

Technická univerzita v Liberci

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových
inženýrských studií

Studijní program: N 2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 3906T001 – Mechatronika

Měření tlaku, teploty a průtoku při filtraci spalin

Measurement of pressure, temperature and flow rate in a high-temperature filtration channel

Diplomová práce

Autor:	Bc. Martin Štěpán
Vedoucí práce:	Ing. Petr Šidlof, Ph.D.
Konzultant:	Ing. Petr Hošek

V Liberci 18. 05. 2012

!!! SEM vložit originál zadání práce ... !!!

1. Seznamte se s technologií čištění odpadních plynů ve spalovně komunálního odpadu Termizo a.s. Zaměřte se zejména na technické řešení katalytické destrukce polychlorovaných dibenzo-dioxinů a furanů PCDD/F.
2. Seznamte se s vlastnostmi a charakteristikami snímačů pro měření teploty, tlaku a průtoku použitelnými při měření vlastností materiálů pro filtraci spalin a katalytickou destrukci PCDD/F.
3. Na laboratorní měřicí trati TUL analyzujte rušivé vlivy při přenosu analogových signálů z teplotních, tlakových a průtokových čidel a pokuste se je eliminovat.
4. Ve spolupráci s dalšími řešiteli projektu MPO TIP FR-TI1/457 "Výzkum a vývoj nanomateriálů pro filtraci - snížení emisí ze spalin a průmyslových plynů" realizujte experimentální trať pro měření účinnosti filtračních materiálů instalovanou přímo v technologii spalovny Termizo a.s. Trať vybavte měřicí technikou a oživte.
5. Seznamte se s vývojovým prostředím LabVIEW a jeho koncepcí programování (Data Flow). Nastudujte praktické použití stavových automatů, teorie front, koncepce sběru dat pomocí multifunkčních měřících karet, metod synchronizace částí kódu pro potřeby tvorby aplikací pro měření.
6. V prostředí NI LabView naprogramujte jednoduchý software pro prohlížení naměřených dat, umožňující načítání textových souborů kompatibilních s aplikací UMA.

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Poděkování

Rád bych touto formou poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Petru Šidlofovi, Ph.D. za poskytnuté rady a odborné vedení. Dále každému, kdo mi jakýmkoli způsobem pomohl nebo poradil s řešením problémů, které při mé práci nastaly. Poděkování však patří i mé rodině za podporu během studia.

Anotace

Při vývoji nových katalyticky aktivních filtračních materiálů s nanovláknennou vrstvou pro aplikace v průmyslovém čištění odpadních plynů je nutné sledovat tepelnou, mechanickou a kombinovanou stabilitu těchto materiálů. V rámci diplomové práce byly zvoleny měřicí přístroje a snímače pro měření teploty, tlaku a průtoku použitelné při vyhodnocení účinnosti katalytické destrukce nanomateriálových filtrů.

Součástí práce je popis laboratorní spalínové trati a identifikace problematické části měřicího řetězce, způsobující zašumění analogových signálů. Dalším bodem je popis a konstrukce provozní spalínové trati pro měření účinnosti katalytických filtračních materiálů za vysokých teplot, která je umístěná ve spalovně komunálního odpadu Termizo a.s. Posledním bodem práce je vytvoření jednoduchého prohlížeče ve vývojovém prostředí Labview, pro zobrazení datových souborů vytvořených pomocí měřicí aplikace UMA.

Klíčová slova: PCDD/F destrukce, šum, měření teploty, tlaku, průtoku, Labview

Abstract

During development of new catalytic active filtering materials with nanofiber layers for use in industrial waste gas cleaning it is necessary to monitor thermal, mechanical and combined stability of these materials. In this diploma thesis, there were selected measuring devices with sensors for measuring high temperature, pressure and flow rate, which were used for measuring efficiency of catalytic destruction of nanomaterial filters. Part of thesis covers description of laboratory high temperature setup and identification of the problematic part of the apparatus which shows unexpected signal noise. Next part is description and construction of operation combustion setup, which is placed in municipal waste incinerator Termizo. The setup is designed for measurement of efficiency of catalytic destruction of organic chemicals on filters with active components at high temperatures.

Last section of this thesis contains description of newly created viewer in graphical development environment Labview, which serves for displaying files created by universal measuring application UMA.

Keywords: PCDD/F destruction, noise, measurement of temperature, pressure, flow rate, Labview

Obsah

Prohlášení.....	3
Poděkování.....	4
Anotace	5
Abstract.....	5
Seznam obrázků.....	8
Seznam tabulek	9
Seznam symbolů	9
Seznam zkratk	10
Úvod.....	11
1 Popis technologie vzniku a čištění spalin	12
2 Snímače a převodníky.....	16
2.1 Měření teploty.....	16
2.2 Měření tlaku.....	19
2.3 Měření průtoku	21
2.4 Sběr dat	26
3 Programovací prostředí LabVIEW	28
3.1 LabVIEW	28
3.2 Uživatelské rozhraní	28
3.3 Datové typy.....	30
3.4 Shift registry	31
3.5 Data flow.....	31
3.6 Paralelismus	31
3.7 Použití LabVIEW	32
3.8 Statechart	32
4 Laboratorní spalínová trať TUL.....	33
4.1 Popis trati	33
4.2 Technické provedení trati	35
4.3 Analýza rušivých vlivů	37
4.4 Detekce a eliminace rušení	40

5	Provozní spalínová trať v Termizo a.s.	45
5.1	Podstata filtračně-kompenzační metody	45
5.2	Celkový popis zařízení	46
5.3	Technické provedení provozní trati	49
5.4	Varianty chlazení spalin	52
5.5	Ověření funkčnosti aparatury	58
6	Prohlížeč datových souborů z aplikace UMA	63
6.1	Požadavky na prohlížeč	63
6.2	Řešení vlastního programu	64
6.3	Zhodnocení programu	65
6.4	NI DIAdem	66
	Závěr	68
	Seznam použité literatury	69
	Příloha A - Struktura UMA souboru	72
	Příloha B - Protokol o měření na laboratorní spalínové trati	74
	Příloha C – Schéma zapojení provozní spalínové trati v Termizo a.s.	77
	Příloha D - Konstrukční části provozní spalínové trati	78
	Příloha E – Legenda ke spalínovým tratím	80
	Příloha F – Viewer 1.0 VI hierarchie	82
	Příloha G - Obsah CD-ROM	83

Seznam obrázků

Obr. 1.1 Základní schéma spalovny TERMIZO a.s.....	13
Obr. 1.2 Blokové schéma spalovny	15
Obr. 2.1 Blokové schéma tlakoměru s elektrickým výstupem	19
Obr. 2.2 Piezorezistivní čidlo tlaku.....	20
Obr. 2.3 Bubnový plynoměr	22
Obr. 2.4 CompactDAQ 9172	26
Obr. 3.1 Front panel	29
Obr. 3.2 Block diagram.....	29
Obr. 3.3 Datové typy.....	30
Obr. 4.1 Sestava laboratorní aparatury.....	34
Obr. 4.2 Schéma laboratorní aparatury	36
Obr. 4.3 Průběh průtoku.....	37
Obr. 4.4 Průběh tlakového spádu	38
Obr. 4.5 Průběh teploty	38
Obr. 4.6 Blokové schéma elektrické soustavy	39
Obr. 4.7 Napájecí adaptér	40
Obr. 4.8 Blokové schéma testovacího zapojení	41
Obr. 4.9 Průběh testování ústředny	42
Obr. 4.10 Zarušený testovací průběh	42
Obr. 4.11 Částečné odrušený testovací průběh	43
Obr. 4.12 Odrušený testovací průběh.....	43
Obr. 5.1 Metoda filtračně-kondenzační	45
Obr. 5.2 Upravená filtračně-kondenzační metoda	46
Obr. 5.3 Provozní aparatura	47
Obr. 5.4 Chladicí část trati	48
Obr. 5.5 Schéma zapojení provozní aparatury	49
Obr. 5.6 Schéma chlazení provozní aparatury	51
Obr. 5.7 Aparatura NOPAR X.....	53
Obr. 5.8 Chlazení Peliterovými články	56
Obr. 5.9 Chlazení spirálovými chladiči	58
Obr. 5.10 Průběh průtoků D-203	59
Obr. 5.11 Průběh tlaků D-203	59

Obr. 5.12 Průběh teplot D203	60
Obr. 5.13 Průběh průtoků D-208	61
Obr. 5.14 Průběh tlaku předfiltr D-208.....	61
Obr. 5.15 Průběh tlaku filtr D-208.....	61
Obr. 5.16 Průběh teplot D-208.....	62
Obr. 6.1 Uživatelské prostředí Viewer.....	65
Obr. 6.2 Detail kurzoru	65
Obr. 6.3 Uživatelské prostředí DIAdem	67

Seznam tabulek

Tab. 1 Druhy termočlánků	17
Tab. 2 Základní parametry průtokoměru Testo.....	25
Tab. 3 Parametry bubnového plynoměru	25
Tab. 4 Porovnání měření D-203 a D-208.....	62

Seznam symbolů

V	Volt – napětí
A	Ampér – proud
ppm.....	částic na jeden milion
Nm ³ /h.....	normální objemový průtok
NI/min.....	normální průtok
Nm ³	normální kubický metr
ng/Nm ³	koncentrace
°C.....	stupeň celsia – teplota
kS/s.....	počet kilovzorků za sekundu
Hz.....	Hertz – frekvence
bit	jednotka informace

Seznam zkratk

AC	Střídavý
A/D	Analogový/Digitální
ČSN	Československá Státní Norma
DAQ	Data Acquisition, zpracování, získávání dat
DC	Stejnoseměrný
EN	Evropská Norma
FTP	Stíněná kroucená kabeláž
GND	Ground, zemnicí
HD	High Definition, vysoké rozlišení
I-TEQ	Mezinárodní toxický ekvivalent
I/O	Input/Output, vstupní / výstupní
LabVIEW	Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench
LED	Light Emitting Diode
NI	National Instruments
PC	Personal Computer
PCB	Polychlórovaný bifenyly
PCDD/F	PolyChlorovaný Dibenzo-Dioxin / Furan
PLC	Programmable Logic Controller
PTFE	Polytetrafluorethylen (teflon)
PUF	PU Foam/Polyurethanová pěna
PVC	Polyvinylchlorid
RS232	Sériová komunikační linka
SCR	selektivní katalytická redukce
SNCR	selektivní nekatalytická redukce
TEQ	Toxický Ekvivalent
UMA	Universal Measurement Application
UML	Unified Modeling Language
USB	Universal Serial Bus
VI	Virtual instrument
Vpp	Napětí špička – špička
WiFi	Bezdrátové připojení k síti

Úvod

Nanotechnologie je jedna z nejperspektivnějších oblastí 21. století. Během posledních let je do rozvoje této oblasti investováno stále více finančních prostředků a jejich aplikace proniká do stále většího množství vědních a průmyslových oborů. Jedním ze směrů využití se zabývá výzkumný projekt MPO TIP FR-TI1/457 „Výzkum a vývoj nanomateriálů pro filtraci – snížení emisí ze spalín a průmyslových plynů“. Jak již samotný název napovídá, cílem tohoto projektu je vyvinout alternativu nebo alespoň vylepšení stávajících filtračních materiálů za využití vysokého povrchu nanovlákných vrstev pro provoz spaloven komunálního odpadu. Liberecká spalovna Termizo a.s., se kterou Technická univerzita v Liberci spolupracuje, nyní využívá technologii filtrace a destrukce látek PCDD/PCDF. Filtrace odpadních plynů a spalín je průmyslově důležitý proces využívající nasazení speciálních teplotně a chemicky odolných materiálů. Aby bylo možné využít a testovat nové filtrační materiály na bázi nanovláken, které mohou přinášet lepší filtrační schopnosti nebo menší pořizovací či provozní náklady, je nutné zajistit takové zkušební podmínky, které se budou co nejvíce podobat reálnému provozu.

Cílem diplomové práce je řešení tří dílčích problémů spojených s konstrukcí zařízení, která budou v laboratorních a provozních podmínkách ověřovat filtrační vlastnosti nanomateriálových filtrů. Na sestavené experimentální spalínové laboratorní trati bylo nutné analyzovat rušivé vlivy působící na přenos analogových signálů z teplotních, tlakových a průtokových senzorů, a následně zajistit eliminaci těchto jevů.

Další částí byla spolupráce na konstrukci provozní spalínové trati pro měření účinnosti filtračních materiálů, instalované na odbočce spalínovodu ve spalovně komunálního odpadu Termizo a.s. Mým primárním úkolem bylo vybavení trati měřicí a regulační technikou a následné oživení měřicího systému.

Pro prohlížení naměřených průběhů zaznamenaných ve spalovně pomocí UMA aplikace byl vytvořen software ve vývojovém prostředí LabView, který umožňuje načtení datových souborů.

Teoretická část práce je zaměřena na popis technologie vzniku a čištění spalín, výběr vhodných typů měřicích přístrojů a snímačů pro měření teploty, tlaku a průtoku použitelných při měření filtrů.

1 Popis technologie vzniku a čištění spalin

Ve spalovně komunálního odpadu TERMIZO a.s. je instalováno spalovací zařízení, které je složeno z roštu, hydraulického dávkovače odpadu a topeniště. Základní schéma spalovny je na Obr. 1.1. Regulace výkonu spalování je plně automatická, díky čemuž je zajištěna vysoká kvalita strusky, optimální vyhoření odpadu a minimální množství polévatého prachu a popílku. Technologický proces je uzpůsoben tak, že struska je z podroštu odváděna odstruskovačem přes vodní lázeň do bunkru strusky, kde je smíchávána s již vypraným popílkem. Za běžného provozu se spaluje pouze odpad. Při najíždění a odstavování spalovacího procesu se používá zemní plyn, aby nevznikaly škodlivé složky ve spalinách. Hořáky zemního plynu se dále automaticky zapínají, pokud teplota v dohořivací komoře klesne pod hodnotu 850 °C.

Na spalovací zařízení dále navazuje parní kotel, který se spalovacím zařízením tvoří jeden agregát. Spalovací teplota na roštu je podle aktuálního výkonu v rozmezí cca 900 – 1130 °C, v dohořivací zóně za spalovací komorou činí teplota 850 – 950 °C při setrvání spalin v tomto prostoru po dobu minimálně 2 s. Kotel je čtyřtahového provedení a skládá se ze tří vertikálních sálavých tahů a z jednoho vodorovného tahu konvekčního. Tlakový systém kotle je tvořen parním bubnem, zavodňovacím potrubím, komorou výparníku a varnými trubkami. Vytvářená pára má tlak o velikosti 43 bar (4,3 MPa) a teplotu 430 °C.

Kotel je napájen napájecí vodou, která se přivádí jako demivoda z čerpacích stanic, které jsou instalovány v sousední teplárně. Medium prochází přes ohřívací systém do napájecí nádrže, kde je voda chemicky upravována a dohřívána na teplotu 130 °C.

Do spalovací komory (první a druhý vertikální tah kotle), kde probíhá selektivní nekatalytická redukce (SNCR) oxidů dusíku (NO_x), je dávkován 25% roztok čpavkové vody. Redukce se uskutečňuje v teplotním rozsahu 850 – 950 °C.

Popílek (prach) je odlučován z druhého a třetího vertikálního tahu a ze čtvrtého vodorovného tahu gravitačně. Zde je místo pro možný odběr vzorků částečně čištěných spalin od prachu a oxidů dusíků. [1]

Výstup ze čtvrtého tahu kotle je zároveň vstupem do elektrofiltru, kde začíná první fáze filtrace spalin při teplotě 180 – 230 °C. Popílek obsažený ve spalinách se odlučuje v elektrofiltru a z výsypek na jeho spodní části je transportován k další úpravě do chemického čištění vyluhováním.

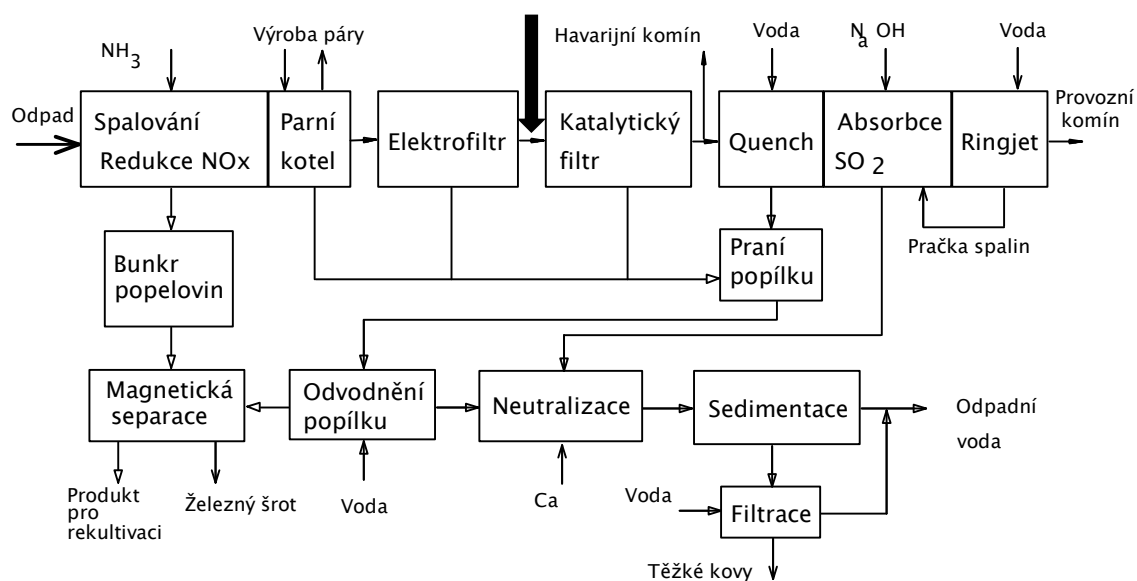
Na výstup elektrofiltru navazuje vstup do katalytického dioxinového filtru, kde je umístěn textilní filtr Remedix, který zajišťuje dostatečnou destrukci chlorovaných organických látek typu PCDD/F. Tento technologický proces je nazýván Dediox. Na filtru Remedix se ještě zachytí zbytkový popílek, který prošel elektrofiltrem. Tento odloučený popílek je zpracováván společně s popínkem z elektrofiltru a kotle. Spaliny z procesu Dediox pokračují dále do pračky spalin, kde probíhá čištění od dalších znečišťujících anorganických složek.

Pračka spalin slouží pro čištění spalin mokrým procesem ve třech stupních. První stupeň nazývaný též "ochlazovač" (QUENCH) – ochladí horké spaliny vstřikováním prací vody na teplotu přibližně 60 °C, kouřové plyny jsou nasycovány vodou, která pohlcuje největší díl plynných kyselin. Zde probíhá kondenzace plynných oxidů kovů, například rtuti, přičemž se hrubší pevné nečistoty dostávají do provozní vody, kde jsou v následném stupni pračky odstraněny.

Druhý stupeň – absorpce oxidu siřičitého ze spalin. Výplň pračky zajistí intenzivní styk mezi spalinami a změkčenou vodou s regulovaným dávkováním louhu sodného. Spaliny směřují zdola nahoru, prochází výplní proti proudu prací vody. Tím dochází k výměně látek a odstranění oxidu siřičitého ze spalin při hodnotě prací vody pH 6.

Třetí stupeň – tryskový okruh (Ringjet) zajistí odlučování prachu a aerosolů (nejmenších částic) a je navržen tak, že kolmým rozstřikováním vody ke směru proudění spalin se dosáhne vysokého stupně odlučování. Používá se zde užitková voda. Teplota spalin na výstupu z pračky je cca 65 °C. Vyčištěné spaliny jsou odvedeny provozním komínem, kde jsou kontinuálně měřeny emise, do ovzduší.

Při výpadku pračky spalin nebo při výpadku elektrické energie se automaticky převedou spaliny do nouzového komína. Vstup odpadu do spalovacího procesu se zároveň zastaví a jen spaliny z dohoření odpadu ve spalovací komoře jsou odváděny do ovzduší. [1]



Obr. 1.2 Blokové schéma spalovny

V kapitole 5.2 je podrobně popsána konstrukce testovací aparatury pro filtrační materiály, která je dle Obr. 1.2 připojena na spalínovod mezi elektrofiltrem a katalytickým filtrem (v obrázku je přípojně místo vyznačeno tučnou šipkou).

2 Snímače a převodníky

V této kapitole budou stručně uvedeny typy měřících přístrojů použitelných při filtraci spalín a popsány jednotlivě zvolené snímače. Mezi hlavní požadavky na měřící přístroje použité v průmyslovém prostředí spalovny patří snadná čitelnost měřených hodnot obsluhou. To znamená volit takové přístroje, které mimo výstupu pro externí ukládání měřených hodnot obsahují také vlastní zobrazovací jednotku. Dalším kritériem pro výběr jsou finanční náklady na pořízení a provoz jednotlivých zařízení.

2.1 Měření teploty

Teplota je jednou z nejdůležitějších veličin ovlivňující téměř všechny stavy a procesy v přírodě. Základní jednotkou termodynamické teploty T je kelvin [K], definovaný jako 273,16-tá část termodynamické teploty trojného bodu vody. Pro praxi je však nepostradatelnou stupnice Celsiova, označována t , jednotkou je stupeň Celsia [$^{\circ}\text{C}$]. Převod mezi termodynamickou a Celsiovou stupnicí pak vyjadřuje následující vztah: $t [^{\circ}\text{C}] = T [\text{K}] - 273,15$

V současné době se pro praktickou realizaci termodynamické teploty a následnou kalibraci používá Mezinárodní teplotní stupnice ITS-90 (International Temperature Scale of 1990). ITS-90 definuje Mezinárodní Kelvinovu teplotu (T_{90}) a Mezinárodní Celsiovu teplotu (t_{90}). Vztah mezi oběma teplotami je jako u T a t . [2]

Aby byly splněny základní požadavky na měřící přístroje, je výběr zařízení pro měření teploty omezen na elektrické teploměry, tj. takové snímače teploty, které transformují teplotu na elektrický signál (proud, napětí nebo odpor). Dalším parametrem je měřicí rozsah teploměru, který musí dle provozních předpokladů obsahovat rozmezí hodnot $0 - 250\text{ }^{\circ}\text{C}$. A v neposlední řadě by měl být brán zřetel na odolnost senzoru v agresivním prostředí spalín.

Teplotní snímač tvoří nejdůležitější součást jakéhokoliv přístroje na měření teploty. Zde se totiž odehrává přeměna teploty měřeného média na elektrickou veličinu, která je dále zpracovávána a vyhodnocena elektronikou měřícího přístroje. Právě použitý senzor teploty rozhoduje o přesnosti celého měřícího zařízení, stejně jako o měřicím rozsahu nebo rychlosti měření. Pro pokročilou elektroniku v podobě mikroprocesoru pak již není problém získaný elektrický signál dále zpracovat s přesností a rychlostí, která již prakticky žádný z parametrů senzoru nezhorší.

Teplotní čidla využívají pro převod teploty na elektrickou veličinu různých principů. Níže jsou uvedeny základní druhy snímačů použitelné pro sledování teploty na spalínových tratích.

2.1.1 Odporové teplotní snímače

Odporové teplotní čidlo využívá vlastnosti kovů a polovodičových materiálů, u kterých se elektrický odpor mění s teplotou. Z kovů se v technické praxi používá zejména platina, nikl a měď. Běžně užívané jsou zejména platinové teplotní snímače PT100 a PT1000. Odporové snímače teploty se používají zejména pro přesnější měření teploty než například termočláanky, na rozdíl od termočláneků však mají všeobecně menší měřicí rozsah. Pro měření teploty na spalínových tratích dostatečně vyhovují snímače typu PT100 s rozsahem teplot $-50 - 400\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nevýhodou odporových snímačů může být i jejich zapojení, které je pro lepší dosažení výsledků povětšinou čtyřvodičové. Protože je cena jednoho takového snímače trojnásobně vyšší než cena termoelektrických snímačů podobných parametrů, bylo od odporových teplotních čidel ustoupeno.

2.1.2 Termočláneková teplotní čidla

Snad nejrozšířenější skupinou jsou termočláneková čidla, tedy teplotní snímače využívající teplotní závislosti termoelektrického napětí, které vzniká na rozhraní dvou různých kovů. Značení a materiály nejběžnějších termočláneků jsou uvedeny v Tab. 1 uvedené níže.

