a měření složení spalin je důležité, aby byl výsledek co nejpřesnější. Proto bylo mým úkolem v diplomové práci teoreticky navrhnout kontinuální monitoring spalin na výstupu z kotle a byla tak navržena sestava síťového měření, která umožňuje odebírat vzorek spalin současně ze 16 – ti měřících míst pomocí odběrových sond v reálném čase. Tyto všechny odebrané vzorky se následně smísí ve sběrné trubici a vyhodnotí se v analyzátoru.

Výsledky těchto analýz jsou důležité informace pro provozovatele kotlů. Na základě těchto získaných informací můžou optimalizovat spalovací proces. Jde především o koncentrace dvou základních plynných složek spalin - kyslíku a oxidu uhelnatého. V závěru práce je proveden technicko – ekonomické zhodnocení navržené varianty.

2 Legislativa v ochraně ovzduší [8], [9]

V současné době jsou kladeny vysoké nároky na oblast ochrany životního prostředí. Proto je velmi důležité tuto legislativu v úvodu zdůraznit. Od roku 1992 prochází legislativa bouřlivým obdobím, které upozorňuje na problematiku monitorování vznikajících škodlivin. Obsah tohoto zákona klade důraz na únosné zatížení území, kde ještě nedochází k narušení ekologické stability.

Aktuálně platná legislativa České republiky, která popisuje ochranu ovzduší je „Zákon o ochraně ovzduší“ MŽP ČR č.201/2012 Sb. popisuje pojmy, které doprovázejí řešenou problematiku kontinuálního monitoringu složení spalin. Při provozování spalovacích zařízení vzniká pestrá škála škodlivin, které jsou vypouštěny do ovzduší. Tyto škodliviny se do ovzduší dostávají i přes velkou snahu snížení jejich množství. V zákoně MŽP ČR č.201/2012 Sb. o ochraně ovzduší jsou popsány takto.

Znečišťující látka (ZL) je jakákoliv látka vnesená do vnějšího ovzduší, nebo v něm vznikající, která má přímo a nebo po fyzikální či chemické přeměně v ovzduší, škodlivý vliv na život a zdraví lidí a zvířat a na životní prostředí nebo hmotný majetek.

Znečišťování ovzduší je vnášení jedné nebo více znečišťujících látek do ovzduší v důsledku lidské činnosti, vyjádřené v jednotkách hmotnosti za jednotku času.

Emise je vnášení znečišťujících látek do životního prostředí

Emisní limit je nejvýše přípustné množství znečišťující látky vypouštěné do ovzduší ze zdroje znečišťování vyjádřené obvykle v jednotkách hmotnosti znečišťující látky v jednotce objemu odpadního plynu [mg/m^3].

Měření emisí znečišťujících látek se provádí před výstupem odpadního plynu z komínu do ovzduší, nebo na jiném místě, ale se stejným složením odpadního plynu jako na výstupu.

3 Popis způsobů měření koncentrace škodlivin[1], [2], [3]

Účelem emisního měření je určit množství a koncentraci znečišťujících látek, která se vypouštějí ze spalovacích procesů do ovzduší. V oblasti ochrany ovzduší především provozujeme dva základní druhy měření. A to jednorázová manuální metoda odběru plyných škodlivin a kontinuální měření plyných škodlivin pomocí analyzátoru.

3.1 Jednorázové měření plynných škodlivin

Následující část je příkladem jednorázového měření, kde je jako příklad uvedena manuální metoda měření tuhých znečišťujících látek. Tato metoda se používá především k určení hmotnostních koncentrací v rozsahu asi od $0.005 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ do $10 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$. Pokud je měřená koncentrace menší, tím více je měření nepřesné. Základním předpokladem použití této metody je stacionárnost podmínek. Pokud se provádí měření při nestacionárních podmínkách, je toto měření nereprodukovatelné a chyby není možné ani odhadnout.

Průřez měření

Pro výběr průřezu a minimálního počtu měřících bodů a jejich poloh, platí určitá doporučení. Tato doporučení určují, že nejvhodnější je svislý úsek potrubí s proudem, který směřuje dolů. Podmínky ve vybraných průřezech je dobré ověřit orientačním měřením rychlosti. Měřená rychlost by neměla být menší než $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Měřící aparatura

Jednoduchá, ale stále používaná je měřící sestava podle obr.č:1. Tento systém obsahuje filtr, na který se zachytávají tuhé látky. Filtr by měl mít účinnost odlučování minimálně 98%. Přes filtr proudí plyn, který je ve stavu blízkém místu odběrového vzorku. Důležité je, aby se zabránilo kondenzaci vodní páry před filtrem. Proto se odběrová sonda vyhřívá. Ideální teplota sondy před filtrem by měla mít 15°C nad rosným bodem.

Podmínky odběru

V průběhu izokinetického vzorkování se měří rychlost plynu ve vzorkovacím bodě potrubí a na základě této hodnoty se vypočítá a upravuje daný průtok pro izokinetický odběr vzorku plynu. Pro měření rychlosti měřeného plynu v odpadním potrubí se zpravidla používá Prandtlova trubice. Pokud je přístroj pro měření průtoku odpadního plynu umístěn uvnitř potrubí, je vztah mezi poklesem měřeného tlaku a diferenčním tlakem v Prandtlově trubici jednoduchý, důležitý pro udržení izokinetického průběhu vzorkování. V opačném případě, kdy přístroj pro měření průtoku plynu umístěn vně potrubí, je výpočet pro objemový průtok vzorku komplikovanější. Výpočet může také obsahovat hustotu plynu, teplotu, statický tlak plynu v potrubí a obsah vlhkosti ve sledovaném plynu.

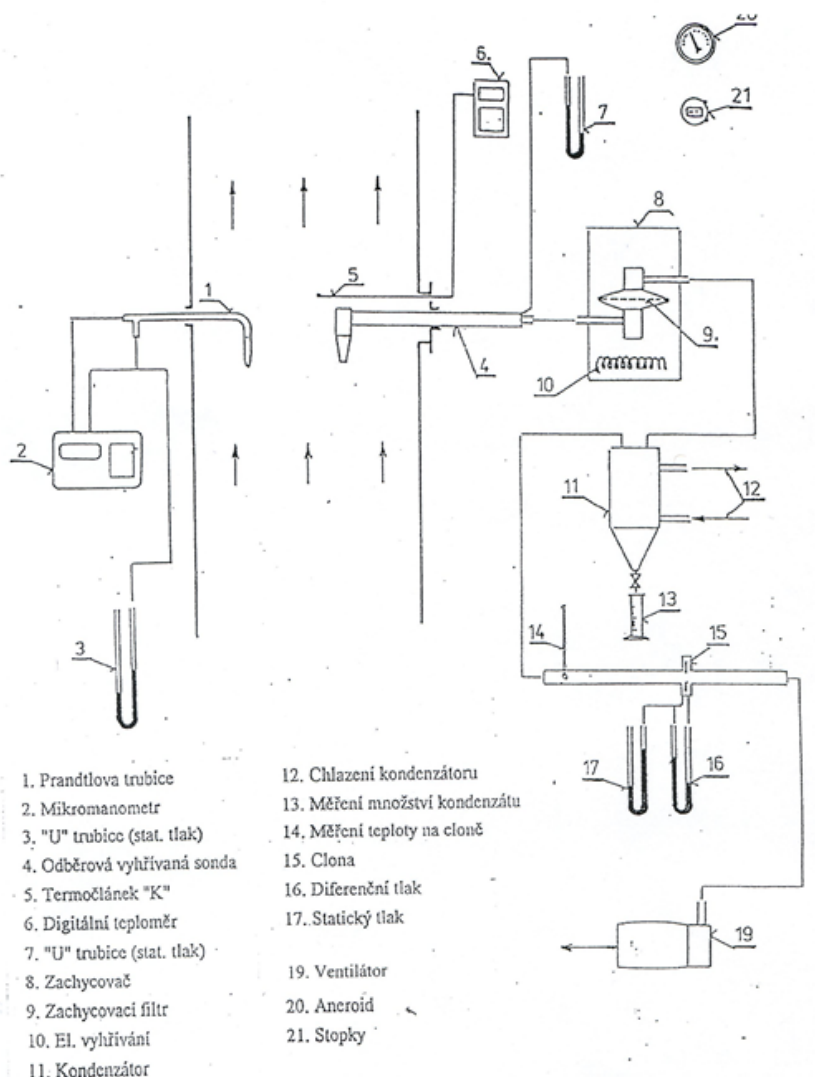
Způsoby odběru

Nejčastěji se využívá kumulativní odběr. Po ukončení odběru v bodě, neodsávání plynu přeruší a odběrová sonda se posune do dalšího měřícího bodu. V každém měřícím bodě se použije nový filtr a vypočítají se všechny potřebné veličiny k vyhodnocení průtoku v daném měřícím bodě. Čas odběru v jednom měřícím bodě musí být taková, aby se hmotnost filtru zvětšila o vážitelný přírůstek. Před měřením se filtr vysuší v Muflovací peci při

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle

Diplomová práce

teplotě 110°C. Daná hmotnost se po vysušení zaznamená a filtr se vloží do exsikátoru naplněného vhodným sušícím činidlem. Přes filtr proudí vlhký plyn, proto je důležité plyn zchladit pod teplotu rosného bodu. Teplota by neměla překročit hodnotu 35°C



Obr.č.1: Schéma odběru tuhých znečišťujících látek

3.2 Kontinuální měření plynných škodlivin

Metody, pro analyzování spalin koncentrací plynných složek spalin, lze rozdělit do dvou typů automatizovaných měřících systému. A to na extraktivní metody a neextraktivní metody, která je známá jako měřící metoda in – situ nebo transverzální měřící metoda.

Extraktivní metody

Extraktivní metody se využívají k odběru reprezentativního vzorku spalin přímo z potrubí. Spaliny se odebírají odběrovou sondou. Odebraný vzorek je následně veden do analyzátoru odběrovou trati a také prochází systémem úpravy vzorku. Zaznamenané hodnoty jsou nejčastěji uloženy prostřednictvím elektronického zpracování dat.

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalín na výstupu z kotle

Diplomová práce

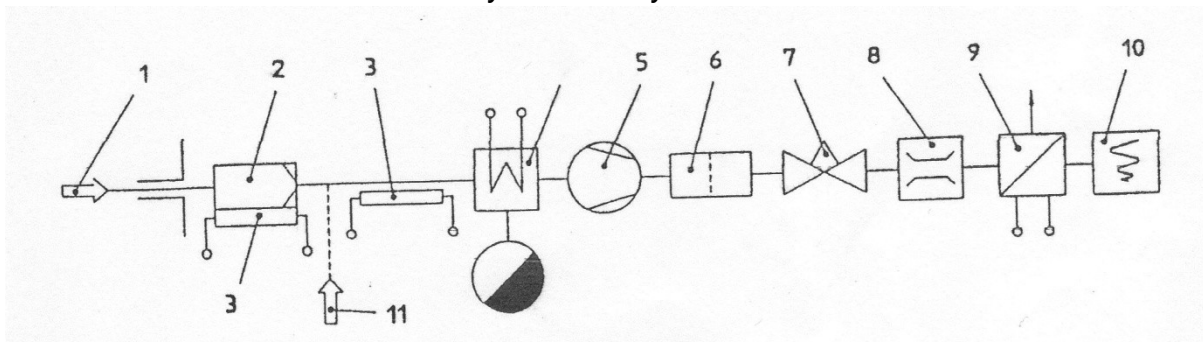
Tato metoda také umožňuje oddělit analytickou část a části odběru vzorku. Tímto se velmi usnadní provádění údržby.

Hlavní části jsou:

- Odběrová sonda
- Odběrová trať
- Systém úpravy spalín
- Analytická část

Extraktivní metody mohou také umožňovat ředění vzorku. Odběrová sonda je umístěna v potrubí, které vede spaliny, ale volba umístění bývá mnohdy obtížná. Umístění odběrové sondy a také systému úpravy spalín závisí na fyzikálně – chemických charakteristikách složek, které jsou analyzovány. Jelikož mechanické nečistoty a vlhkost mohou ovlivnit proces měření, musí odběrová trať obsahovat odlučovač prachových nečistot a také odstraňovač vlhkosti. V neposlední řadě je důležité zmínit využití techniky odběru ředící sondou. Při této metodě dochází k ředění odebíraného vzorku, jehož množství je přesně definováno. Ředění se provádí přímo v odběrové sondě a to suchým přístrojovým vzduchem. Tento vzduch musí být zbaven všech interferenčních složek. Je tomu tak proto, aby rosný bod odsávaného plynu byl nižší než teplota okolí. Tato metoda se následně může rozdělit do tří skupin:

- Nezředovací extraktivní systém
- Zředovací extraktivní systém - suchý
- Zředovací extraktivní systém – vlhký

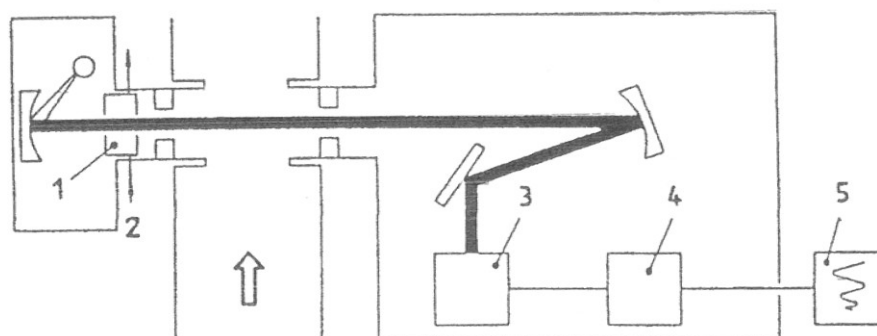


1 - Sonda oděru vzorku plynu, 2 – odlučovač částic, 3 – topný plášť, 4 – chladič odlučovače kondenzátu, 5 – čerpadlo odběru vzorku, 6 – filtr, 7 – regulační ventil, 8 – průtokoměr, 9 – analyzátor, 10 – zapisovač, 11 – a) směs kalibračního plynu b) nulovací plyn

Obr.č. 2: Nezředovací extraktivní systém [1]

Neextraktivní metody

Při této metodě se používá optický přístroj, kde je jeho měřicí dráha umístěna v potrubí. Metoda se skládá ze dvou modulů, kde jeden je vysílač záření a druhý modul zajišťuje příjem tohoto záření po průchodu plynem. Tento plyn obsahuje oxid siřičitý. Tento systém nemění složení plynu. Analýza plynu probíhá za doprovodu vodní páry a tuhých částic. Vyhodnocovací přístroj může být umístěn buď v místě měření (spalinovod, komín), nebo na jiném chráněném místě.



1 – absorpční cela pro směsi kalibračních plynů, 2 – vstup kalibračních plynů, 3 – optický přijímač, 4 – elektronický modul, 5 – zapisovač

Obr.č.3: Neextraktivní systém [12]

4 Popis a rozbor extraktivního nezřed'ovacího systému

[1],[2],[11],[12]Přístrojové vybavení a postupy, které umožňují odběr reprezentativních vzorků pro automatizované stanovení hmotnostních koncentrací plynných složek v odpadním plynu, je stanoveno mezinárodní normou ISO 10 396. Použití této normy je omezeno na stanovení kyslíku, oxidu uhelnatého, oxidu uhličitého, oxidu siřičitého, oxidu dusnatého a oxidu dusičitého. Existují ale také situace a spalovací procesy, které mezinárodní norma připouští, při kterých může být platnost této normy omezena. Pokud tato situace nastane, je třeba zvýšené opatrnosti a kompetentního technického posouzení v místě, kde tyto podmínky nastaly. A to zvláště, pokud se jedná a tyto následující problémy:

- *Korozivní nebo vysoce reaktivní složky plynu.*
- *Podtlak, přetlak nebo vysoká teplota proudícího plynu.*
- *Aerosol s vysokým obsahem vlhkosti.*
- *Kolísání rychlostí, koncentrace nebo teploty v důsledku nekontrolovaných změn výrobního procesu.*
- *Zvrstvené plynné fáze způsobené omezenou mísitelností proudících plynů.*

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle

Diplomová práce

- *Měření prováděné zařízením určených pro měření venkovního ovzduší.*
- *Nízké koncentrace plynných složek.*

4.1 Odběrová sonda

Použití kovových sond se často vyskytuje při odebírání vzorku plynu. Je tedy důležité znát fyzikální a chemické vlastnosti odebíraného plynného vzorku a na povaze stanovované plynné složky. Existuje několik typů odběrových sond. Proto je důležité sledovat vlastnosti odebíraného vzorku a prostředí a následně zvolit vhodnou odběrovou sondu, která bude materiálově přizpůsobena měřenému prostředí. To znamená materiálově odolat teplotě i chemickému působení agresivních složek.

