



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL
ENGINEERING

ZPRACOVÁNÍ DAT PRO ÚČELY EXPERIMENTÁLNÍ IDENTIFIKACE SYSTÉMŮ

PRE-PROCESSING OF ACQUIRED DATA FOR SYSTEM IDENTIFICATION PURPOSES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

EVA HORÁKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. VÍTĚZSLAV MÁŠA

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Eva Horáková

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

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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

Zpracování dat pro účely experimentální identifikace systémů

v anglickém jazyce:

Pre-processing of acquired data for system identification purposes

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh efektivní přípravy procesních dat pro potřeby experimentální identifikace systémů. Aplikace v oblasti tepelných zdrojů využívajících jako palivo biomasu.

Cíle bakalářské práce:

Seznámit se a popsat metodiku zpracování dat pro účely experimentální identifikace systémů. Přípravit soubor vybraných veličin z měření na jednotce pro spalování biomasy. Dopočet dalších významných veličin pro identifikaci, příp. přepočet na vhodnější jednotky. Presentace vyšetřovaných závislostí ve formě grafů.

Seznam odborné literatury:

Ljung, L. (1999). System identification, theory for the user (2nd. ed.) NJ: Prentice Hall.

Zhu, Y. (2001). Multivariable System Identification for Process Control. Elsevier Science Ltd.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Vítězslav Máša

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 14.10.2009

L.S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ANOTACE

Předkládaná bakalářská práce se zabývá metodikou zpracování dat pro účely experimentální identifikace systémů. Shrnuje základy experimentální identifikace a popisuje obecnou metodiku zpracování experimentálních dat. V další části se práce věnuje popisu zpracování uceleného datového souboru vybraných veličin, včetně dopočtu dalších významných veličin. Měření pro získání experimentálních dat probíhala na reálné technologii, kterou je jednotka o výkonu 1 MW pro spalování biomasy a fytomasy. Součástí práce je také výběr a zhodnocení intervalů vhodných pro identifikaci zmíněné jednotky a jejich grafická prezentace.

ANNOTATION

The present bachelor's thesis follows a methodology of data processing for the experimental system identification. Summarizes basic principles of experimental identification and describes a general methodology of experimental data processing. Next part of thesis attends to describing a building of compact data file, that contains selected variables including calculation of other important variables. Measurements to obtain experimental data was realized on real technology, which is a unit of biomass and phytomass combustion, power of unit is 1 MW. The work also includes selection and evaluation of appropriate intervals for an identification of this unit and their graphic presentation.

KLÍČOVÁ SLOVA

Zpracování dat, kontrola dat, experimentální identifikace, kotel na biomasu.

KEYWORDS

Data processing, data surveillance, experimental identification, biomass boiler.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HORÁKOVÁ, E. *Zpracování dat pro účely experimentální identifikace systémů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 37 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Vítězslav Máša.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité podklady a literaturu.

Brno, 26. května 2010

Eva Horáková

PODĚKOVÁNÍ

Velmi ráda bych poděkovala zejména Ing. Vítězslavu Mášovi, vedoucímu mé bakalářské práce, za mnoho cenných rad a praktických podnětů a za jeho ochotu a čas strávený při konzultacích.

Zvláštní poděkování patří také mým rodičům a příteli za jejich trpělivost a podporu při vzniku této bakalářské práce.

OBSAH

1	ÚVOD	9
2	EXPERIMENTÁLNÍ IDENTIFIKACE SYSTÉMŮ	10
2.1	Základní pojmy	10
2.1.1	Identifikace.....	10
2.1.2	System.....	11
2.1.3	Model	11
2.2	Postup identifikace systému.....	13
3	METODIKA ZPRACOVÁNÍ EXPERIMENTÁLNÍCH DAT	15
3.1	Předběžná příprava dat.....	15
3.1.1	Detekce a odstranění chyb měření (peak shaving)	15
3.1.2	Korekce poruchových signálů (signal slicing)	16
3.1.3	Detekce výpadků měření	16
4	PŘÍPADOVÁ STUDIE	17
4.1	Technologická jednotka pro termické zpracování biomasy	17
4.1.1	Popis technologie	18
4.1.2	Vlastnosti používaných paliv.....	19
4.2	Volba měřených veličin - měřicí zařízení	20
4.3	Sjednocení a kontrola dat.....	21
4.3.1	Odhalení výpadků měření.....	23
4.4	Dopočet souvisejících veličin	24
4.5	Výběr vhodných intervalů pro identifikaci	24
4.5.1	Data pro analytickou identifikaci	25
4.5.2	Data pro experimentální identifikaci.....	31
5	ZHODNOCENÍ A DOPORUČENÍ	34
5.1	Zhodnocení vstupních a výstupních veličin.....	34
5.2	Analýza intervalů pro identifikaci	35
6	ZÁVĚR	36
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	37

1 ÚVOD

Život člověka je v dnešní době stále více závislý na dodávkách energie v nejrůznějších formách. Lze říci, že zajištění dostatku energetických zdrojů je pro naši budoucnost klíčové, ať už je výsledným produktem teplo nebo elektrina. Dynamicky se v posledních desetiletích rozvíjí využití alternativních zdrojů (jako je energie slunce, větru, vody nebo energie obsažená v biomase). Tyto zdroje, které označujeme jako *obnovitelné zdroje energie* (OZE), však nedokážou pokrýt významnější podíl energetických nároků současného světa. Bezespору se však jedná o jednu z cest, jež může k zajištění tepla a elektrické energie přispět.

Tato práce je zaměřená na zpracování experimentálně získaných dat za účelem identifikace systému konkrétní technologické jednotky. Tou je kotel spalující různé druhy biomasy a fytomasy vybudovaný v Kojetíně a vytápějící blízkou výrobní halu. Na jednotce byla od konce roku 2007 až do února roku 2010 prováděna měření a sběr dat. Jedním z důvodů byl požadavek na vytvoření matematického modelu pro optimalizaci řízení zmíněné technologie.

Cílem této práce je jednak popsat metodiku zpracování dat pro účely experimentální identifikace v procesním průmyslu. A dále pak připravit ucelený datový soubor vhodný právě pro experimentální identifikaci zmíněné reálné technologie a s tím související dopočet některých veličin. Včetně prezentace závislostí posuzovaných při identifikaci ve formě grafů.