Tab. 1 Druhy termočláneků

Typ termočláunku	Materiály	Rozsah použití [$^{\circ}\text{C}$]
B	Pt30Rh-Pt6Rh	0 až 1700
E	NiCr - CuNi	-200 až 900
J	Fe - CuNi	0 až 800
K	NiCr - NiAl	-200 až 1250
R	Pt13Rh - Pt	0 až 1450
S	Pt10Rh - Pt	0 až 1450
T	Cu - CuNi	-200 až 350

Převzato z [3]

V praxi je používaných kombinací kovů více, ale za nejrozšířenější lze označit termočlánky typu K. Ty jsou základem snad většiny běžně používaných univerzálních teploměrů.

Pro měření teplot byly vybrány následující termočlánky typu K s označením

GTF300	NiCr-Ni
GMF250	NiCr-Ni

GTF300 je drátový snímač pro velmi rychlá měření teploty vzduchu, plynů, kapalin a malých ploch. Měřicí rozsah senzoru má rozmezí $-65 - +300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Doba odezvy činí cca 0,3 s. Vedení termočlánku je tvořeno zkroucenými vodiči průměru 0,2 mm s teflonovou izolací, díky čemuž je snímač velmi flexibilní. Na objednávku lze navíc snímač koupit v požadované délce až do 50 metrů a vyhnout se tak dalšímu nastavování pomocí prodlužovacího vedení. Pro potřebu spalínové trati byly zakoupeny dva snímače v délce 3 m.

Snímač GMF250 je totožný s typem uvedeným v předchozím odstavci s rozdílem v maximální měřitelné teplotě, která je u tohoto senzoru $+250\text{ }^{\circ}\text{C}$. Spoj termočlánku je navíc obepnut magnetickým držákem pro snadné upevnění při měření povrchové teploty ocelových předmětů.

2.1.3 Teploměr Greisinger GMH 3210

Je ruční přístroj určený pro všechny aplikace měření teploty, které vyžadují přesné a rychlé měření. Podporuje připojení libovolného termočlánku typu K, J, N, S nebo T. Rozlišení přístroje je $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebo $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, dle rozsahu připojeného senzoru. Teploměr obsahuje velký LCD display, pro zobrazení teploty, mezních hodnot, atd. Datový výstup je zprostředkován pomocí 3,5 mm stereo JACK konektor, který lze označit za nejhorší součást přístroje. Konektor není v těle teploměru pevně mechanicky zajištěn, díky čemuž může při manipulaci s kabeláží nebo samotným teploměrem docházet k výpadkům v komunikaci s externím zařízením. V menu přístroje lze zvolit, zda bude použita komunikace sériovým rozhraním RS232 nebo napětíovým analogovým výstupem 0 - 1 V. [4]

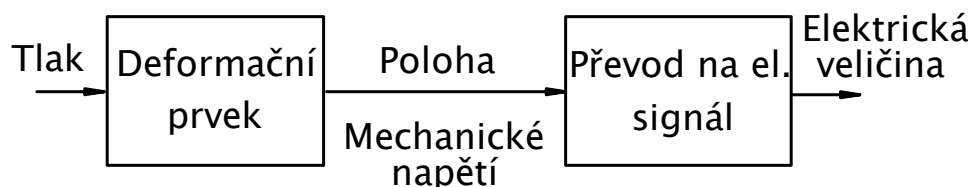
2.2 Měření tlaku

Tlak (p) vyjadřuje plošný účinek síly a je určen diferenciálním podílem síly a plochy k ní kolmé (viz vzorec 1).

$$p = \frac{dF}{dS} \quad (\text{Pa}) \quad (1)$$

Hlavní jednotkou tlaku je Pascal [Pa]. Je to tlak, který vyvolá síla jednoho newtonu rovnoměrně rozložená na ploše 1 m^2 , kolmé ke směru síly. Přístroje pro měření tlaku se nazývají tlakoměry. Tlakoměry na měření přetlaků se označují zpravidla jako manometry, na měření podtlaků jako vakuometry a na měření tlakových rozdílů jako diferenční tlakoměry. Výběr vhodného diferenčního tlakoměru pro měření tlakového spádu bude omezen pouze na tlakoměry s elektrickým výstupem. [5]

Základem snímače tlaku s elektrickým výstupem je deformační element v podobě membrány, trubice nebo nosníku. Na Obr. 2.1 je zobrazeno principiální schéma tlakového čidla s elektrickým výstupem. Snímač je složen ze dvou částí. Deformačního elementu, na jehož výstupu vlivem působení deformační síly vzniká změna polohy (polohové senzory) nebo změna mechanického napětí (senzory mechanického napětí). Druhou částí je převodník, který převede jednu z uvedených veličin na elektrický signál.



Obr. 2.1 Blokové schéma tlakoměru s elektrickým výstupem

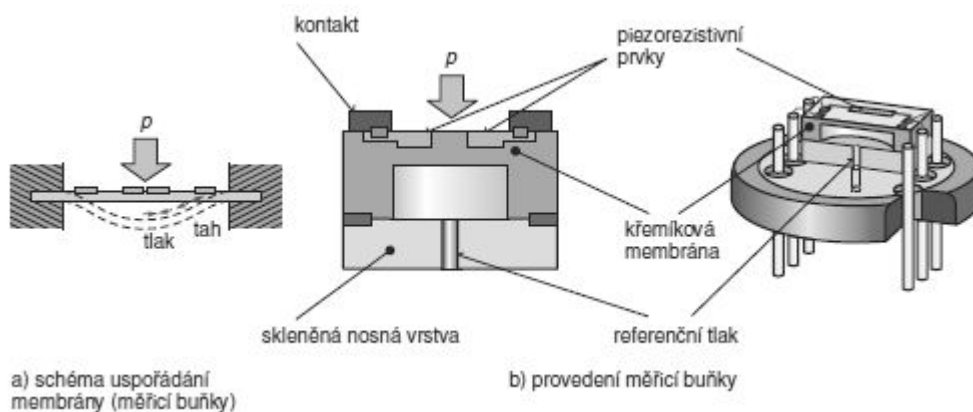
2.2.1 Polohové senzory

Mezi nejběžnější senzory tlaku fungující na principu změny polohy patří potenciometrické, indukčnostní a kapacitní snímače. Potenciometrické tlakoměry využívají změnu odporu, vyvolanou jezdcem potenciometru, který je mechanicky spojen s deformačním prvkem. U indukčního senzoru vyvolá změna tlaku změnu polohy feromagnetického jádra diferenčního transformátoru, čímž je změněna vzájemná indukčnost mezi primárním a sekundárním vinutím transformátoru.

Kapacitní snímače tlaku lze rozdělit na snímače absolutního tlaku nebo snímače tlaku diferenčního. Princip je založen na změně kapacity kondenzátoru. Jedna elektroda kondenzátoru je tvořena membránou, jejíž poloha se mění při působení tlaku a tím se mění vzdálenost elektrod a výsledná kapacita. V případě diferenčního měření tlaku tvoří membrána střední pohyblivou elektrodu mezi pevnými elektrodami. [6]

2.2.2 Senzory mechanického napětí

Do této kategorie spadají senzory tenzometrické, piezoelektrické a rezonanční. Tenzometrické snímače se dělí na kovové odporové tenzometry a polovodičové tenzometry. Odporový tenzometr je odporový senzor, u něhož se využívá tzv. piezorezistivního jevu. Při mechanickém pružném namáhání (tlak nebo tah) dochází u kovových vodičů nebo polovodičů ke změnám jejich geometrického rozměru, a tím se mění jejich elektrický odpor. Polovodičové tenzometry jsou vyráběny z monokrystalu křemíku. Tenzometry z monokrystalu se lepí buď na podložku nebo přímo na měřicí člen. V porovnání s kovovými tenzometry jsou polovodičové mnohem citlivější. Na Obr. 2.2 je zobrazeno uspořádání piezorezistivního senzoru. [6]



Obr. 2.2 Piezorezistivní čidlo tlaku

Převzato z [6]

2.2.3 Tlakoměr Greisinger GDH 01AN

Po zvážení všech hledisek byl pro měření zvolen ruční digitální tlakoměr pro měření přetlaku, podtlaku a diferenčního tlaku. Snímač dodávaný s přístrojem

má piezorezistivní senzor relativního tlaku zabudovaný v samostatném pouzdře z umělé hmoty s přípojevacími nátrubky pro hadice. Tento snímač je určen pro měření tlaku vzduchu, neagresivních plynů a kapalin. Měřicí rozsah tlakoměru, který je možno zobrazit na LCD displeji je 0 - 1999 Pa s rozlišením 1 Pa. Snímač je však dimenzován na maximální tlak 10 kPa bez nebezpečí poškození nebo nutnosti znovu snímač kalibrovat. Takovéto hodnoty lze měřit a vyhodnotit pomocí externího zařízení. Tlakoměr GDH 01AN obsahuje analogový napěťový výstup 0 - 1 V, tvořený zdírkou pro 3,5 mm mono JACK konektor, který s sebou přináší opět stejné problémy jako tomu je u teploměru od téhož výrobce (kapitola 2.1.3). [7]

Hlavní výhodou tohoto přístroje a zároveň důvod, proč byl tento tlakoměr vybrán, jsou poměrně nízké pořizovací náklady přístroje včetně vyhovujícího snímače a datového výstupu.

2.3 Měření průtoku

Pro měření průtoku a proteklého množství plynů a kapalin existuje velké množství rozdílných přístrojů, které využívají celé řady fyzikálních principů. Existence různých průtokoměrů je podmíněna tím, že existují velké rozdíly v chemických i fyzikálních vlastnostech průmyslových tekutin a rovněž jsou značně odlišné podmínky i účel měření. Výsledek měření průtoku může být udáván buď jako hmotnostní průtok (2) nebo jako průtok objemový (3). [9]

$$Q_m = \frac{dm}{dt} \quad (\text{kg/s}) \quad (2)$$

$$Q_v = \frac{dV}{dt} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (3)$$

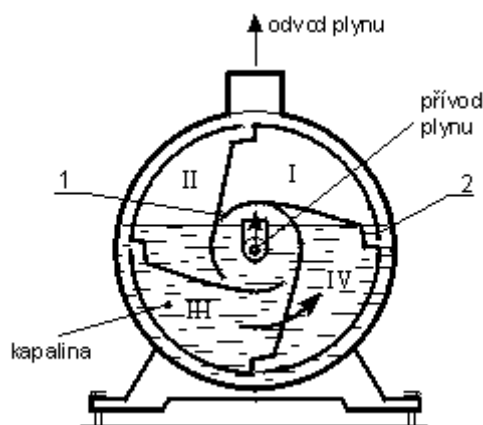
V dalším textu bude z celé velké škály zařízení pro měření průtoku zmíněno pouze několik typů průtokoměrů, které je možné použít při měření na spalínové trati.

2.3.1 Objemové průtokoměry

Objemová měřidla jsou založena na principu odměřování objemu plynu nebo kapaliny v odměrných prostorách. Můžeme je rozdělit na měřidla s nespojitou

funkcí, kdy je průtok určen přírůstkem objemu za určitý čas a měřidla se spojitou činností. Spojitá měřidla mají několik odměrných prostorů, které se postupně plní a vyprazdňují tak, aby průtok byl spojitý a měření plynulé. Měřítkem objemového průtoku je počet cyklů za jednotku času. Přístroje bývají často vybaveny počítadly proteklého množství. Nevýhodou objemových průtokoměrů je, že údaj je ovlivňován změnami teploty, tlaku nebo hustoty. [8]

Bubnový plynoměr se používá pro přesná laboratorní a ověřovací měření. Ve válcové nádobě, která je z části vyplněna kapalinou (vodou nebo olejem), je otočně uložen měřicí buben (Obr. 2.3). Buben je opatřen otvory pro přívod a odvod plynu a rozdělen přepážkami na čtyři odměrné prostory. Přepážky jsou vytvarovány tak, aby se při otáčení bubnu kapalinou uzavíraly současně obě štěrbiny (např. vstupní štěrbina 1 a výstupní 2), čímž je odměřen objem plynu v prostoru I. Plyn se přivádí vstupní trubkou, umístěnou v ose otáčení a její ústí leží nad hladinou uzavírací kapaliny. Prostor II se vyprazdňuje, III je zcela vyplněn kapalinou a IV se právě začíná plnit plynem. S hřídelem bubnu je spojeno počítadlo, udávající proteklé množství. [9]



Obr. 2.3 Bubnový plynoměr

Převzato z [9]

2.3.2 Hmotnostní průtokoměry

Při aplikaci rychlostních nebo objemových průtokoměrů se hmotnostní průtok zjišťuje nepřímo výpočtem. Pro určení hmotnostního průtoku se využívá aplikace mikroprocesorové techniky ve spojení s běžnými průtokoměry a dalšími

senzory. Coriolisovy průtokoměry měří hmotnostní průtok přímo, nebo lze užít tepelných hmotnostních průtokoměrů, které odvozují hmotnostní průtok z měření rozložení tepla mezi dvě místa v potrubí.

Coriolisovy průtokoměry se skládají z citlivého kmitajícího prvku tzv. měřicí trubice, kterou protéká měřené médium. Při pohybu média trubicí dochází, v důsledku působení Coriolisovy síly, k asymetrické deformaci trubice, která je přímo úměrná velikosti hmotnostního průtoku média. Coriolisův průtokoměr v základním provedení představuje zakřivenou měřicí trubicí, má jeden nebo dva budiče oscilací a dva snímače pohybu umístěné tak, aby snímaly pohyby trubice. Výsledný převedený elektrický signál, úměrný hmotnostnímu průtoku média, je vyhodnocován z fázového posunutí signálů způsobeného deformací trubice. Největší výhodou Coriolisových průtokoměrů je, že měří přímo hmotnostní průtok, mají velkou přesnost měření (až 0,1 %) a přestavitelnost měřicího rozsahu. Mezi nedostatky patří hlavně poměrně vysoká cena. [8]

Tepelné průtokoměry obsahují dva odporové platinové senzory vytvořené tenkovrstvou technologií. Povrch platiny je chráněn keramickou nebo skleněnou vrstvou. První senzor měří stále okolní teplotu a slouží jako referenční. Druhý senzor, který detekuje průtok, je vyhříván o 15 °C výše, než je teplota referenčního senzoru. Pokud v okolí vyhříváného senzoru proudí plyn, dochází k přenosu tepla v závislosti na velikosti hmotnostního průtoku. S rostoucím průtokem vzrůstá i přenos tepla do proudícího plynu. Velikost elektrického proudu potřebného k udržení teplotního rozdílu 15 °C mezi senzory je funkcí hmotnostního průtoku. Protože závislost není lineární, obsahují tyto průtokoměry linearizační členy. [8]

2.3.3 Rotametry

Rotametry patří do skupiny průřezových měřidel, u kterých se s měnícím průtokem mění průtočná plocha při přibližně stálém tlakovém rozdílu před zúženým průřezem a za ním. Hlavní funkční částí rotometru je svislá měřicí trubice tvaru mírného kuželu, rozšiřující se nahoru. Měřicí trubice musí být vždy ve svislé poloze a měřené médium musí proudit směrem vzhůru. V trubicí se vznáší rotační těleso. Podle velikosti průtoku mění rotační těleso vertikální polohu, čímž se změní průtokový průřez, kterým plyn protéká. Na horním okraji tělesa jsou šikmé zářezy, takže následkem proudícího prostředí se uvede těleso do rotačního pohybu, a tím

se stabilizuje jeho poloha v trubici. Tlakový spád a průtoková rychlost v místě zúžení zůstávají konstantní. Měřený průtok se odečítá na stupnici vyznačené přímo na trubici zhotovené z průhledného materiálu. [10]

2.3.4 Volba vhodného průtokoměru

Výběr vhodného průtokoměru je velmi náročný úkol, při kterém je zapotřebí zvažovat celou řadu kritérií. Patří mezi ně typ měřeného média a samotný účel měření, podmínky měření, měřicí rozsah, linearita, přesnost měření, uspořádání potrubního vedení, tlaková ztráta, způsob zpracování výstupního signálu (zobrazení pomocí ukazatele nebo komunikace s externím zařízením), montáž měřidla, servis a údržba přístroje a v neposlední řadě také finanční náklady. Pro usnadnění výběru průtokoměru nabízí výrobci postupy, speciální programy a dotazníky. [8]

Různé typy přístrojů vykazují vždy určité výhody i nevýhody. Důležité jsou i cenové relace průtokoměrů. Například rotametry patří k nejlevnějším průtokoměrům s cenou řádově několik tisíc Kč, zato cena průmyslových hmotnostních průtokoměrů může dosahovat až stovek tisíc korun. Pro měření průtoku a proteklého množství byl v našem případě zvolen průtokoměr Testo 6441 a laboratorní plynoměr Spektrum Pl 0,5.

2.3.5 Průtokoměr TESTO 6441

Průtokoměr Testo 6441 je měřič průtoku tlakového vzduchu pro stacionární měření objemového průtoku nebo spotřeby, pracující na principu tepelných průtokoměrů, ale dá se z principu použít na měření průtoku vzduchu o v podstatě libovolném tlaku. Výstupem je normovaný objemový průtok podle normy ISO 2533, tzn. při tlaku 1013 hPa, teplotě 15 °C a relativní vlhkosti 0 %. Na integrovaném LED displeji lze zobrazovat aktuální data průtoku nebo teploty ve zvolených fyzikálních jednotkách (Nm³/h, Nl/min, Nm³, °C). Díky této funkci nemusí být nutně k průtokoměru Testo 6441 připojen další vyhodnocovací přístroj. Průtokoměr také obsahuje paměť pro maximální a minimální hodnotu průtoku a celkový sumátor průtoku. Ke komunikaci s dalšími zařízeními slouží proudový a impulzní výstup, viz Tab. 2. [11]

Tab. 2 Základní parametry průtokoměru Testo

Senzor:	Termický, keramický se skleněnou ochranou
Měřicí rozsah:	0,25 ... 75 Nm ³ /h
Max. zobrazovaná hodnota:	90 Nm ³ /h, 1500 NI/min
Napájení:	19 ... 30 VDC, příkon < 100 mA
Výstupy:	Analogový výstup 4 - 20 mA
	Spínací / Impulzní výstup

Parametry převzaty z [12]

2.3.6 Bubnový laboratorní plynoměr PI 0,5

Je zařízení vyrobené firmou Spektrum s.r.o., určené pro měření objemového množství suchých a nekorozních netopných plynů. Principiálně je zařízení shodné s bubnovým průtokoměrem. Údaje o proteklém objemu indikuje mechanické počítadlo i ručka na číselníku. Základní parametry průtokoměru uvádí Tab. 3. Přetlak měřeného plynu nesmí překročit hodnotu 1200 Pa, aby nedošlo k vytlačení uzavírací kapaliny do vstupního potrubí plynoměru, a tím i rozvážení nastavených parametrů měření. Přesto, že se jedná o relativně nákladný přístroj s vysokou katalogovou přesností a cenou srovnatelnou s podstatně sofistikovanějším průtokoměrem firmy Testo, naše zkušenosti s tímto plynoměrem nebyly příliš dobré. Přístroj je značně fyzicky rozměrný a po naplnění vodou i velmi těžký, technické provedení není bezchybné (například ručka přístroje zadrhávající o krycí sklo, choulostivé upevnění referenčního tlakoměru a teploměru v doplňovacích otvorech). Plynoměr je na rozdíl od průtokoměru Testo velmi citlivý na tlakové poměry. Při měření navíc dochází ke značnému odparu náplně plynoměru a tím pravděpodobně i negativnímu ovlivnění přesnosti. Pokud není měřen čistý vzduch, dochází vlivem koroze k degradaci vnitřního mechanismu a přístroj přestává být po poměrně krátké době použitelný.

Tab. 3 Parametry bubnového plynoměru

Typ/velikost:	PI 0,5
Práh citlivosti:	10 dm ³ /h
Průtok Q _{min} :	50 dm ³ /h
Průtok Q:	500 dm ³ /h
Průtok Q _{max} :	750 dm ³ /h
Největší dovolená chyba měření:	±0,5 %
Dovolená ztráta tlaku při Q _{max}	40 Pa

Parametry převzaty z [13]

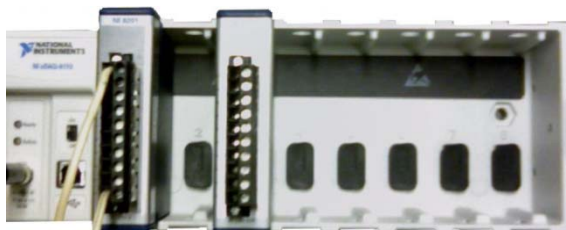
2.4 Sběr dat

Již při výběru měřicích přístrojů musel být brán zřetel na cenovou dostupnost a možnost centralizovaného sběru dat z jednotlivých typů přístrojů. Centralizovaný systém proto, aby odpadly problémy spojené se synchronizací měřených průběhů. Nejjednodušším řešením bylo využít analogového přenosu dat do zařízení, které průběhy digitalizuje a následně ukládá do PC. V případě použití digitálního sběru dat vzniká problém kompatibility komunikačních rozhraní jednotlivých přístrojů s ústřednou. Navíc při použití více měřicích přístrojů by bylo nutné využít přepínače komunikačních linek nebo vybrat takové přístroje, které podporují jednotný typ síťové sběrnice, což není v tomto případě možné.

Sběr dat je tedy zprostředkován hardwarem od firmy National Instruments, která se touto problematikou zabývá již dlouhou dobu. Využit byl univerzální měřicí systém CompactDAQ, doplněn moduly pro měření elektrických veličin. Napěťový modul pro teploměry a tlakoměry, proudový modul pro průtokoměry.

2.4.1 CompactDAQ-9172

NI CompactDAQ-9172 je modulární základna pro sběr dat, která může pojmout až osm I/O modulů. Rozsah napájecího napětí je od 11 do 30 VDC. Základna obsahuje AC/DC převodník, multiplexer a dva 32-bit čítače / časovače. Komunikace s počítačem je řešena přes USB rozhraní. Veškeré nastavení základny či přídatných modulů se provádí pomocí dodávaného softwaru nebo vlastní aplikace. [14]



Obr. 2.4 CompactDAQ 9172

2.4.2 Modul NI 9201

Modul NI 9201 je osmikanálový analogový napěťový modul, s rozsahem napětí od -10 V do 10 V a vzorkovací frekvencí do 500 kS/s. V modulu je zabudován sigma-delta převodník s rozlišením 12 bit. Každý kanál má přepětovou ochranu, aby nedošlo k destrukci modulů, základny nebo připojeného počítače. Konektor je v podobě desetipinové šroubovací lišty. [15]

Tento modul obsahuje pouze jeden společný GND vstup pro všechny kanály, čímž je předurčen spíše do laboratorních podmínek než do průmyslového prostředí.

2.4.3 Modul NI9215

Do prostředí spalovny byly zvoleny moduly NI 9215 BNC, které představují čtyřkanálové analogové napěťové moduly se shodným vstupním napěťovým rozsahem jako NI 9201, ale nižší vzorkovací frekvencí do 100 kS/s. V modulu je zabudován převodník s rozlišením 16 bit. Každý kanál je opět vybaven přepětovou ochranou. Konektor je typu BNC. [16]

2.4.4 Modul NI9203

Modul NI 9203 je osmikanálový analogový proudový modul s rozsahem proudu od -20 mA do 20 mA a nastavitelným rozsahem 0 – 20 mA. Vzorkovací frekvence modulu je maximálně 200 kS/s s rozlišením 16 bit. Modul obsahuje detekci otevřené smyčky nastavitelné pomocí LabVIEW. Jako konektor slouží desetipinová šroubovací lišta. [17]

3 Programovací prostředí LabVIEW

Programovací a vývojové prostředí LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench) je produktem firmy National Instruments (NI), která je tvůrcem a největším výrobcem v oblasti virtuální instrumentace (VI). Toto odvětví zažívá velký rozvoj v oblasti vývoje, průmyslu a v neposlední řadě i výzkumu.