Měkká ocel je vystavena korozi, která je způsobena oxidačními vlastnostmi sledovaných plynů. Proto se nejčastěji používají korozivzdorné oceli nebo chromované oceli, které se mohou používat až do teploty 900°C. Některé typy sond mohou být vystaveny v pracovním prostředí teplotě až 1500°C. Podmínkou je ale jejich poloha při montování. Musí být montovány jen svisle, protože materiál je namáhán nad mez tečení.

Jestliže uvnitř sondy bude docházet ke kondenzaci, musí být sonda vyhřívána. Odstraněním kondenzace se sníží korozivní působení kondenzátu. Pokud je vzorkovaný plyn velmi horký, musí být sonda chlazena vzduchem, nebo vodním pláštěm. V případě, že je sonda vystavena tuhým mechanickým nečistotám, je důležité použít sondu se zpětným proplachem. Tento proplach následně zabraňuje zanášení filtru a celé odběrové trubice.

4.2 Filtr

Filtr musí být vyroben vhodným materiálem, který odolá teplotě a chemickému působení vzorku spalin. Vhodné materiály jsou kupříkladu korozivzdorná ocel, křemenné a borosilikátové sklo, keramika nebo jiný vhodný materiál.

Nejvíce se doporučuje filtr, který zachytává částice větší než je 10 η m. Filtr může být umístěn buď ve vstupním otvoru hubice vzorkovací sondy a nebo uvnitř potrubí. Pokud je filtr umístěn ve vstupním otvoru, může být navíc opatřen stínící deskou. Tato stínící deska brání hromadění částic na vstupní hraně filtru a tím se zabrání ucpání.

Důležité je také zabránění kontaminace filtru tuhými a kapalnými částicemi, které když z kondenzují a zreagují s plynem, mohou být zdrojem chybných a nepřesných výsledků.

4.3 Vzorkovací trať

Vzorkovací trať, která je spojena s analyzátozem, musí být zhotovena z vhodného materiálu a dále pak musí mít odpovídající velikost a světlost. Potrubí může být vystavováno vyšším teplotám a může docházet k chemickým a fyzikálně chemickým reakcím. Materiály, které se nejčastěji používají na zhotovení potrubí jsou korozivzdorné oceli nebo Polytetrafluorethyleny (teflon).

Nejvhodnějším materiálem je teflon, který vyniká vysokou tepelnou stálostí (do 250 °C) a není chemicky reaktivní. Průměr potrubí by měl odpovídat průtokové rychlosti. Tato rychlost zařídí dostatečný průtok plynu do analyzátoru s ohledem na délku vzorkovací trati. Důležitým faktorem ve vzorkovací trati je teplota. Je velmi důležité a potřebné, aby vzorkovací trať byla temperována na teplotu nejméně 15 °C nad rosný bod vodní páry nebo minerálních kyselin přítomných ve vzorkovaném plynu. Teplota musí být proto kontrolována a regulována.

Dopravu vzorku mezi chladícím modulem a sondou nejčastěji zajišťuje vyhřívané potrubí s výměnou, teflonovou vložkou. Tím je vzorek po dobu jeho dopravy chráněn proti kondenzaci. Lze také použít i netopné potrubí a to v případě, kdy kondenzace nemá vliv na měřené složky, například CO a O₂. To vše ale za podmínky, kdy nevytápěné potrubí je vyspádováno směrem od sondy k chladicímu modulu. Tím následně nedochází k vytváření sifonových uzávěrů a následnému ucpání odběrového potrubí kondenzátorem.

4.4 Chladič plynu

Kondenzace vlhkosti je nežádoucí jev, ke kterému může docházet v jakémkoliv místě dopravy vzorku. Při jeho ochlazování pod rosný bod. Chladiče, které jsou řazeny v přívodním potrubí, jsou převážně určeny k řízení kondenzace. Výsledek je následně to, že kondenzace a vylučování kondenzátu probíhá v jednom místě. Jestliže je prostor v chladiči plynu nejchladnějším místem na celém přívodním potrubí k analyzátoru, nedochází za chladičem už k dalšímu vylučování kondenzátu.

Protože všechny části chladiče plynu se dostávají do styku s odebíraným vzorkem plynu, je proto důležité, aby byly vyrobeny z materiálu, který zaručí, že parametry vzorku budou chemicky netečné (např. sklo, teflon, korozivzdorná ocel).

Nejjednodušší chladič je vzduchový. Jde o neizolované potrubí, které je většinou vedeno svisle, aby mohla snadno kondenzující kapalina odtékat do jímky kondenzátu. Tím ale dosáhneme jen toho, že se plyn ochladí pouze na teplotu okolí. Bohužel ale není zaručeno, že teplota okolo chladiče je tím nejchladnějším místem celé trasy.

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle

Diplomová práce

Druhým a také lepším a dokonalejším řešením je chladič vodní, kterým je nejčastěji rovná trubka s pláštěm, kterou protéká chladící voda. I v tomto případě se většinou trubka s pláštěm vede svisle. Nevýhodou ale je, že se vodní médium, které protéká trubkou s pláštěm je docela drahé. U jednorázového měření tato spotřeba vodního média jde částečně zanedbat, ale při kontinuálním měření je tato spotřeba bohužel značně velká.

V praxi jsou nejčastěji používány dva druhy chladičů. A to chladič založený na Peltierově jevu a chladič s kompresorem.

4.5 Vzorkovací čerpadlo

Pro kontinuální odběr vzorku se používá plynotěsné čerpadlo. Nejčastěji se používá membránové čerpadlo nebo kovové vlnovkové čerpadlo. Důležitou informací ale je, že čerpadlo musí být zhotoveno z korozivzdorného materiálu. Čerpadlo následně zařídí potřebné množství vzorku, včetně 10% přebytku, které je následně obtokovým ventilem odváděn mimo dosah analyzátorový systém. Tím se zajišťuje minimální dopravní zpoždění po celé délce odběrové trasy.

4.6 Průtokoměr

Průtokoměry slouží pro kontrolu a regulaci požadovaného průtoku. Jde především o korozivzdorné plováčkové průtokoměry, které jsou kalibrovány pro měření daných médií v požadovaném množství a v různém rozsahu a materiálovém vyhotovení.

4.7 Analyzátor

Je to přístroj, ve kterém dochází k ukončení měřicího řetězce a následně probíhá analýza a vyhodnocení sledovaného plynu. Tento vyhodnocený plyn je poté kontinuálně zobrazován v jeho příslušné koncentraci. Důležité vlastnosti analyzátoru jsou jeho funkční vlastnosti. Tyto vlastnosti jsou především princip měření, rozsah, přesnost a selektivita.

Rozsah

Rozsah je velmi důležitá charakteristika každého analyzátoru. Je to oblast hodnot měřené veličiny, která je ohraničena dvěma mezemi, horní a spodní hranice rozsahu (N_{MAX} , N_{MIN}), mezi kterými podává analyzátor informace o velikosti měřené veličiny.

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle

Diplomová práce

Přesnost

Přesnost analyzátoru je dán intervalem, kde jeho meze nesmí chyba měření za aktuálních podmínek (teplota, tlak apod.) překročit. Absolutní chyba Δ_{MAX} je dána rozdílem hodnoty naměřené N a skutečné S . Číselné vyjádření je dáno vzorcem:

$$\delta_p = \frac{\Delta_{MAX}}{N_{MAX} - N_{MIN}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4.1)$$

Kde je: δ_p - Přesnost přístroje.

Δ_{MAX} - Maximální dovolená chyba měření.

N_{MAX} - Horní hranice měřicího rozsahu.

N_{MIN} - Spodní hranice měřicího rozsahu.

Selektivita

Analyzátor, kde je jeho údaj ideální, je závislý pouze na obsahu měřené složky v plynu. Této vlastnosti ale není možné dosáhnout, protože je analyzátor ovlivňován dalšími složkami plynu. Selektivita je vlastnost analyzátoru, která umí rozlišit měřenou složku koncentrace C_1 od ostatních koncentrací C_2 . Selektivita je nazývána také příčná citlivost Q , kde její hodnota musí být < 1 . Je to bezrozměrná veličina, která je definována vztahem:

$$Q = \frac{N_2 \cdot c_2}{N_1 \cdot c_1} \quad [1] \quad (4.2)$$

Kde je: N_1 - údaj vyvolaný určovanou složkou o koncentraci C_1 .

N_2 - údaj vyvolaný rušivou složkou o koncentraci C_2 .

4.7 Dynamické vlastnosti analyzátorů

Analyzátor a celá vzorkovací trať, musí splňovat důležitou podmínku. Je to tak zvaná doba T_{90} , která charakterizuje dynamické vlastnosti analyzátorů a provedení odběrové trasy. Tato doba by neměla překročit 200 sekund. Na obr.č. 4 je znázorněn a vysvětlen pojem doby T_{90} a okolnosti, které tuto dobu ovlivňují, kde:

T_k - Je doba změny údaje analyzátoru v případě výměny objemu měřící kvety V_k pístovým způsobem, při objemovém průtoku \dot{V} .

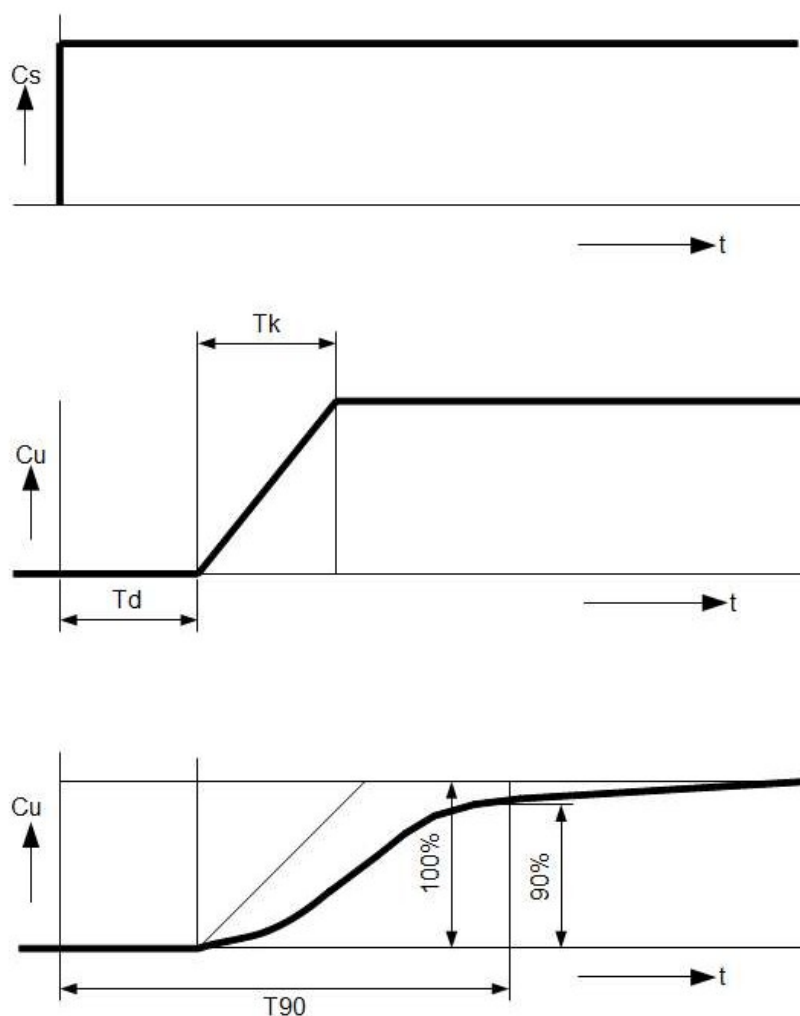
Návrh kontinuálního monitoringu složení spalín na výstupu z kotle

Diplomová práce

$$T_k = \frac{V_k}{\dot{V}} \quad [s] \quad (4.3)$$

T_d – Dopravní zpoždění, závislé na objemu odsávaného potrubí V_p .

$$T_d = \frac{V_p}{\dot{V}} \quad [s] \quad (4.4)$$



Obr.č.4: dynamické vlastnosti analyzátorů.

4.9 Koncentrace plynných složek

Koncentrace plynných složek v odpadním plynu, které se měří pomocí analyzátoru, může být různě číselně vyjádřeno. V této části je proto popsán způsob přepočtu a výpočtu hodnot koncentrací.

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle

Diplomová práce

- Podílové složení v % [%_{obj} nebo %_{hm}],
- Hmotnostní koncentrace vztažená k jednotce objemu [mg/m³, μg/m³],
- Podílové složení v ppm [ppm_{obj} nebo ppm_{hm}],

$$1 \text{ ppm}_{\text{obj}} = 1 \text{ cm}^3/\text{m}^3 = 0.0001 \%_{\text{obj}}$$

$$1 \text{ ppm}_{\text{hm}} = 1 \text{ mg/kg} = 0.0001 \%_{\text{hm}}$$

Pro přepočítání složení v ppm (1 ppm = 1 cm³ plynné složky v 1 m³ spalin) na hmotnostní koncentraci v mg/m³ (hmotnostní množství 1 cm³ plynné složky v mg v 1 m³ spalin) platí:

$$1 \text{ ppm} = \frac{M_i}{V_{mN}} = \frac{M_i}{22,414} = 0,0446 \cdot M_i \quad [\text{mg/m}^3_{\text{N}}] \quad (4.5)$$

Kde: M_i – molekulová hmotnost plynné složky [mg/mol]

V_{mN} – molární objem v normálních podmínkách [22,414m³_N/mol]

Pro přepočítání koncentrací naměřených plynných složek ke srovnání s platnými emisními limity, tj. pro přepočítání na normální podmínky, suchý plyn a na referenční obsah kyslíku ve spalinách můžeme vyjádřit vztahem:

$$c_{\text{ref}} = c_n \cdot \frac{273,15 + t}{273,15} \cdot \frac{101325}{101325 + p} \cdot \frac{100}{100 - w_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot \frac{21 - O_{2\text{ref}}}{21 - O_{2\text{mer}}} \quad [\text{mg/m}^3_{\text{N}}] \quad (4.6)$$

Kde: c_{ref} – referenční koncentrace v 1 m³ suchých spalin [mg/m³_N],

c_n – naměřená koncentrace v 1 m³ vlhkých spalin [mg/m³],

t – provozní teplota [°C],

p – přetlak spalin k normálnímu tlaku [pa],

$w_{\text{H}_2\text{O}}$ – obsah vodní páry ve spalinách [%_{obj}],

$O_{2\text{ref}}$ – referenční obsah kyslíku ve spalinách [%_{obj}],

Pro plynná a kapalná paliva $O_{2\text{ref}} = 3 \%$

Pro uhlí $O_{2\text{ref}} = 6 \%$

Pro biomasu $O_{2\text{ref}} = 11 \%$

$O_{2\text{mer}}$ – obsah kyslíku ve spalinách v provozních podmínkách [%_{obj}],

Emisní limity v suchých spalinách jsou stanoveny v normálních podmínkách (0°C, 101325 Pa) a při příslušném referenčním obsahu kyslíku ve spalinách. Při extraktivním odběru vzorku spalin probíhá analýza suchého plynu, který má teplotu a tlak při normálních podmínkách a proto odpadá přepočítání na vlhkost, tlak a teplotu spalin. Proto je vztah pro výpočet referenční koncentrace a následného srovnání s emisním limitem dán vztahem:

$$c_{\text{ref}} = c_{\text{mer}} \cdot \frac{21 - O_{2\text{ref}}}{21 - O_{2\text{mer}}} = X_i \cdot 0,0446 \cdot M_i \cdot \frac{21 - O_{2\text{ref}}}{21 - O_{2\text{mer}}} \quad [\text{mg/m}^3 \text{ N}], \quad (4.7)$$

Kde: c_{mer} – měřená koncentrace v 1m^3 v normálních podmínkách $[\text{mg/m}^3 \text{ N}]$,

X_i – hodnota objemové koncentrace i – té složky stanovené analyzátozem $[\text{ppm}]$,

5 Stanovení účinnosti kotlů ve vztahu ke složení spalin

[13] Kapitola stručně popisuje problematiku stanovení účinnosti kotlů ve vztahu ke složení spalin. Pro diplomovou práci jsem využil popis stanovení metody nepřímou metodou. Nejdůležitější a nejjásadnější je popis ztráty fyzickým teplem spalin (komínová ztráta), protože vyjadřuje ztrátu tepla ve spalinách za kotlem (za poslední teplosměnnou plochou), které není již dále využito a odchází komínem. Tento fakt je ovlivňován obsahem kyslíku ve spalinách.