Obsahem práce je seznámení se základy identifikace a tvorby modelů a obecnými metodami při zpracovávání dat. Důraz je pak kladen na praktickou část práce. Zde je důkladně popsána zkoumaná jednotka a jednotlivé kroky vedoucí k dosažení cíle práce, kterými jsou volba vyhodnocovaných veličin a měřících dnů, způsob sjednocení a kontroly dat a dopočet dalších sledovaných veličin. V neposlední řadě jsou představeny intervaly vhodné pro identifikaci, které byly zpracovány také ve formě grafů. A je posouzena vhodnost datového souboru a zvolených veličin pro účely identifikace.

2 EXPERIMENTÁLNÍ IDENTIFIKACE SYSTÉMŮ

Obecně lze říci, že experimentální identifikace systému je analýza konkrétního systému nebo procesu experimentální formou, tedy měřením předem zvolených vstupních a výstupních hodnot. Výsledkem je pak matematický model vhodně popisující daný systém. Pojem systém zahrnuje jakýkoliv soubor vzájemně se ovlivňujících objektů. Matematické modely jsou proto využívány nejen v inženýrských oborech, ale také v přírodních a sociálních vědách. V praxi je matematický model používán pro řízení nebo optimalizaci systému, avšak uplatnění nalézá rovněž při nejrůznějších simulacích (řešení nečekaných situací, kontrolní simulace).

Často je nutné zohlednit i subjektivní informace, jako jsou zkušenosti z praxe nebo intuice. Při tvorbě modelu je potřeba nalézt kompromis mezi přesností a jednoduchostí.

2.1 Základní pojmy

2.1.1 Identifikace

Identifikací rozumíme hledání co možná nejvhodnějšího matematického modelu pro daný proces. [1]

Typy identifikací: - analytická
- experimentální

V případě **analytické identifikace** je prováděna matematicko-fyzikální analýza. Matematický model pak může vzniknout ještě před samotným vyhotovením daného zařízení. Výhodou je tedy možnost korigovat a vylepšovat projekt, čímž je podstatně urychlen vývoj připravovaného zařízení. Tato metoda ovšem vyžaduje znalost řešené problematiky, její strukturu a možnost matematicky popsat vnitřní (fyzikální) procesy. Vytvoření takového modelu je tedy časově náročnější. [2]

Experimentální identifikace je naopak prováděna na již existujícím zařízení. Matematický model je proto platný pouze pro toto konkrétní zařízení. Při takovémto způsobu řešení není potřeba znát vnitřní procesy, ani je popisovat. Nevýhodou je však náročnost na přístrojové vybavení. Informace jsou vyhodnocovány pouze z relace vstup - výstup, kdy vstupní signály je nutné vhodně zvolit. [2]

Nejčastěji se využívá působení tzv. skokové změny a následné měření odezvy na výstupu.

Podle měření a vyhodnocení dat:

- *on-line identifikace*: zjištěná data jsou vyhodnocována okamžitě po naměření
- *off-line identifikace*: naměřené hodnoty jsou ukládány a vyhodnocení probíhá později

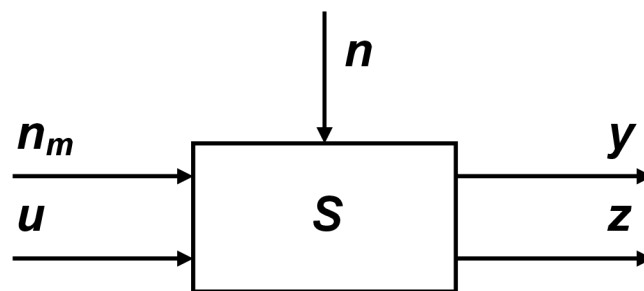
V rámci bakalářské práce se vychází z archivu experimentálních měření, která byla prováděna na reálné technologii pro energetické využití biomasy (viz. kap. 4.1). Proto se zaměřuje na off-line experimentální identifikaci.

2.1.2 Systém

Předmětem identifikace je obecně tzv. systém, který chápeme jako soubor objektů uspořádaných podle daných předpisů vždy za určitým účelem. Vše, co je v systému zahrnuto, je volbou pozorovatele. Pro naše účely můžeme systém charakterizovat závislostí: vstup – výstup, viz. **obr. 2.1**. [3]

Jak uvádí [4] jsou vstupem myšleny ty veličiny, jimiž systém ovlivňujeme. Označujeme je jako u . Výstup, neboli y , je pak vnější výsledné chování systému S . Na výstupu mohou navíc působit charakteristiky obsahující neměřitelné signály. Tyto značíme z .

Jako další mohou na systém působit poruchy, a to buď takové, které lze měřit na vstupu (značíme je n_m) nebo poruchy, jejichž vliv lze zaznamenat jen na výstupu n .



Obr. 2.1 Obecný systém [5]

2.1.3 Model

Model je matematický popis dynamického chování zvoleného systému. Modelování má řadu využití v mnoha oborech, např. pochopení zkoumaného systému, jeho optimalizace, predikce a v neposlední řadě také řízení.

Vlastnosti modelu uvádí **tab. 2.1**.

Rozdělení:

1. Parametrické modely

Parametrické modely mají danou strukturu a představují z matematického hlediska rovnice nebo soustavy rovnic a algebraické vztahy, které explicitně obsahují koeficienty těchto rovnic a vztahů. Obecně pak označujeme tyto koeficienty jako parametry matematických modelů. [1]

2. Neparametrické modely

Neparametrické modely představují zpravidla funkční závislost mezi zvoleným vstupním a odpovídajícím výstupním signálem. Parametry modelu jsou pak obsaženy implicitně v těchto funkčních závislostech. Lze je získat až jejich následným vyhodnocením pro zvolenou strukturu modelu. [1]

Vlastnost modelu	Analytická identifikace	Experimentální identifikace
Struktura modelu	Struktura vyplývá z přírodních zákonů.	Struktura musí být zvolena.
Popis systému	Systém je popsán pomocí vnitřních stavových proměnných a vstupovýtupního chování.	Systém je popsán pouze pomocí relace vstup – výstup.
Parametry modelu	Parametry modelu jsou funkcemi systémových veličin, mají fyzikální význam.	Parametry modelu jsou analytické proměnné, které neumožňují většinou nalézt souvislost s fyzikálními systémovými proměnnými.
Platnost modelu	Model platí pro celou třídu typů procesu a pro různé provozní stavy.	Model platí pouze pro zkoumaný proces a konkrétní provozní stav. Proto lze chování popsat relativně přesně.
Existence originálního systému	Model může být vytvořen i pro neexistující systém.	Model může být identifikován pouze pro existující systém.
Znalost vnitřní struktury	Důležité vnitřní procesy systému musí být známé a matematicky popsatelné.	Vnitřní procesy nemusí být známé.
Opakované použití metody	Každá tvorba modelu představuje opakovanou aplikaci fyzikálních zákonů. Zvyšování know how řešitele.	Metody nezávislé na jednotlivých systémech, vytvořené programové vybavení může být opakovaně použito pro identifikaci různých systémů.
Časová náročnost	Tvorba modelu vyžaduje větší časové nároky.	Menší časové nároky.