3.1 LabVIEW

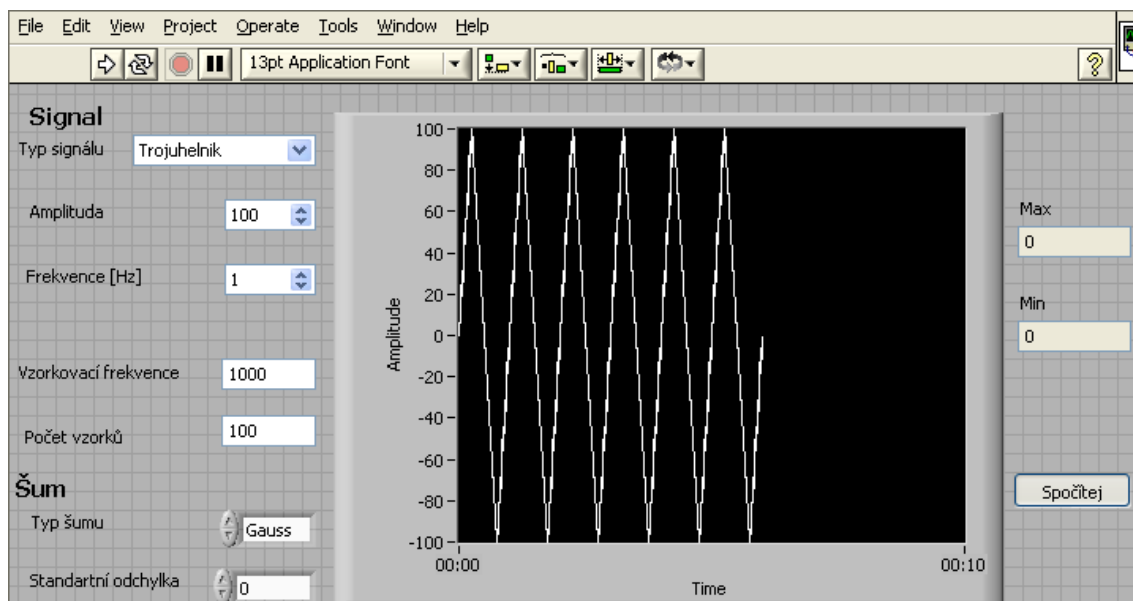
Prostředí LabVIEW, někdy též nazývané jako G-jazyk (grafický jazyk), je vhodné nejen k programování systémů pro měření a analýzu signálů, ale i řízení složitých procesů. Hlavním cílem virtuální instrumentace je nahrazení přístrojového aparátu softwarovým řešením. Tento přístup, pokud je správně aplikován, vede k velké finanční i časové úspoře. Takovéto řešení umožňuje rychlé navrhování nových aplikací i provádění konfiguračních změn na stávajících programech, což je u realizace skutečnými přístroji velice nákladné a občas přímo nemožné.

3.2 Uživatelské rozhraní

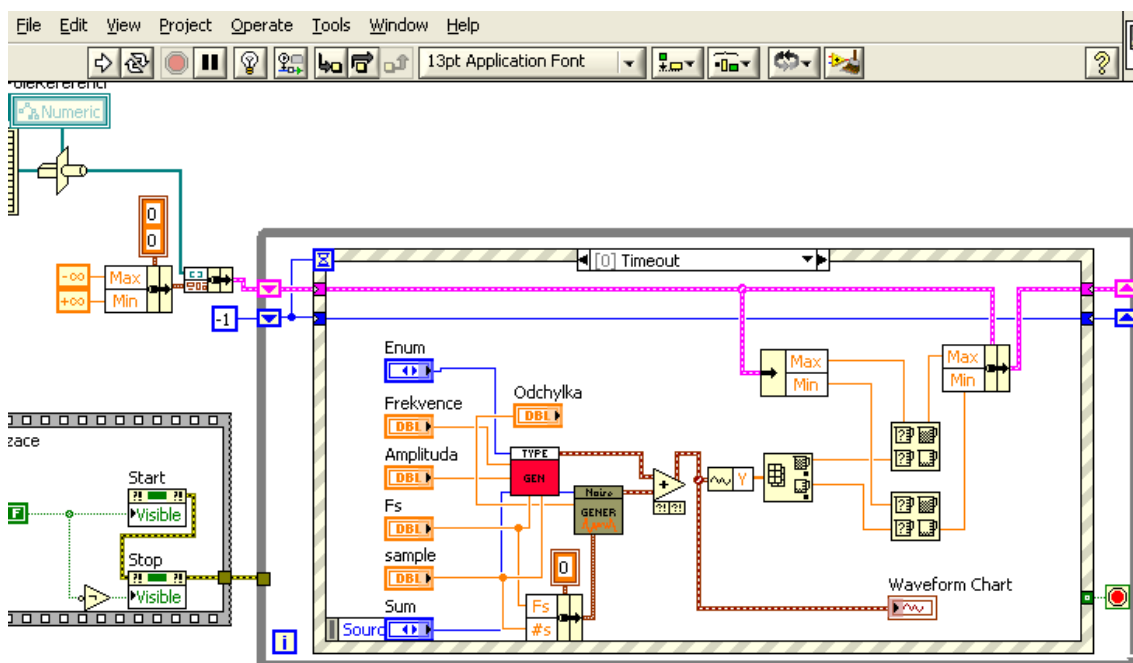
Uživatelské rozhraní má obvykle podobu čelního ovládacího panelu určitého měřicího přístroje, proto je program v LabVIEW označován jako virtuální přístroj (VI). Každý VI se skládá ze dvou sdružených oken: čelního panelu (Front panel) a blokového diagramu (Block diagram).

3.2.1 Front panel

Front panel (viz Obr. 3.1) tvoří uživatelské rozhraní aplikace a určuje její vzhled a chování. Obsahuje objekty (ovládací a indikační prvky) pro řízení běhu aplikace a vyhodnocování výsledných informací. LabVIEW poskytuje stovky těchto objektů na návrh profesionálního uživatelského rozhraní, veškeré objekty je možné měnit a přizpůsobovat a tím zajistit interaktivní ovládání. Objekty jsou rozděleny do kategorií na základě účelu použití. Vizuální prvky se dělí podle funkce na vstupy a výstupy. Vstupy mají podobu různých ovladačů, tlačítek a textových kolonek. Výstupy tvoří indikátory, například ručičkové ukazatele, kontrolky, grafy nebo textová pole zobrazující data.



Obr. 3.1 Front panel



Obr. 3.2 Block diagram

3.2.2 Block diagram

Blokový diagram (viz Obr. 3.2) je druhým sdruženým oknem každé aplikace. Zde uživatel realizuje grafický kód, tzn., propojí prvky z front panelu a nastaví

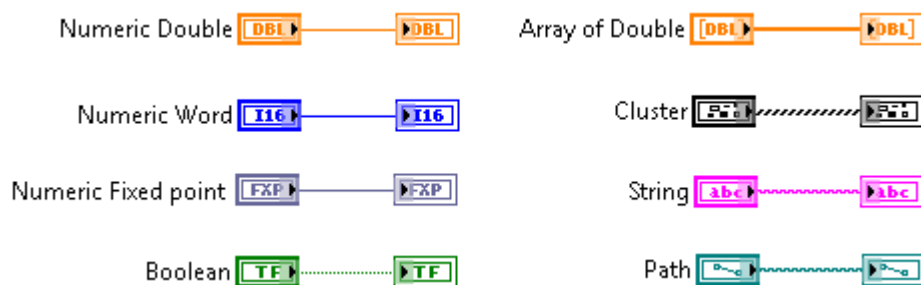
jejich parametry. Block diagram poskytuje všechny funkce běžných programovacích jazyků, jako různé datové typy, cykly a smyčky nebo ošetřování událostí.

LabVIEW obsahuje spoustu vysokoúrovňových nástrojů a konfiguračních utilit navržených speciálně pro měření, testování a řízení. Vytvořené aplikace se sestávají typicky z těchto úloh: měření dat, analýzy signálů a prezentace signálů. LabVIEW poskytuje jednoduchou cestu na realizaci těchto kroků. Na výběr je řada konfiguračních nástrojů nazývaných „express VIs“, které vyžadují minimum programování a poskytují okamžitý náhled výsledků. Při potřebě vyšší flexibility je k dispozici nepřeberné množství funkcí nižší úrovně. Samozřejmostí je i snadný import dalších funkcí od jiných uživatelů a třetích stran.

3.3 Datové typy

Jak již bylo zmíněno v předchozím textu, v LabVIEW se pracuje ve dvou možných oknech. Každý ovládací prvek umístěný ve front panelu je v blokovém diagramu reprezentován tzv. terminálem. Terminál představuje programovou proměnou, které je přiřazena příslušná barva. Jednotlivé terminály různého typu nejsou od sebe odlišeny pouze barvou orámování, ale i umístěním šipky, která na první pohled udává zda-li se jedná o řídicí terminál  (šipka ven), nebo o terminál indikační  (šipka dovnitř).

Pokud je v diagramu použit blok s více vstupy a výstupy, je každý vývod označen příslušnou barvou, dle datového typu. Stejnou barvou je reprezentován i vodič propojující jednotlivé bloky. Seznam použitých datových typů a jim náležících barev je zobrazen na Obr. 3.3 uvedeném níže.



Obr. 3.3 Datové typy

Číselné datové typy NUMERIC se v zásadě dělí na typy celočíselné (integer) a na typy pro reálná čísla s pevnou i plovoucí desetinou čárkou.

Datový typ BOOLEAN nabývá hodnot true nebo false a je tím tedy výsledkem všech logických operací. Typ STRING obsahuje posloupnost textových, případně řídicích znaků. Speciálním druhem řetězce je typ PATH, obsahující cestu k objektu. ARRAY (pole) obsahuje množinu prvků stejného datového typu v uspořádání, které určuje rozměr pole. Pozici prvku v poli určuje jeho index, což je celočíselná hodnota prvku. Vytvořená pole mohou být od jednorozměrných až po vícerozměrná. CLUSTER je datová struktura, která obsahuje více datových typů. Může slučovat všechny typy uvedené v předchozím textu do jediného terminálu a zpřehlednit tak program. [18]

3.4 Shift registry

Dalším poměrně často využívaným prvkem je takzvaný shift (posuvný) registr. Vzhledem ke specifickému způsobu toku dat v grafickém jazyce LabVIEW je nutnost zálohovat proměnné mezi jednotlivými iteracemi. Právě k tomu účelu slouží zmiňované posuvné registry. V blokovém diagramu jsou označeny malou obálkou (), jak je možné vidět na Obr. 3.2. Vstup do posuvného registru je umístěn na levé straně struktury, odkud datový tok prochází strukturou typu smyčka while nebo for, kde může být upraven a končí na pravé straně struktury. Je běžné, že shift registr neobsahuje pouze jeden datový typ, ale často celá pole, případně clustery různých datových typů. [19]

3.5 Data flow

Na blokovém diagramu je vykonávání programu definováno tokem dat známým jako data flow a nikoli sekvenčním vykonáváním jednotlivých řádků kódu, jak je to obvyklé u textových programovacích jazyků. V LabVIEW se předávají data z jedné funkce do následující. Funkce (SubVI) se nevykoná dříve, než budou mít všechny vstupy funkce dostupná data potřebná k provedení dané operace. Po ukončení zpracování má blok na výstupu data, které posílá dál. Tím je definována posloupnost vykonávání operací v celé aplikaci. [19]

3.6 Paralelismus

Vytváření částí kódu paralelně v tradičních programovacích jazycích vyžaduje hlubší znalosti programovacích technik. Implementace paralelních úloh často znamená komplexní volání knihoven operačního systému, ošetřování sdílení prostředků nebo ochrany paměti. Naproti tomu v LabVIEW se dá paralelismu

dosáhnout jednoduše například pomocí dvou pod sebou umístěných cyklů. Pokud kompilátor vyhodnotí, že mezi těmito cykly neexistuje žádná vazba, každý z nich se bude automaticky vykonávat paralelně, nezávisle na ostatních. Tyto úlohy se po rozřazení do různých vláken navíc mohou vykonávat na více procesorech, což umožňuje efektivní využití dostupných prostředků. Díky této koncepci jsou aplikace připravené na běh na více jádrech bez nutnosti jakýchkoliv změn v kódu. [19][20]

3.7 Použití LabVIEW

Programovací prostředí LabVIEW se nejčastěji používá na měření reálných dat, přičemž poskytuje konektivitu k celé řadě měřicího hardwaru. Je možné jej použít k rychlé konfiguraci jakéhokoliv měřicího zařízení, od USB měřících karet, systémů na zpracování obrazu a zvuku až po PLC systémy. NI nabízí volnou podporu ovladačů od více jak 250 světových výrobců. Další je možné získat od komunity uživatelů nebo si je vytvořit.

LabVIEW dovoluje kombinovat grafické prostředí s jinými přístupy, jako jsou stavové diagramy a jazyk UML (Statecharts), textové matematické výrazy nebo simulace.

3.8 Statechart

Statechart neboli stavový automat je vhodná volba pro konstrukci rozsáhlejšího a složitějšího programu. Téměř každý technický úkol v reálném světě lze popsat pomocí diagramu stavů. Díky struktuře stavového automatu se velmi zpřehlední kód programu. Další výhodou je relativně snadná modifikace kódu nebo přidání dalších funkcí. V každém stavu je splněna určitá funkce a uvedeno, který stav bude následovat. [19]

Stavový automat je v LabVIEW realizován dle níže popsané struktury. Smyčkou WHILE, která zajišťuje neustálou iteraci programu a tím i přechod mezi jednotlivými stavy. Program je ukončen, pokud je splněna ukončující podmínka. Ve smyčce je vnořena struktura CASE, obsahující jednotlivé stavy, ve kterých je zapsán kód samotného programu. Každý stav má dle definované rozhodovací logiky odkaz na stav následující. Proměnné jsou uchovávány v posuvných registrech, aby nedocházelo ke ztrátám během přechodu do jiného stavu.

4 Laboratorní spalínová trať TUL

Při katalytické filtraci nežádoucích látek ze spalin se využívá katalyticky aktivních materiálů upevněných na nosné textilii. Jedním z rozhodujících parametrů je aktivní povrch katalyzátoru. Jako nadějný nosič katalyzátorů se jeví nanovláknenné vrstvy, jejichž měrný povrch mnohonásobně překonává měrný povrch klasických textilií používaných doposud. Při vývoji takovýchto materiálů je nutné měřit účinnost katalytické destrukce polutantů a přitom sledovat fyzikální veličiny, jako teplotu, tlakový spád či průtok.

Spalínová laboratorní měřicí trať pro měření účinnosti katalytických filtračních materiálů za vysokých teplot je jedno z experimentálních pracovišť sloužící ke studiu proudění přes klasické a nanovláknenné filtry. Trať byla zkonstruována za účelem testování nových filtračních materiálů vyvíjených na TUL. V laboratorních podmínkách jsou filtry testovány modelovými polutanty a následně je vyhodnocována účinnost katalytické destrukce, jak již bylo zmíněno výše, a tím i efektivita zkoušeného filtru.

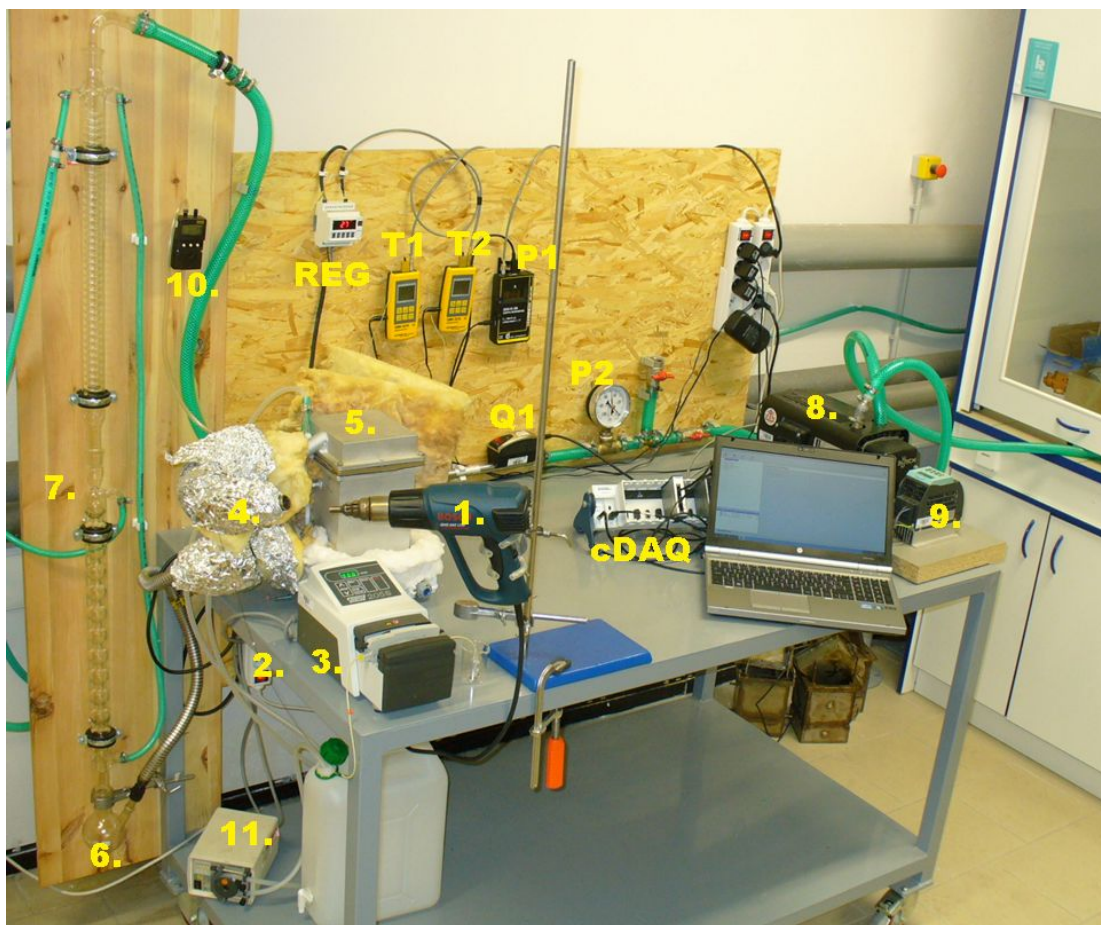
4.1 Popis trati

Celý měřicí řetězec (viz Obr. 4.1) lze rozložit do několika částí. Vstupního potrubí (4.), do kterého proudí zdroj horkého vzduchu (1.) a na něj je připojen port pro přesné dávkování modelových polutantů (2.). Vytvořená plynná směs vzduchu a polutantů je přivedena do vyhřívaného kontejneru (5), kde je upevněn testovaný filtr. Filtrovaný plyn dále prochází výstupním potrubím do chladicí sekce. Výše uvedené části trati jsou vyrobené z nerezové oceli a dimenzovány na provozní teplotu 250 °C.

Následuje část s chladiči (6. a 7.), kde je odlučován kondenzát, regulace průtoku a pohon celé aparatury (8.). Propojení těchto částí je zajištěno PVC hadicemi. Systém je poháněn vývěvou řízenou frekvenčním měničem (9.), který umožňuje plynulou regulaci průtoku. Aby motor vývěvy běžel v optimálních otáčkách, je před samotnou vývěvou regulační soustava tvořená škrticím a pomocným ventilem pro přísávání vnějšího vzduchu. Výstup z vývěvy je pro větší bezpečnost obsluhy propojen s odsáváním par.

Aparatura je osazena snímači pro měření tlakového spádu (P1), teploty (T1, T2) a průtoku (Q1). Všechny uvedené snímače mají elektrický výstup a umožňují tak ukládat hodnoty naměřených průběhů do PC.

Množství kontaminantu dávkovaného do vstupního proudu horkého vzduchu lze regulovat v širokém rozsahu hodnot pomocí přesného dávkovacího peristaltického čerpadla (3.). V prostoru těsně před a za filtrem jsou umístěny uzavíratelné vzorkovací výstupy, kde lze pomocí vzorkovacího čerpadla (10.) odebírat vzorky kontaminace do adsorpčních patron. Patrona je během odběru chlazena externím okruhem (11.). Na Obr. 4.1 je znázorněna celá sestava aparatury včetně zapojení snímačů a propojení s měřícím počítačem.



Obr. 4.1 Sestava laboratorní aparatury

4.2 Technické provedení trati

Technické řešení je schematicky znázorněno na Obr. 4.2.

Na vstup trati je přiveden zdroj horkého vzduchu (1.) vytvářený horkovzdušnou pistolí s plynulou regulací teploty i průtoku. Proud vzduchu je nasáván do ohebné nerezové hadice metaflex (4a.), která je přírubou spojena s filtračním kontejnerem. Do hadice je rovněž zavedena kovová kapilára přivádějící kapalný roztok kontaminace (2.). Kapilára je připojená k peristaltickému čerpadlu (3.) s přesně definovaným průtokem. Ze známé koncentrace výchozího roztoku a otáček čerpadla tak lze přesně určit koncentrace kontaminace, která se odpaří do proudu vzduchu.

Kontaminovaný vzduch dále proudí nerezovou hadicí do masivního nerezového kontejneru s upevněným filtrem (5.). Na

Obr. 4.1 je pro přehlednost odstraněna tepelná izolace kontejneru, tvořená keramickou vatou. Teplota kontejneru je automaticky regulována dvoupolohovým regulátorem Dixel (9.) na požadovanou hodnotu tak, aby nedocházelo k chladnutí ani přehřívání média uvnitř kontejneru. O výhřev boxu se stará varná litinová deska (8.) s odporovou topnou spirálou o výkonu 1500 W ovládaná regulátorem. Na filtračním kontejneru jsou odbočky pro připojení teploměru T1, diferenčního tlakoměru P1, a uzavíratelných vzorkovacích portů, ze kterých lze přes teflonové trubice (13a.-b.) vzorkovat úroveň kontaminace před nebo za filtrem. Kontaminace je zachytávána do sorpční patrony (14.) pomocí vzorkovacího čerpadla (15.). Čerpadlo (16.) je spouštěno pouze krátkodobě při odběru vzorku, pro chlazení sorpční patrony vodou z otevřené nádrže (17.). Toto chlazení je nutné, aby kondenzace plynu probíhala pouze uvnitř sorpční patrony.

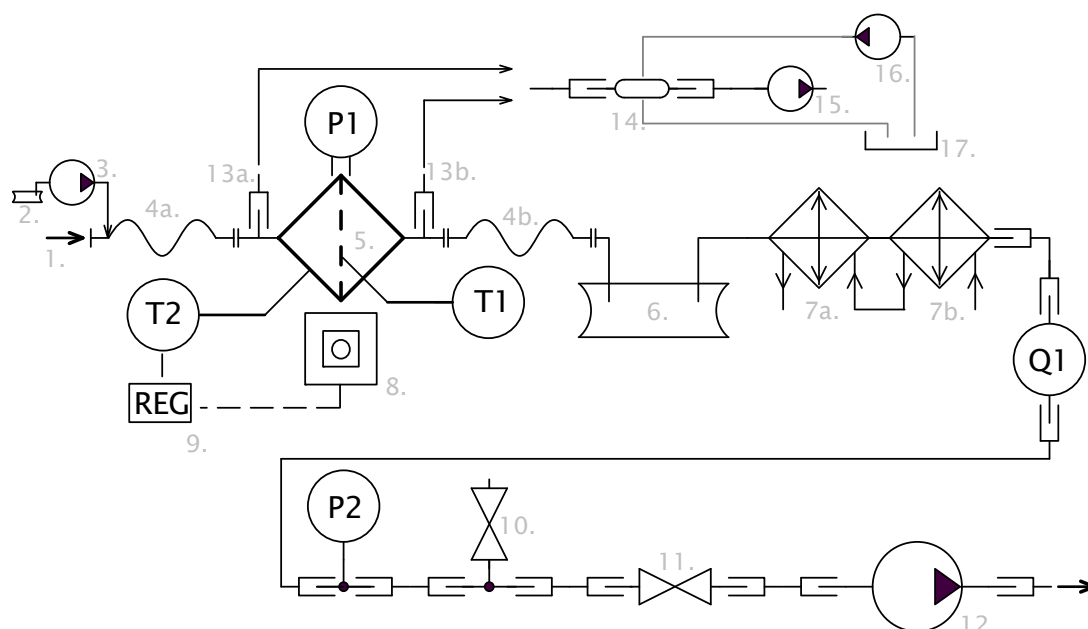
Senzor T2 snímá teplotu povrchu filtračního kontejneru a hodnotu aktuální teploty předává regulátoru.

Od výstupní příruby kontejneru vede metaflexové potrubí (4b.) do kondenzační baňky (6.). Následuje soustava skleněných chladičů typu Dimroth / Allihn (7a.-b.) zapojená do série a dimenzovaná tak, aby i při maximálním průtoku a teplotě média došlo k vychlazení pod hodnotu 30 °C. Jako chladičího média ve skleněných chladičích je užito volně průtočné studené vody z vodovodního řádu, regulované pákovým ventilem.

Vychlazený vzduch dále prochází PVC hadicemi o průměru DN19 do digitálního hmotnostního průtokoměru TESTO 6441 (**Q1**), odkud dál pokračuje do sekce hrubé regulace průtoku. Nastavením pákových ventilů (**10.** a **11.**) je možné provést hrubou regulaci průtoku pomocí přísávání vnějšího vzduchu.