Spalovací zařízení slouží především k přeměně energie paliva na tepelnou energii příslušného média. Toto médium se využívá k distribuci tepla pro vytápění a nebo k transformaci na jiné formy energií. Jako pracovní médium se využívá především voda nebo vzduch. Účinnost spalovacích zařízení je především technicko – ekonomickým parametrem. Udává, v jaké míře je využita energie paliva. Je proto důležité využít co největší energii paliva, protože energie, která se nevyužije, představuje ztráty. Tyto ztráty se mohou projevit ve formě nespáleného paliva nebo tepla. Účinnost je proto definována jako poměr výkonu a příkonu.

$$\eta = \frac{\text{Výkon}}{\text{Příkon}} = \frac{P_v}{P_p} \quad [\%] \quad (5.1)$$

Příkon bude vždy energie, která je do zařízení dodávaná v palivu a výkon je množství tepla, které je obsaženo v horké vodě, v ohřátém vzduchu a nebo ve vyrobené páře.

Pro stanovení účinnosti je třeba provést náročná měření a analýzy. Proto není stanovení účinnosti jednoduché. Naměřené a získané výsledky musí být vzájemně srovnatelné. Tyto postupy jsou detailně zapsány v příslušných normách. Pro stanovení účinnosti u kotlů se používá norma ČSN 070305.

Určování účinnosti se dá rozdělit do dvou metod. A to na přímou a nepřímou metodu stanovení účinnosti. V mém případě se budu zabývat jen nepřímou metodou.

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle

Diplomová práce

Nepřímá metoda je založena především na stanovení účinnosti ze ztrát. Tento fakt můžeme vyjádřit jednoduchou bilancí. A to

$$\text{Příkon} = \text{Výkon} + \text{Ztráty}$$

Stanovení účinnosti nepřímou metodou můžeme vyjádřit vztahem:

$$\eta = 1 - \xi_C - \xi_{\text{POP}} - \xi_{\text{CO}} - \xi_{\text{SV}} - \xi_{\text{SAL}} - \xi_{\text{CH}}$$

Tepelné ztráty kotle tvoří:

ξ_C *Ztráta hořlaviny v tuhých zbytcích po spalování*

ξ_{POP} *Ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků po spalování*

ξ_{CO} *Ztráta hořlaviny ve spalinách*

ξ_{SV} *Ztráta fyzickým teplem spalin (komínová ztráta)*

ξ_{SAL} *Ztráta sdílením tepla do okolí (ztráta sáláním)*

ξ_{CH} *Ztráta chlazením pomocných zařízení*

5.1 Ztráta hořlaviny v tuhých zbytcích po spalování

Je součet ztrát v popílku (úletu) a ve strusce a to formou uhlíku, který se nestačil spálit. Této ztrátě se také říká ztráta nedopalem. Tato nespálená hořlavina se vyskytuje ve spalinách také ve formě plynu, jako oxid uhelnatý (produkt nedokonalého spalování uhlíku). Po spalování v tuhých zbytcích je hlavním produktem nedokonalého spalování jen uhlík. Spalitelné části hořlaviny, jako je síra a vodík většinou všechn shoří. Při detailním rozboru popílku (úlet) a strusky zjistíme obsah uhlíku v jednotlivých tuhých zbytcích. Následně určíme jaká část popela „propadne roštem“ a jaká část „uletí komínem“ a poté určíme množství energie, která byla nevyužita.

5.2 Ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků po spalování

Je také ztráta, která je rovna součtu ztrát fyzickým teplem popílku a strusky. Jedná se o skutečnost, kde zbytky po spalování odcházejí z kotle s teplotou a odvádějí tak velké množství tepla, které se nevyužije.

5.3 Ztráta hořlaviny ve spalinách

Ztráta obsahuje teplo, které je přítomno v důsledku nespálených plynů ve spalinách. Obvykle, pro zjištění této ztráty se měří koncentrace CO ve spalinách. Při kontinuálním měření se zjistí hodnota CO ve spalinách, která je vyjádřena v jednotkách mg/m^3_n , která je vztahována na suché spaliny, normální podmínky (normální tlak a teplota) a referenční obsah kyslíku. Pro výpočet popisované ztráty je důležité naměřenou koncentraci CO přepočítat na objemový podíl CO ve spalinách za přítomnosti naměřeného obsahu kyslíku za kotlem.

5.4 Ztráta fyzickým teplem spalin (komínová ztráta)

Ztráta popisuje teplo, které odchází z kotle ve formě kouřových plynů komínem a teplo není dále využito a je vypouštěno komínem do ovzduší. Velikost ztráty je závislá na teplotě spalin a přebytku vzduchu ve spalinách za kotlem. V případě růstu těchto hodnot, ztráta fyzickým teplem spalin roste. Pro výpočet této ztráty je důležité stanovit střední měrné kapacity, a to:

- *Střední měrná tepelná kapacita kyslíku (O_2) při teplotě spalin za kotlem*
- *Střední měrná tepelná kapacita dusíku (N_2) při teplotě spalin za kotlem*
- *Střední měrná tepelná kapacita oxidu uhličitého (CO_2) při teplotě spalin za kotlem*
- *Střední měrná tepelná kapacita vody (H_2O) při teplotě spalin za kotlem*
- *Střední měrná tepelná kapacita oxidu siřičitého (SO_2) při teplotě spalin za kotlem*
- *Střední měrná tepelná kapacita vlhkých spalin při teplotě spalin za kotlem*

$$Z_K = \frac{Q_p \cdot c_p \cdot (t_k - t_{vz})}{Q_i} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5.2)$$

Kde je: Q_p – Objem vlhkých spalin vzniklých spálením 1kg, resp. 1m_n^3 paliva.

c_p – Střední měrná tepelná kapacita vlhkých spalin.

t_k – Teplota spalin na výstupu z kotle.

t_{vz} – Teplota vzduchu na vstupu do kotle.

Q_i – Výhřevnost paliva.

5.5 Ztráta sdílením tepla do okolí (ztráta sáláním)

Ztráta popisuje množství tepla, předaného do okolí pláštěm kotle do okolí. Tato ztráta závisí na kvalitě izolace stěn, oplechování, výkon kotle a na velikosti povrchu.

5.6 Ztráta chlazením pomocných zařízení

Je ztráta, která zajišťuje spolehlivost přídavného chlazení, které není zahrnuto do výrobního tepla (např. chlazený spalovací rošt). Tepelný výkon, které chlazení odvede, je důležité připočíst do celkových tepelných ztrát kotle.

6 Metodika stanovení měřicích míst na výstupu z kotle

[10] Pro stanovení měřicích míst na výstupu z kotlů se používá norma ČSN ISO 9096. Tuto normu budu v diplomové práci aplikovat na reálném zařízení, na kotel K3, který je umístěn v kotelně provozu Energetika II, ve společnosti Energetika Třinec, a.s.. Důležitou informací, pro stanovení počtu a rozmístění měřicích míst po průřezu kouřového kanálu, ve kterém proudí spaliny, je jeho rozměr. Na výstupu z kotle K3 má tento kanál rozměry 1300 x 4000 mm.

V kouřovodech, které mají velké rozměry, může být koncentrace plyných složek spalin nerovnoměrná. Proto měření koncentrace v jednom bodě v průřezu kanálu není objektivní k aktuálnímu stavu. Optimálním řešením problému stanovení průměrné koncentrace je aplikování kontinuálního odběru vzorku spalin z více bodů (síťový odběr). Tento síťový odběr také snižuje chyby v měření, které mohou být způsobeny netěsnostmi u stěn kouřovodů, změnami výkonu zařízení a také změnami rychlosti proudění spalin.

Měřicí místa by měla být umístěna v přímém úseku potrubí konstantního průřezu. Nejvhodnější je umístění měřicích bodů, pokud možno ve svislém úseku kouřového kanálu. Pokud je to možné, tak by tyto body měly být umístěny co nejdále po proudu od jakýchkoliv překážek. Tyto překážky by mohly způsobit změny směru proudění a turbulence (např. ventilátor, koleno, částečně uzavřený ventil).

Aby byla zaručena dostatečná rychlost a rovnoměrnost proudění odpadního plynu v měřeném místě musí se délka rovného úseku rovnat minimálně sedminásobku hydraulického průměru potrubí. Měřicí místa musí být umístěna ve vzdálenosti pětinasobku hydraulického průměru od začátku tohoto rovného úseku. Pokud se měřicí místa musí umístit v potrubí, které vede do okolní atmosféry, měla by vzdálenost měřicího místa od ústí plynu do okolní atmosféry rovnat pětinasobku hydraulického průměru potrubí. V praxi je běžné, že potrubí, které je velkých rozměrů, nemá dostatečně dlouhý přímý úsek potrubí. Měřicí místo tak nemůže vyhovět minimální délce přímého úseku potrubí. Proto při nesprávném toku plynu může docházet k nepřijatelnému zvětšení nepřesnosti výsledku.

Minimální počet měřicích bodů je určen rozměry kanálu, ve kterém proudí odpadní plyn. Proto jejich počet narůstá s rostoucími rozměry kouřového kanálu. Tabulka číslo 1

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalín na výstupu z kotle

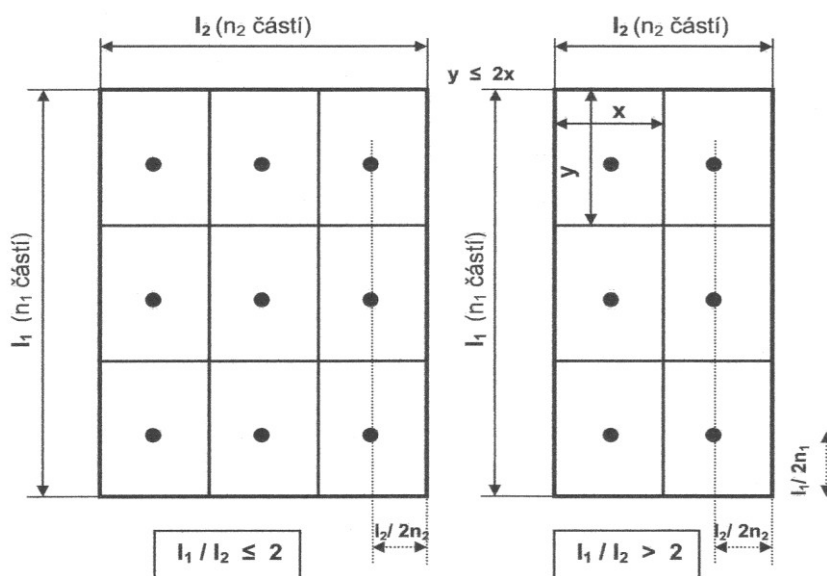
Diplomová práce

popisuje minimální počet měřících bodů pro čtyřhranné potrubí. Měřící body jsou umístěny v rovnoplochých částech měřícího profilu.

Plocha měřícího profilu m^2	Minimální počet vzorkovacích Přímek	Minimální počet vzorkovacích Bodů
<0,09	-	1
0,09 až 0,38	2	4
0,38 až 1,50	3	9
>1,50	4	16

Tab.č.1: Minimální počet měřících bodů pro potrubí čtyřhranného průřezu

Na obrázku č.5. je znázorněno, rozmístění měřících bodů u čtyřhranného průřezu. Platí zde zásady, které jsou uvedené v Příloze B normy ČSN ISO 9096.



Obr.č.5: Rozmístění měřících bodů v potrubí čtyřhranného průřezu [10]

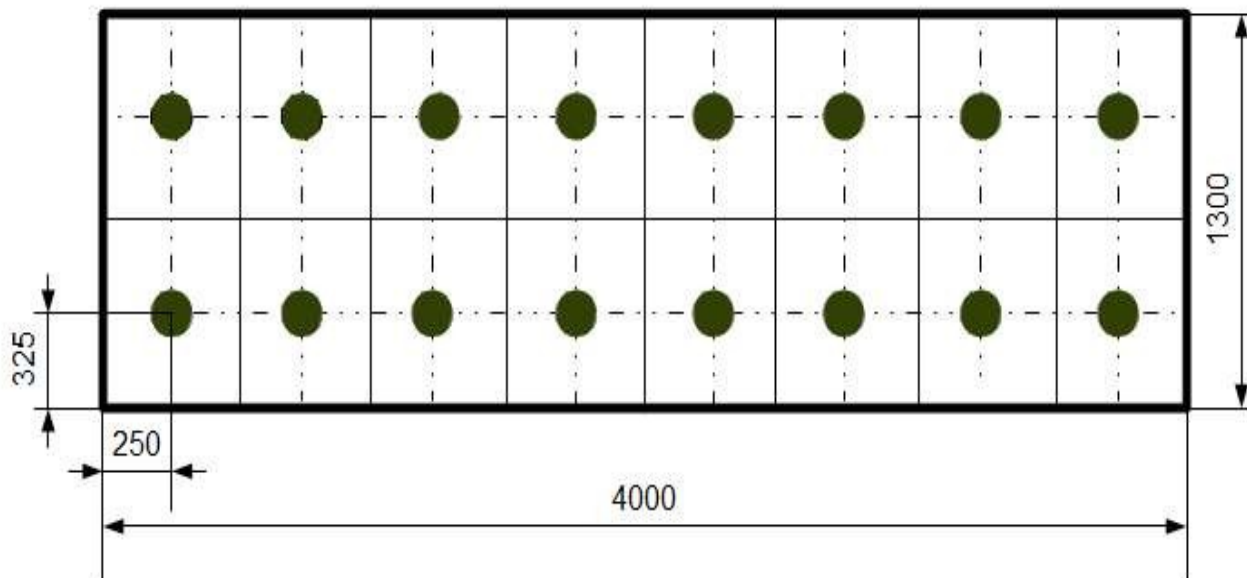
6.1 Stanovení měřících míst na kotli K3 v Energetice Třinec

Na základě normy ČSN ISO 9096 a znalosti rozměru kanálu na kotli K3 v Energetice Třinec, který je 1300 x 4000 mm jsem stanovil 16 měřících bodů. Rozmístění měřících bodů s příslušnými a potřebnými rozměry je uvedeno na obrázku č.6.