Tab. 2.1 *Vlastnosti modelu v závislosti na způsobu identifikace [2]*

V této bakalářské práci je zkoumaným systémem kotel o výkonu 1 MW, viz. kap. 4.1. Výsledkem experimentální identifikace by měl být model umožňující zkoumání chování systému v závislosti na změnách vstupů. Vznik takového modelu popisuje následující kapitola.

2.2 Postup identifikace systému

Postup identifikace neboli identifikační cyklus (**obr. 2.2**) je složen z několika logicky navazujících kroků [5]:

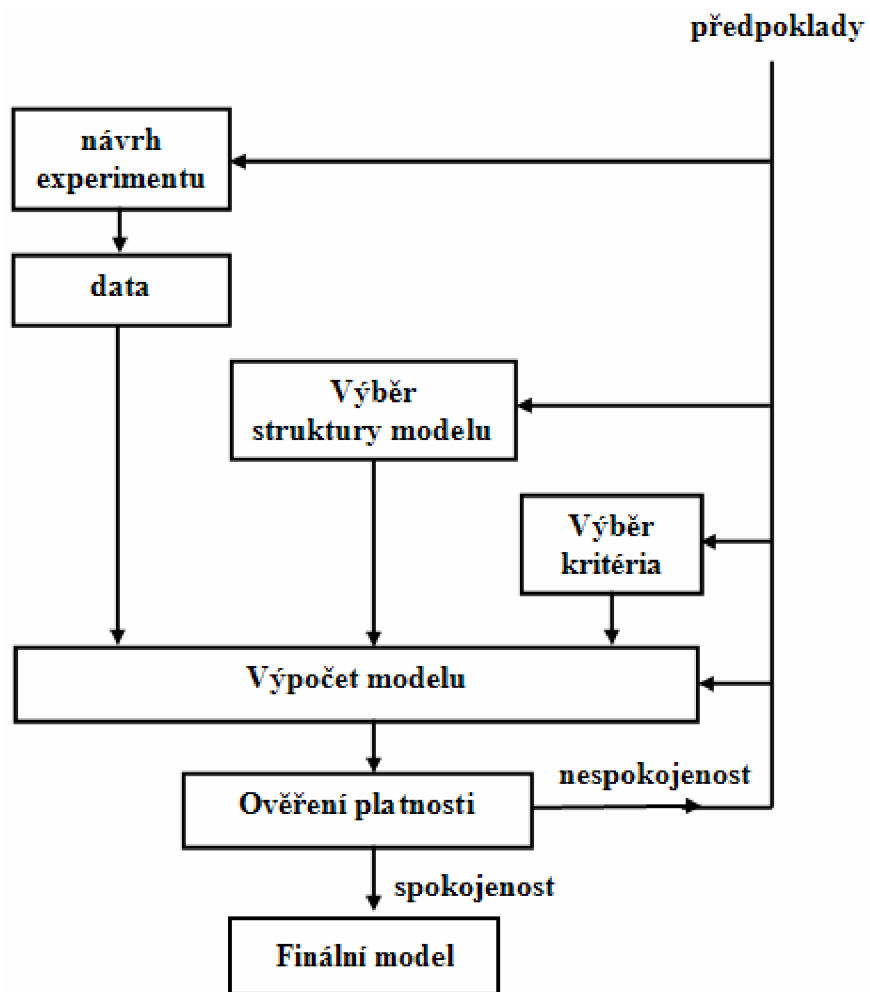
1. *Návrh experimentu*
Volba vhodných vstupních signálů a zaznamenávání jejich vlivu na signály výstupní, a to v předem zvolených časových intervalech.
2. *Předzpracování dat*
Naměřená data mohou obsahovat poruchové signály. Jejich vliv často není zanedbatelný a může zkreslit výsledky identifikace, proto je potřeba tyto chyby včas eliminovat.
3. *Volba struktury matematického modelu*
Volba struktury modelu vyžaduje důkladnou znalost a zkušenosti se zkoumaným systémem a na něj působícími poruchami. Jde o důležitý krok při identifikaci, proto správná volba modelu může usnadnit a urychlit další vývoj.
4. *Odhad parametrů*
Dalším velmi důležitým krokem je vhodná volba parametrů modelu.
5. *Ověření platnosti modelu*
Porovnání chování skutečného systému a vytvořeného modelu, pomocí jednotlivých odezev.

Model samozřejmě nemusí okamžitě vyhovovat. Nastat mohou některé z dále uvedených problémů [3]:

- neefektivně zvolená struktura modelu
- nevhodně zvolené parametry
- naměřená data neobsahují dostatek informací

Pokud model nevyhovuje kritériím pro ověření jeho platnosti, musíme se v identifikačním cyklu vrátit zpět k příslušnému kroku a zvolit jinou, vhodnější možnost. Toto opakujeme dokud není model dostatečně přesný a připravený pro použití.

V následující kapitole je popsán teoretický postup při zpracování experimentálních dat. Praktická část této práce (kap. 4) se pak bude zabývat prvními dvěma body zmíněného postupu identifikace, tedy návrhem experimentu a předzpracováním dat.



Obr. 2.2 Identifikační cyklus [4]

3 METODIKA ZPRACOVÁNÍ EXPERIMENTÁLNÍCH DAT

3.1 Předběžná příprava dat

Naměřená data nejsou obvykle ve stavu vhodném k okamžitému použití. Běžně se v měřeních vyskytují nejrůznější odchylky a kolísání. Ty bohužel můžou mít špatný vliv na očekávané výsledky. Musí se proto nejprve připravit. Pokud jsou data již nasbírána, je nutné je zkontrolovat a zajistit, aby neobsahovala příliš velké množství chyb.

Nedostatky, které by mohla data obsahovat [3]:

- nahodilé, příliš vysoké nebo nízké hodnoty, tzv. extrémny
- nechtěné náhodné poruchy
- nesouměrnost dat způsobená změnou provozních vlastností
- nelinearita dat způsobená změnou operačního bodu během měření

Jestliže je množství chyb příliš velké, je vhodné použít četnější vzorkovací frekvenci.