Pro orientační zjištění hodnot podtlaku v aparatuře je mezi průtokoměrem a regulační ventily zařazen tlakoměr **P2**.

Celá trať je poháněna pomocí suchoběžné lamelové vývěvy BUSCH SV 1010 B (**12.**), schopné vyvinout maximální podtlak 120 mbar. Třífázový motor vývěvy je řízen frekvenčním měničem otáček Siemens Sinamics G110, pomocí kterého lze přesně doladit požadovanou hodnotu průtoku. Výstup vývěvy je z bezpečnostních důvodů vyveden do chemické digestoře.



Obr. 4.2 Schéma laboratorní aparatury

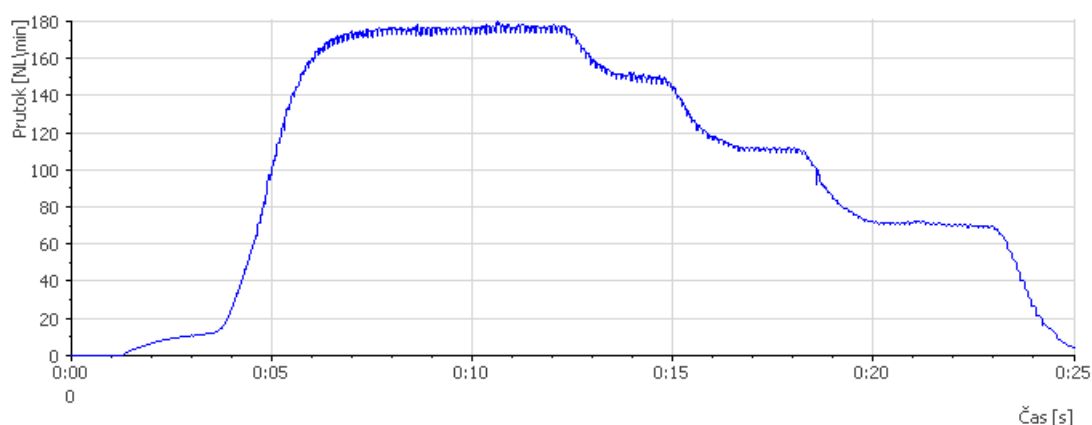
Signály ze snímačů teplot, čidla tlakového spádu a snímače hmotnostního průtoku jsou digitalizovány pomocí datové ústředny National Instruments CompactDAQ-9178 připojené přes rozhraní USB k měřicímu počítači. Pro záznam průběhu z měření byl použit měřicí software UMA [21] vyvíjený na Technické univerzitě v Liberci.

Aparatura je dle parametrů měřících senzorů a ovládacích prvků konstruována na průtoky v rozmezí 6 - 100 SLPM , tlakový spád na filtru

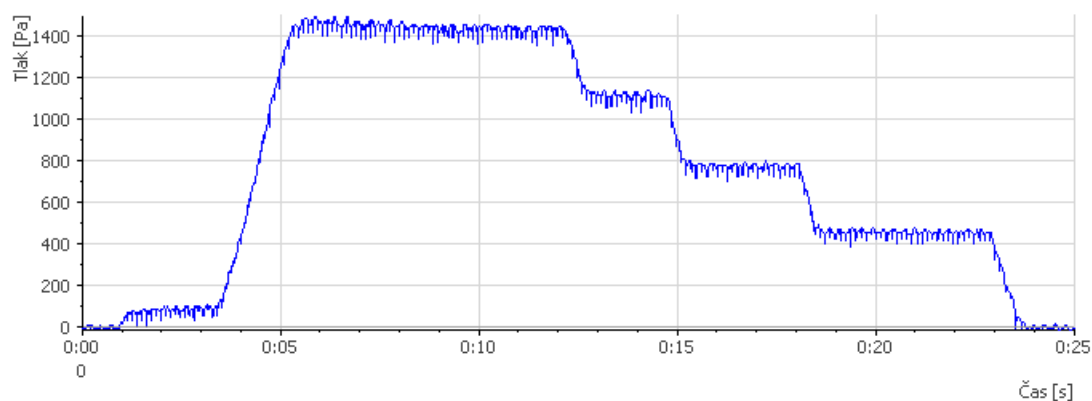
do hodnoty 2 000 Pa (respektive 10 kPa max.) a teploty proudícího média přes filtr do 250 °C.

4.3 Analýza rušivých vlivů

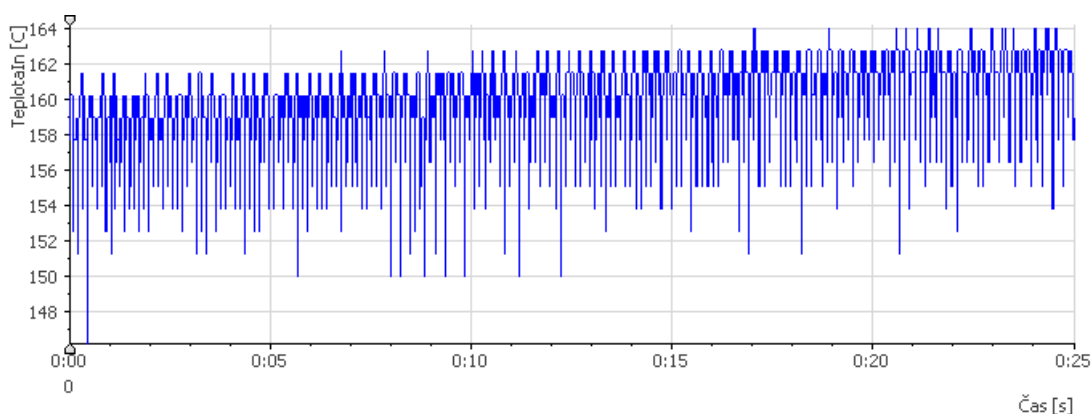
První sada testovacích měření na ověření funkčnosti a provozuschopnosti laboratorní spalínové trati ukázala na problémy s rušením. Záznam jednotlivých zarušených průběhů je zobrazen na Obr. 4.3, Obr. 4.4 a Obr. 4.5. Před samotným zahájením série měření s modelovými polutanty bylo nutné tyto problémy odstranit. Celý systém trati se skládá z více zařízení, z nichž některá mohou mít rušivý vliv na měření, proto je potřeba analyzovat problematické části přístrojového a podpůrného vybavení. Následně je nutné tyto rušivé vlivy potlačit nebo odstranit.



Obr. 4.3 Průběh průtoku



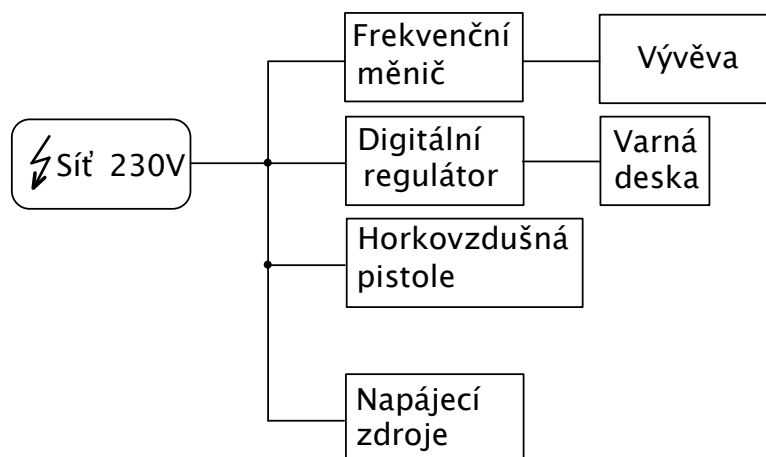
Obr. 4.4 Průběh tlakového spádu



Obr. 4.5 Průběh teploty

4.3.1 Rozbor měřené soustavy

Zašumění signálu a rušení při přenosu signálů může vznikat některými z níže uvedených elementů. Nekvalitním uzemněním, blízkostí vysokofrekvenčního zdroje nebo impulzního zdroje, usměrňovači a měniči. Případně může zdrojem šumu být přímo vadné zařízení. Na Obr. 4.6 je blokové schéma zapojení veškerých prvků souvisejících s aparaturou, které mohou mít nepříznivý vliv na měřenou soustavu a přenos signálů. Jednotlivé prvky lze rozčlenit do dvou základních skupin, do takzvané skupiny silových členů a skupiny obsahující napájecí zdroje měřících přístrojů.



Obr. 4.6 Blokové schéma elektrické soustavy

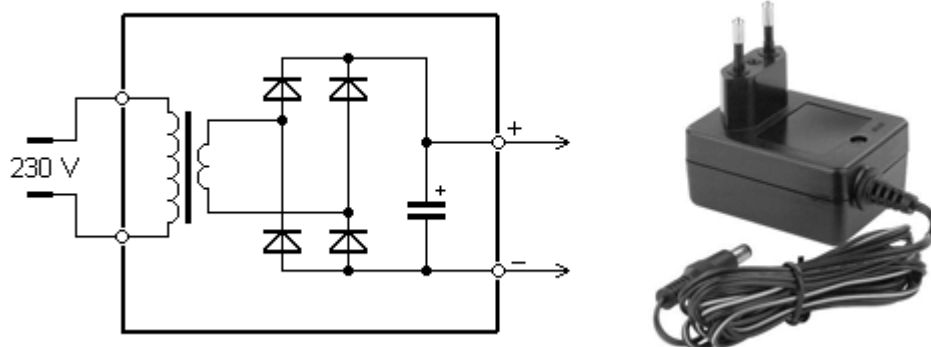
4.3.2 Silové prvky

Jedním z rušivých zdrojů by mohl být frekvenční měnič ovládající rychlost pohonu vývěvy. V tomto případě se jedná o nízkonapěťový měnič Siemens SINAMICS G110 s jednofázovým napájením, který má dle popisu výrobce oddělené a filtrované vstupní a výstupní silové přívody, čímž by mělo být do jisté míry zamezeno elektromagnetickému rušení.

Filtrační kontejner je vyhříván varnou deskou s odporovou spirálou, která je přes regulátor napojena do elektrické sítě 230 V. Teplota kontejneru je vyhodnocována digitálním regulátorem s dvoupolohovou regulací, který spíná napájení odporové spirály podle aktuální teploty.

4.3.3 Napájecí adaptéry

Napájecí adaptéry lze dále rozdělit podle způsobu, jakým je převáděna elektrická energie, na zdroje transformátorové a zdroje spínané. Napájení teploměrů i tlakoměru je totožné, neboť Firma Greisinger dodává ke svým ručním měřicím přístrojům jednotný typ síťových transformátorových zdrojů, lišících se pouze v připojovacím konektoru. Napájecí parametry zdrojů jsou tedy shodné, o hodnotách výstupního napětí 10,5 V a proudu 10 mA. Filtrace těchto adaptérů není obecně příliš kvalitní, zajišťuje ji většinou pouze elektrolytický kondenzátor. Zapojení takového zdroje je zobrazeno na Obr. 4.7.



Obr. 4.7 Napájecí adaptér

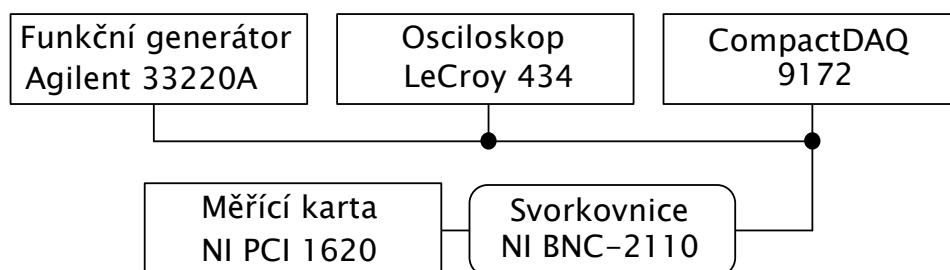
Dalším zdrojem poruch mohou být spínané napájecí zdroje, u nichž se síťové napětí 50 Hz transformuje na požadované nižší stejnosměrné napětí prostřednictvím pomocného harmonického napětí s kmitočtem až stovek kHz. Tím se vyzařuje široké spektrum rušivých kmitočtů. Protože spínací impulzy jsou strmé, vzniká velké množství vyšších harmonických frekvencí, a dochází tak k silnému vyzařování rušivých signálů. Velikost vyzařování závisí i na velikosti odběru proudu z napájecího zdroje. Takovým zdrojem je adaptér pro napájení ústředny CompactDAQ-9172.

4.4 Detekce a eliminace rušení

Pro detekci zdroje rušení a případnou identifikaci vadného prvku v soustavě byla nejprve provedena kontrola zapojení veškerých elektrických periférií měřicího aparátu. Datová vedení mezi samotnými přístroji a měřicí ústřednou byla nahrazena kvalitnějšími a lépe stíněnými vodiči, konkrétně kabeláží pro datové FTP spoje kategorie 5e, s dvojitým stíněním a kroucenými páry vodičů. Tyto kabely se vyznačují lepší odolností proti rušení. Mezi datovou a silovou kabeláží byly vytvořeny v rámci konstrukčních možností co největší odstupy rovnoběžných úseků vedení a minimalizováno křížení těchto spojů. I po výše uvedených krocích byly zaznamenány rušivé signály v měření. Záznam je vyobrazen na Obr. 4.10. Poté následovalo testování jednotlivých elektrických komponent aparatury. Měřicí řetězec by minimalizován na nejnútnejší komponenty, tzn. odpojeny všechny krátkodobě používané prvky související s odběrem vzorků a napájecí adaptéry teploměru a tlakoměru. Ty byly napájeny z baterií. Minimalizace měřicího řetězce

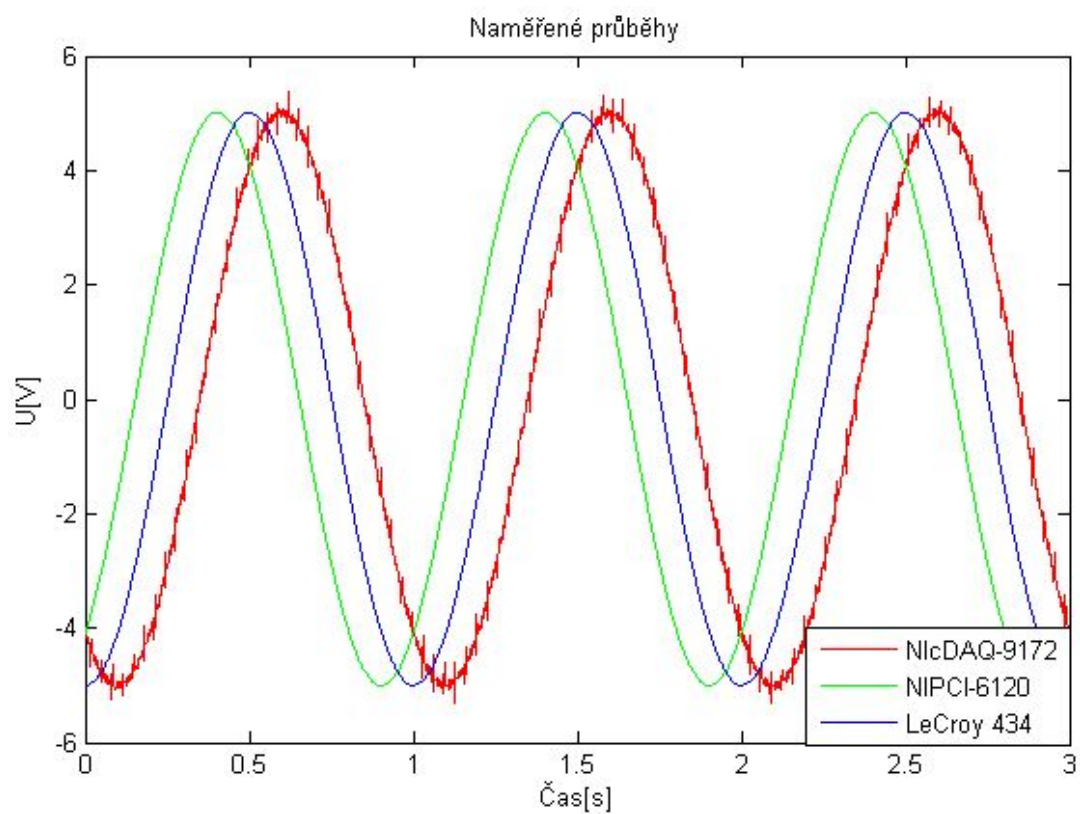
poukázala na dvě možné příčiny rušení, na šum vznikající vadou ústředny CompactDAQ nebo vývěvou s frekvenčním měničem.

Aby mohla být ověřena bezchybnost měřicí ústředny, byl sestaven testovací obvod. Jako zdroj známého signálu bylo využito funkčního generátoru Agilent 33220A. K objektivnímu vyhodnocení kvality měření ústředny CompactDAQ byl dále připojen digitální osciloskop LeCroy WaveSurfer 434 a měřicí karta NI PCI 1620. Schéma zapojení přístrojů je znázorněno na Obr. 4.8. Napětí na výstupu generátoru mělo hodnotu poloviny nastaveného rozsahu použitých měřicích zařízení NI, tj. 10 Vpp s frekvencí 1 Hz. Vzorkovací frekvence NI zařízení byla nastavena na 1 kHz. S takto definovanými parametry byly zaznamenány průběhy funkce sinus. Protože CompactDAQ neobsahoval potřebný trigrovací modul a navíc nebyl dostupný přídatný zdroj trigrovacího signálu, byla synchronizace provedena dodatečně softwarově, což ovšem nesnižuje vypovídací hodnotu měření. Na Obr. 4.9 je zobrazen výřez naměřených průběhů.

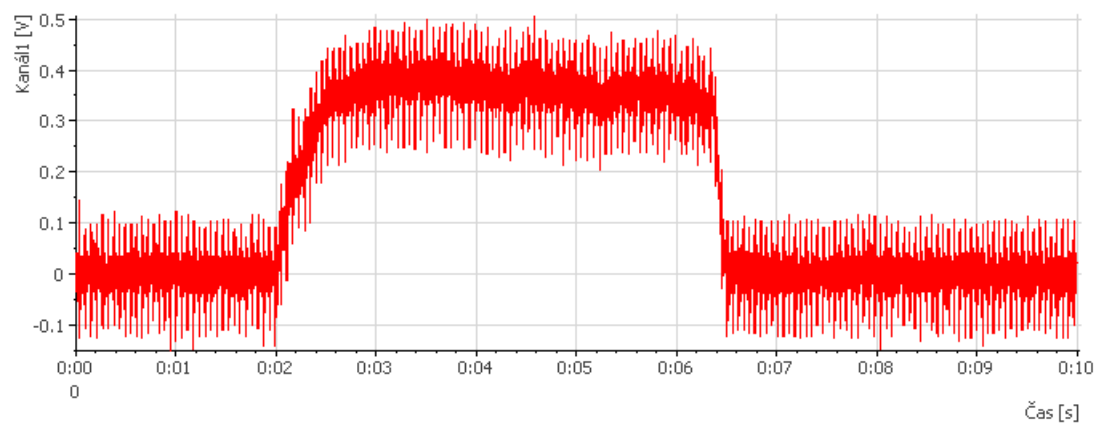


Obr. 4.8 Blokové schéma testovacího zapojení

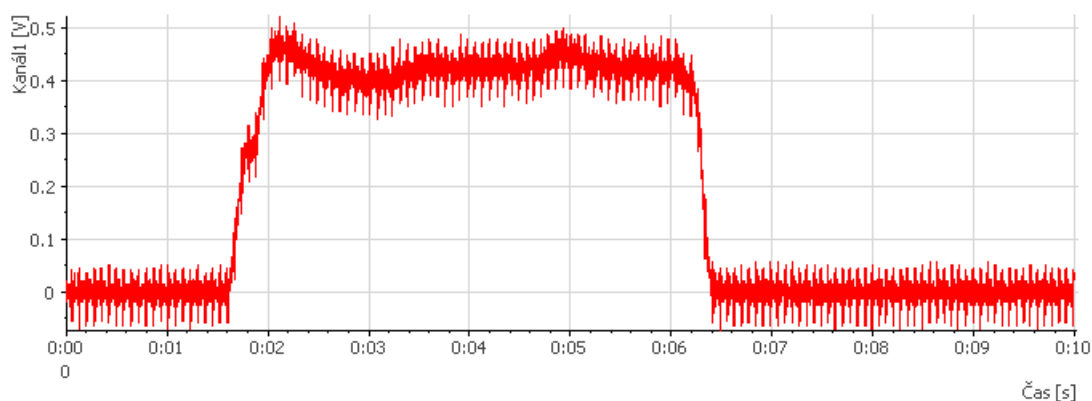
Generátor Agilent vytvářel čistý harmonický signál. Jak je na první pohled patrné, zaznamenaný průběh z CompactDAQu se od osciloskopu i karty PCI 1620 liší zašuměním po celé délce průběhu, což poukazovalo na vadu na straně měřicí ústředny CompactDAQ.



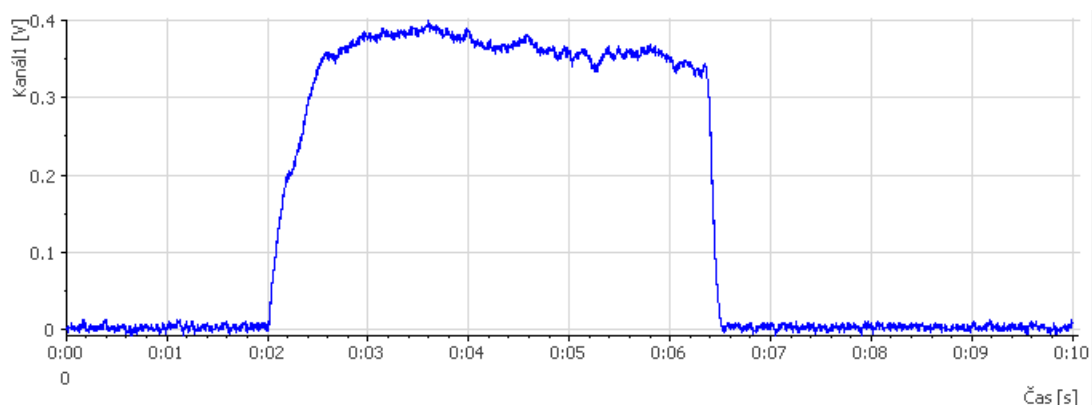
Obr. 4.9 Průběh testování ústředny



Obr. 4.10 Zarušený testovací průběh



Obr. 4.11 Částečné odrušený testovací průběh



Obr. 4.12 Odrušený testovací průběh

Při bližším zjišťování vzniku šumu na konkrétní části ústředny byly měřicí moduly nahrazovány jinými kusy a přesouvány do jiného slotu, avšak bez úspěchu. Ani chyba špatným uzemněním ústředny nebyla prokázána. Po nahrazení spínaného napájecího zdroje ústředny jiným zdrojem byl šum snížen na cca třetinu (Obr. 4.11), čímž byl odhalen jeden zdroj rušení.

Poslední komponenta podezříváná z rušení je frekvenční měnič regulující otáčky vývěvy. Podle dokumentace obsahuje měnič odrušovací filtry jak na straně napájení (vstupní), tak i filtr výstupní. Kvalita, respektive útlum těchto integrovaných filtrů však není dostačující. Vzdálenost propojovacího vedení mezi frekvenčním měničem a vývěvou byla snížena na minimum, které konstrukční uspořádání těchto prvků dovolilo. Celý systém ovládání a pohonu byl navíc přesunut

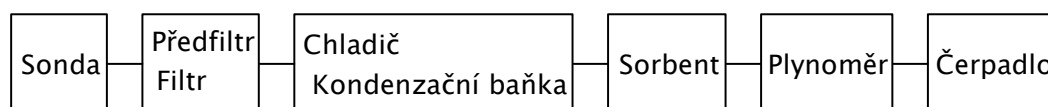
do vzdáleného prostoru od ostatních elektrických komponent, aby byla maximálně omezena případná vazba.

V dalším kroku následovalo ošetření vstupu síťového napětí do měniče, aby se zabránilo přenosu rušení prostřednictvím společné elektrické sítě. Nejsnazším řešením je zapojení filtru - tlumivky mezi síť a měnič. Toto řešení však nebylo realizováno z důvodů momentální nedostupnosti tohoto filtračního prvku. Poslední zkoušenou možností, která by mohla alespoň částečně omezit případný rušivý vliv přenášený po elektrickém vedení a působit tak nepříznivě na měřicí ústřednu a další přístroje, bylo oddělení napájení měřících přístrojů od prvků silových. Podle dokumentace elektrického rozvodu v laboratoři byl pro napájení měřících prvků vybrán samostatný zásuvkový okruh. Tato varianta zcela eliminovala rušivý šum v měřených průbězích, jak je patrné z Obr. 4.12. Případné pulzní rušení bude odstraněno využitím softwarových filtrů.