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle

Diplomová práce

Měřicí místo bylo zvoleno ve svislé části kanálu obdélníkového průřezu a byly dodrženy požadavky normy ČSN ISO 9096.



Obr.č.6: Schéma rozdělení měřících bodů v průřezu potrubí

7 Výběr a optimalizace měřících prvků [10]

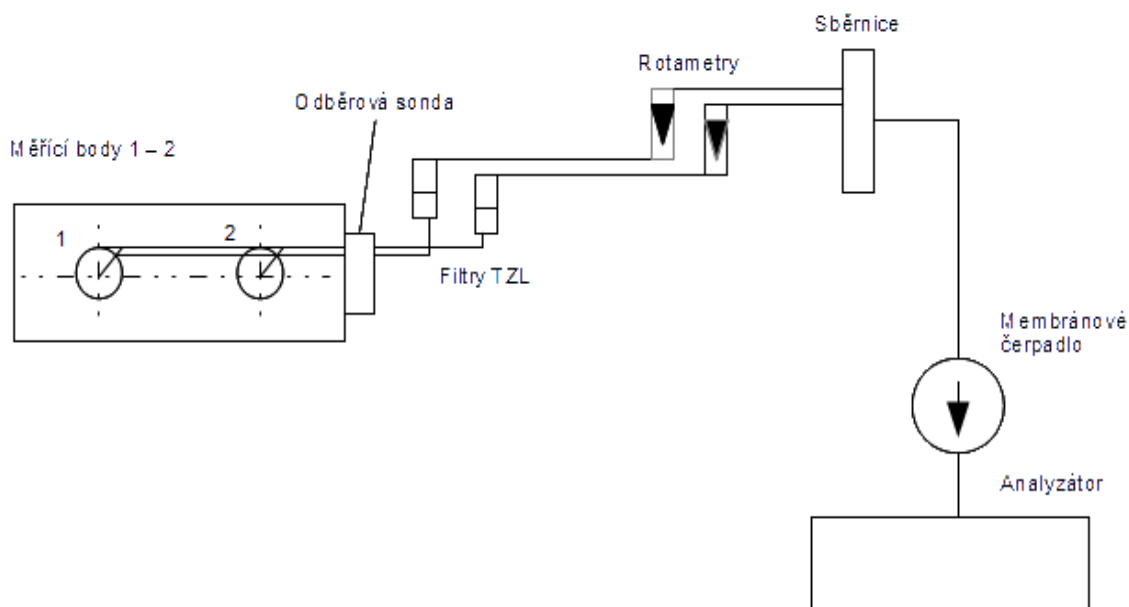
Pro provozní měření koncentrace plynných složek, byla sestavena měřící technika, pomocí níž bude vzorek spalin odebírán stejnou rychlostí a to současně ze 16 – ti měřících bodů. Tyto měřící body jsou rozmístěny po průřezu kouřovodu dle ČSN ISO 9096. Odebraný vzorek je následně dopravován k analyzátoru a poté je jeho průměrná koncentrace plynné složky ve spalinách zaznamenávána.

- 8 x sonda (1 – 8)
- 16 x odběrové teflonové potrubí \varnothing 8mm (1 – 16)
- 16 x filtr TZL s odvodem kondenzátu SFD - $\frac{1}{4}$ - 1D (slouží jako chladič)
- 16 x nevytápěné vedení vzorku (silikonové spojovací potrubí 8mm)
- 16 x plováчковý průtokoměr KDG - 2251 (rotametry 1 – 16)
- Sběrnice
- 2x kontrolní rotametr KDG - 2268
- Membránové čerpadlo KNF N 145.1.2.AN.18

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle

Diplomová práce

Na obrázku č.7 je uvedeno jednoduché schéma navrhované odběrové aparatury ze dvou měřících bodů na jedné přímce.



Obr.č.7: Schéma návrhu odběrové aparatury

7.1 Konstrukční řešení nového zařízení

Diplomová práce řeší návrh odběrové sondy, konstrukční řešení uchycení odběrové sondy a v neposlední řadě návrh sběrné trubice na smíšení odebíraného plynu. Všechny tyto konstrukční prvky jsou uvedeny v přílohách.

Odběrová sonda

Odběrová sonda je uvedena v příloze na výkrese č. DP – 01 - 02. Jedná se o nosník, na kterém jsou umístěny vzpěry, v nichž je umístěno odběrové potrubí a na konci nosníku je víko, které slouží k připevnění k přírubě pomocí šroubů.

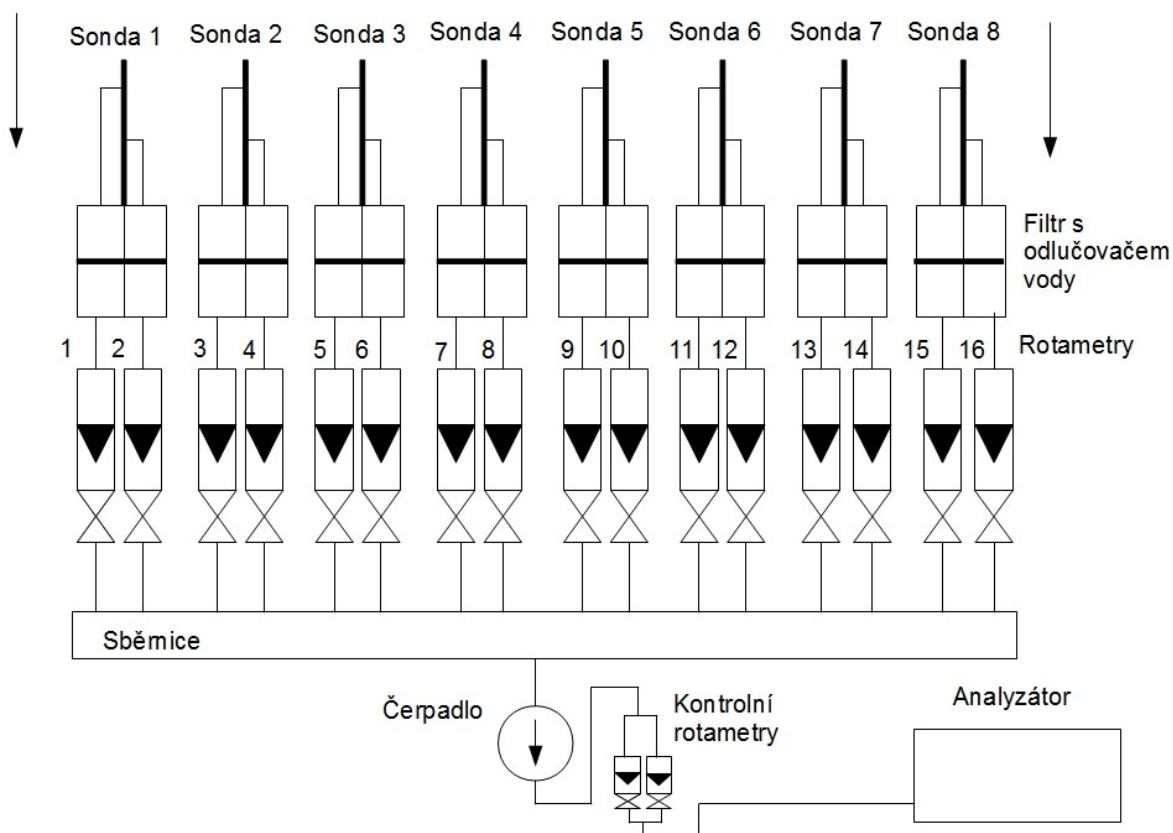
Příruba

Příruba je uvedena v příloze na výkrese č. DP – 01 – 03. Tato příruba je připevněna na stěnu spalinovodu pomocí šroubů. Do příruby se následně vloží odběrová sonda, která se připevní k přírubě pomocí šroubů.

Sběrná trubice

Sběrná trubice je uvedena v příloze na výkrese č.DP – 01 – 01. Jedná se o trubici, ve které se smísí odebíraný vzorek odpadního plynu. Vzorek je do sběrnice dopravován 16 – ti vstupními otvory pomocí odběrového potrubí a po smísení se vzorek vede ze sběrnice do čerpadla a analyzátoru.

Na obrázku č.8 je uvedeno jednoduché schéma celé odběrové aparatury. Pro tuto aparaturu byly provedeny potřebné výpočty.



Obr.č.8: Schéma celé odběrové aparatury

8 Hydraulický výpočet navržené varianty [5], [6], [7], [14]

Při proudění spalin potrubím vznikají tlakové ztráty. Proto se musí provést hydraulický výpočet odběrové trasy a následně vytvořit její odporovou charakteristiku, pro stanovení pracovního bodu čerpadla.

Tlakové ztráty se dělí do dvou skupin a to na třecí ztráty a ztráty místní. Ztráty budou popsány v následující kapitole.

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalín na výstupu z kotle

Diplomová práce

➤ Třecí ztráty

Tyto ztráty charakterizují úbytek tlaku, který vzniká při překonávání odporu potrubí. Třecí ztráty se následně stanoví jako:

$$p_{z} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} \quad [\text{Pa}] \quad (8.1)$$

Kde: λ – součinitel tření [1]

L – délka potrubí [m]

d – průměr potrubí [m]

ρ – hustota proudící vzdušiny [kg/m³]

w – střední rychlost proudící vzdušiny [m/s]

U laminárního proudění ($Re < 2320$) se pro kruhové i nekruhové průřezy dá jejich hodnota třecího součinitele odvodit analyticky. V případě kruhového průřezu potrubí je součinitel tření λ závislý jen pouze na Reynoldsově čísle Re . Tím je následně dáno, že drsnost potrubí nemá žádný vliv na tlakovou ztrátu.

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad [1] \quad (8.1.1)$$

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} \quad [1] \quad (8.1.2)$$

Kde: ν – kinetická viskozita proudící vzdušiny [m²/s]

Při výpočtu u turbulentního potrubí je třeba určit, jestli se potrubí chová jako hydraulicky drsné nebo hladké. Tento jev se určuje na základě znalosti průměru d (mm) a absolutní drsnosti k (mm). Následně se potom určí správný vztah pro výpočet součinitele tření λ .

$$\begin{aligned} \varepsilon = \frac{k}{d} &\leq \frac{30}{Re^{0.875}} \quad [1] \quad - \text{hydraulicky hladké potrubí} \\ &> \frac{30}{Re^{0.875}} \quad [1] \quad - \text{drsné potrubí} \end{aligned} \quad (8.1.3)$$

Kde: ε – relativní drsnost stěn potrubí [1]

Velikost třecího součinitele můžeme určit buď početně, nebo odečtem z příslušného grafu. Vztah pro určení třecího součinitele byl stanoven podle Blasiusa.

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle

Diplomová práce

$$\lambda = \frac{0.3164}{\text{Re}^{0.25}} \quad [1] \quad (8.1.4)$$

Mezi oblastí turbulentního proudění a oblastí hydraulických hladkých potrubí je přechodová oblast. Při tomto výpočtu je součinitel tření λ závislý na poměrné drsnosti potrubí a také na Reynoldsově čísle. Pro tento výpočet bylo odvozeno mnoho vztahů a rovnic, ale nejčastěji se používá vzorec odvozený Colebrookem.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log \left(\frac{2.51}{\text{Re} \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3.74 \cdot d} \right) \quad [1] \quad (8.1.5)$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1.14 - 2 \log \varepsilon \quad [1] \quad (8.1.6)$$

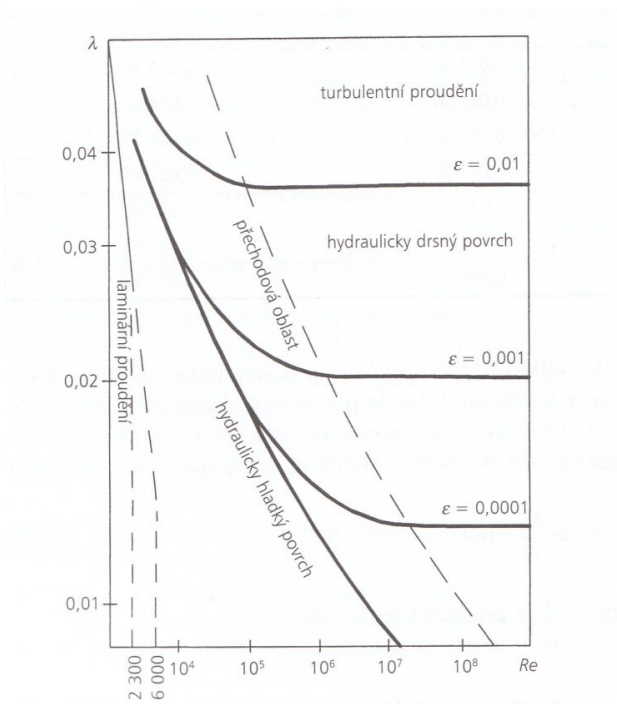
Součinitel tření λ se může určit odečtem z tabulky číslo 3 a nebo obrázku číslo 9. V tabulce číslo 2 jsou popsány hodnoty, které popisují absolutní drsnosti pro různé druhy a typy materiálů a potrubí.

Materiál	Druh potrubí	Drsnost k [mm]
tažené trubky měděné, skleněné a z plastů	technicky hladké	0,00135 až 0,00152
	hladké	0,0162
bezešvé ocelové trubky	obchodní jakost	0,05 až ,10
	uvnitř pozinkované	0,15
	uvnitř bitumenový povlak	0,004 až 0,040
	po delší době v provozu	0,50 až 0,10
potrubí z ocelového plechu	válcovaný plech	0,04 až 0,10
	uvnitř bitumenový povlak	0,01 až 0,05
	galvanizované	0,008
	po delší době v provozu	1,00 až 2,00
betonové kanály	hlazené	0,30 až 0,80
	drsne	1,00 až 3,00
	železobetonové hlazené	0,10 až 0,15
	železobetonové drsné	0,20 až 0,80

Tab.č.2: Hodnoty drsnosti stěn potrubí [6]

Relativní drsnost $\varepsilon=k/d$	Koeficient tření λ
0,00002	0,00901
0,00005	0,010054
0,0001	0,01197
0,0002	0,01371
0,0005	0,01669
0,0010	0,01961
0,0020	0,02339
0,0025	0,02485
0,0050	0,03033
0,0100	0,03785
0,0200	0,04858
0,0250	0,05299
0,0500	0,07142

Tab.č. 3: Hodnoty součinitele tření [6]



Obr.č.9: Závislost součinitele tření λ na Reynoldsově čísle [6]

➤ **Místní ztráty**

Tyto ztráty vznikají v době, kdy mění velikost rychlosti a směr proudění. Při této změně dochází k odtržení proudu a také dochází k vzniku vířivé oblasti. Ztrátový součinitel ξ_m je závislý na druhu místní ztráty, konstrukčních parametrech (zakřivení, změna průřezu apod.), tvaru rychlostního profilu, režimu proudění a na Reynoldsově čísle Re. Místní tlakové ztráty se nejčastěji vyjadřují násobkem dynamického tlaku.

$$p_{zM} = \xi_m \cdot \frac{\rho \cdot W^2}{2} \quad [\text{Pa}] \quad (8.2)$$

Kde: ξ_m - ztrátový součinitel místního odporu [1]

ρ - hustota proudící vzdušiny [kg/m³]

W – střední rychlost proudící vzdušiny [m/s]

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle

Diplomová práce

8.1 Výpočet třecích ztrát v odběrovém potrubí

Velikost třecích ztrát, které vznikají prouděním vzdušiny v potrubí, závisí na rychlosti proudění a na délce potrubí, ale důležitá je také teplota proudící vzdušiny. Kinematická viskozita proudící vzdušiny v [m²/s] ovlivňuje velikost Reynoldsova čísla Re, velikost třecího součinitele λ [1] a závisí na teplotě, stejně jako hustota proudící vzdušiny ρ [kg/m³].