3.1.1 Detekce a odstranění chyb měření (peak shaving)

Metoda *Peak shaving* se využívá pro redukci extrémních průběhů sledovaných veličin. V průmyslové oblasti se tyto hodnoty objevují v čidlech a systémech pro sběr dat a mohou být způsobeny např. elektromagnetickým rušením.

Odstranění může být provedeno následujícím postupem [3]:

1. Zmenšením amplitudy signálu tak, aby nebyly překročeny hodnoty reálného procesu.
2. Výpočet odchylky zmenšeného signálu.
3. Interpolace všech originálních vzorků, které jsou mimo definované frekvenční pásmo. Vzorky by měly být v rozsahu odchylky vypočtené v předchozím bodu. Ta musí být volena tak, aby žádný signál nepřekročil povolený rozsah.

Lineární interpolaci použijeme na prvním nevhodném vzorku a skončíme těsně před prvním dobrým vzorkem. Pokud známe dobře probíhající procesy, stačí často vizuální kontrola dat.

3.1.2 Korekce poruchových signálů (signal slicing)

Pod pojmem *Signal slicing* rozumíme oddělení nevhodných částí signálu, a to ze dvou důvodů [3]:

1. První příčinou mohou být prudké neměřené poruchy, zapříčiněné neočekávanou změnou v procesu.
2. Další příčinou bývá řízení procesu mimo jeho obvyklý rozsah, a to kvůli změně pracovního bodu.

Rozdíl mezi *Peak shaving* a *Signal slicing*, spočívá v tom, že naměřené hodnoty odstraněné první metodou nejsou platné. Hodnoty odstraněné metodou *Signal slicing* jsou sice důležité, ale problematické vzhledem k využití dat pro identifikaci.

3.1.3 Detekce výpadků měření

Z dosud neznámých příčin, které pravděpodobně souvisí se zpracováním dat v PC, dochází při sběru dat k tomu, že příležitostně není dodržena perioda vzorkování a jeden až několik záznamů chybí. Vzhledem k dalšímu vyhodnocení (např. grafické prezentaci) je třeba tyto „mezery v datech“ odstranit. Data můžeme buď aproximovat z blízkého okolí, pokud výpadek není příliš dlouhý nebo v případě dlouhodobého výpadku rozdělit data na dvě sady.

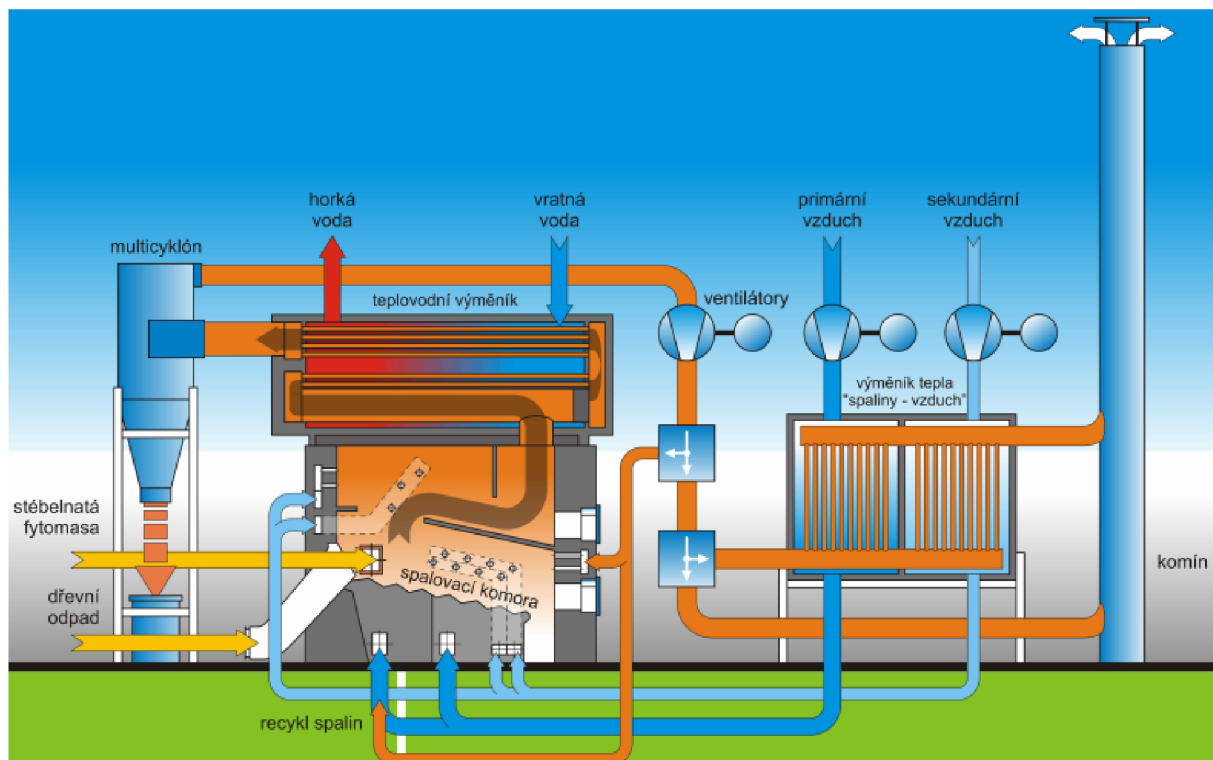
4 PŘÍPADOVÁ STUDIE

Cílem této bakalářské práce je vyhodnocení experimentálně získaných dat z jednotky pro spalování biomasy. Vývoj této jednotky proběhl pod záštitou Ministerstva průmyslu a obchodu, jako součást programu Impuls FI-IM3/166 „Prototyp jednotky o výkonu 1 až 3 MW pro energetické využití různých druhů biomasy a fytomasy“ a výzkumného záměru MŠMT č.MSM 0021630502 „Ekologicky a energeticky řízené soustavy zpracování odpadů a biomasy“. Na řešení se podílel také Ústav procesního a ekologického inženýrství Vysokého učení technického v Brně.

Jednotka o výkonu 1 MW je umístěna v areálu bývalého cukrovaru v Kojetíně a je využívána pro vytápění blízké výrobní haly.