5 Provozní spalínová trať v Termizo a.s.

V minulosti byla vyvíjena řada technologií pro snižování obsahu persistentních organických polutantů ve spalínách, ale jen několik z nich bylo možné uplatnit v provozu spaloven komunálního odpadu. Jedním z řešení byla adsorpce na aktivní uhlí. Nevýhodou této metody byla spotřeba a nutnost likvidace aktivního uhlí s adsorbovanými látkami. Liberecká spalovna Termizo a.s. přešla na technologii filtrace a destrukce PCDD/PCDF v rukávových filtrech Remedia. Tuto technologii vlastní firma GORE, která je jediným dodavatelem na trhu. Náklady na filtry Remedia ve spalovně činí cca 50 mil. Kč, přičemž životnost filtru je 5 ~ 6 let.

Jedním z cílů projektu NANOFIL je vyvinout alternativu či vylepšení materiálu Remedia s využitím vysokého povrchu nanovláken. Aby bylo možné ověřit filtrační, tepelnou a mechanickou funkčnost materiálů vhodných pro filtraci spalin v reálných podmínkách spalovacího procesu, byla za tímto účelem zkonstruována provozní spalínová měřicí trať připojená na odběrové místo spalínovodu Termizo a.s. Aparatura čerpá spaliny před dioxinovým filtrem a užívá je pro přímé testování efektivity nových katalyticky aktivních filtračních nanomateriálů. Vzorkovací část trati je konstruována v souladu s normou ČSN EN 1948-1 „*Stacionární zdroje emisí - stanovení hmotnostní koncentrace PCDD/PCDF a dioxinům podobných PCB – část 1: vzorkování PCDD/PCDF*“. Vzorkovací systém je navržen podle filtračně-kondenzační metody, schematicky načrtnuté na Obr. 5.1 uvedeném níže.



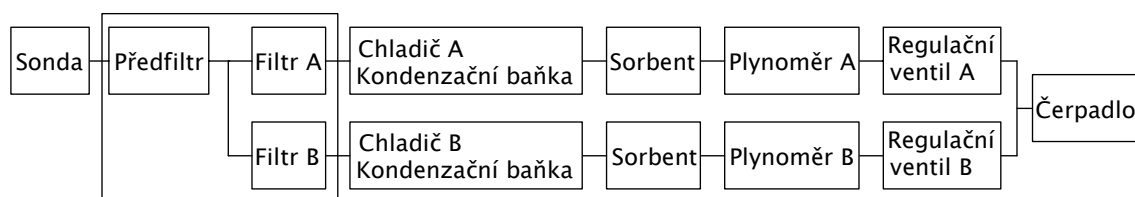
Obr. 5.1 Metoda filtračně-kondenzační

5.1 Podstata filtračně-kondenzační metody

Filtr je umístěn za hubicí sondy (v potrubí) nebo za sondou (vně potrubí). Teplota filtru musí být menší, než teplota mezní, při které dochází k chemickým reakcím probíhajícím na aktivovaném povrchu. Zároveň však musí být teplota filtru

vyšší než teplota rosného bodu. Je-li očekáván vyšší obsah prachu, lze do vzorkovacího systému zařadit před tento filtr další filtr (předfiltr) z křemenné vaty a zabránit tak jeho zanesení. Za filtrem je zařazen chladič, který ochlazuje vzorek plynu na teplotu menší než 20 °C. Pokud se prokáže shoda získaných výsledků, může mít vzorek plynu i vyšší teplotu. PCDD/PCDF obsažené v plynné fázi nebo v aerosolových částicích se zachytí v absorbérech nebo na pevných sorbentech. Na konci tratě je čerpadlo a zařízení pro regulaci průtoku a měření proteklého objemu plynu. [22]

Připouští se i další varianty tohoto systému, čehož se využilo, a byla vytvořena paralelní větev řetězce, díky které lze zároveň vzorkovat plyn před i za filtrem. Upravená podoba filtračně-kompenzační metody je znázorněna na Obr. 5.2.



Obr. 5.2 Upravená filtračně-kondenzační metoda

5.2 Celkový popis zařízení

Provozní spalínovou trať lze rozdělit na temperovanou část a část chlazení spalin s následným odběrem vzorků. Tato trať je zobrazena na Obr. 5.3.

Do prostoru spalínovodu (1.) je nainstalována vstupní sonda (2.) z korozně odolného materiálu, kterou lze z bezpečnostních důvodů uzavřít ventilem (3.). Spolu se sondou je do spalínovodu též umístěn snímač teploty (T1), který měří aktuální teplotu proudících spalin. Aby bylo možné provést čištění aparatury čistým vzduchem, lze dalším ventilem (3.) nasávat vzduch z místnosti a docílit tak propláchnutí celého systému aparatury. Kvůli kondenzaci vodních par, kyselin a organických polutantů je po celé délce sondy nutné zamezit poklesu teploty¹.

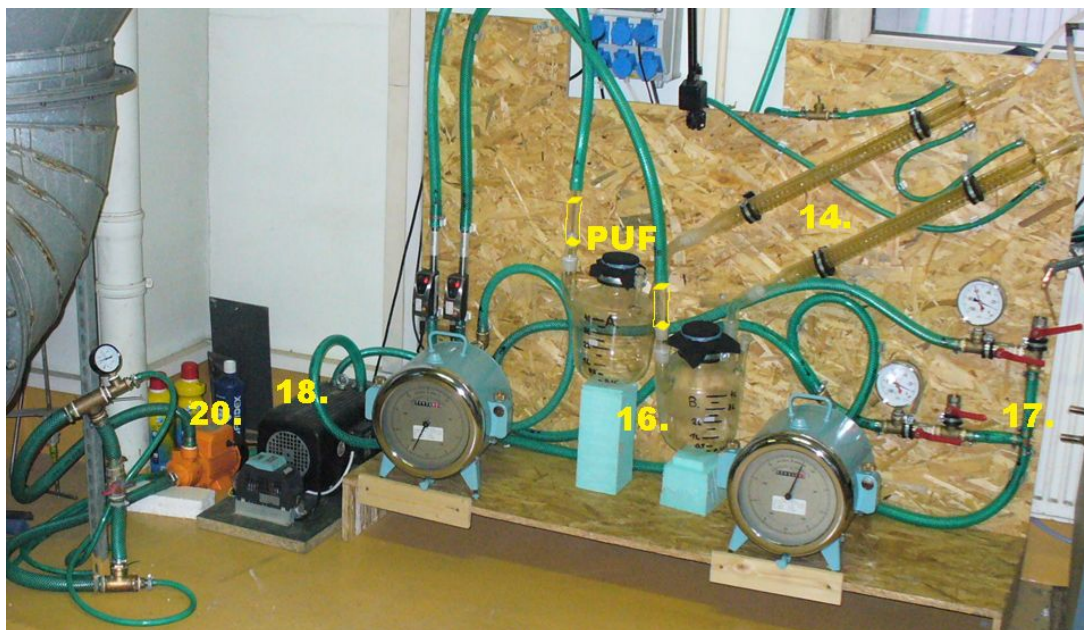
¹Kondenzát spalin má hodnotu pH 0,8, jež by za poklesu teploty způsobil destrukci připojených snímačů a potažení kovových prvků rzi

Proto je celé potrubí sondy, ventilů a ohebného potrubí až k teplotní komoře zaizolováno a automaticky vyhříváno (REG).



Obr. 5.3 Provozní aparatura

Následuje předfiltr (8.) zajišťující zachyt pevných prachových částic, umístěný v teplotní komoře, která udržuje stálou teplotu na hodnotě 196 °C. Výplň předfiltru je tvořena keramickou vatou s vysokou teplotní odolností a bílou barvou, na níž je možné opticky hodnotit zanesení prachovými částicemi. Médium vycházející z předfiltru je rozděleno do dvou větví (9.). Jedna větev vystupuje přímo z teplotní komory (vytvořen bypass pro odběr vzorků nefiltrovaných spalin), čímž je možné odebírat vzorky spalin před filtrem, a druhá větev pokračuje do nerezového kontejneru (11.) s testovaným filtrem a dále taktéž vystupuje ven.



Obr. 5.4 Chladicí část trati

Další popis je shodný pro obě paralelní větve. Horké spaliny jsou ochlazovány skleněnými laboratorními chladiči (14.). Vytvářený kondenzát je odlučován a shromažďován do skleněných baněk (16.). K bančkám jsou připojeny přímé zábrusové díly obsahující pevný sorbent na bázi vysoce čisté polyuretanové pěny (PUF²), do něhož jsou zachytávány látky typu PCDD/PCDF obsažené v plynné fázi.

Následuje úsek pro měření průtoku a proteklého množství plynu (Q1A a Q1B), regulaci průtoku jednotlivých větví a pohon celé aparatury. Průtoky v jednotlivých větvích je možné přesně nastavit pomocí ručních ventilů (17.), za kterými se obě větve slučují do jednoho vedení. Systém je poháněn vývěvou (18.) regulovanou frekvenčním měničem, který zajišťuje jemné doladění průtoku.

Chlazení skleněných laboratorních chladičů je obstaráno nuceným oběhem chladiva pomocí čerpadla (20). Vychlazení oběhového média probíhá v žebrovém výměníku za asistence klimatizační jednotky.

Aparatura je osazena snímači pro měření tlakového spádu (P1-P3) na filtru i předfiltru a snímači hmotnostního průtoku (Q1A a Q1B) na obou paralelních větvích. Pomocí termočlánků je zaznamenávána teplota ve spalínovodu, teplotní komoře i teplota média chladicího okruhu (T1-T3). Všechny uvedené snímače mají

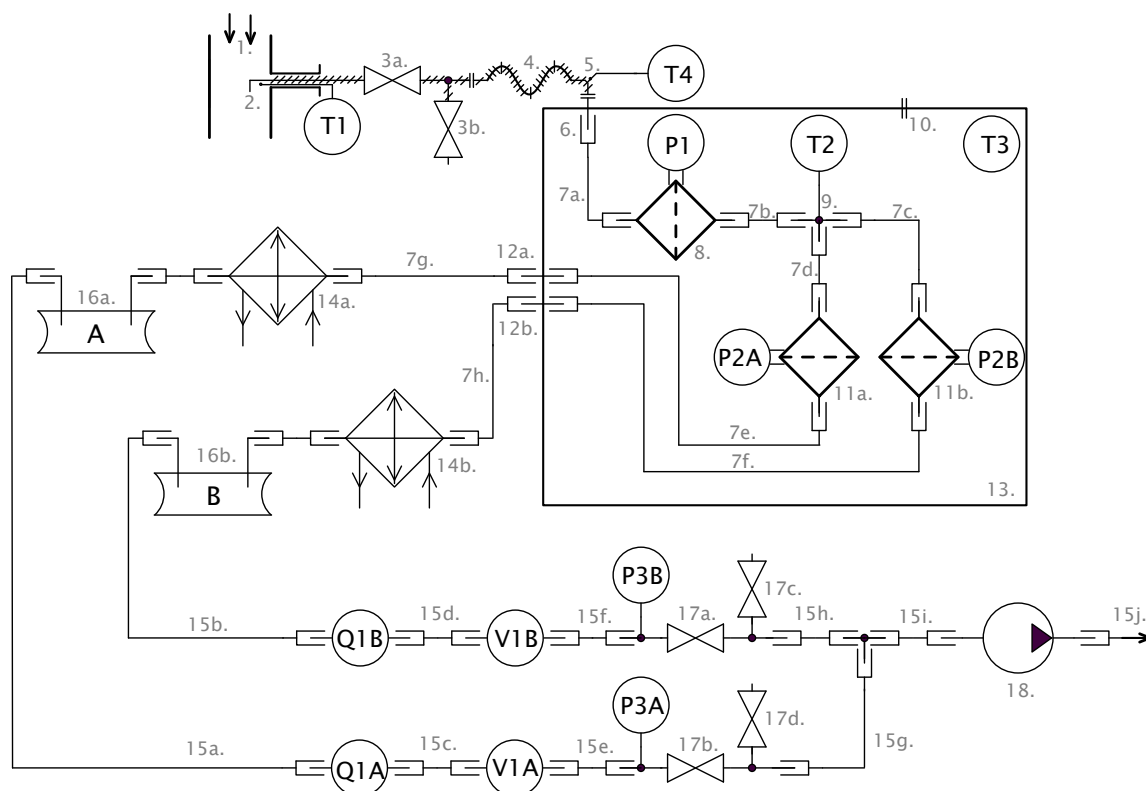
² Polyuretanový bílý váleček

elektrický výstup a data jsou průběžně zaznamenávána pomocí měřicí ústředny National Instruments CompactDAQ-9178 do PC. I zde byl pro záznam měření využit software UMA.

5.2.1 Vzdálený přístup a kamerový systém

Měřicí ústředna CompactDAQ-9178 s měřícím notebookem jsou pomocí WiFi technologie připojeny k internetu, díky čemuž mohl být zřízen dálkový přístup k měřicí aplikaci. Měření fyzikálních veličin (teploty, tlaky, průtoky) je nyní možné monitorovat na dálku odkudkoliv bez nutnosti osobní návštěvy spalovny Termizo a.s. Pro lepší přehled o stavu trati, například o aktuálním objemu kondenzátu ve skleněných baňkách byla na místě nainstalována webová HD kamera umožňující přenášet pomocí internetu živý obraz měřicí aparatury. Aby byl systém nezávislý na aktuálních světelných podmínkách a na probíhající měření mohlo být dohlíženo i v nočních hodinách, je prostor měřicího řetězce externě nasvícen.

5.3 Technické provedení provozní trati



Obr. 5.5 Schéma zapojení provozní aparatury

Zapojení provozní spalínové trati je schematicky znázorněno na Obr. 5.5. Systém aparatury je připojen na spalínovod (1.) o hodnotách průtoku spalin 65tis Nm³/hod, což odpovídá 130tis m³/hod při teplotě 200 °C. Průměr potrubí spalínovodu činí 1,5 m a rychlost proudění spalin dosahuje zhruba 20 m/s. Protože je odběrné místo blízko za kolenem, tak není rychlostní profil spalin rovnoměrný.

Do prostoru spalínovodu je zasunuta nerezová sonda (2.) o vnitřním průměru 12 mm s navařenou přírubou. Vstupní sonda má zároveň připojen termočlánekový snímač teploty T1 krytý teflonovou trubkou, jehož měřicí část vyúsťuje přímo do proudu spalin a umožňuje tak měřit aktuální teplotu vzorkovaného média. Na konec sondy je navařena soustava ocelových pákových ventilů (3a. a 3b.), zajišťující bezpečné uzavření sondy a přísávání vzduchu z místnosti pro proplach aparatury čistým vzduchem. Následuje nerezová ohebná metaflex hadice (4.) s přírubou, tvořící propojovací potrubí mezi sondou a průchodkou (6.) do teplotní komory. Aby nedocházelo k ochlazování odebíraných spalin, je celé vedení od sondy až k teplotní komoře rovnoměrně ovinuto a vyhříváno topným pásem Tyco Thermal (5.) o výkonu 1250 W, řízeným regulačním modulem THERM600. Regulační teplota je nastavena na hodnotu 190 °C. K zamezení tepelných ztrát je vedení po celé délce zaizolováno minerální vatou a překryto hliníkovou fólií.

Jako teplotní komora je použit horkovzdušný sterilizátor (13.) s typovým označením HS 201A, udržovaný na konstantní teplotě 196 °C a s integrovaným teploměrem T3. Jednotlivé prvky uvnitř sterilizátoru jsou propojeny pomocí PTFE hadic (7a.-7f.) o průměru 12 mm.

Spaliny prochází předfiltrem (8.), který je tvořen výplní z keramické vaty v ocelovém plášti. Zde jsou zachyceny pevné prachové částice. Předfiltr má na vstupu a výstupu olivky pro připojení tlakoměru P1. Dále je napojen nerezový rozbočovač (9.), ve kterém se plyn rozděluje do dvou paralelních větví. V rozbočovači je odbočka na vývod teplotního čidla T2. Rozdělený plyn vchází do nerezových filtračních kontejnerů (11a. a 11b.), kde je umístěn testovaný filtr. Těsnost kontejneru je zajištěna těsněním v podobě vitonového³ o-kroužku. Každý kontejner obsahuje obdobně jako předfiltr výstupy pro tlakoměr P2A, P2B. Výstupy pro měření tlakového spádu P1, P2A a P2B jsou pomocí teflonových trubic vyvedeny průchodkou (10.) mimo sterilizátor, kde jsou napojena na příslušné

³ pryž odolná agresivním médiím a vysokým teplotám, cena 6tis. Kč/kg

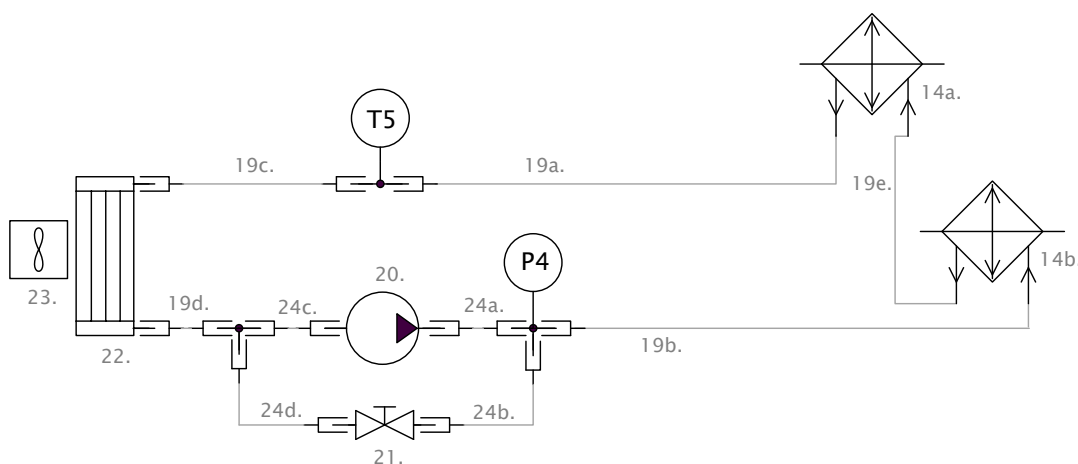
senzory. Stejnou průchodkou je protažen i termočlánek T2. Přefiltrovaný plyn je ze sterilizátoru vyveden dvěma fixními nerezovými spojkami (**12a.-b.**) s vnitřním průměrem 10 mm.

Spaliny jsou ochlazovány skleněnými spirálovými chladiči podle Dimrotha (**14a.** a **14b.**) se zábrusy o průměru 29/32 na teplotu 20 °C. Vstupy chladičů jsou přes redukční díl propojeny s PTFE hadicemi (**7g.-h.**) a výstupy přes zábrusová kolena napojeny na sulfonační baňky (**16a.** a **16b.**). Odlučovaný kondenzát je shromažďován uvnitř baněk o objemu 4 000 ml. K baňkám jsou připojeny přímé zábrusové díly, do kterých je vložen pevný sorbent PUF pro záchyt látek typu PCDD/PCDF. Nevyužité tubusy nádob jsou hermeticky uzavřené.

Od tohoto místa je zchlazené medium vedeno PVC hadicemi (**15a.-j.**) o vnitřním průměru 19 mm. Měření průtoku v každé větvi zajišťuje hmotnostní průtokoměr TESTO 6441 (**Q1A** a **Q1B**), hodnoty proteklého množství navíc zaznamenává bubnový laboratorní plynoměr PL 0,5 (**V1A**, **V1B**) od českého výrobce Spektrum s.r.o.

Nastavením dvojice pákových ventilů (**17a.**, **17c.**) a (**17b.**, **17d.**) je možné provést regulaci průtoku v jednotlivých větvích pomocí přivírání a přísávání vnějšího vzduchu. Pro orientační přehled hodnot podtlaku je před každou sestavu ventilů zařazen tlakoměr **P3A**, **P3B**.

Za regulačními ventily se obě větve slučují do jednoho vedení, které je propojeno s pohonem celé soustavy. Pohon tvoří suchoběžná vývěva BUSCH SV 1010 C (**18.**), ovládaná frekvenčním měničem SINAMICS G110 od firmy Siemens., který zajišťuje jemné doladění průtoku.



Obr. 5.6 Schéma chlazení provozní aparatury

Efektivní chlazení obou spirálových chladičů (**14a.** a **14b.**) je řešeno nuceným oběhem destilované vody v uzavřeném okruhu (viz schéma Obr. 5.6). Spojovací vedení jednotlivých částí chladicího okruhu je tvořeno hadicemi (**19a.-e.**) o vnitřním průměru 8 mm, pohyb chladiva je zajišťován prostřednictvím odstředivého čerpadla AQUACUP Mouse 60 (**20.**) s dopravní výškou 40 metrů. Průtok a tlak se nastavuje pomocí regulačního ventilu (**21.**), zařazeného do boční smyčky, vytvořené z PVC hadic (**24a.-d.**) o průměru DN25. Boční smyčka je nutná, aby nedocházelo k přetěžování čerpadla. Hodnotu aktuálního tlaku chladicího systému zobrazuje tlakoměr **P4**, teplota vody na výstupu druhého skleněného chladiče je monitorována pomocí termočlánku **T5**. Chladicí kapalina je ochlazována ve výměníku, který tvoří lamelový chladič (**22.**) s rozměry 489 x 285 x 34 mm, jež je ofukován klimatizací Daikin (**23.**). Režim klimatizace nastaven na fan mód 5, pro teplotu v místnosti 19 °C, teplota studeného vzduchu vystupujícího z klimatizace je 9 ~ 10 °C.

Měřicí přístroje pro měření tlakového spádu a teploty mají napěťový výstup v rozsahu 0 – 1 V, průtokoměry vlastní výstup proudový 4 – 20 mA. Pomocí stíněné kabeláže jsou přístroje připojeny k jednotlivým modulům ústředny CompactDAQ-9178, v které jsou signály digitalizovány a ukládány do počítače.

5.4 Varianty chlazení spalin

Odběr vzorků spalin je důležité provádět za určitých podmínek. Hlavní důraz je kladen na teplotu, při které kondenzují vodní páry a kyseliny. Přitom je třeba pamatovat, že za těchto podmínek, kdy teplota je stále ještě přes 100 °C a vysoce agresivní kondenzát má kyselost pH = 0,5 – 1, lze z běžných materiálů použít pouze sklo a teflon. Při konstrukci aparatury byly postupně navrženy a odzkoušeny tři varianty chlazení spalin:

- 1) Využití hotové aparatury NOPAR X
- 2) Peltierovy články – vyhnutí se oběhu chladicí kapaliny a skleněným prvkům
- 3) Chladicí okruh se skleněnými chladiči

Z těchto tří variant, které jsou popsány detailně níže, lze až třetí prohlásit za plně funkční.

5.4.1 Aparatura NOPAR X

Zařízení s názvem NOPAR X je měřicí aparatura určena pro dlouhodobé kontinuální měření emisí PCDD/PCDF a sledování různých technologických vlivů na účinnost filtru Remedia. Celé zařízení bylo navrženo a vyrobeno ve spalovně komunálního odpadu Termizo a.s. pod vedením Ing. Nováka podle vzoru belgického adsorbčního systému odběru provozních čtrnáctidenních vzorků spalin AMESA. Aparatura byla zkonstruována na základě normy pro analýzu PCDD/PCDF dle ČSN EN 1948 s určitými zjednodušeními, která umožňují dlouhodobé integrální odběry. Uspořádání aparatury umožňuje odběr spalin před nebo za katalytickým filtrem, v případě použití dvou zařízení NOPAR X lze současně vzorkovat spaliny před i za filtrem a využít tak možnosti souběžné validace. Principem odběru je primární kondenzační metoda doplněná absorpcí v organickém rozpouštědle při nízké teplotě. Absorpce je využita jako dodatečný stupeň pro zabezpečení účinnosti při velmi nízkých koncentracích perzistentních organických látek. [23]



Obr. 5.7 Aparatura NOPAR X

Pro bližší představu o rozměrech a uspořádání jednotlivých částí aparatury je na Obr. 5.7 zobrazen jeden systém pro odběr vzorků NOPAR X. Dva tyto systémy nám byly v rámci spolupráce na společném projektu nabídnuty k užití pro chlazení spalín a následný odběr vzorků.