Proto je výpočet rozdělen do dvou částí. První část výpočtu třecích ztrát obsahuje odběrovou aparaturu, ve které proudí horké spaliny. Tato teplota je stanovena na základě znalosti teploty spalin ve spalovacím traktu kotle. První část bude proto nazvána „část T_{sp}“. Ve druhé části odběrové aparatury proudí spaliny, které byly po průchodu filtru TZL s odvodem kondenzátu ochlazeny. Tato druhá část bude nazvána „T_o“. Pro zjednodušení bylo počítáno, že se spaliny při nízkém průtoku ochladí až na teplotu okolí.

Při výpočtu části T_{sp} je důležité také zahrnout odběrové potrubí, které je součástí sondy a také filtr s odvodem kondenzátu. Při výpočtu části T_o se potom zahrnuje celý zbytek odběrové aparatury. Pro výpočet byla zjištěna teplota spalin, jejíž průměrná hodnota je 180°C a bylo počítáno s teplotou okolí, která je 20 °C a je konstantní po celé zbylé délce odběrové aparatury.

Výpočty byly spočítány pro určité rozmezí rychlosti odsávaných spalin na vstupu do odběrové sondy. Tyto rychlosti ale také ovlivňuje i dopravované množství vzorku k čerpadlu. Interval rychlostí spalin na vstupu do odběrové sondy byl zvolen od 0 – 10 m/s, pro které byly vypočítány odporové charakteristiky.

8.2 Výpočet třecích ztrát v odběrovém potrubí – část T_{sp}

Odběrová aparatura v první části obsahuje 8 měřících sond, 16 filtrů TZL s odvodem kondenzátu a odběrové teflonové potrubí. V této výpočtové části je teplota odsávaného vzorku spalin shodná s proudící teplotou spalin v kouřovodu, tedy 180°C a výpočtové hodnoty byly určeny a zvoleny z tabulek [7].

Teplota odsávaného vzorku spalin	$t_1 = 180$	°C
Kinematická viskozita odsávaného vzorku spalin	$\nu_1 = 0.00003055$	m ² /s
Hustota odsávaného vzorku spalin	$\rho_1 = 0.788$	kg/m ³
Průměr odběrového teflonového potrubí	$d = 0.008$	m
Průřez odběrového potrubí	$S = 0.0000502$	m ²

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle

Diplomová práce

Délka odběrového potrubí číslo 1	$L_1 = 1.45$	m
Délka odběrového potrubí číslo 2	$L_2 = 0.9$	m
Odsávací rychlost – rychlost proudění vzorku	$w_s = 0 - 10$	m/s

V následujících bodech a) – e) je naznačen příklad výpočtu třecích ztrát v odběrovém potrubí části T_{sp} . Odsávací výpočtová rychlost na vstupu do odběrového potrubí byla stanovena na $w_s = 2$ m/s.

a) stanovení hmotnostního a objemového průtoku odsávaných spalin

$$\dot{m} = S \cdot \rho_1 \cdot w_s \quad [\text{kg/s}] \quad (8.3)$$

$$\dot{m} = 0.0000502 \cdot 0.788 \cdot 2 = 7.911 \cdot 10^{-5} \quad [\text{kg/s}]$$

$$\dot{V} = S \cdot w_s \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (8.4)$$

$$\dot{V} = 0.0000502 \cdot 2 = 0.0001004 [\text{m}_3 / \text{s}] \rightarrow 6.024 [\text{l} / \text{min}]$$

b) výpočet Reynoldsova čísla

$$\text{Re} = \frac{w_s \cdot d}{\nu} = \frac{2 \cdot 0.008}{0.00003055} = 523.9 = 524$$

c) výpočet třecího součinitele

Protože se jedná o laminární proudění, bude třecí součinitel stanoven na základě vztahu (8.1.1).

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} = \frac{64}{524} = 0.122$$

Pro rychlost odsávání $w_s > 9$ m/s je pro její turbulentní charakter použít následující výpočtový postup:

- Určení druhu potrubí podle (6.1.3):

$$\varepsilon = \frac{k}{d} \approx \frac{30}{\text{Re}^{0.875}}$$

Kde $k = 0.00162$ mm (viz. Tab.č.2)

$\text{Re} = 2358$ pro rychlost $w_s = 9$ m/s (viz. Tab.č. 4)

$$\frac{0.00162}{30} \leq \frac{30}{2358^{0.875}} \quad - \text{hydraulicky hladké potrubí}$$

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalín na výstupu z kotle

Diplomová práce

Re = 2620 pro rychlost $w_s = 10$ m/s (viz. Tab.č. 4)

$$\frac{0.00162}{30} \leq \frac{30}{2620^{0.875}} \quad - \text{hydraulicky hladké potrubí}$$

➤ Stanovení třecího součinitele v oblasti turbulentního proudění

Výpočet bude proveden na základě rovnice 8.1.4, která je platná pro hydraulicky hladké potrubí.

$$\text{Od: } \lambda_T = \frac{0.3164}{2358^{0.25}} = 0.045 \quad - \text{ pro Re} = 2358 \text{ a } w_s = 9 \text{ m/s, (viz. Tab.č. 4)}$$

$$\text{Do: } \lambda_T = \frac{0.3164}{2620^{0.25}} = 0.044 \quad - \text{ pro Re} = 2620 \text{ a } w_s = 10 \text{ m/s, (viz. Tab.č. 4)}$$

Velikost třecího součinitele λ se pohybuje v rozmezí 0.045 až 0.044. Proto pro výpočet byla použita střední hodnota.

$$\lambda_T = 0.0445$$

d) výpočet třecích ztrát v jednotlivých potrubích

$$p_{z1} = \lambda \cdot \frac{L_1 \cdot w_s^2}{2 \cdot d} \cdot \rho_1 \quad [\text{Pa}] \quad (8.5)$$

$$p_{z1.1} = 0.122 \cdot \frac{1.45 \cdot 2^2}{2 \cdot 0.008} \cdot 0.788 = 34.8 = 35 \quad [\text{Pa}]$$

$$p_{z1.2} = 0.122 \cdot \frac{0.9 \cdot 2^2}{2 \cdot 0.008} \cdot 0.788 = 21.6 = 22 \quad [\text{Pa}]$$

e) stanovení celkové třecí ztráty části T_{sp}

Větev, která má největší tlakovou ztrátu určuje, jaký tlak musí vyvinout ventilátor. Takže do odporové charakteristiky bude zahrnuta delší větev odběrového potrubí $p_{z1.1}$.

$$p_{zsp} = p_{z1.1} = 35 \quad [\text{Pa}]$$

V tabulce číslo 4 jsou uvedeny všechny vypočtené hodnoty pro všechny zvolené rychlosti. Tyto výpočty byly provedeny na základě vztahů (8.3) – (8.5). Červenou barvou jsou označeny výpočty, které jsou uvedeny výše a oranžovou barvou je označena oblast turbulentního proudění.

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle

Diplomová práce

část T_{sp}						L1	L2	suma
w_s	M	V		Re	λ	$p_{zt Li}$		$p_{zt sp}$
[m/s]	[kg/s]	[m ³ /s]	[l/min]	[-]	[-]	[Pa]		[Pa]
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	1,978E-05	2,510E-05	1,506	131	0,489	9	5	9
1	3,956E-05	5,020E-05	3,012	262	0,244	17	11	17
1,5	5,934E-05	7,530E-05	4,518	393	0,163	26	16	26
2	7,912E-05	1,004E-04	6,024	524	0,122	35	22	35
2,5	9,889E-05	1,255E-04	7,530	655	0,098	44	27	44
3	1,187E-04	1,506E-04	9,036	786	0,081	52	32	52
3,5	1,385E-04	1,757E-04	10,542	917	0,070	61	38	61
4	1,582E-04	2,008E-04	12,048	1048	0,061	70	43	70
4,5	1,780E-04	2,259E-04	13,554	1179	0,054	79	49	79
5	1,978E-04	2,510E-04	15,060	1310	0,049	87	54	87
6	2,373E-04	3,012E-04	18,072	1572	0,041	105	65	105
7	2,769E-04	3,514E-04	21,084	1834	0,035	122	76	122
8	3,165E-04	4,016E-04	24,096	2096	0,031	140	87	140
9	3,560E-04	4,518E-04	27,108	2358	0,045	260	162	260
10	3,956E-04	5,020E-04	30,120	2620	0,044	314	195	314

Tab.č.4: Vypočtené hodnoty třecí tlakové ztráty odběrového potrubí – část T_{sp}

8.3 výpočet třecích ztrát v odběrovém potrubí – T_o

Jak už bylo zmíněno výše, tak spaliny budou ochlazené až na teplotu okolí, tedy 20°C. Toto ochlazení je způsobeno filtrem TZL s odvodem kondenzátu. Vzniklý kondenzát je pravidelně periodicky odváděn z komory filtru mimo odběrovou trasu. Druhá část odběrové aparatury tedy obsahuje silikonové spojovací potrubí, 16 rotametrů (1 – 16), sběrnou trubici a společné silikonové potrubí. Tato druhá část bude označena T_o a výpočtové hodnoty byly určeny a zvoleny z tabulek [7].

Teplota odsávaného vzorku spalin	$t_2 = 20$	°C
Kinematická viskozita odsávaného vzorku spalin	$\nu_2 = 0.00001407$	m ² /s
Hustota odsávaného vzorku spalin	$\rho_2 = 1.226$	kg/m ³
Průměr spojovacího a společného potrubí	$d_p = 0.008$	m
Průřez spojovacího a společného potrubí	$S_p = 0.0000502$	m ²

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle

Diplomová práce

Délka spojovacího potrubí	$L_3 = 3$	m
Délka společného potrubí za sběrnici	$L_4 = 2$	m
Průměr sběrnice	$d_s = 0.060$	m
Průřez sběrnice	$S_s = 0.00282$	m ²
Délka sběrnice	$L_s = 0.2$	m
Odsávací rychlost – rychlost proudění vzorku	$w_s = 0 - 10$	m/s

V následující části je uveden výpočet příkladu třecích ztrát ve spojovacím potrubí označený T_o a to v části před vstupem vzorků do odběrové sběrnice. Pro tento příklad je opět zvolena rychlost na vstupu do odběrového potrubí $w_s = 2$ m/s. Pro tuto rychlost je konstantní hmotnostní průtok $\dot{m} = 0.00007912$ kg/s ve spojovacím potrubí. Tento výpočet je naznačen v bodech f) až i).

f) stanovení objemového průtoku a rychlosti odsávaných spalin

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho_2} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (8.6)$$

$$\dot{V} = \frac{0.00007912}{1.226} = 0.0000645 [\text{m}^3/\text{s}] \Rightarrow 3.87 [\text{l}/\text{min}]$$

$$w = \frac{\dot{V}}{S_p} \quad [\text{m}/\text{s}] \quad (8.7)$$

$$w = \frac{0.00006453}{0.0000502} = 1.29 \quad [\text{m}/\text{s}]$$

g) výpočet Reynoldsova čísla

$$\text{Re} = \frac{w \cdot d_p}{\nu} = \frac{1.29 \cdot 0.008}{0.00001407} = 731$$

h) výpočet třecího součinitele

Protože se nejedná po celé délce rozsahu rychlostí o laminární proudění, bude muset být proveden výpočet i pro turbulentní proudění. Výpočet byl proveden dle vztahu (8.1.1):

$$\lambda_L = \frac{64}{\text{Re}} = 0.0876$$

Pro rychlost odsávání $w_s > 6$ m/s je pro její turbulentní charakter použít následující výpočtový postup:

- Určení druhu potrubí podle (8.1.3)

$$\varepsilon = \frac{k}{d} \approx \frac{30}{\text{Re}^{0.875}}$$

Kde $k = 0.00162$ mm (viz. Tab.č. 2)

$\text{Re} = 2559$ pro rychlost $w_s = 7$ m/s (viz. Tab.č. 5)

$$\frac{0.00162}{30} \leq \frac{30}{2559^{0.875}} \quad - \text{hydraulicky hladké potrubí}$$

$\text{Re} = 3655$ pro rychlost $w_s = 10$ m/s (viz. Tab.č. 5)

$$\frac{0.00162}{30} \leq \frac{30}{3655^{0.875}} \quad - \text{hydraulicky hladké potrubí}$$

- Stanovení třecího součinitele v oblasti turbulentního proudění

Výpočet byl proveden na základě rovnice 8.1.4 která je platná pro hydraulicky hladké potrubí.

$$\text{Od: } \lambda_T = \frac{0.3164}{2559^{0.25}} = 0.044 \quad - \text{ pro } \text{Re} = 2559 \text{ a } w_s = 4.5 \text{ m/s,}$$

$$\text{Do: } \lambda_T = \frac{0.3164}{3655^{0.25}} = 0.040 \quad - \text{ pro } \text{Re} = 3655 \text{ a } w_s = 10 \text{ m/s,}$$

Velikost třecího součinitele λ se pohybuje v rozmezí 0.044 až 0.040. Proto pro výpočet byla použita střední hodnota.

$$\lambda_T = 0.042$$

i) stanovení celkové třecí ztráty před vstupem do odběrové sběrnice

Laminární proudění:

$$p_{zT0LP} = \lambda_L \cdot \frac{L_3 \cdot w^2}{2 \cdot d_p} \cdot \rho_2 \quad [\text{Pa}] \quad (8.8)$$

$$p_{zT0LP} = 0.0876 \cdot \frac{3 \cdot 1.29^2}{2 \cdot 0.008} \cdot 1.226 = 33 \quad [\text{Pa}]$$

Turbulentní proudění:

$$p_{zT0TP} = \lambda_T \cdot \frac{L_3 \cdot w^2}{2 \cdot d_p} \cdot \rho_2 \quad (8.9)$$

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle

Diplomová práce

$$p_{zToTP} = 0.042 \cdot \frac{3 \cdot 1.29^2}{2 \cdot 0.008} \cdot 1.226 = 17$$

V následující části je uveden příklad třecích ztrát ve společném odběrovém potrubí, které se smísí ve v odběrové sběrnici. Pro tuto část je konstantní hmotnostní průtok $\dot{m} = 0.001266$ kg/s, který je 16x větší, než ve spojovacím potrubí, které bylo počítáno v předchozí části. Tento příklad je uveden v bodech j) až m).

j) stanovení objemového průtoku a rychlosti odsávaných spalin

(viz. 8.6 a 8.7)

$$\dot{V} = \frac{0.001266}{1.226} = 0.001032 [\text{m}^3 / \text{s}] \Rightarrow 61.950 [\text{l} / \text{min}]$$

$$w = \frac{\dot{V}}{S_s} = \frac{0.001032}{0.00282} = 0.37 \quad [\text{m/s}]$$

k) výpočet Reynoldsova čísla

$$Re = \frac{w \cdot d_s}{\nu} = \frac{0.37 \cdot 0.06}{0.00001407} = 1560.5 = 1561$$

l) stanovení třecího součinitele

V této části výpočtů dochází ke smísení odběrového vzorku a to až ze 16 odběrových tras potrubí. Při dosažení určité rychlosti proudění ve sběrnici, dochází ke změně charakteru proudění. Laminární proudění se mění na turbulentní. Takto změna nastává při rychlosti $w_s = 2.5$ m/s, která odpovídá rychlosti proudění ve sběrnici $w = 0,55$ m/s.