4.1 Technologická jednotka pro termické zpracování biomasy

Hlavním cílem projektu bylo vyvinout a realizovat prototyp ryze české moderní technologie pro energetické využití biomasy a fytomasy (konkrétně ve formě technologické jednotky, jejíž základ tvoří experimentální teplovodní kotelná středního výkonu) s vysokou termickou účinností, jež umožní testování v provozním měřítku. Palivo tvoří různé druhy biomasy od pilin a standardní dřevní štěpky až po cíleně pěstovanou energetickou fytomasu, dodávanou ke kotelně ve formě slisovaných balíků. Tato jednotka, viz. **obr. 4.1**, slouží k ohřevu topné vody pro vytápění přidružené výrobní haly. [6]



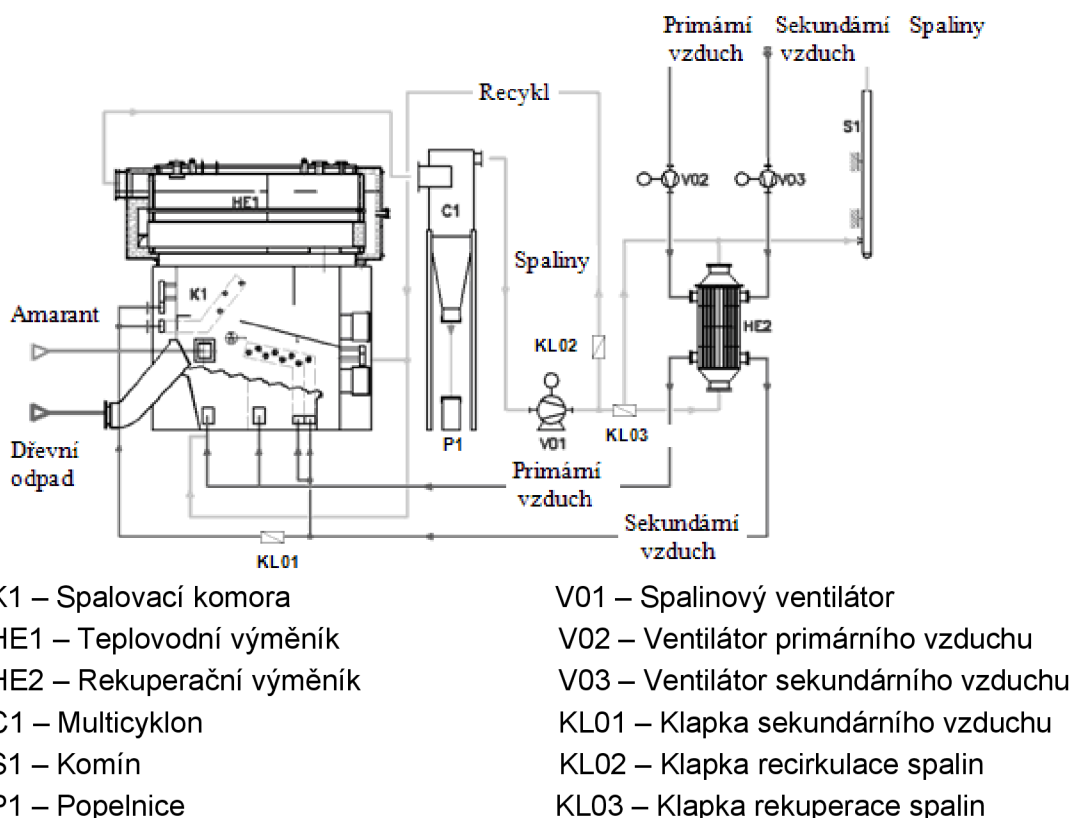
Obr. 4.1 Grafický model jednotky pro spalování biomasy [7]

4.1.1 Popis technologie

Základní technologické celky, z nichž jednotka sestává můžeme vidět na **obr. 4.2**. Jak uvádí [8], systém dopravy paliva sestává z hydraulického vyhrnovače paliva, který dodává dřevní hmotu ze skladu do podavače. Ten palivo dávkově přesunuje do spalovací komory. Vlastní spalování probíhá na šikmém hydraulickém roštu a v sekundární komoře uvnitř spalovací komory (K1). Spalovací vzduch primární i sekundární je předehřát ve speciálním rekuperačním výměníku instalovaném na trase spalin (HE2). Vzniklé spaliny pak proudí teplo-směnným svazkem trubek ve výměníkové části kotle (HE1), ochlazené spaliny jsou dočištěny od jemného popílku v multicyklonu (C1).

Za multicyklonem je umístěn spalinový ventilátor (V01), který je jediným hnacím zařízením celé spalinové trasy od spalovací komory až po komín (S1). Za ventilátorem je provedena odbočka tzv. *recyklu spalin*. Pomocí tohoto recyklu je část spalin z výstupu z kotle přivedena zpět do spalovací komory kotle, čímž se zvyšuje pyrolýzní efekt, palivo se před zapálením rychleji vysuší a zvyšuje se tak celková účinnost kotle. Za odbočkou recyklu spalin následuje předehřev spalovacího vzduchu ve výměníku (HE2).

V tomto výměníku je využito tepla spalin do maximální možné míry, aby ještě nedocházelo k přílišnému zalepování spalinové strany výměníku. Snahou je ochladit spaliny na co možná nejnižší teplotu a tím eliminovat komínové ztráty. Spaliny ochlazené ve výměníku následně ústí do komína (S1).



Obr. 4.2 Zjednodušené technologické schéma jednotky [8]

4.1.2 Vlastnosti používaných paliv

Jako referenční palivo je možné použít dřevní štěpku nebo kůru, příp. jejich směs. Pro stanovení konkrétních parametrů paliva lze spolehlivě vycházet z prvkového složení uváděného v odborné literatuře (**tab. 4.1**), které se u různých typů dřevin, resp. kůry výrazněji neliší. Jinak je tomu u vlastností paliv vycházejících z vlhkosti a souvisejících s výhřevností. Pro ověření těchto vlastností byly provedeny laboratorní analýzy vzorků použitých paliv (dřevní štěpka, kůra), jejichž výsledky shrnuje **tab. 4.2**.