Problémy nastaly už při samotném umístění obou zařízení, neboť vymezené prostory, ve kterých mohla být vybudována měřicí soustava, nebyly příliš velké a navíc bylo nutné dodržet předpisy provozu Termizo, konkrétně zachovat přístup ke spínacím prvkům a ventilátorům. Aby zůstal zachován přístup k jednotlivým prvkům NOPARu, bylo jedno zařízení umístěno hned vedle horkovzdušného sterilizátoru a druhé zařízení postaveno kolmo na první. Vstupy NOPARu se nacházely na levé straně konstrukční skříně, díky čemuž byla vzdálenost propojovacího potrubí mezi sterilizátorem a vzdálenějším zařízením dlouhá cca 5 metrů. Řešením pro zmenšení délky potrubí o přibližně 2 m by bylo zrcadlení veškerých prvků NOPARu uvnitř konstrukční skříně, což nebylo technicky bez nevratných změn možné. Tento fakt měl za následek samovolné ochlazení plynu na teplotu, při které kondenzoval plyn v propojovacím potrubí, což není z hlediska správné funkce přípustné. Ani důkladné zaizolování tohoto potrubí nevykazovalo známky zlepšení. Možným řešením by bylo pasivní izolaci spojovací trubice zaměnit za aktivně temperované vedení, které je ale na takovouto vzdálenost technicky náročné.

Navíc se při prvních měřeních na blíže umístěném NOPARu ukázalo, že pro chlazení spalín při vyšších průtocích již kapacitně aparatura NOPAR nevyhovuje a že je nutné chlazení spalín řešit jiným způsobem.

5.4.2 Peltierovy články

Dalším způsobem jak chladit spaliny bez nutnosti vytvářet chladicí okruh je využití Peltierova jevu, kdy na rozhraní dvou kovů tvořících termočlánek přivedeme zdroj stejnosměrného napětí. Průchodem elektrického proudu oběma kovy a tedy i jejich spoji se vytvoří teplotní rozdíl mezi oběma spoji. V závislosti na polaritě přiloženého napětí se bude jeden spoj ohřívat a druhý ochlazovat. [24]

Peltierovy články se pro běžné použití vyrábějí v různých velikostech a o jiných chladicích parametrech. Jejich rozměry (čtvercová destička) jsou 10 x 10

až 60 x 60 mm, tloušťka mezi 3 – 6 mm. Maximální chladicí výkon se pohybuje od desetin až po stovky wattů, rozdíl teplot může dosahovat 60 až 85 °C.

Než bylo přistoupeno k samotné realizaci chladiče, byl vykalkulován odhad potřebného chladicího výkonu. Vycházíme ze základního vztahu pro teplo **E**. Teplo potřebné k ohřátí tělesa o hmotnosti **m** o teplotu ΔT lze vypočítat pomocí vztahu (4), kde ΔT je rozdíl počáteční teploty **T₁** a koncové teploty **T₂** (tzn. $\Delta T = T_2 - T_1$) a **c** je jeho měrná tepelná kapacita.

$$E = m * c_p * \Delta T \quad (J) \quad (4)$$

$$P = \frac{E}{t} = \frac{m * c_p * \Delta T}{t} \quad (W) \quad (5)$$

P – chladicí výkon

m – hmotnost [kg]

c_p – měrná tepelná kapacita [J/(kg °C)]

ΔT – rozdíl teplot [°C]

t – čas [s]

Dle normy ČSN EN 1948-1 Část: Minimální požadavky na odběr vzorků [22] je možné jako materiál použitelný pro odběr vzorků použít pouze skleněné nebo teflonové potrubí. Zvolena tedy byla dle většího součinitele teplotní vodivosti λ skleněná trubice ($\lambda_{\text{teflon}} = 0,23 \text{ W/m.K}$, $\lambda_{\text{sklo}} = 1.25 \text{ W/m.K}$).

Vstupní parametry:

$c_{p_sklo} = 1000 \text{ J/(kg °C)}$

Teplota plynu $T_2 = 200 \text{ °C}$

Požadovaná teplota $T_1 = 20 \text{ °C}$

Průtok 10 SLPM

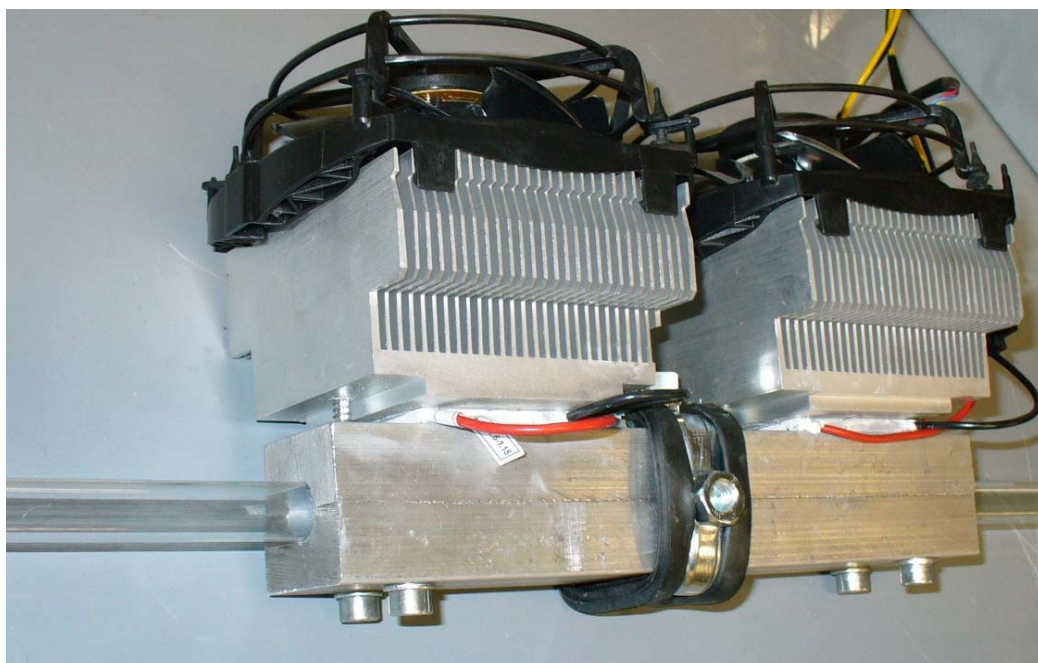
$\Delta T = 180 \text{ °C}$

Pokud předpokládám, že 1 Kg vzduchu $\sim 1 \text{ Nm}^3$, získám potřebný chladicí výkon dle (5).

$$P = \frac{E}{t} = \frac{m * c_p * \Delta T}{t} = \frac{0,01 * 1000 * 180}{60} = 30 \text{ W}$$

Pro účel pouzdra byly zhotoveny dva symetrické hliníkové profily o rozměrech 35 x 40 x 200 mm, s vyfrézovaným podélným žlábkem, jež po spojení obou dílů tvoří průchozí otvor pro chladicí potrubí. Na tuto konstrukci dosedá dvojice Peltierových článků o výkonu 90W na jeden článek. Články jsou v pevné poloze fixovány žebrovými chladiči. Využito bylo dostupných chladičů procesoru pro stolní počítače, typ Arctic Cooling. Svojí konstrukcí s masivní základnou a dlouhými žebry zajišťují dobrý povrch pro odvod tepla, který je umocněný 92mm velkým ventilátorem s tvarovanými lopatkami a rychlostí 2000 otáček za minutu.

Do otvoru profilu je usazeno potrubí tvořené přímou skleněnou trubicí o průměru 10 mm a délce 120 cm. Aby bylo dosaženo co možná největšího odvodu tepla a zamezení tepelných ztrát mezi jednotlivými konstrukčními prvky, jsou veškeré kontaktní plochy mezi chladiči, články a hlavně hliníkovým profilem a potrubím vyplněny teplovodivou pastou. Napájení Peltierových článků stejnosměrným napětím je zajištěno 450W PC zdrojem. Celá konstrukce chlazení je znázorněna na Obr. 5.8.



Obr. 5.8 Chlazení Peltierovými články

Proces chlazení filtrovaného plynu začíná již na vstupu do skleněné trubice, kde je plyn ochlazován samotnou teplotou okolního prostředí. Peltierovy články podle změřené teploty chladí povrch skleněné trubice na teplotu $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$, ale výsledný efekt i při naddimenzovaném není dostatečně efektivní. Požadovaná teplota plynu na výstupu je $\leq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, skutečná teplota činila $56\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tento způsob chlazení nebyl vyhovující.

5.4.3 Spirálové chladiče

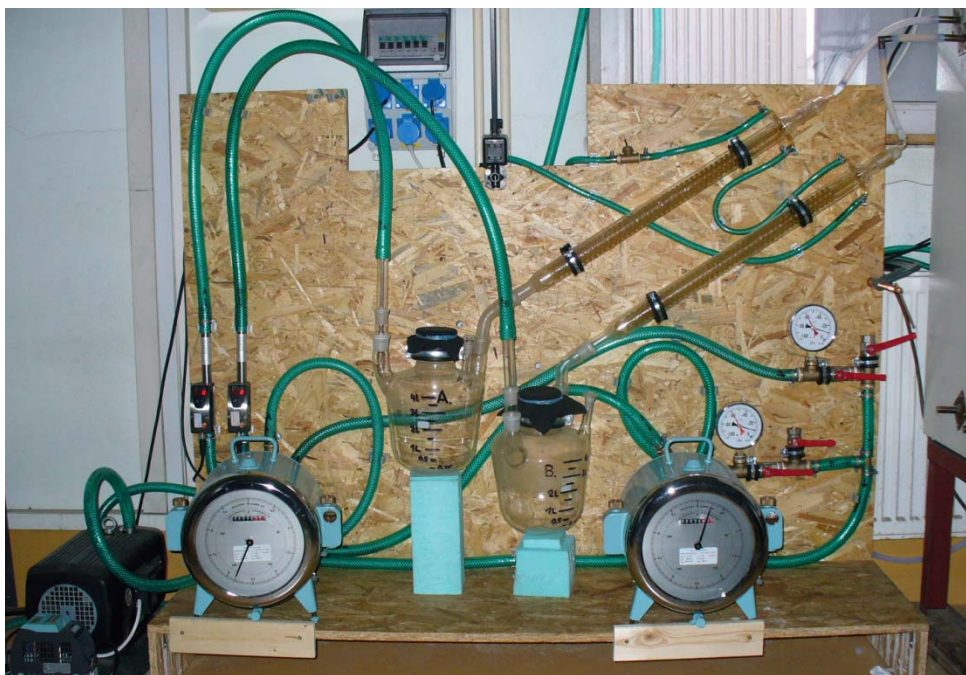
Návrh chlazení spalin pomocí skleněných spirálových chladičů (viz Obr. 5.9) vychází ze zapojení uvedeného v normě ČSN EN 1948-1 „*Stacionární zdroje emisí - stanovení hmotnostní koncentrace PCDD/PCDF a dioxinům podobných PCB – část 1: vzorkování PCDD/PCDF: Příloha B*“.

Přesný popis chlazení je uveden v kapitole 5.3. Uvedený popis je shodný pro obě paralelní měřicí větve.

Spaliny opouštějící sterilizátor jsou ochlazovány teplotou okolního prostředí a dochlazovány ve skleněném chladiči na teplotu $\leq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Chladič je přes skleněné koleno napojen na kondenzační nádobu. Úhel kolena musel být hořákem upraven dle konkrétní pozice chladiče a kondenzační nádoby. Do jednoho tubusu nádoby dosedá přímý zábrusový díl, do kterého bude vložen pevný sorbent. Ostatní tubusy je nutné uzavřít. Jelikož na otvor 50/70 mm není komerčně vyráběn žádný uzávěr, byla k uzavření otvoru použita pryžová membrána.

Spaliny dále pokračují přes měřiče průtoků a proteklého množství do části, kde je ventily regulován průtok větve. Za touto částí se obě větve slučují do jednoho vedení. Posledním prvkem systému je vývěva, pohánějící celý řetězec. Ochlazování spirálových chladičů zajišťuje uzavřený chladicí okruh, neboť otevřené chlazení vodou z vodovodního řádu nebylo v Termizu povoleno.

Varianta chlazení pomocí spirálových chladičů byla vybrána pro finální podobu provozní spalinové trati.



Obr. 5.9 Chlazení spirálovými chladiči

5.5 Ověření funkčnosti aparatury

Pro ověření správné funkčnosti provozní spalínové trati je nutné dodržet minimální požadavky, kladené na odběry vzorků a provést validační měření. Jedním z požadavků je odečet tlaků, teplot a průtoků jednou za 15 min. Měřicí ústředna zaznamenává tyto fyzikální veličiny každou vteřinu, čímž výrazně překračuje standard a požadavky normy [22] a umožňuje tak lépe sledovat procesní podmínky.

Pro dosažení meze stanovitelnosti analytických laboratoří je doporučováno, aby objem vzorku odpadního plynu z jedné větve měření činil nejméně 4 m³. Dále dle Směrnice Rady EU 2000/76/ES o spalování odpadů je nejkratší doba odběru vzorku 6 hodin.

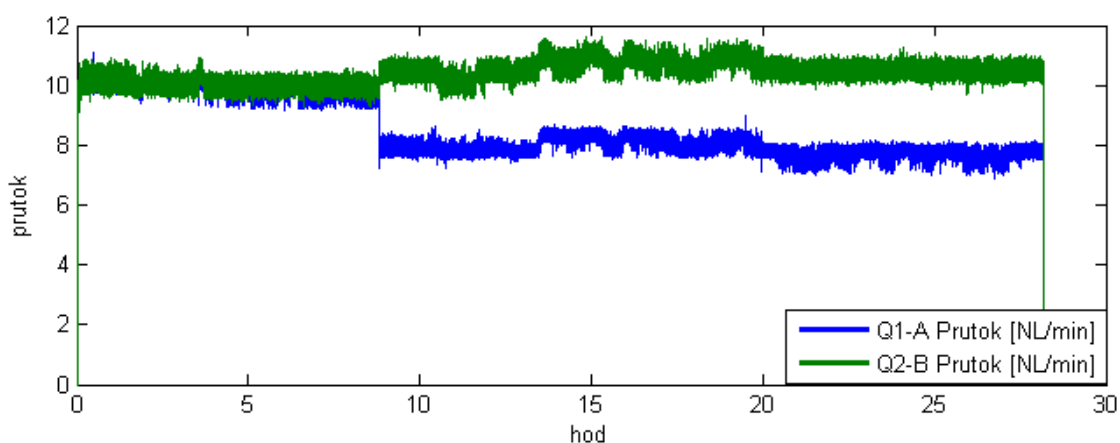
5.5.1 Ověřovací měření

Pro ověření funkčnosti aparatury bylo nejprve provedeno srovnávací měření označené pod evidenčním jménem D-203 na filtračním materiálu Remedia, používaném ve stávajícím dioxinovém filtru. K materiálu Remedia jsou známy veškeré důležité hodnoty filtračních parametrů, proto dobře poslouží k validaci sestavené trati. Pokud by hodnoty efektivity destrukce látek PCDD/PCDF byly odlišné od naměřených, dalo by se usuzovat na systémovou chybu sestavené aparatury.

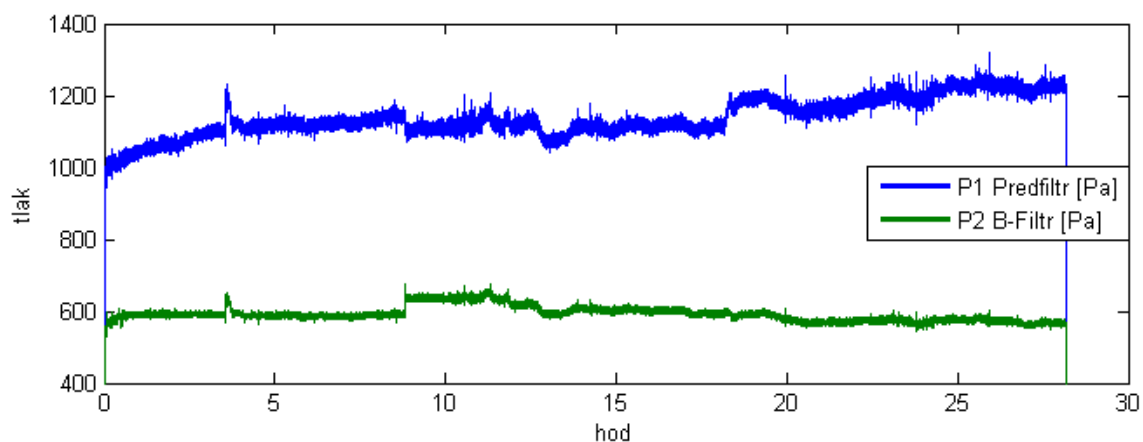
Celé měření probíhalo 28,1 hodin paralelně na obou větvích. Větev A byla bez filtru (Bypass) a odebírala tak vzorky před filtrem, do větve B odebírající vzorky za filtrem byl nainstalován filtr Remedia. Výsledný objem vzorku činil 17.50 Nm³ na větvi A a 19.01 Nm³ na větvi B.

Ze záznamu měření na Obr. 5.10 je vidět, že průtok v obou větvích je během měření držen na přibližně stejné hodnotě. Mírný rozkmit průtoků po cca 8 hodinách měření může být způsoben změnou ve spalovacím procesu. Změnou je myšlena například nová várka odpadu s odlišným poměrem druhu materiálů spalovaného odpadu.

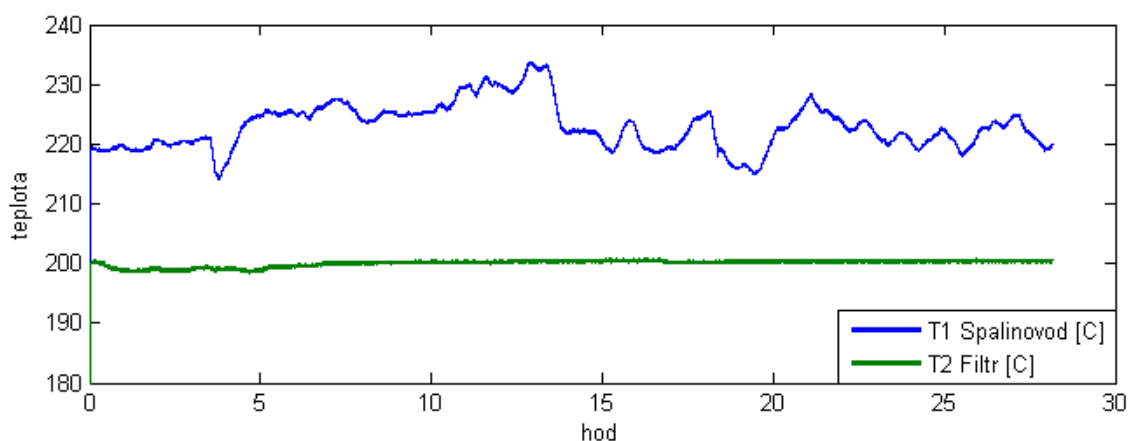
Tlakový spád na předfiltru (Obr. 5.11) pomalu roste důsledkem zanášení se prachovými částicemi. Tlakový spád na měřeném filtru Remedia zůstává relativně konstantní na hodnotě okolo 590 Pa, změny tlaku jsou nejspíše způsobeny v důsledku změn v procesu spalování.



Obr. 5.10 Průběh průtoků D-203



Obr. 5.11 Průběh tlaků D-203



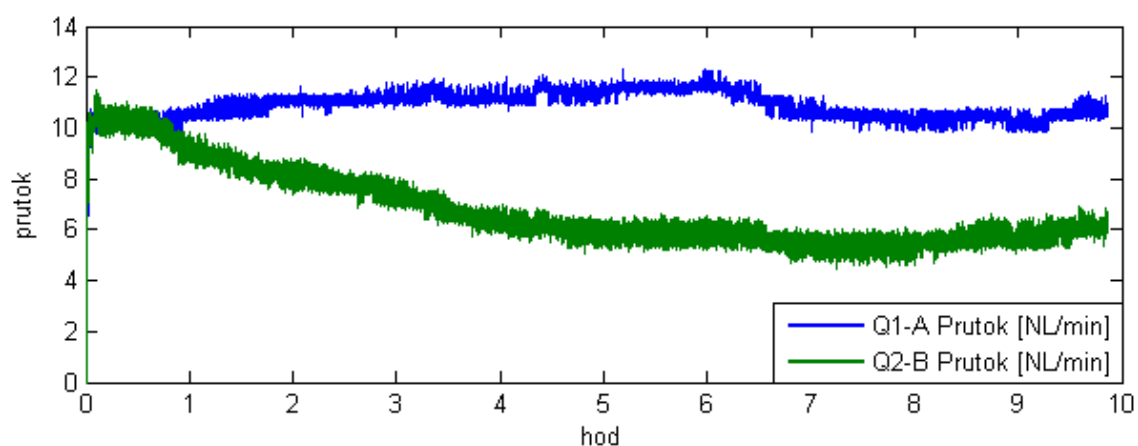
Obr. 5.12 Průběh teplot D203

Teplota měřená v prostoru spalínovodu kolísá v rozsahu 210 °C až 235 °C, teplota před měřeným filtrem je držena na konstantní hodnotě 196 °C. Záznam teplot je uveden na Obr. 5.12.

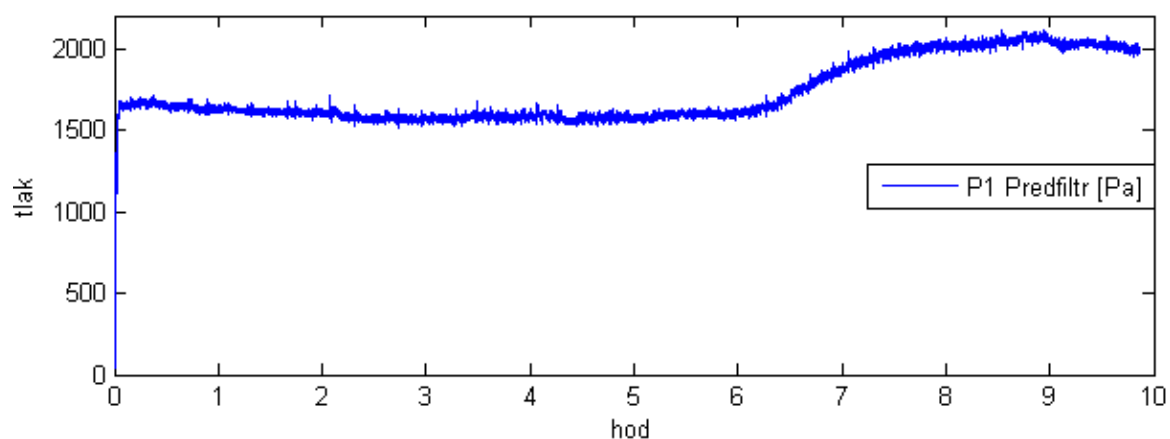
Vzorky PUF sorbentů z obou větví byly odeslány na externí analýzu obsahu látek PCDD/F do firmy Axys Varilab. Z referenčních měření Termizo provedených akreditovanými laboratořemi je známo, že účinnost destrukce PCDD/F na filtrech Remedie je cca 98 %. [na výstupu z kotle je 1 – 3 ng/Nm³ TEQ⁴, za dediox filtrem 0,02 – 0,05 ng/Nm³ TEQ. Pokud tedy vezmeme hodnotu 1 ng a 0,02 ng, vychází účinnost 98 %]. [1] Výsledky analýz AXYS provedených na našem vzorku prokazují efektivitu materiálu Remedie 97.5%, čímž je alespoň částečně ověřena funkčnost aparatury. Pro důkladnou validaci aparatury by bylo nutné provést větší počet srovnávacích měření, je ovšem třeba brát v úvahu značnou finanční nákladnost analýz PCDD/F.

Pro porovnání s filtrem Remedie jsou na Obr. 5.13 – Obr. 5.16 zobrazeny průběhy měření D-208 na nanovlákněném filtru vyvinutém na TUL.