Výpočet byl proveden podle bodu h):

$$\lambda_L = \frac{64}{1952} = 0.0327$$

Pro rychlost odsávání $w_s > 2.5$ m/s je pro její turbulentní charakter použít následující výpočtový postup:

- Určení druhu potrubí podle ()

$$\varepsilon = \frac{k}{d} \approx \frac{30}{Re^{0.875}}$$

Kde $k = 0.00162$ mm (viz. Tab.č. 2)

$Re = 2342$ pro rychlost $w_s = 3$ m/s viz. Tab.č. 6)

$$\frac{0.00162}{30} \leq \frac{30}{2342^{0.875}} \quad - \text{hydraulicky hladké potrubí}$$

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle

Diplomová práce

$Re = 7807$ pro rychlost $w_s = 10$ m/s viz. Tab.č. 6)

$$\frac{0.00162}{30} \leq \frac{30}{7807^{0.875}} \quad - \text{hydraulicky hladké potrubí}$$

➤ Stanovení třecího součinitele v oblasti turbulentního proudění

Výpočet bude proveden na základě rovnice (8.1.4), která je platná pro hydraulicky hladké potrubí.

$$\text{Od: } \lambda_L = \frac{0.3164}{2342^{0.25}} = 0.045 \quad - \text{ pro } Re = 2342 \text{ a } w_s = 3 \text{ m/s, (viz. Tab.č. 6)}$$

$$\text{Do: } \lambda_L = \frac{0.3164}{7807^{0.25}} = 0.034 \quad - \text{ pro } Re = 7807 \text{ a } w_s = 10 \text{ m/s, (viz. Tab.č. 6)}$$

Velikost třecího součinitele λ se pohybuje v rozmezí 0.045 až 0.034. Proto pro výpočet byla použita střední hodnota.

$$\lambda_T = 0.0395$$

m) výpočet třecích ztrát ve sběrnici

Laminární proudění:

$$p_{zL_sLP} = \lambda_L \cdot \frac{L_s \cdot w^2}{2 \cdot d_s} \cdot \rho_2 \quad (8.10)$$

$$p_{zL_sLP} = 0.0395 \cdot \frac{0.2 \cdot 0.37^2}{2 \cdot 0.06} \cdot 1.226 = 0.011$$

Turbulentní proudění:

$$p_{zT_sLP} = \lambda_T \cdot \frac{L_s \cdot w^2}{2 \cdot d_s} \cdot \rho_2 \quad (8.11)$$

$$p_{zT_sLP} = 0.0395 \cdot \frac{0.2 \cdot 1.83^2}{2 \cdot 0.06} \cdot 1.226 = 0.22$$

V bodech n) až q) byl proveden výpočet pro jinou rychlost proudění odebíraného vzorku. Tato rychlost se zvýšila vlivem změny průřezu. Změnil se průměr sběrnice z 60 mm na průměr společného potrubí 8 mm. Tato rychlost se zvýšila až na 20.6 m/s, ale odsávací rychlost v ústí sondy na vstupu do odběrového potrubí je pořád $w_s = 2$ m/s.

n) stanovení rychlosti odsávaných spalin (viz 8.7)

$$w = \frac{\dot{V}}{S_p} = \frac{0.001032}{0.0000502} = 20.6 \quad [\text{m/s}]$$

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle

Diplomová práce

o) výpočet Reynoldsova čísla

$$Re = \frac{w \cdot d_p}{\nu} = \frac{20.6 \cdot 0.008}{0.00001407} = 11694$$

p) stanovení třecího součinitele – výpočet

V této odběrové trase, která je označena To, proudí vzorek po smísení ve sběrnici již společným prouděním k čerpadlu. Na této trase jen turbulentní proudění, $Re > 2320$.

Pro rychlost odsávání $w_s > 0$ m/s je pro její turbulentní charakter použít následující výpočtový postup:

- Určení druhu potrubí podle (6.1.3):

$$\varepsilon = \frac{k}{d} \approx \frac{30}{Re^{0.875}}$$

Kde $k = 0.00162$ mm (viz. Tab.č. 2)

$Re = 2924$ pro rychlost $w_s = 0,5$ m/s (viz. Tab.č. 6)

$$\frac{0.00162}{30} \leq \frac{30}{2924^{0.875}} \quad - \text{hydraulicky hladké potrubí}$$

$Re = 58472$ pro rychlost $w_s = 10$ m/s (viz. Tab.č. 6)

$$\frac{0.00162}{30} \leq \frac{30}{58472^{0.875}} \quad - \text{hydraulicky hladké potrubí}$$

- Stanovení třecího součinitele v oblasti turbulentního proudění

Výpočet bude proveden na základě rovnice 8.1.4, která je platná pro hydraulicky hladké potrubí.

$$\text{Od: } \lambda_L = \frac{0.3164}{2924^{0.25}} = 0.043 \quad - \text{ pro } Re = 2924 \text{ a } w_s = 0.5 \text{ m/s, (viz. Tab.č. 6)}$$

$$\text{Do: } \lambda_L = \frac{0.3164}{58472^{0.25}} = 0.020 \quad - \text{ pro } Re = 58472 \text{ a } w_s = 10 \text{ m/s, (viz. Tab.č. 6)}$$

Velikost třecího součinitele λ se pohybuje v rozmezí 0.043 až 0.020. Proto pro výpočet byla použita střední hodnota.

$$\lambda_T = 0.0315$$

q) výpočet třecích ztrát ve společném odběrovém potrubí

Turbulentní proudění:

- Tento výpočet platí pro rychlost $w_s \geq 0.5$ m/s a $w \geq 10$ m/s (tab.č.6)

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle

Diplomová práce

(například pro $w_s = 2$ m/s a jeho rychlost proudění v odběrové hadičce je $w = 20.6$ m/s)

$$p_{zL4TP} = \lambda_T \cdot \frac{L_4 \cdot w^2}{2 \cdot d_p} \rho_2 \quad (8.12)$$

$$p_{zL4TP} = 0.0315 \cdot \frac{2 \cdot 20.6^2}{2 \cdot 0.008} \cdot 1.226 = 2041.6 = 2042$$

V tabulce číslo 5 a v tabulce číslo 6 jsou uvedeny všechny vypočtené hodnoty pro všechny zvolené rychlosti. Tyto výpočty byly provedeny na základě vztahů (8.6) – (8.12). Červenou barvou jsou označeny výpočty, které jsou uvedeny v předchozí části pro laminární proudění a oranžově pro turbulentní proudění.

část To před smísením							L1	L2	suma
w_s	m	V		w	Re	λ	$p_{zt To}$		$p_{zt To}$
[m/s]	[kg/s]	[m ³ /s]	[l/min]	[m/s]	[-]	[-]	[Pa]		[Pa]
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	1,978E-05	1,613E-05	0,968	0,32	183	0,350	2	1	2
1	3,956E-05	3,227E-05	1,936	0,64	365	0,175	8	4	8
1,5	5,934E-05	4,840E-05	2,904	0,96	548	0,117	19	9	19
2	7,912E-05	6,453E-05	3,872	1,29	731	0,088	33	17	33
2,5	9,889E-05	8,066E-05	4,840	1,61	914	0,070	52	26	52
3	1,187E-04	9,680E-05	5,808	1,93	1096	0,058	75	37	75
3,5	1,385E-04	1,129E-04	6,776	2,25	1279	0,050	102	51	102
4	1,582E-04	1,291E-04	7,744	2,57	1462	0,044	133	66	133
4,5	1,780E-04	1,452E-04	8,712	2,89	1645	0,039	168	84	168
5	1,978E-04	1,613E-04	9,680	3,21	1827	0,035	208	103	208
6	2,373E-04	1,936E-04	11,616	3,86	2193	0,029	299	149	299
7	2,769E-04	2,259E-04	13,552	4,50	2559	0,025	408	203	408
8	3,165E-04	2,581E-04	15,487	5,14	2924	0,022	532	265	532
9	3,560E-04	2,904E-04	17,423	5,78	3289	0,019	674	335	674
10	3,956E-04	3,227E-04	19,359	6,43	3655	0,018	832	414	832

Tab.č.5: Vypočtené hodnoty třecí tlakové ztráty odběrového potrubí – část To před smísením.

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle

Diplomová práce

část To po smísení				Sběrnice			Ls	Společné potrubí			L ₄
w _s	mx16	V		w	Re	λ	p _{ZTLs}	w	Re	λ	p _{Ztl4}
[m/s]	[kg/s]	[m ³ /s]	[l/min]	[m/s]	[-]	[-]	[Pa]	[m/s]	[-]	[-]	[Pa]
0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0
0,5	3,165E-04	2,581E-04	15,487	0,09	390	0,164	-	5,1	2924	0,043	128
1	6,329E-04	5,162E-04	30,975	0,18	781	0,082	-	10,3	5847	0,036	511
1,5	9,494E-04	7,744E-04	46,462	0,27	1171	0,055		15,4	8771	0,033	1149
2	1,266E-03	1,032E-03	61,950	0,37	1561	0,041	0,012	20,6	11694	0,030	2042
2,5	1,582E-03	1,291E-03	77,437	0,46	1952	0,033	-	25,7	14618	0,029	3191
3	1,899E-03	1,549E-03	92,925	0,55	2342	0,045	-	30,9	17542	0,027	4595
3,5	2,215E-03	1,807E-03	108,412	0,64	2732	0,044	-	36,0	20465	0,026	6254
4	2,532E-03	2,065E-03	123,900	0,73	3123	0,042	-	41,1	23389	0,026	8169
4,5	2,848E-03	2,323E-03	139,387	0,82	3513	0,041	-	46,3	26313	0,025	10338
5	3,165E-03	2,581E-03	154,875	0,92	3903	0,040	-	51,4	29236	0,024	12763
6	3,798E-03	3,097E-03	185,850	1,10	4684	0,038	-	61,7	35083	0,023	18379
7	4,430E-03	3,614E-03	216,825	1,28	5465	0,037	-	72,0	40931	0,022	25016
8	5,063E-03	4,130E-03	247,800	1,46	6245	0,036	-	82,3	46778	0,022	32674
9	5,696E-03	4,646E-03	278,775	1,65	7026	0,035	-	92,6	52625	0,021	41353
10	6,329E-03	5,162E-03	309,750	1,83	7807	0,034	0,22	102,8	58472	0,020	51053

Tab.č.6: Vypočtené hodnoty třecí tlakové ztráty odběrového potrubí – To po smísení:

8.4 Výpočet místních tlakových ztrát v odběrovém potrubí – To

Teplota odsávaného vzorku spalin	$t_2 = 20$	°C
Hustota odsávaného vzorku spalin	$\rho_2 = 1.226$	kg/m ³
Průměr spojovacího a společného potrubí	$d_p = 0.008$	m
Průřez spojovacího a společného potrubí	$S_p = 0.0000502$	m ²
Průměr sběrnice	$d_s = 0.060$	m
Průřez sběrnice	$S_s = 0.00282$	m ²
Odsávací rychlost	$w_s = 0 - 10$	m/s

V následujících bodech r) až y) je proveden příklad výpočtu místních ztrát ve spojovacím potrubí části To. Výpočtová rychlost bylo opět stanovena na $w_s = 2$ m/s.

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalín na výstupu z kotle

Diplomová práce

r) výpočet maximálního objemového průtoku

$$\dot{V}_{MAX} = \frac{m_{MAX}}{\rho_2} \quad [m^3/s] \quad (8.13)$$

m_{MAX} bylo stanoveno na základě tabulky č.3

$$m_{MAX} = 0.0003956 \quad [kg/s]$$

$$\dot{V}_{MAX} = \frac{0.0003956}{1.226} = 0.0003227 [m^3 / s] \Rightarrow 19.36 [l / min]$$

Při normálních podmínkách $p \approx p_N$

$$\dot{V}_{MAXn} = \dot{V}_{MAX} \cdot \frac{T_N}{T_2} \quad [l_N^3/min] \quad (8.14)$$

$$\dot{V}_{MAXn} = 19.36 \cdot \frac{273}{293} = 18.034 = 18 \quad [l_N^3/min]$$

s) stanovení místní tlakové ztráty odlučovače vody s filtrem

V příloze číslo 1 je uvedena technická dokumentace filtru s odlučovačem vody. Tato příloha obsahuje průtokovou charakteristiku. Z tohoto grafu bylo usouzeno, na základě předešlých výpočtů, že tlaková ztráta odlučovače vody s filtrem je v rozmezí velmi malých průtoků (0 – 18 l_N/min). Proto byla pro další výpočty odporové charakteristiky za tlakovou ztrátu odlučovače s filtrem stanovena maximální hodnota 200 Pa.

$$p_{zM1} = 0.002 \quad bar = 200 [Pa]$$

t) stanovení místní tlakové ztráty rotametru v odběrové trase

V příloze číslo 2 je uvedena technická dokumentace rotametru KDG2251. ztráta rotametru v rozmezí 0 – 1800 l_N/hod se pohybuje v rozmezí 0 – 80 mbar. Pro zjednodušení byla tlaková ztráta počítána podle následující rovnice:

$$p_{zM2} = \frac{80}{1800} \cdot \dot{V}_N = \frac{80}{1800} \cdot \dot{V} \cdot \frac{T_N}{T_2} \quad (8.15)$$

Výpočet byl proveden pro $w_s = 2 \text{ m/s}$ a $\dot{V} = 3.872 \text{ l/min} \rightarrow 232.32 \text{ l/h}$ (viz.tab.č.3)

$$p_{zM2} = \frac{80}{1800} \cdot 232.32 \cdot \frac{273}{293} = 9.62 \text{ mbar} \Rightarrow 960 [Pa]$$

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle

Diplomová práce

u) výpočet místní tlakové ztráty napojením odběrového potrubí na společnou sběrnici

$$p_{zM3} = \xi_{m3} \cdot \frac{\rho_2 \cdot W^2}{2} \quad [\text{Pa}] \quad (8.16)$$

W je rychlost odsávaných spalin před vstupem do společné sběrnice. Podle vztahů 8.6 a 8.7 byl proveden následující výpočet.

$$w_1 = \frac{0.00006453}{0.0000502} = 1.29 \quad [\text{m/s}]$$

Součinitel místního odporu ξ_{m3} byl stanoven na základě vyhledání na internetových stránkách, která je uvedena v seznamu použité literatury. Součinitel místního odporu je tedy roven $\xi_{m3} = 1$.

$$p_{zM3} = 1 \cdot \frac{1.226 \cdot 1.29^2}{2} = 1.01 \quad [\text{Pa}]$$

v) výpočet objemového toku po smísení a rychlosti odsávaných spalin w_2 ve společné sběrnici a rychlosti w_3 na jejím výstupu

Výpočty byly provedeny na základě rovnice 8.6 a 8.7.

$$\dot{V} = \frac{0.001266}{1.226} = 0.001032 [\text{m}^3 / \text{s}] \Rightarrow 61.95 [\text{l} / \text{min}]$$

$$w_2 = \frac{\dot{V}}{S_s} = \frac{0.001032}{0.00282} = 0.36 \quad [\text{m/s}]$$

$$w_3 = \frac{\dot{V}}{S_p} = \frac{0.001032}{0.0000502} = 20.6 \quad [\text{m/s}]$$

w) výpočet místní tlakové ztráty náhlým zúžením průřezu

Tento výpočet byl proveden na základě vztahů, který je uveden v seznamu použité literatury [4].

$$\xi = C_r \cdot \left(1 - \frac{S_2}{S_1}\right)^{\frac{3}{4}} \quad (8.17)$$

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle

Diplomová práce

Tento vztah byl podle potřeby upraven na tvar:

$$\xi_{m4} = 0.5 \cdot \left(1 - \frac{S_p}{S_s}\right)^{\frac{3}{4}}$$

Kde: ξ_{m4} - je součinitel tlakové ztráty, který je vztažený na průřez S_p a rychlosti w_3

C_r – konstanta (pro ostré hrany je tato hodnota 0.5)

$$\xi_{m4} = 0.5 \cdot \left(1 - \frac{0.0000502}{0.00282}\right)^{\frac{3}{4}} = 0.118 = 0.12$$

$$p_{zM4} = \xi_{m4} \cdot \frac{w_3^2}{2} \cdot \rho_2 \quad (8.18)$$

$$p_{zM4} = 0.12 \cdot \frac{20.6^2}{2} \cdot 1.226 = 31.21 = 31 \text{ [Pa]}$$

x) výpočet maximálního objemového průtoku po smíšení

Tento výpočet byl proveden na základě vztahů 8.13 a 8.14.