Složka hořlaviny [% hm]	Dřevo			Kůra	Obilná sláma	Šťovík	Vrba	Topol
	Jehličnaté	Listnaté	Smíšené					
Uhlík	51,0	50,0	50,0	51,4	47,04	49,17	50,41	50,27
Vodík	6,2	6,15	6,2	6,1	6,34	6,05	6,03	6,12
Kyslík	42,2	43,25	42,7	42,2	44,84	43,29	43,18	43,27
Síra	0	0	0	0	0,14	0,1	0,02	0,05
Dusík	0,6	0,6	0,6	0,3	1,27	1,21	0,34	0,28
Chlor	0	0	0	0	0,37	0,17	0,01	0,01

Tab. 4.1 Složení hořlaviny dřevní hmoty pro bezvodý stav [9], [10]

Palivo:	Štěpka	Kůra
Spalné teplo v sušině – HHV [MJ/kg]	17,58	16,43
Výhřevnost v sušině – LHV [MJ/kg]	16,36	15,31
Voda [% hm]	35,4	44,6
Popel [% hm]	6,5	8,86
Hořlavina [% hm]	58,1	46,54

Tab. 4.2 Složení a vlastnosti spalované dřevní štěpky a kůry

4.2 Volba měřených veličin - měřicí zařízení

Pro experimentální identifikaci spalovací jednotky bylo nutné zvolit vhodné vstupní a výstupní veličiny. Vstupní veličiny jsou řízené, a můžeme jimi ovlivnit provoz kotle. Často jde o veličiny ovlivňující dané zařízení za běžného provozu. Veličiny výstupní jsou veličinami regulovanými a měly by být zvoleny tak, aby přinášely ucelenou informaci o aktuálním provozním stavu kotle.

Konkrétní zvolené veličiny, jejich jednotky a předpokládaný provozní rozsah, jsou přehledně uvedeny v **tab. 4.3**. Tabulka také obsahuje další sledované veličiny, které budou využity pro dopočet výstupních veličin (výkon kotle a teplota ve spalovací komoře) a pro ověření referenčních spalovacích podmínek (koncentrace CO a CO₂, teplota prostoru kotelný, podtlak ve spalovací komoře). Dále je tabulka doplněna o použitá měřicí zařízení. Informace o měřených procesních veličinách byly získávány ze tří nezávislých měřicích míst. Jednalo se především o řídicí systém (ŘS) jednoty, analyzátor spalin *Infracal 50* nebo *Testo T350* (oba analyzátory byly použity se záznamem dat v notebooku) a lopatkový průtokoměr *Data Industrial SDI* (se záznamem dat přes měřicí kartu *DataLab* opět do notebooku).

Veličina	Jednotka	Předpokládaný provozní rozsah	Měřicí místo
VSTUPNÍ VEL.			
Výkon podavače paliva (u_1)	%	0÷100	Výpočet ŘS
Průtok primárního vzduchu (u_2)	Nm ³ /h	700÷1100	ŘS
Průtok sekundárního vzduchu (u_3)	Nm ³ /h	1400÷2400	ŘS
Průtok recirkulovaných spalin (u_4)	Nm ³ /h	0÷800	ŘS
VÝSTUPNÍ VEL.			
Výkon kotle (y_1)	kW	400÷1000	Výpočet
Objem O ₂ ve spalinách (y_2)	%	5÷15	Analyzátor spalin
Teplota ve spalovací komoře (y_3)	°C	max. 950	Výpočet
DALŠÍ SLEDOVANÉ VEL.			
Otevření klapky recyklu	%	-	ŘS
Objemový průtok topné vody	dm ³ /h	-	DataLab
Teplota výstupu topné vody z kotle	°C	-	ŘS
Teplota vratné topné vody do kotle	°C	-	ŘS
Teplota 1, 2, 3 ve spalovací komoře (T1, T2, T3)	°C	-	ŘS
Koncentrace CO	ppm	-	Analyzátor spalin
Koncentrace CO ₂	%	-	Analyzátor spalin
Teplota prostoru kotelný	°C	-	ŘS
Podtlak ve spalovací komoře	Pa	-	ŘS

Tab. 4.3 Přehled zvolených veličin

Měření probíhala během tří topných sezón, konkrétně od konce roku 2007 do února roku 2010. Během této doby bylo v Kojetíně uskutečněno 14 měřících dnů. Veškeré informace o průběhu měření byly zaznamenány do deníku měření, více viz. kap. 4.3.

Žádané změny se v případě tohoto kotle uskutečňují přes řídicí stanici pomocí GUI – Graphic User Interface, viz. **obr. 4.3**. Před zahájením měření je ještě třeba zvolit vhodnou vzorkovací frekvenci, ta byla v tomto případě stanovena na 15 s. Pro potřeby experimentální identifikace je ideální vyvolávat skokové změny jednotlivých vstupních veličin a měřit změny veličin výstupních.