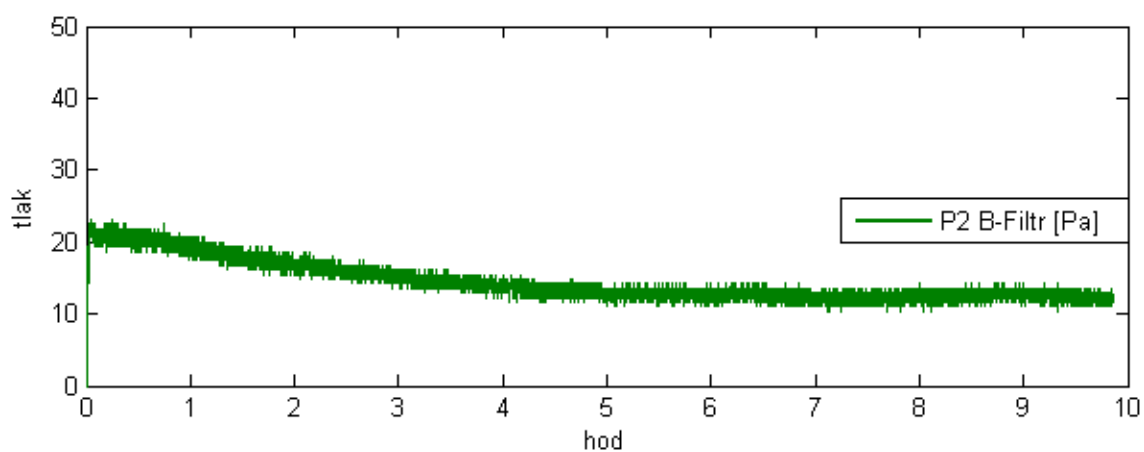
⁴ Mezinárodní toxický ekvivalent



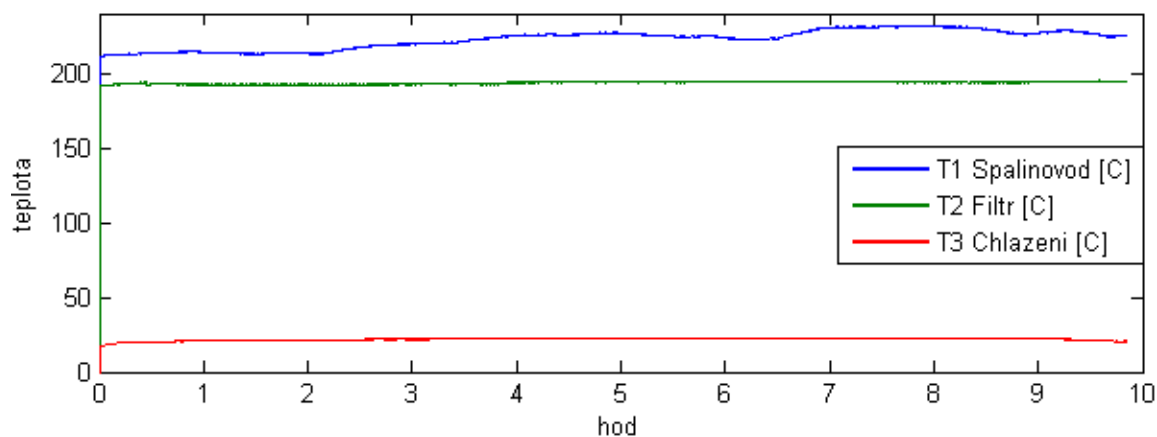
Obr. 5.13 Průběh průtoků D-208



Obr. 5.14 Průběh tlaku předfiltr D-208



Obr. 5.15 Průběh tlaku filtr D-208



Obr. 5.16 Průběh teplot D-208

Srovnávací parametry měření na filtru Remedie (D-203) a nanovlákněm filtru M001 (D-208) jsou uvedeny v Tab. 4. Jak je vidět z tabulky, efektivita materiálu M001 je 30 %.

Tab. 4 Porovnání měření D-203 a D-208

Název měření	D-203A	D-203B	D-208A	D-208B
Vzorek	X	Remedia	X	M001
Způsob vzorkování	PUF	PUF	PUF	PUF
Teplota [°C]	196	196	195	195
Rychlost filtrace [m/s]	X	0,032	X	0,0202
Délka měření [hod]	28,1	28,1	9,8	9,8
Objem plynu [Nm ³]	17,507	19,013	7,257	4,191
Tlakový spád [Pa]	X	590	X	15
Koncentrace kontaminantů	2,22 ng/Nm ³ PCDD/F TEQ	0,056 ng/Nm ³ PCDD/F TEQ	4,12 ng/Nm ³ PCDD/F TEQ	2,88 ng/Nm ³ PCDD/F TEQ
Efektivita [%]	X	97,5	X	30

Materiál vzorků:

D-203: M700[Teflonová stříž Remedie - bez nano, Remedie katalyzátor]

D-208: M001 [polyamid s katalyzátorem ze směsi 1: Titan, Vanad, Wolfram]

6 Prohlížeč datových souborů z aplikace UMA

Než bude přistoupeno k popisu návrhu a realizaci samotného programu pro prohlížení datových souborů, je nutné uvést základní informace o aplikaci UMA. Universal Measurement Application je, jak již bylo zmíněno měřicí software vyvíjený na TUL, který umožňuje vícekanálová měření pomocí podporovaných měřicích karet a modulů. Vzhledem k tomu, že je program sestaven v programovacím prostředí LabVIEW a celková koncepce převážně zaměřena na hardware firmy National Instruments, musí pro správnou funkci programu být připojené zařízení kompatibilní s ovladači NI-DAQmx. Aplikace umožňuje sběr dat po nastavenou dobu (v řádu sekund, měsíců i let) nebo manuální režim pomocí start-stop tlačítka. Měřicímu přístroji lze přehledně nastavit základní parametry pro sběr dat, například rozsahy měřených veličin, vzorkovací frekvence, ale i individuální nastavení vlastností každého kanálu. Mezi další funkce aplikace patří filtrace, decimace nebo kontinuální výpočet frekvenční charakteristiky s nastavitelnými parametry. Pro vizualizaci měřených průběhů slouží graf aktuálních a celkových hodnot. Data z měření jsou ukládána do souboru v textové podobě včetně hlavičky obsahující informace o nastavení měřicího přístroje a samotného měření.

6.1 Požadavky na prohlížeč

Základním požadavkem na prohlížeč pojmenovaný jako Viewer je načítání textových souborů kompatibilních s aplikací UMA a možnost prohlížení naměřených průběhů. Program bude primárně sloužit k prohlížení dat naměřených na provozní spalínové trati ve spalovně Termizo, a právě pro tento účel bude přizpůsoben. Aplikace bude vytvořena v programovacím prostředí LabVIEW. Bude umožňovat načtení textového souboru s daty, vytvořeného pomocí aplikace UMA verze 1.0.3. Program separuje konfigurační hlavičku souboru, z které zpracuje potřebné informace pro správné vykreslení uložených průběhů. Dále budou načtena samotná data, která aplikace zobrazí formou grafu. Graf bude podporovat základní funkce, jako posouvání se ve zvoleném průběhu, zoomování, odečítání hodnot kurzory, případně další potřebné funkce.

6.1.1 Struktura UMA souboru

Soubor lze rozdělit na dvě hlavní části, na textovou hlavičku souboru a na samotná data. Hlavička je rozdělena do několika sekcí, přičemž každá sekce má vlastní identifikátor v podobě %Název%. Název vystihuje informace, které daná sekce obsahuje. Výpis jednoho UMA souboru je v Příloze B.

Dále jsou rozepsány jednotlivé sekce Log, Device, Channels a Data. Log má neměnný tvar, kde hlavní položkou je Rate(Hz), což je vzorkovací frekvence ústředny. Device obsahuje tolik podsekcí, kolik je do systému připojeno měřících modulů, běžně v rozmezí 1 - 8. Dále jsou zde uvedeny parametry k jednotlivým modulům. Každý modul může obsahovat více měřících kanálů. Skupina Channels reprezentuje již konkrétní vybrané a individuálně nastavené měřící kanály. Tato verze aplikace UMA podporuje sběr až z 16 ti kanálů. Poslední sekcí jsou Data, obsahující sloupce s názvem kanálu a pod ním uvedené naměřené hodnoty.

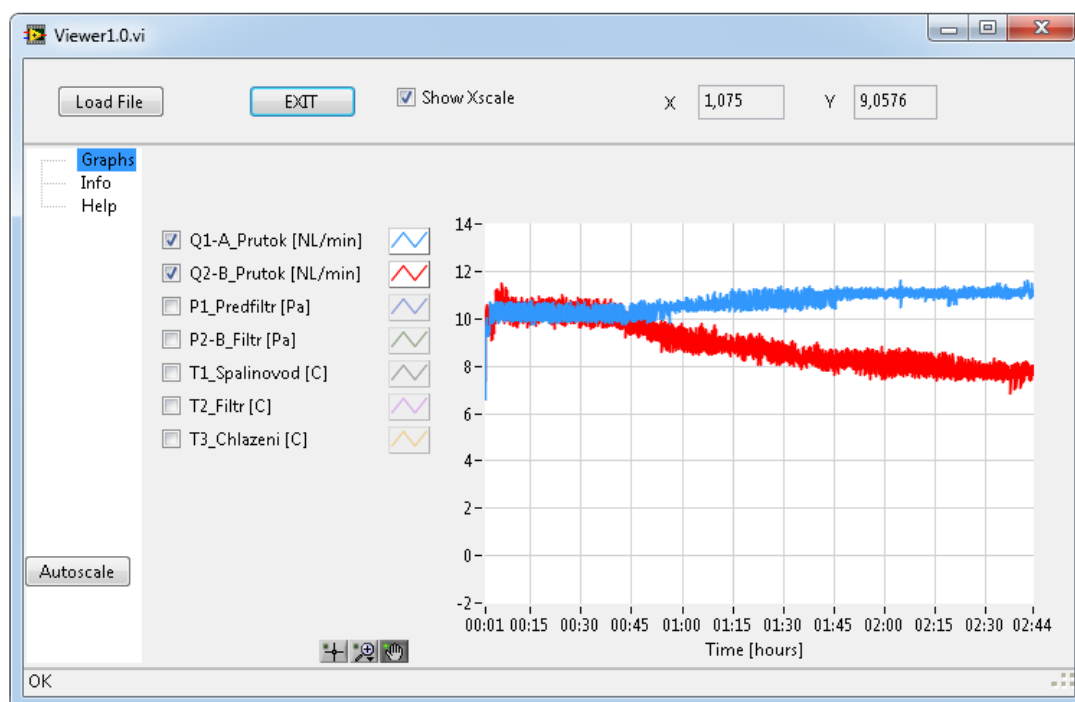
6.2 Řešení vlastního programu

Koncepce programu je založena na struktuře Master – Slave. Master i Slave představují každý samostatný stavový automat. Automaty jsou dle výše uvedené struktury vzájemně provázány. Master vytváří komunikaci s uživatelem prostřednictvím uživatelského rozhraní. Slave slouží pro zpracovávání dat a výpočtů při řešení složitějších operací a funkcí.

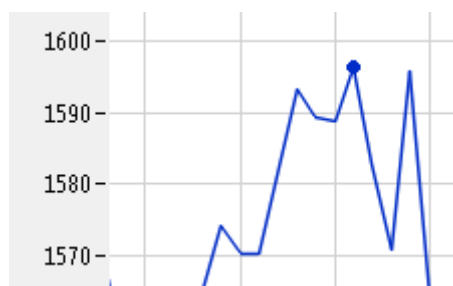
Na Obr. 6.1 je zobrazeno uživatelské rozhraní vytvořeného prohlížeče Viewer 1.0, ve kterém jsou vykresleny průběhy průtoků jednoho z měření na provozní spalínové trati. Okno rozhraní je složeno ze tří částí. Horní část obsahuje ovládací prvky pro načtení datového souboru. V levé straně je pole se záložkami Graphs, Info a Help a tlačítko autoscale. A poslední částí je samotné okno s grafem. Zde je seznam načtených kanálů, který také slouží k výběru průběhů, které se mají v grafu zobrazit. Pro práci s grafem jsou použita standartní tlačítka pro posouvání a zoom průběhů.

Záložka Info obsahuje informace o načteném souboru. Jméno, velikost a kompletní hlavičku prohlíženého souboru. Tlačítko autoscale slouží pro rychlé optimální nastavení osy x a y, a tím vykreslení celých průběhů. Přesnou polohu kurzoru v grafu představuje tečka, která se při přiblížení kurzoru myši ke kterémukoliv průběhu připne na nejbližší průběh a změní barvu dle svého hostitele a kopíruje při pohybu myši jeho trajektorii. Detail je vidět na Obr. 6.2.

Aktuální souřadnice je také vypisována po složkách v kolonkách v horní části uživatelského rozhraní. Zdrojové kody aplikace a instalátor je přiložen v příloze G.



Obr. 6.1 Uživatelské prostředí Viewer



Obr. 6.2 Detail kurzoru

6.3 Zhodnocení programu

Aplikace Viewer 1.0 funguje a podporuje datové soubory UMA 1.0.3, díky čemuž byla využita pro prohlížení dat naměřených na provozní spalínové trati. Během vývoje programu Viewer byly registrovány problémy související se zpracováním a následným zobrazováním větších objemů dat. Nebyl nalezen vhodný algoritmus pro zpracování velkých objemů dat v řádech stovek až tisíců MB.

Dalším nepříznivým faktorem je samotná aplikace UMA, která je stále ve vývoji a výstupní textový soubor s daty mění v průběhu dalších revizí svou podobu. Kvůli výše zmíněným problémům se do budoucna jeví jako vhodnější použít komerční univerzální software DIAdem.

6.4 NI DIAdem

NI DIAdem 2011 je další software od National Instruments. Jedná se o software pro správu, prohlížení, analýzu naměřených dat a vytváření výstupních zpráv z měření. Vývoj tohoto software pokračuje již několik let, kdy měla tato aplikace svůj okruh uživatelů, avšak až verze DIAdem 2011 přináší průlom v oblasti zpracování signálů. Díky cenové dostupnosti a novým možnostem, dochází k nárůstu používání tohoto programu novými uživateli z dalších oblastí zpracování dat. Jeho koncepce je navržena tak, aby program plně odpovídal dnešním požadavkům na zpracování dat, tj. umožňoval rychlý přístup k souborům, podporoval různé datové i textové formáty jednotlivých souborů, dokázal efektivně zpracovávat velké objemy dat, umožňoval pracovat s databázemi, obsahoval různé nástroje pro analýzu a statistiku.

Uživatelské rozhraní je složeno z několika záložek, ve kterých je možné postupně a intuitivně zpracovat datový soubor s naměřenými průběhy.

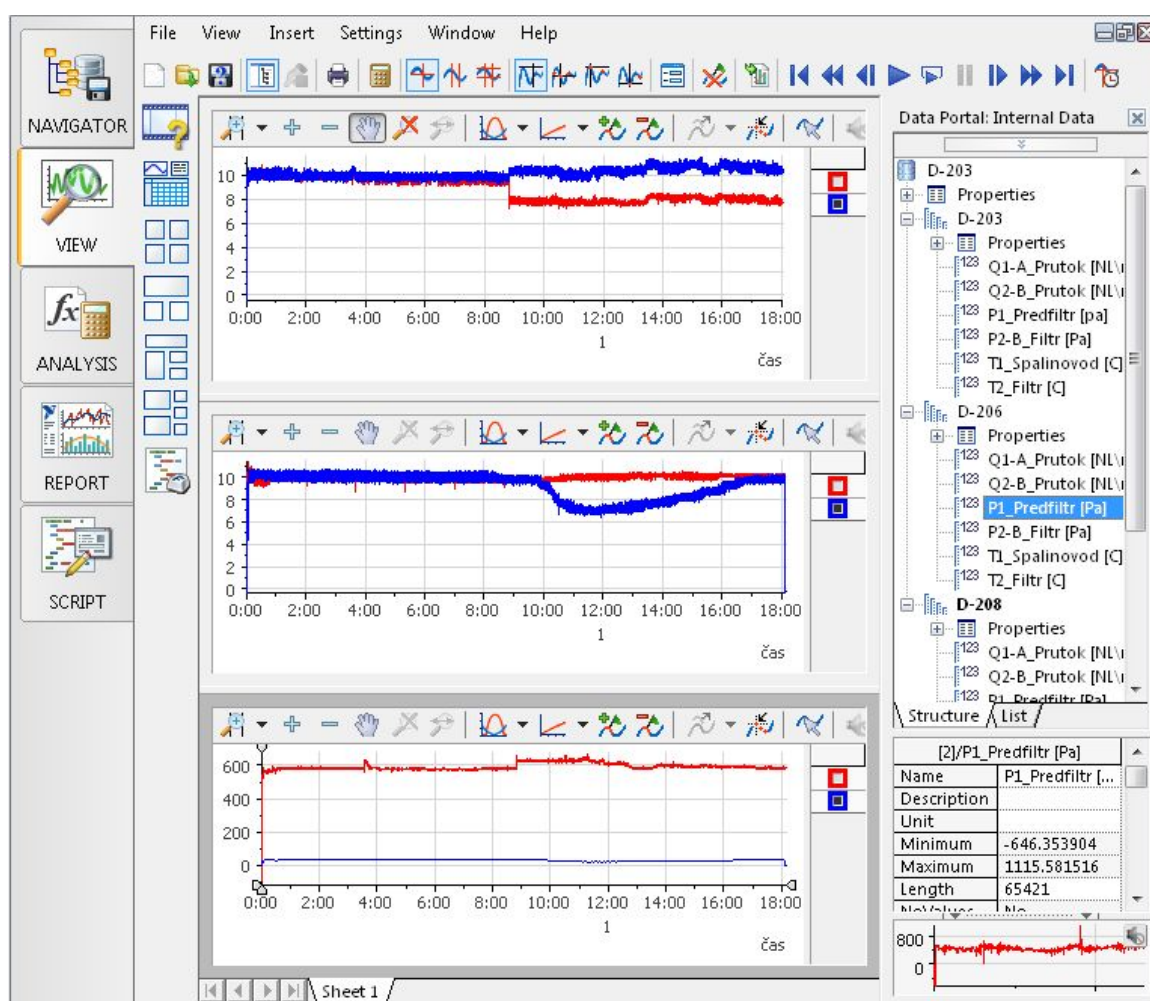
Prvním blokem je NAVIGATOR, umožňující správu souborů. Hlavním úkolem této záložky je import a export dat. Velkým přínosem je široká podpora vstupních formátů. Ať se jedná o běžně používané textové, tabulkové, databázové a datové formáty nebo speciální formáty audio souborů, či systému GPS. Pokud by byl však požadován vlastní formát, může tak pomocí integrovaného průvodce vytvořit svůj plugin.

VIEW složí k prohlížení a editaci dat. Na výběr je několik druhů zobrazení, od vytvoření tabulky přes klasický dvojrozměrný graf až po nejruznější 3D modely a animace.

Sekce ANALYSIS obsahuje velké množství funkcí pro práci s daty. Základní matematické a statistické funkce, vytváření vlastních časových průběhů a posloupností, funkce signální analýzy, ale i speciální prvky pro analýzu 3D objektů nebo crash test rozborů.

REPORT, jak již název napovídá, je část pro vytváření výstupních zpráv. Lze si tak vytvořit šablonu pro konkrétní typ měření. Tato šablona ušetří pracovní čas při dalším zpracování výstupních zpráv. Na výběr jsou různé druhy grafů, tabulek, obrázků, ale i více druhů předdefinovaných šablon nebo objekty pro grafickou úpravu vlastních výstupů.

Záložka SCRIPT obsahuje záznam jednotlivě provedených úprav a operací s daty přeformulované do textové podoby, konkrétně do programovacího jazyku Basic. Díky tomu je možné celý postup načítání souboru a jeho následných úprav a vytvoření výstupu zautomatizovat.



Obr. 6.3 Uživatelské prostředí DIAdem

Na Obr. 6.3 je zobrazeno uživatelské prostředí DIAdemu při vyhodnocování průběhů z měření na vzorku Remedie (D-203) a vzorku M001 (D-206) vyrobeného na TUL.

Závěr

Diplomová práce zahrnuje stručný popis technologie vzniku a následného čištění odpadních plynů ve spalovně komunálního odpadu Termizo a.s. a technické řešení katalytické destrukce polychlorovaných dibenzodioxinů.

Na laboratorní spalínové trati jsem provedl změny v uspořádání elektrických prvků, navrhl a vytvořil automatickou regulaci teploty filtračního kontejneru a odstranil zdroje rušení. Po těchto úpravách byla celá aparatura pro ověření funkčnosti předána k užití chemickým analytikům. Trať nyní slouží ke krátkodobému měření efektivity nanovlákných filtrů vyrobených na univerzitě.

Ve spolupráci s dalšími řešiteli byla ve spalovně komunálního odpadu Termizo a.s. vybudována provozní spalínová trať. Zde jsem navrhl funkční uzavřený chladicí okruh vody, který jsme následně realizovali. Aparaturu jsem vybavil měřicí technikou s centralizovaným sběrem dat a ukládáním hodnot do notebooku. Před oživením systému bylo nutné vyrobit propojovací kabeláž k jednotlivým měřicím přístrojům, spolehlivě fungující v průmyslovém prostředí. Trať byla ověřena pomocí filtru REMEDIA a nyní jsou dlouhodoběji testovány filtry s nanomateriálovou vrstvou. Tato trať z hlediska fyzikální instrumentace výrazně překračuje standard a požadavky normy [22] na odběr vzorků, kde je odečet tlaků, teplot a průtoků vzorkován místo jednou za 15 minut každou sekundu. Díky tomu je například na průběhu teploty ve spalínovodu vidět, jak procesní podmínky značně kolísají. Notebook s měřicí ústřednou byl pomocí WiFi připojen k internetu a následně vytvořen dálkový přístup k měřicí aplikaci. Měření teplot, tlaků a průtoků je možné sledovat na dálku bez nutnosti osobní návštěvy spalovny. Navíc pro lepší přehled o stavu trati je prostor trati monitorován webovou HD kamerou, přenášející přes internet živý obraz měřicí aparatury.

Pro potřebu prohlížení naměřených dat ve spalovně byl naprogramován software Viewer 1.0, obsahující základní funkce pro zobrazení měřených signálů. Program načítá textové soubory naměřené z aplikace UMA do velikosti souboru cca 100MB, čemuž odpovídá pracovní týden měření ve spalovně. Hlavní výhodou aplikace je jednoduchý náhled na průběh naměřených signálů a velmi snadná intuitivní obsluha. Zpracování větších objemů dat je již dosti náročné na přístup do paměti, proto byl pro objemnější soubory zvolen vhodnější komerční software DIAdem.

Seznam použité literatury

- [1] NOVÁK, P. *Popis technologie vzniku a čištění spalin ve spalovně TERMIZO a.s.*, Liberec, 2009. Nepublikováno.
- [2] KREIDL, M. *Měření teploty - senzory a měřicí obvody*. Vyd. 1. Praha: BEN - technická literatura, 2005. 240 s. ISBN 9788073001452.
- [3] VLACH, L.: *Moderní měření a regulace energetických veličin* [online]. 2003. Index termoclanky, [cit. 2011-01-07].
URL: <<http://www.e-automatizace.cz/ebooks/mmr/0322e-Termoclanky.htm>>.
- [4] *GMH-3210 datasheet* [online]. [cit. 2011-04-09].
URL: <http://www.jsp.cz/files/edoc/01353_greisinger-GMH-3210.pdf>.
- [5] KADLEC, K.; KMÍNEK, M.: *Měřicí a řídicí technika: Měření tlaku* [online]. Elektronické učební texty k přednáškám z předmětu měřicí technika, VŠCHT Praha, 2008 [cit. 2011-01-07].
URL: <<http://uprt.vscht.cz/ucebnice/mrt/F4/F4-ram.htm>>
- [6] KADLEC, K.: *Snímače tlaku – principy, vlastnosti a použití*. AUTOMA, 2007, č. 2, 7, 10, 11
- [7] *GDH 01AN datasheet* [online]. [cit. 2011-04-09].
URL: <<http://www.greisinger.de/files/upload/en/produkte/kat/26.pdf>>.
- [8] BEJČEK, L.; ĎAŘO, S.; PLATIL, A. *Měření průtoku a výšky hladiny*. Vyd. 1. Praha: BEN - technická literatura, 2005. 448 s. ISBN 9788073001568.