Hmotnostní průtok \dot{m}_{MAX} , který je maximální rychlostí odsávání v ústí sondy a je 16X větší než je hmotnostní průtok v jednotlivých odběrových potrubích.

$$\dot{m}_{MAX} = 16 \cdot 0.0003956 = 0.006329 \text{ [kg / s]} \quad (\text{viz. tab. č. 8})$$

$$\dot{V}_{MAX} = \frac{0.006329}{1.226} = 0.00516 \text{ [m}^3 \text{ / s]} \Rightarrow 309.8 \text{ [l / min]}$$

Při normálních podmínkách $p \approx p_N$

$$\dot{V}_{MAXn} = \dot{V}_{MAX} \cdot \frac{T_N}{T_2}$$

$$\dot{V}_{MAXn} = 309.8 \cdot \frac{273}{293} = 288.7 \text{ [l}_N^3 \text{ / min]} \Rightarrow 17319 \text{ [l}_N^3 \text{ / hod]}$$

y) výpočet místní tlakové ztráty kontrolního rotametru

Podle přílohy číslo.2, kde je uvedena technická dokumentace rotametru KDG, jsou rotometry typu KDF 2268 použity jako dva paralelně zapojené kontrolní rotometry objemového průtoku odběrové trasy. Dále je stanovena rovnice a vypočtena místní tlakové ztráta těchto kontrolních rotometrů.

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle

Diplomová práce

Pro $w_s = 2 \text{ m/s}$ je $\dot{V} = 60.950 \text{ l/min} = 3657.9 \text{ l/hod}$ (viz.tab.č 4).

$$p_{zM5} = 1.09 \cdot 10^{-5} \cdot \left(V \cdot \frac{T_N}{T_2} \right)^2 + 5 \quad (8.19)$$

$$p_{zM5} = 1.09 \cdot 10^{-5} \cdot \left(3657.9 \cdot \frac{273}{293} \right)^2 + 5 = 131.61 \text{ mbar} \Rightarrow 13161 \text{ [Pa]}$$

V tabulce číslo 7 a tabulce číslo 8 jsou uvedeny všechny vypočtené hodnoty místních ztrát. Tyto výpočty byly provedeny na základě vztahů (8.6) – (8.12). Výpočty označené červenou barvou jsou uvedeny v předchozí části.

část To před smísením				místní odpory		
m	V		w ₁	P _{zM1}	P _{zM2}	P _{zM3}
[kg/s]	[m ³ /s]	[l/min]	[Pa]	[Pa]		
0		0	0	0	0	0
1,978E-05	1,613E-05	0,968	0,32	200	241	0,1
3,956E-05	3,227E-05	1,936	0,64	200	481	0,3
5,934E-05	4,840E-05	2,904	0,96	200	722	0,6
7,912E-05	6,453E-05	3,872	1,29	200	962	1,0
9,889E-05	8,066E-05	4,840	1,61	200	1203	1,6
1,187E-04	9,680E-05	5,808	1,93	200	1443	2,3
1,385E-04	1,129E-04	6,776	2,25	200	1684	3,1
1,582E-04	1,291E-04	7,744	2,57	200	1924	4,1
1,780E-04	1,452E-04	8,712	2,89	200	2165	5,1
1,978E-04	1,613E-04	9,680	3,21	200	2405	6,3
2,373E-04	1,936E-04	11,616	3,86	200	2886	9,1
2,769E-04	2,259E-04	13,552	4,50	200	3367	12,4
3,165E-04	2,581E-04	15,487	5,14	200	3848	16,2
3,560E-04	2,904E-04	17,423	5,78	200	4329	20,5
3,956E-04	3,227E-04	19,359	6,43	200	4810	25,3

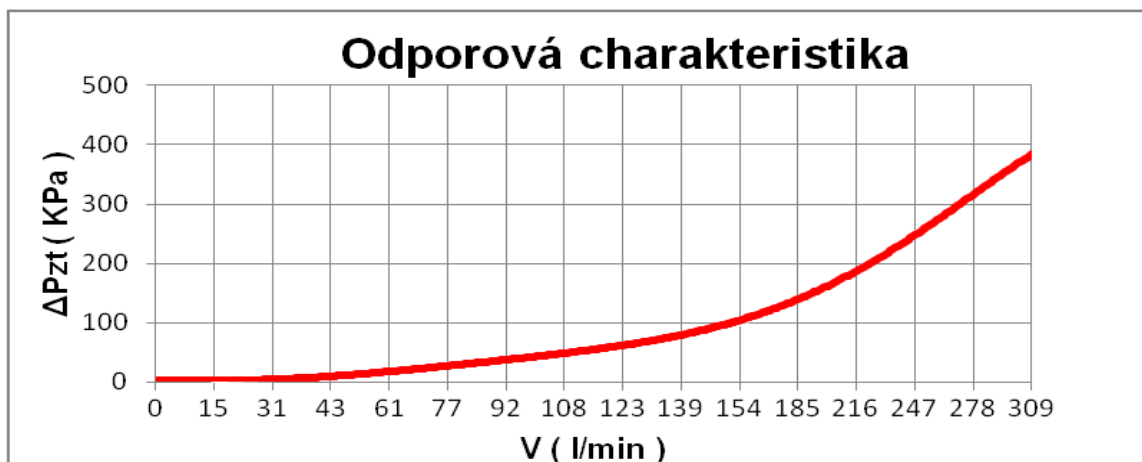
Tab.č.7: Výpočet hodnoty místních tlakových ztrát odběrového potrubí To před smísením

část To po smísení			místní odpory			
m	V		w ₂	w ₃	P _{zM4}	P _{zM5}
[kg/s]	[m ³ /s]	[l/min]	[m/s]	[m/s]	[Pa]	[Pa]
0		0	0,0	0,0	0	0
3,165E-04	2,581E-04	15,487	0,0	5,1	2	1317
6,329E-04	5,162E-04	30,975	0,1	10,3	8	3768
9,494E-04	7,744E-04	46,462	0,2	15,4	18	7854
1,266E-03	1,032E-03	61,950	0,3	20,6	31	13574
1,582E-03	1,291E-03	77,437	0,4	25,7	49	20928
1,899E-03	1,549E-03	92,925	0,5	30,9	70	29916
2,215E-03	1,807E-03	108,412	0,5	36,0	95	40538
2,532E-03	2,065E-03	123,900	0,6	41,1	124	52795
2,848E-03	2,323E-03	139,387	0,7	46,3	158	66686
3,165E-03	2,581E-03	154,875	0,8	51,4	194	82211
3,798E-03	3,097E-03	185,850	0,9	61,7	280	118164
4,430E-03	3,614E-03	216,825	1,1	72,0	381	160654
5,063E-03	4,130E-03	247,800	1,3	82,3	498	209680
5,696E-03	4,646E-03	278,775	1,5	92,6	630	265244
6,329E-03	5,162E-03	309,750	1,6	102,8	778	327344

Tab.č.8: Vypočtené hodnoty místních tlakových ztrát odběrového potrubí To po smísení

8.5 Odporová charakteristika odběrové aparatury

Dopravu vzorku bude zajišťovat membránové čerpadlo. Bude také muset překonat všechny hydraulické odpory v odběrovém potrubí. Tlakovou ztrátu odběrového potrubí dostaneme součtem tlakových ztrát třením a tlakovými ztrátami místního odporu. Na obrázku č.10 je znázorněna odporová charakteristika odběrové aparatury, která byla získána na základě předchozích výpočtů.



Obr.č.10: Odporová charakteristika odběrové aparatury

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalín na výstupu z kotle

Diplomová práce

V tabulce číslo 9 jsou uvedeny jednotlivé tlakové ztráty pro určené rychlosti a jejich součet. Jsou zde uvedeny také objemové průtoky spalín.

w_s	16 x m	V		$p_{zt\ sp}$	$p_{zt\ To}$	$p_{zt\ l4}$	$P_{z\ M1}$	$P_{z\ M2}$	$P_{z\ M3}$	$P_{z\ M4}$	$P_{z\ M5}$	ΔP_{zt}	
[m/s]	[kg/s]	[m ³ /s]	[l/min]	[Pa]								[Pa]	[kPa]
0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0,5	3,165E-04	2,581E-04	15,487	9	2	128	200	241	0,1	2	1317	1,9	
1	6,329E-04	5,162E-04	30,975	17	8	511	200	481	0,3	8	3768	5,0	
1,5	9,494E-04	7,744E-04	46,462	26	19	1149	200	722	0,3	18	7854	10,0	
2	1,266E-03	1,032E-03	61,950	35	33	2042	200	962	1,0	31	13574	16,9	
2,5	1,582E-03	1,291E-03	77,437	44	52	3191	200	1203	1,6	49	20928	25,7	
3	1,899E-03	1,549E-03	92,925	52	75	4595	200	1443	2,3	70	29916	36,4	
3,5	2,215E-03	1,807E-03	108,412	61	102	9254	200	1684	3,1	95	40538	51,9	
4	2,532E-03	2,065E-03	123,900	70	133	8469	200	1924	4,1	124	52795	63,7	
4,5	2,848E-03	2,323E-03	139,387	79	168	10338	200	2165	5,1	158	66686	79,8	
5	3,165E-03	2,581E-03	154,875	87	208	12763	200	2405	6,3	194	82211	98,1	
6	3,798E-03	3,097E-03	185,850	105	299	18379	200	2886	9,1	280	118164	140,3	
7	4,430E-03	3,614E-03	216,825	122	408	25016	200	3367	12,4	381	160654	190,2	
8	5,063E-03	4,130E-03	247,800	140	532	32674	200	3848	16,2	492	209680	247,6	
9	5,696E-03	4,646E-03	278,775	260	674	41353	200	4329	20,5	630	265244	312,7	
10	6,329E-03	5,162E-03	309,750	314	832	51053	200	4810	25,3	778	327344	385,4	

Tab.č.9: celkové vypočtené hodnoty tlakových ztrát odběrové aparatury

8.6 Návrh dopravního čerpadla

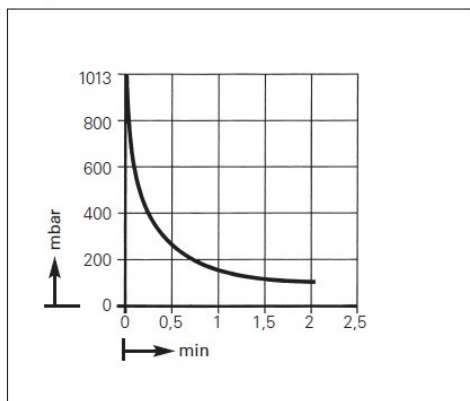
Na základě vypočtených hodnot bylo zvoleno vhodné dopravní čerpadlo. Bylo zvoleno dvoukomorové čerpadlo KNF N 145.1.2.AN.18, které má tyto technické parametry:

Dopravované množství:	55	l/min
Pracovní přetkal:	7	bar
Maximální podtlak na výstupu:	100	mbar _{abs}
Pracovní teplota:	5 – 40	°C
Hmotnost:	15	kg

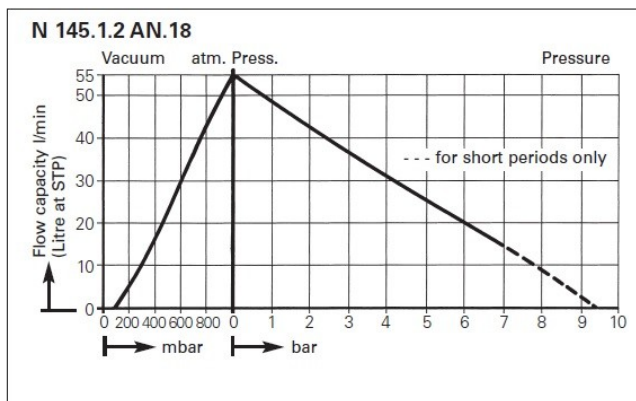
Na základě zjištění technické literatury odběrového čerpadla, která byla poskytnuta výrobcem[15], je na obr.č.11 uvedena tlaková charakteristika čerpadla, doba odběru 20 litrového vzorku při daném podtlaku a na obr.č.12 jsou uvedeny rozměry a tvar přenosného čerpadla. Tyto informace jsou uvedeny také v příloze č. 3.

Dimensions and performance characteristics

Pump down time for 20 l receiver

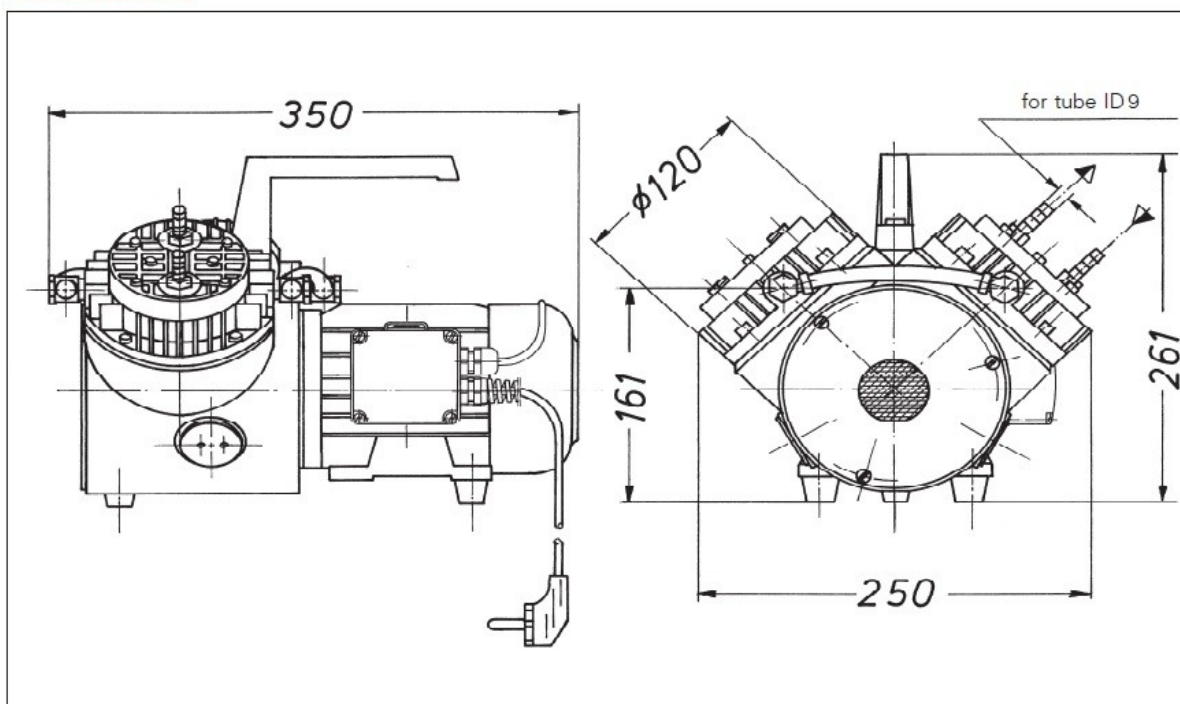


Performance characteristics



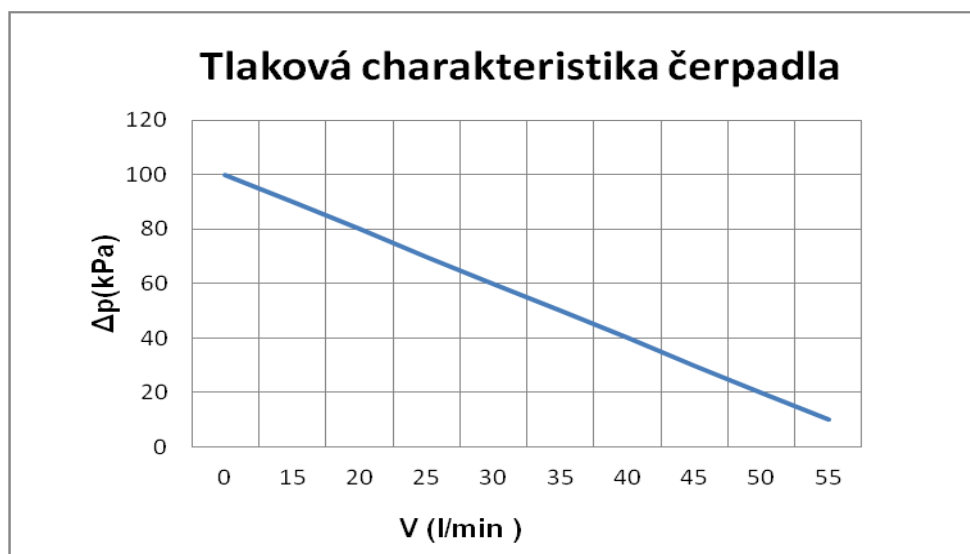
Obr.č.11: Výkonová charakteristika čerpadla KNF N 145.1.2.AN.18