KOTELNA PROMET KOJETÍN									
Technologie		Servis		Trendy		Alarmy			
Žádané		Čas plány							
SERVISNÍ NASTAVENÍ - ŽÁDANÉ HODNOTY									
Mez teploty pro polohu 0% recirkulace	500.0 °C	W	Min. otáčky sekundárního ventilátoru	10%	W	Motohodiny M1	2156 h	NUL	
Mez teploty pro polohu 100% recirkulace	1100.0 °C	W	Max. otáčky sekundárního ventilátoru	50%	W	Motohodiny M4	2454 h	NUL	
Poloha klapky sekundární při odstavení	100.0 °C	W	Mez sig. MAX teplota ve spal. komoře	950 °C	W	Motohodiny M2	364 h	NUL	
Poloha klapky sekundární při provozu	100.0 °C	W	Minimální poměr podavače	0.4	W	Motohodiny YV9	804 h	NUL	
Mez teploty pro zavření křepuperače	130.0 °C	W	Nast. AO min. poloha klapky zpátečky	0%	W	Motohodiny YV10	376 h	NUL	
Mez teploty pro otevření křepuperače	90.0 °C	W	Nast. AO max. poloha klapky zpátečky	100%	W	Motohodiny M21	1402 h	NUL	
			Mez zapnutí sekundárního ventilátoru	600 °C	W	Motohodiny M22	1373 h	NUL	
						Motohodiny M23	987 h	NUL	
Mez signalizace MAX teplota v kotelně	50.0 °C	W	Mez signalizace MIN tlak požární vody	-10 kPa	W	Motohodiny M3	67 h	NUL	
Žádaná teplota zpátečky	65.0 °C	W	Mez signalizace MIN tlak vody	80.0 °C	W	Čas doba chodu roštu	20 sec	W	
			Mez signalizace MAX tlak vody	250.0 °C	W	Čas doba klidu podavače	80 sec	W	
Mez signalizace MIN teplota z kotle	60.0 °C	W	Mez sig. MAX teplota oleje hydrauliky	60.0 °C	W	Čas doba chodu podavače	68 sec	W	
Mez signalizace MAX teplota z kotle	105.0 °C	W	Mez signalizace protizamrznutí	10.0 °C	W	Čas doběhu primárního ventilátoru	60 sec	W	
Reg. minimální tlak	140 kPa	W	Žádaná teplota ÚT normál	22.0 °C	W	Čas doběhu sekundárního ventilátoru	60 sec	W	
Reg. maximální tlak	190 kPa	W	Žádaná teplota ÚT útlum	19.0 °C	W	Čas doběhu spalínového ventilátoru	30 sec	W	
Žádaný tlak	165 kPa	W	Koeficient korekce ekvitemu	3.0	W	Čas doběhu čerpadla topné vody	24 h	W	
			Mez uvolnění ÚT dle venkovní	15.0 °C	W	Čas doběhu čerpadla chlazení	24 h	W	
Žádaná teplota topné vody z kotle	80.0 °C	W	Mez blokáce ÚT dle venkovní	18.0 °C	W	Maximální čas dopouštění	240 sec	W	
Mez signalizace MAX přetlak v kotli	0 Pa	W				Maximální čas odpouštění	180 sec	W	
Mez signalizace MAX teplota v podavači	50.0 °C	W	Motohodiny M5	2454 h	NUL	Zpoždění spínače tlaku hydrauliky (rošt)	1 sec	W	
DeltaT regulace	3.0 °C	W	Motohodiny M6	1780 h	NUL	Časování do zapnutí podavače	34 sec	W	
Maximální poměr podavače	10.0	W	Motohodiny M7	1674 h	NUL	Zpoždění zapnutí hydrauliky (Hrabla)	10 sec	W	
Mez signalizace MIN teplota spalín	80.0 °C	W	Motohodiny M8	109 h	NUL	Zpoždění spínače tlaku hydrauliky (Hrabla)	1 sec	W	
Žádaný podtlak v kotli	50 Pa	W	Motohodiny M9	1706 h	NUL	Čas omezení chodu hrabla	60 sec	W	
Min. otáčky spalínového ventilátoru	20%	W				Maximální omezení od vlhkosti	100 sec	W	
Max. otáčky spalínového ventilátoru	100%	W				Zpoždění signalizace MIN požární vody	10 sec	W	
Min. otáčky primárního ventilátoru	10%	W				Čas poruchy doplnění podavače	15 min	W	
Max. otáčky primárního ventilátoru	30%	W				Žádaný počet dávek podavače pro zapnutí roštu	4	W	

Obr. 4.3 Řídicí stanice kotelný Promet Kojetín

4.3 Sjednocení a kontrola dat

Jak už bylo uvedeno v 4.2 byla data měřena na třech různých měřících místech. Z řídicího systému byla uchováována v podobě Microsoft Office Access, z analyzátoru *Infralyt 50* pak jako textový soubor (*.txt), z *Testo T350* jako Microsoft Office Excel a z *Data Industrial SDI* jako Microsoft Office Access. Jelikož byla data v různých formátech, bylo nutné je sjednotit do vhodné a přehledné podoby. Jako jednotný formát, vhodný pro další úpravu dat, byl zvolen Microsoft Office Excel.

Z velkého množství dat byly vybrány pouze některé části, a to nejprve podle deníku měření. Z deníku bylo částečně patrné v jakých časových úsecích bylo měření prováděno, na jakém měřícím místě, jak byly měněny jednotlivé veličiny a kdy, a jaké bylo použito palivo. Z deníku byl vypracován přehled ve formě tabulky, viz. **tab. 4.4**.

Datum	Začátek měření	Konec měření	Palivo	Použitá měřicí místa	Poznámky
03. 12. 2007	11:30	14:46	-	Řídicí systém InfraLyt 50 DataLab	použito
27. 11. 2008	08:40	14:20	dřevní štěpka (80 %) sláma (20 %)	Řídicí systém	nevhodné: časté odstávky kotle, chybějící měřicí zařízení
04. 12. 2008	08:30	-	sláma	Řídicí systém	nevhodné: ruční přikládání do kotle, nedokonalé spalování (spečené kusy mat. v popelníku), nestabilní průběh hoření, chybějící měřicí zařízení
11. 12. 2008	10:20	12:31	dřevní štěpka	Řídicí systém InfraLyt 50 DataLab	použito
06. 01. 2009	11:19	14:55	vlhká kůra	Řídicí systém Testo T350 DataLab	použito
07. 01. 2009	11:07	15:23	kůra	Řídicí systém Testo T350 DataLab	použito
14. 01. 2009	09:30	14:20	kůra	Řídicí systém Testo T350 DataLab	použito
15. 01. 2009	09:20	14:20	kůra	Řídicí systém Testo T350 DataLab	použito
21. 01. 2009	10:00	14:05	kůra (80 %) sláma (20 %)	Řídicí systém Testo T350 DataLab	použito
05. 02. 2009	10:12	12:45	kůra	Řídicí systém Testo T350 DataLab	použito
18. 03. 2009	13:36	15:18	vylišované slunečnicové slupky	-	nevhodné: chybějící měřicí zařízení
19. 03. 2009	09:00	-	vylišované slunečnicové slupky	-	nevhodné: chybějící měřicí zařízení
14. 01. 2010	11:30	15:15	dřevní štěpka	Řídicí systém InfraLyt 50 DataLab	nevhodné: porucha klapky předehřevu vzduchu
15. 02. 2010	11:00	14:54	dřevní štěpka (+kusy kukuřičné slámy)	Řídicí systém InfraLyt 50 DataLab	nevhodné: porucha klapky předehřevu vzduchu

Tab. 4.4 Přehled měřících dnů

Poté byly zvolené veličiny (kap. 4.2) v daných časových intervalech sjednoceny do jednoho souboru uvedeného formátu (Microsoft Office Excel). Soubor je přiložen na CD, které je součástí této práce.

Dalším krokem byla kontrola chyb v měření, při níž byly objeveny výpadky v měření. V některých měřicích dnech byly tyto chyby velice četné, a nešlo proto daný časový úsek vůbec použít.

4.3.1 Odhalení výpadků měření

Předpoklad: Vzhledem k vzorkovací periodě 15 s mají být provedena v jedné minutě čtyři měření.

1. Z časové osy v **tab. 4.5** (sloupec A) byly pomocí funkce „ČÁST“ odděleny do zvláštního sloupce pouze sekundy (sloupec B).
2. Ve sloupci C byl použit předpoklad, takže od první buňky byla odečtena pátá buňka. Výsledek v případě, že vše je v pořádku, má být nula. Pokud je výsledek různý od nuly, došlo k výpadku měření.