- [9] KADLEC, K.; KMÍNEK, M.: *Měřicí a řídicí technika: Měření průtoku* [online]. Elektronické učební texty k přednáškám z předmětu měřicí technika, VŠCHT Praha, 2008 [cit. 2011-01-07].
URL: <<http://uprt.vscht.cz/ucebnice/mrt/F4/F4-ram.htm>>
- [10] KADLEC, K. *Snímače průtoku (část 1 až 3)*. AUTOMA, 2006, roč. 12, č. 10, 11, 12, ISSN 1210-9592.
- [11] *Měřicí přístroje pro kontrolu kvality a měření kvality spotřeby tlakového vzduchu* [online]. 2009. Index stlacený, [cit. 2011-05-08].
URL: <<http://www.testo.cz/online/embedded/Sites/CZE/SharedDocuments/stlacený.pdf>>.
- [12] *Compressed Air Counter testo 6440* [online]. 2005.
Index testo6440, [cit. 2011-02-14].
URL: <http://entech.co.th/www.readyplanet5.com/images/sub_1216188691/testo6440.pdf>.
- [13] Spectrum s.r.o., Skuteč. *Návod k použití: bubnový laboratorní plynoměr Pl 0,5*.
- [14] *NI cDAQ-9172 datasheet* [online]. 2008.
Index NI cDAQ-9172, [cit. 2011-04-09].
URL: <<http://sine.ni.com/psp/app/doc/p/id/psp-134/lang/en>>.
- [15] *NI 9201 datasheet* [online]. 2009.
Index NI9201, Rev.2009-02-09, [cit. 2011-04-09].
URL: <<http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-184/lang/en>>.
- [16] *NI 9215 datasheet* [online]. 2009. [cit. 2011-04-09].
URL: <<http://www.ni.com/pdf/manuals/373779f.pdf>>.

- [17] NI 9203 *datasheet* [online]. 2009.
Index NI9203, Rev. 2009-02-09, [cit. 2011-04-09].
URL: <<http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-189/lang/en>>.
- [18] VOTRUBEC, R. *LabVIEW for Windows*. 2000. 47 s.
- [19] TRAVIS, J.; KRING, J.: *LabVIEW for everyone* 3.vyd. Boston: Pearson Education, Inc., 2009 ISBN 0-13-185672-3
- [20] VLACH, J.; HAVLÍČEK, J.; VLACH, M.: *Začínáme s LabVIEW* 1.vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2008 ISBN 978-80-7300-245-9
- [21] HOŠEK, P.: *UMA 1.0.3* [online]. [cit. 2011-02-03].
URL: <<http://www.nti.tul.cz/cz/Software/Uma>>
- [22] ČSN EN 1948-1. *Stacionární zdroje emisí - stanovení hmotnostní koncentrace PCDD/PCDF a dioxinům podobných PCB – část 1: vzorkování PCDD/PCDF*. Český normalizační institut, 2006.
- [23] Termizo a.s., Liberec. *Odběrová aparatura pro měření plynných emisí NOPAR X*. 2007.
- [24] Encyklopedie fyziky: *Peltierův jev*. M. VŠETIČKA. [online]. [cit. 2011-04-07].
URL: <<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/911-peltieruv-jev>>

Příloha A - Struktura UMA souboru

%Log%

DataFormatVersion=1.0
Date(dd.mm.rrrr)=28.07.2011
Time=09:23:09
DurationOfMeasurement(dd hh:mm:ss)=Unlimited
Rate(Hz)=10

%Device%

[cDAQ1Mod3]
Type=NI 9203
RangeMin=0
RangeMax=0.02
MeasType=Current
Parameters=TermConfequal*~|.signRSE

[cDAQ1Mod6]
Type=NI 9215 (BNC)
RangeMin=0
RangeMax=10
MeasType=Voltage
Parameters=TermConfequal*~|.signDifferential

%Channels%

[cDAQ1Mod6/ai0]
Checked=TRUE
Color=8421376
Name=P1_Predfiltr
Unit=Pa
k=2000
q=0
FilterMethod=Median
FilterCluster.FilterType=Lowpass
FilterCluster.Order=3
FilterCluster.Low cutoff freq=0
FilterCluster.High cutoff freq=0
MedianLeftRank=10
AverageHalfWidth=10
DecimFactor=1
Save=TRUE

[cDAQ1Mod6/ai2]
Checked=TRUE

Color=8388608
Name=P2-B_Filtr
Unit=Pa
k=2000
q=0
FilterMethod=Median
FilterCluster.FilterType=Lowpass
FilterCluster.Order=3
FilterCluster.Low cutoff freq=0
FilterCluster.High cutoff freq=0
MedianLeftRank=10
AverageHalfWidth=10
DecimFactor=1
Save=TRUE

%Data%

P1_Predfiltr [Pa]	P2-B_Filtr [Pa]
357.633460	203.614824
356.359004	214.456030
358.270688	215.093748
.	.
.	.
.	.

Příloha B - Protokol o měření na laboratorní spalinové trati

Ověření automatické regulace teploty

Filtrační vzorek: F22

Materiál vzorku: M701 (Teflonová stříž Remedica - bez nano, bez katalyzátoru)
na vzorku nebyla v průběhu měření testována filtrační účinnost, tzn. do systému měřicího řetězce nebyl dávkován polutant, pouze horký vzduch

Měřil: Martin Štěpán

Dne: 04.07.2011

Měření probíhalo na spalinové laboratorní měřicí trati pro měření účinnosti katalytických filtračních materiálů za vysokých teplot. Aby bylo možné simulovat stejné podmínky pro testování veškerých filtrů z nanovláknenných materiálů vyvíjených na TUL, je nutné udržovat teplotu ve filtračním boxu ve vhodném rozmezí. Dle stanovených parametrů je tento teplotní rozsah 200 ± 15 °C. Pro ověření správného nastavení teplotní regulace bylo provedeno měření s následujícími hodnotami uvedenými v tabulce 1. Záznam celého měření je zobrazen na grafu 1. Na grafu 2 je znázorněn průběh regulace teploty při nastavení setpointu na hodnotu 217 °C.

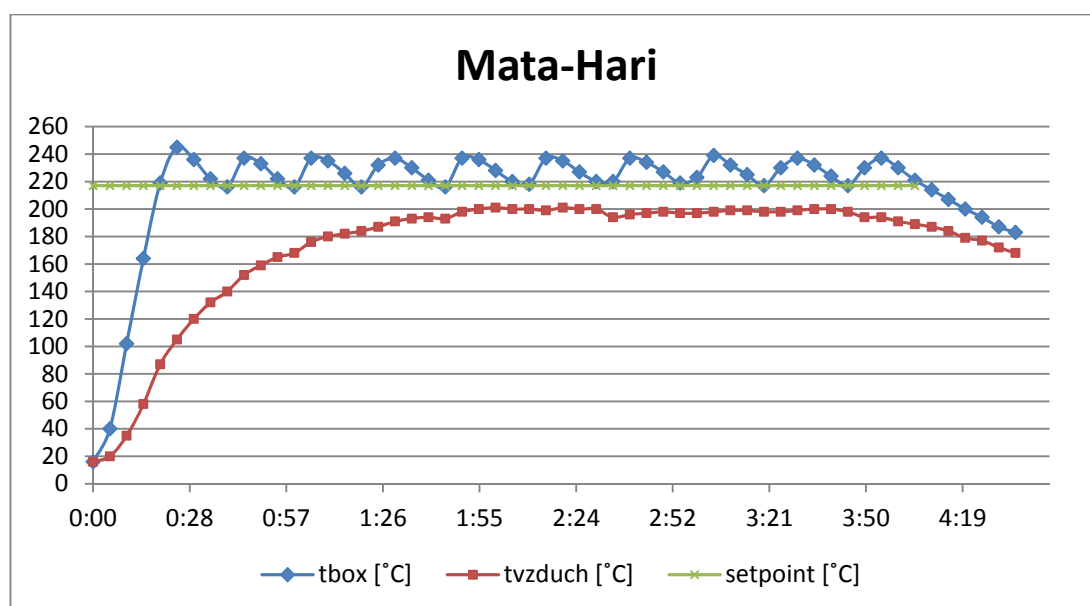
Tabulka naměřených hodnot

Čas	Tbox [°C]	Tvzduch [°C]	Setpoint [°C]	Vývěva	Poznámka
0:00	16	16	217	Off	Měření dne: 04.07.2011
0:05	40	20	217	Off	Snímač teploty: 49 mm nad plotnou
0:10	102	35	217	Off	tlak: 2Pa
0:15	164	58	217	Off	
0:20	219	87	217	Off	
0:25	245	105	217	Off	
0:30	236	120	217	Off	
0:35	222	132	217	Off	
0:40	216	140	217	Off	
0:45	237	152	217	Off	
0:50	233	159	217	Off	
0:55	222	165	217	Off	
1:00	216	168	217	Off	
1:05	237	176	217	Off	
1:10	235	180	217	Off	
1:15	226	182	217	Off	
1:20	216	184	217	Off	
1:25	232	187	217	Off	
1:30	237	191	217	Off	
1:35	230	193	217	Off	
1:40	221	194	217	Off	
1:45	216	193	217	Off	
1:50	237	198	217	Off	
1:55	236	200	217	Off	
2:00	228	201	217	Off	
2:05	220	200	217	Off	tlak: 2Pa
2:10	218	200	217	Off	pistole 250C, 3.stupeň, tlak:93Pa
2:15	237	199	217	Off	
2:20	235	201	217	Off	
2:25	227	200	217	Off	
2:30	220	200	217	Off	zapnutá vývěva, tlak: 308Pa
2:35	220	194	217	On	vývěva 10l/min (17,5Hz)
2:40	237	196	217	On	tlak: 313Pa
2:45	234	197	217	On	tlak: 309Pa
2:50	227	198	217	On	vývěva 10l/min, 17,9Hz, 320Pa
2:55	219	197	217	On	tlak: 315Pa
3:00	223	197	217	On	tlak: 319Pa
3:05	239	198	217	On	
3:10	232	199	217	On	
3:15	225	199	217	On	
3:20	217	198	217	On	tlak: 312Pa
3:25	230	198	217	On	
3:30	237	199	217	On	
3:35	232	200	217	On	
3:40	224	200	217	On	
3:45	217	198	217	On	vypnutá pistole, tlak:256Pa

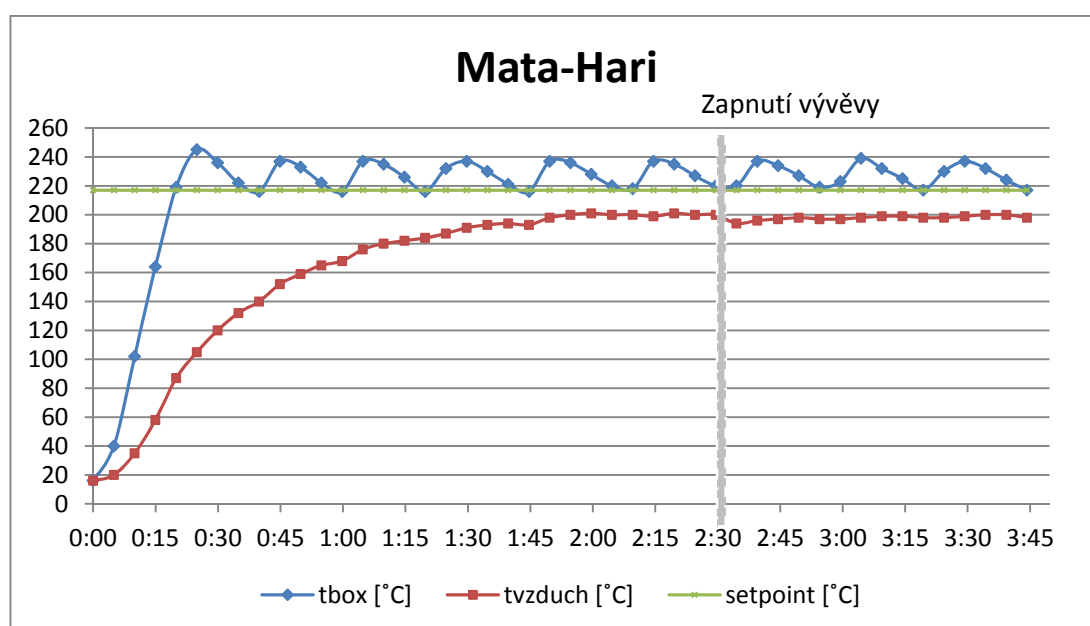
Vysvětlivky:

- tbox [°C] – teplota filtračního kontejneru
- tvzduch [°C] – teplota plynu uvnitř kontejneru
- setpoint [°C] – teplota nastavená v regulátor

Graf 1: Celkový průběh měření



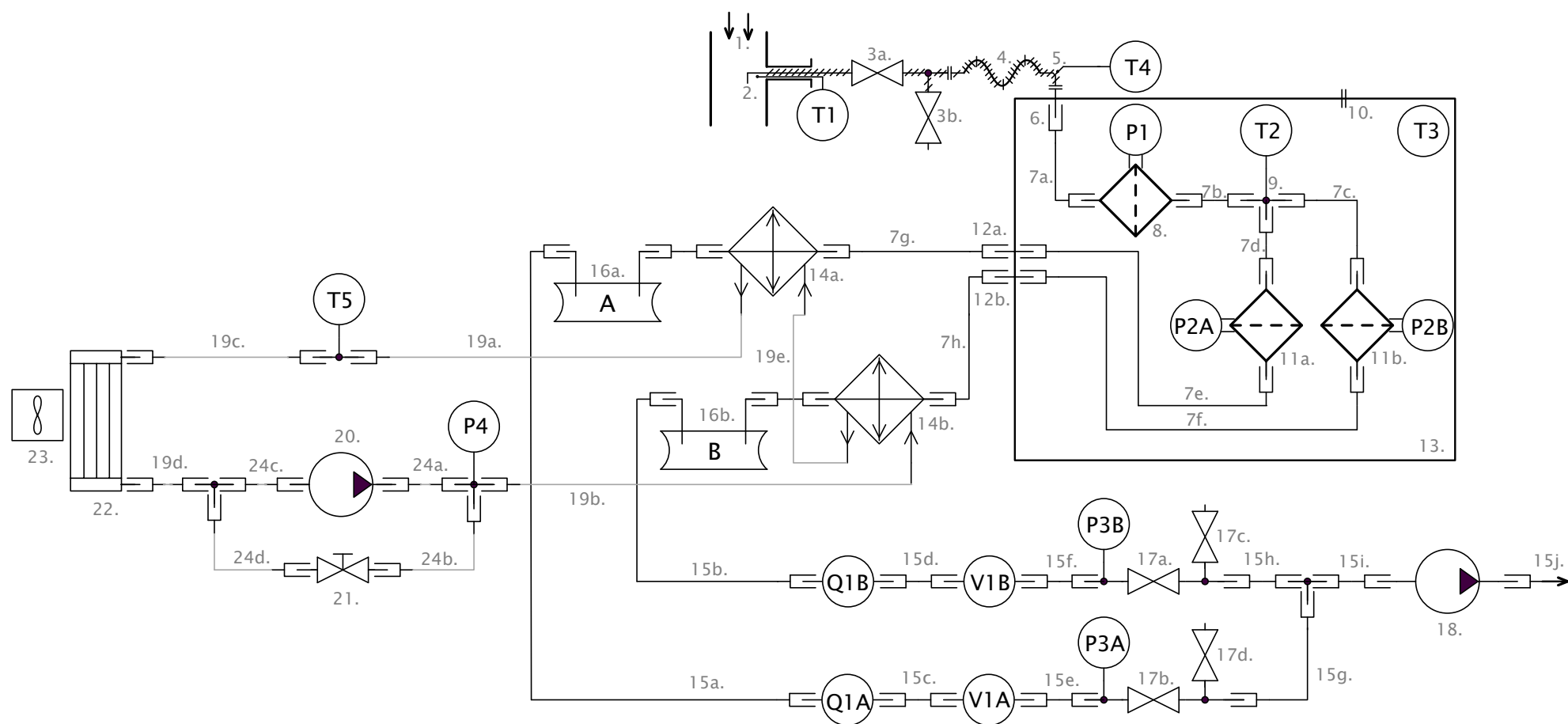
Graf 2:



Závěr:

Jak je z grafu 2 patrné, měřící aparatura je připravena k testování až po vyhřátí, které trvá cca 2 hodiny. Dále je vidět, že teplota plynu uvnitř filtračního kontejneru je konstantně držena na teplotě 200 °C nezávisle na aktuální teplotě boxu. Oscilující hodnoty tbox jsou způsobeny umístěním teplotního snímače, pomalou odezvou regulátoru a dopravním zpožděním varné desky. I přes tyto vlivy splňuje regulace požadavky na správný chod systému a laboratorní aparatura je připravena na testování filtračních materiálů.

Příloha C – Schéma zapojení provozní spalínové trati v Termizo a.s.



Příloha D - Konstrukční části provozní spalínové trati

1. **spalinovod:** průtok spalin 65tis Nm³/hod (odpovídá 130tis m³/hod při teplotě cca 200 °C). Průměr spalinovodu 1.5 m, rychlost proudění spalin cca 20 m/s (odběrné místo je blízko za kolenem, rychlostní profil není rovnoměrný)
2. **sonda:** nerez trubka s navařenou přírubou, vnitřní průměr 12mm, příruba klasická
3. **uzavírání / proplach čistým vzduchem:** 2x plynový ocelový ventil ½"
4. **spojka:** ohebná hadice metaflex (nerez) DN20, 2x příruba klasická
5. **předehřev:** topné pásy s regulací 190 °C, izolace minerální vata
6. **spojka:** na pevno ve stěně sterilizátoru, konce: příruba / trubka vnější Ø 14
7. **hadice (a-h):** PTFE 12x1
8. **filtr na pevné částice:** sklo, výměnná vložka (keramická vata), vstup a výstup olivky s vnějším Ø 14, odbočky na tlakoměr olivky vnější Ø 7
9. **rozbočovač:** nerez, přívod vnější Ø 14, 2-4x výstup vnější Ø 14, odbočka na vývod teplotního čidla – trubička vnitřní Ø 3-5
10. **průchodka:** pro 4-6 hadic vnější Ø 8 + kabel teplotního čidla (tj. cca Ø 35)
11. **kontejner na filtr (a-b):** nerez, těsnění Viton, přívod a výstup trubka vnější Ø 14, 2x výstup na tlaková čidla (ideálně z boku ploché části) vnější Ø 7
12. **spojky (a-b):** nerez, vstup vnější Ø 14, výstup vnější Ø 10
13. **sterilizátor:** horkovzdušný **HS 201A**
14. **chladič spirálový:** skleněný, NZ 29/32, 40 závitů
15. **hadice vysokotlaká (a-j):** DN19
16. **baňka sulfonační (a-b):** 4000 ml, se třemi tubusy
17. **regulační ventil (a-d):** uzavírání / přísávání, 4x plynový ocelový ventil ½"
18. **vývěva:** BUSCH SV 1010 B, řízená frekvenčním měničem
19. **hadice vysokotlaká (a-e):** DN8
20. **čerpadlo chladicího okruhu:** AQUA cup Mouse 60
21. **regulační ventil:** plynový ocelový ventil ½"

- 22. **chladič lamelový:** rozměry 489 x 285 x 34 mm
- 23. **klimatizace:** nastavení teploty v místnosti 22 °C
- 24. **hadice vysokotlaká (a-d):** DN25

Snímače

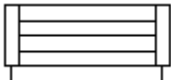
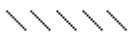
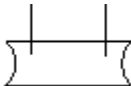
- T1 [°C]** - teploměr spalínovod
- T2 [°C]** - teploměr rozbočovač
- T3 [°C]** - analogový teploměr sterilizátor
- T4 [°C]** - teploměr topný pás
- T5 [°C]** - teploměr chladicí okruh

- P1 [Pa]** - tlakoměr předfiltr
- P2-A [Pa]** - tlakoměr filtr-A
- P2-B [Pa]** - tlakoměr filtr-B
- P3-A [kPa]** - tlakoměr větev-A
- P3-B [kPa]** - tlakoměr větev-B
- P4 [kPa]** - tlakoměr chladicí okruh

- V1-A [l]** - plynové hodiny (totalizér) - A
- V1-B [l]** - plynové hodiny (totalizér) – B

- Q1-A [SLPM]** - průtokoměr větev A
- Q1-B [SLPM]** - průtokoměr větev B

Příloha E – Legenda ke spalínovým tratím

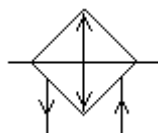
	Vedení
	Ohebné vedení
	Ventil otočný
	Ventil pákový
	Chladicí těleso žebrové
	Topný pás
	Spoj šroubový/příruba
	Spoj trubkový/zábrusový/hadicový
	Průchodka
	Rozbočovač
	Nádoba podtlaková
	Vyhřívací box



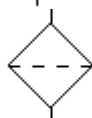
Měřicí přístroj



Tlakoměr diferenciální



Chladič s označením přívodu chladicího média



Filtr

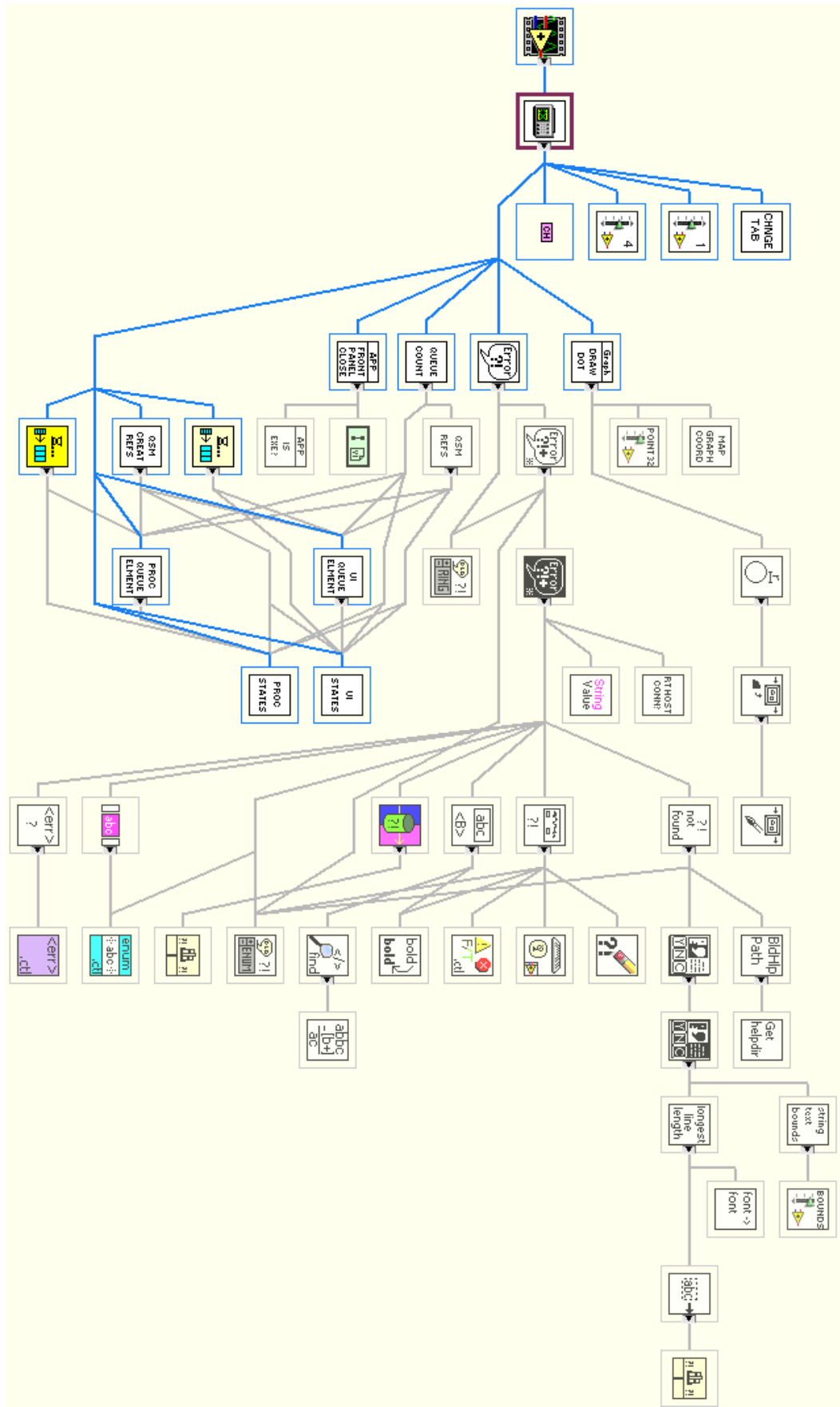


Čerpadlo



Větrák/klimatizace

Příloha F – Viewer 1.0 VI hierarchie



Příloha G - Obsah CD-ROM

K této práci je přiložen CD-ROM. Obsahuje text diplomové práce, získanou a vytvořenou dokumentaci a podpůrné ovladače. CD-ROM je členěn do těchto adresářů.

DP – obsahuje text diplomové práce

App – obsahuje program a zdrojové kódy

Data – obsahuje soubory s naměřenými daty ze spalovny

Backup – obsahuje druhou záložní kopii celého cd pro případ poškození

Další informace jsou dostupné v textových souborech v kořenovém adresáři CD-ROMu.