Dimensions (mm)



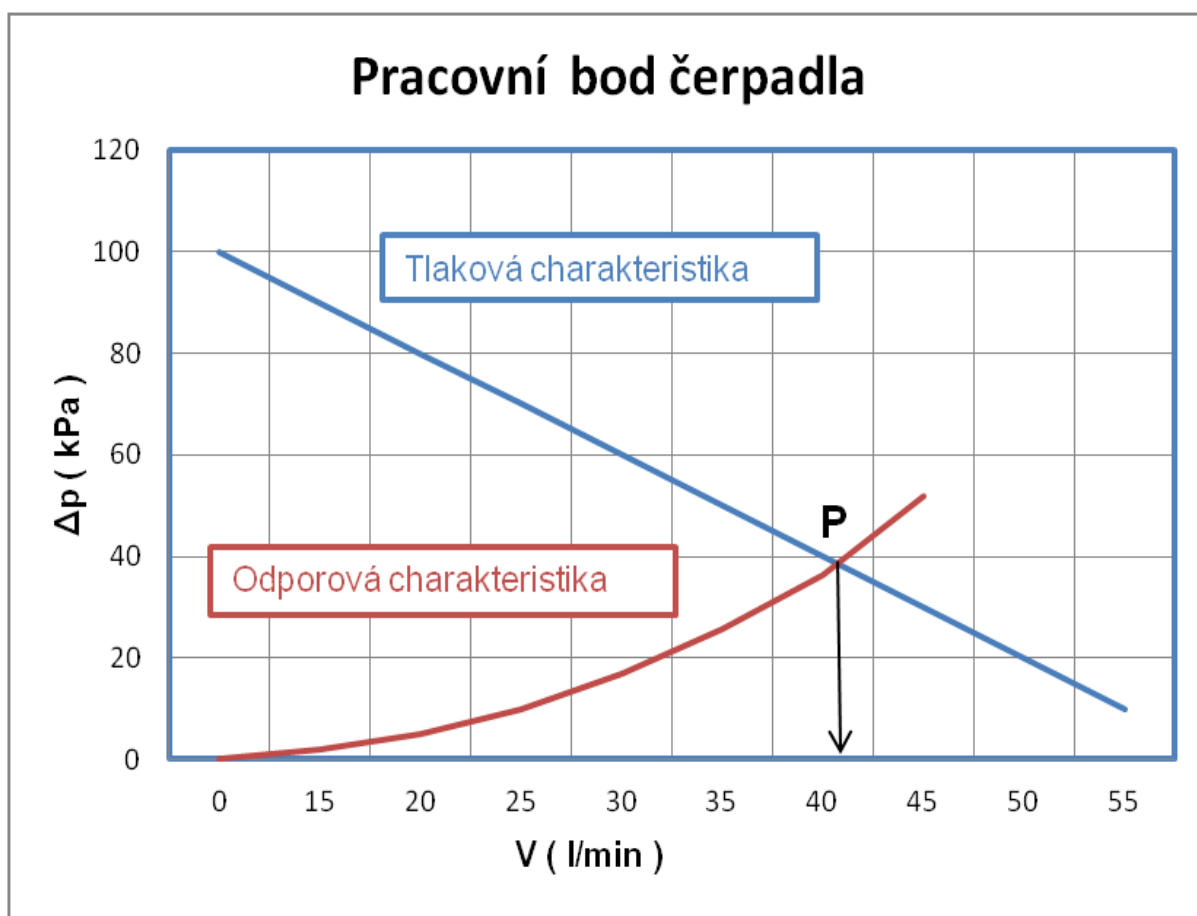
Obr.č.12: Rozměry odběrového čerpadla KNF N 145.1.2.AN.18

Na obr.č.11 je znázorněna tlaková charakteristika odběrového čerpadla KNF N 145.1.2.AN.18. Tato charakteristika byla přepracována do stejného souřadnicového systému a jednotek.



Obr.č.13: Tlaková charakteristika čerpadla KNF N 145.1.2.AN.18

Na základě porovnání tlakové charakteristiky čerpadla KNF N 145.1.2.AN.18 a vypočtené odporové charakteristiky odběrového potrubí byl stanoven pracovní bod čerpadla. Tento bod udává dopravované množství spalín za vypočteného odporu odběrového potrubí.



Obr.č.14: Stanovení pracovního bodu čerpadla

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle

Diplomová práce

Na obr.č.14. je uvedeno stanovení pracovního bodu čerpadla. Jde o provozní bod, při kterém čerpadlo KNF N 145.1.2.AN.18 dodává 41 l/min spalin. Tato hodnota je dostačující k objektivní analýze vzorku spalin a analyzátoru emisí.

8.7 Výpočet dopravního zpoždění

Na základě informací o průměru a délce odběrového potrubí a rozměrech jednotlivých měřících prvků je vypočítán maximální objem. Je to množství spalin, které je odsáto z maximálního počtu měřících bodů. (16 měřících bodů).

Dopravní zpoždění je třeba vypočítat proto, aby bylo možno stanovit potřebnou časovou prodlevu před novým odečtem hodnot koncentrace sledovaných spalin nebo při jakékoliv změně v průřezu měření. Pro tento výpočet byl využit objemový průtok spalin v již získaném pracovním bodě a dále celkový vypočtený objem dopravní trasy odběrové aparatury.

Výpočet celkového objemu dopravních tras:

$$V_C = V_{ODB} + V_{OV} + V_{SPOJ} + V_{SB} + V_{SPOL} \quad [m^3] \quad (8.20)$$

Kde: V_{ODB} - Objem odběrového potrubí $[m^3]$

V_{OV} - Objem filtrů s odlučovačem vody $[m^3]$

V_{SPOJ} - Objem spojovacího potrubí $[m^3]$

V_{SB} - Objem sběrnice $[m^3]$

V_{SPOL} - Objem společného potrubí $[m^3]$

Výpočet jednotlivých objemů:

$$V_{ODB} = 4 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot (L_1 + L_2) \quad [m^3] \quad (8.21)$$

$$V_{ODB} = 4 \cdot \frac{\pi \cdot 0.008^2}{4} \cdot (1.45 + 0.9) = 4.72 \cdot 10^{-4} \quad [m^3]$$

$V_{NÁDRŽE} = 22 \text{ cm}^3$ (příloha č. 1)

$$V_{OV} = 16 \cdot V_{NÁDRŽE} \quad [m^3] \quad (8.22)$$

$$V_{OV} = 16 \cdot 0.000022 = 3.52 \cdot 10^{-4} \quad [m^3]$$

Návrh kontinuálního monitoringu složení spalin na výstupu z kotle

Diplomová práce

$$V_{\text{SPOJ}} = 16 \cdot \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \cdot L_3 \quad [\text{m}^3] \quad (8.23)$$

$$V_{\text{SPOJ}} = 16 \cdot \frac{\pi \cdot 0.008^2}{4} \cdot 3 = 2.41 \cdot 10^{-3} \quad [\text{m}^3]$$

$$V_{\text{SB}} = \frac{\pi \cdot d_s^2}{4} \cdot L_S \quad [\text{m}^3] \quad (8.24)$$

$$V_{\text{SB}} = \frac{\pi \cdot 0.06^2}{4} \cdot 0.2 = 5.65 \cdot 10^{-4} \quad [\text{m}^3]$$

$$V_{\text{SPOJ}} = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \cdot L_4 \quad [\text{m}^3] \quad (8.25)$$

$$V_{\text{SPOJ}} = \frac{\pi \cdot 0.008^2}{4} \cdot 2 = 1.01 \cdot 10^{-4} \quad [\text{m}^3]$$

Výpočet celkového objemu dopravních tras dle (8.19):

$$V_C = 4.72 \cdot 10^{-4} + 3.52 \cdot 10^{-4} + 2.41 \cdot 10^{-3} + 5.65 \cdot 10^{-4} + 1.01 \cdot 10^{-4} \quad [\text{m}^3]$$

$$V_C = 3.9 \cdot 10^{-3} \quad [\text{m}^3] \Rightarrow 3.9 \quad [\text{dm}^3]$$

Na základě známého objemového průtoku spalin v odběrovém čerpadle v provozním bodě, který je 41 l/min. můžeme určit dopravní zpoždění.

$$T_d = \frac{V_C}{41} \cdot 60 \quad [\text{s}] \quad (8.26)$$

$$T_d = \frac{3.9}{41} \cdot 60 = 5.7 = 6 \quad [\text{s}]$$

Z následujícího výpočtu je zřejmé, že potřebná prodleva před dalším odečtem hodnot koncentrace sledovných spalin, po každé změně v průběhu měření, musí být časová prodleva větší než 6 s.

9 Ekonomické zhodnocení navržené varianty

V závěrečné kapitole bylo provedeno ekonomické zhodnocení navržené varianty. Byly zjištěny ceny rotametrů, filtrů s odlučovačem kondenzátu a spojovacího a odběrového potrubí. Ceny odběrové sondy, sběrné trubice a příruby byly zjištěny na základě nacenění u firmy Mattech, která se touto výrobou zabývá. V tab.č.10 jsou uvedeny ceny všech potřebných komponentů. V diplomové práci nebylo řešeno umístění těchto komponentů například do odběrné skříně, protože to nebylo cílem diplomové práce. Tato záležitost je čistě na provozovateli, jakým způsobem mu bude umístění navržené varianty vyhovovat. Také nebyla řešena volba vhodného analyzátoru, protože je na trhu mnoho přístrojů za různých finančních podmínek. Proto volba vhodného analyzátoru bude také čistě na provozovateli.

Komponent	Počet	Jednotka	Cena
			[Kč]
Teflonové hadičky PTFE 8X1	19	m	2613
Spojovací silikonové potrubí	50	m	4900
Filtr TZL s odvodem kondenzátu SFD - ¼ - 1D	16	ks	10448
Plováчковý průtokoměr KDG – 2251	16	ks	165760
Kontrolní rotametr KDG – 2268	2	ks	34760
Odběrová sonda	8	ks	24867
Příruba	8	ks	17036
Sběrnice	1	ks	5628
Spojovací materiál (šroub, podložky, matice)	64	ks	576
Odběrové čerpadlo	1	ks	53901
Celkem			320489

Tab.č.10: Celkové náklady na navrženou variantu

10 Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout kontinuální monitoring spalin na výstupu z kotle. Tento úkol byl aplikován na reálném zařízení a to na kotli K3 v energetice Třinec. V teoretické části práce seznamuje s legislativou v ochraně ovzduší, s možnostmi a principy odběru a měření emisí a se stanovením účinnosti kotlů ve vztahu ke složení spalin.

V praktické části bylo na začátku seznámeno s metodikou stanovení měřících míst pro složení spalin na výstupu z kotle a následně byla tato metoda aplikována na zadaném zařízení. Následně byl proveden výběr měřících prvků a byla navržena nová konstrukční řešení, která jsou uvedena v podobě technické dokumentace v příloze. Pro potřebný výsledek byl na navržené variantě proveden hydraulický výpočet a následně stanovena odporová charakteristika navržené varianty. Na základě tohoto výpočtu bylo zvoleno vhodné dopravní čerpadlo vzorku a byl stanoven pracovní bod.

V neposlední řadě bylo provedeno technicko – ekonomické zhodnocení navržené varianty. Jde především o výpočet celkových nákladů na sestavení navržené varianty. Tato navržená varianty je čistě teoretická a není prakticky aplikovaná na žádném zařízení.

Přínosem práce je teoretické navržení měřící aparatury, která zajistí zpřesnění, urychlení a optimalizaci metody, která se pro stanovení průměrné koncentrace škodlivin využívá.

11 Seznam použité literatury

- [1] RAJNAK I: Tepelno energetické a emisné marania. Ister Science, Bratislava 1997, ISBN 80-88683-20-3
- [2] BARTOVSKÝ T: Analyzátoary emisí. VUSTE Servis s.p., Praha, duben 1994.
- [3] OCHODEK T: Technik měření emisí. Skripta VŠB 2003, ISBN 80-248-0354-2.
- [4] NOVÝ R: Technika prostředí. Skripta ČVUT 2006, ISBN 80-01-03492-5.
- [5] DRÁBKOVÁ S: Mechanika tekutin. Skripta VŠB 2007, ISBN 978-80-248-1508-4.
- [6] SZÉKYOVÁ M, FERSTL K, NOVÝ R: Větrání a klimatizace. JAGA Group, s.r.o., Bratislava, 2006, ISBN 80-8076-037-3.
- [7] KADLEC Z: Průvodce sdílením tepla pro požární specialisty. Skripta VŠB 2009. ISBN 978-80-7385-061-6
- [8] Zákon MŽP ČR č. 201/2012 Sb. O ochraně ovzduší
- [9] Vyhláška MŽP ČR č 205/2009 Sb. O zjišťování emisí ze stacionárních zdrojů a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší.
- [10] ČSN ISO 9096: Stacionární zdroje emisí – Stanovení hmotnostní koncentrace a hmotnostního toku tuhých částic v potrubí – manuální gravimetrická metoda. Praha 1998.
- [11] ČSN ISO 10396: Stacionární zdroje emisí – Odběr vzorku pro automatizované stanovení hmotnostních koncentrací plynných složek. Praha 1998.
- [12] ČSN ISO 7935: Stacionární zdroje emisí – Stanovení hmotnostní koncentrace emisí oxidu siřičitého – Charakteristiky automatizovaných měřicích metod. Praha 1998
- [13] ČSN ISO 070305: Hodnocení kotlových ztrát. Praha 1983
- [14] VÝTISK.T: Vývoj aparatury pro síťovou kontinuální analýzu vybraných složek spalin. Disertační práce VŠB 2010
- [15] Internet: www.gumex.cz www.hoerbiger.com
www.omegaeng.com www.knf.de
www.kobolt.com www.tzb-info.cz
www.ecomonitoring.com

12 Přílohy

Příloha č. 1 Filtr s odvodem kondenzátu

Příloha č. 2 Rotametry KDG

Příloha č. 3 Odběrové čerpadlo

Příloha č. 4 Technická dokumentace

DP – 01 – 01 Sběrná trubice

DP – 01 – 02 Odběrová sonda

DP – 01 – 03 Příruba