A	B	C
Původní formát času	Sekundy	Výpočet pro ověření
2009.01.14 09:40:18.742	18	18 – 18=0
2009.01.14 09:40:33.742	33	33 – 33=0
2009.01.14 09:40:48.742	48	48 – 48=0
2009.01.14 09:41:03.742	03	03 – 03=0
2009.01.14 09:41:18.742	18	18 – 18=0
2009.01.14 09:41:33.742	33	33 – 03=30
2009.01.14 09:41:48.742	48	48 – 18=30
2009.01.14 09:42:03.742	03	
2009.01.14 09:42:18.742	18	
2009.01.14 09:44:03.679	03	
2009.01.14 09:44:18.695	18	

Tab. 4.5 Příklad hledání výpadku měření

3. Nyní je nutno projít výsledný sloupec C a vizuální kontrolou dohledat chyby. V **tab. 4.5** je vidět, že výpadek nastal mezi časy 9:42:18 a 9:44:03, chybí tedy šest záznamů.

Pokud se jedná o krátký výpadek mohla by se data doplnit aproximací z blízkého okolí. V případě, že se výpadky opakují často nebo jsou příliš dlouhé, je vhodné se těmito intervalům vyhnout.

4.4 Dopočet souvisejících veličin

Pro kompletnost výstupních veličin bylo nutné dopočítat průměrnou teplotu ve spalovací komoře a výkon kotle. **Průměrná teplota ve spalovací komoře** je aritmetickým průměrem tří teplot měřených na různých místech spalovací komory. A má pomocí jedné zástupné hodnoty (aritmetického průměru) ukazovat teplotu v prostoru spalovací komory. **Výkon kotle** pak stanoven podle následujícího vzorce.

$$P = \frac{\dot{m} \cdot c \cdot \Delta T}{3600} = \frac{\rho \cdot \dot{V} \cdot c \cdot (T_{\text{výst}} - T_{\text{vrat}})}{3600} \quad [W]$$

Kde: \dot{m} – hmotnostní průtok topného média [$\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$]
 c – měrná tepelná kapacita topného média [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
 ΔT – rozdíl teplot neboli teplotní spád [K]
 ρ – měrná hmotnost topného média [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
 \dot{V} – objemový průtok topného média [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]
 $T_{\text{výst}}$ – teplota výstupu topné vody z kotle [K]
 T_{vrat} – teplota vratné topné vody do kotle [K]

Topným médiem zkoumaného kotle je voda, pro výpočet proto byly použity následující hodnoty hustoty a měrné tepelné kapacity: $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

$$c = 4186 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

V případě konstantního průtoku by stačilo sledovat teplotní spád topné vody (dále TV). Analýza průtoku však ukázala, že není konstantní a s jeho změnami je nutné v rámci výstupních veličin počítat.

4.5 Výběr vhodných intervalů pro identifikaci

Po zpracování přehledného datového souboru je dalším krokem v identifikaci výběr vhodných intervalů, které budou použity při výpočtu modelu. Intervaly volíme s ohledem na typ identifikace (experimentální, analytická).

V kap. 4.2 již bylo naznačeno, že v případě experimentální identifikace je vhodné působit na výstupní veličiny skokovou změnou veličin vstupních, mezi další používané signály patří *puls*, *rampový* nebo *harmonický signál*. Takovýmto vstupním signálům říkáme *deterministické*.

Druhým typem využívaných signálů jsou signály *stochastické* (náhodné). Ty se v systému objevují za běžných provozních podmínek a nejsou vyvolávány záměrně. Takovéto měření lze aplikovat při analytické identifikaci a je vhodné vybírat intervaly s relativně konstantním průběhem sledovaných veličin.

4.5.1 Data pro analytickou identifikaci

Mezi rozhodující kritéria pro výběr vhodných intervalů z vypracované databáze patřilo zapojení všech měřících zařízení, znalost použitého paliva a všech zkoumaných veličin. Dalším kritériem byl výkon kotle okolo jeho dlouhodobého pracovního bodu (z měření cca 450 – 500 kW).

Pro názornost jsou u všech tří vybraných intervalů prezentovány průběhy zvolených veličin ve formě grafů.

Středa 21. 01. 2009:

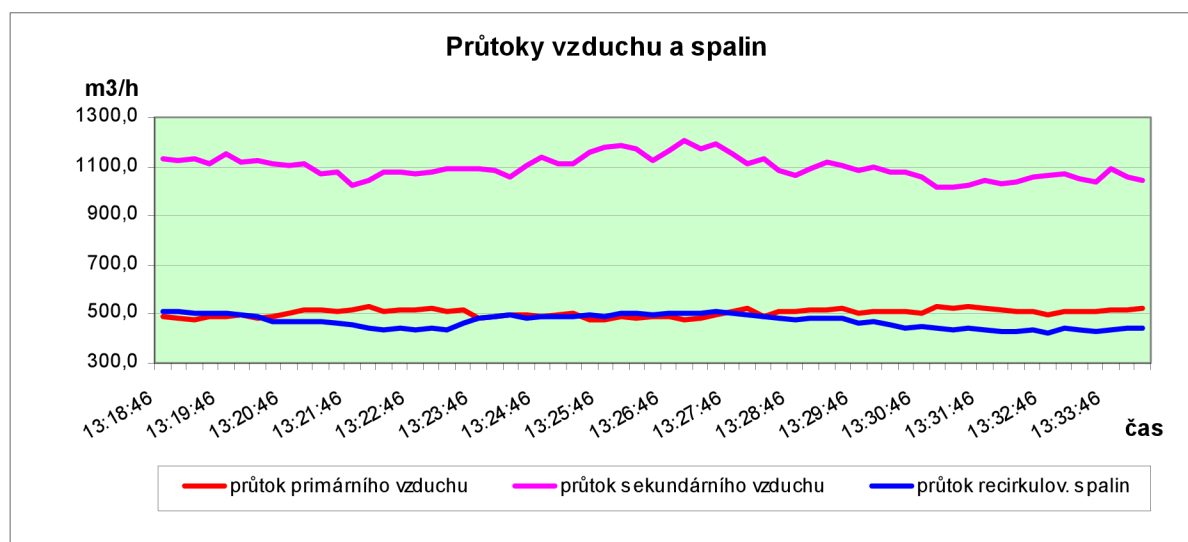
Interval měření: 13:18:46 - 13:34:16

Typ paliva: kůra 80 %, sláma 20 %

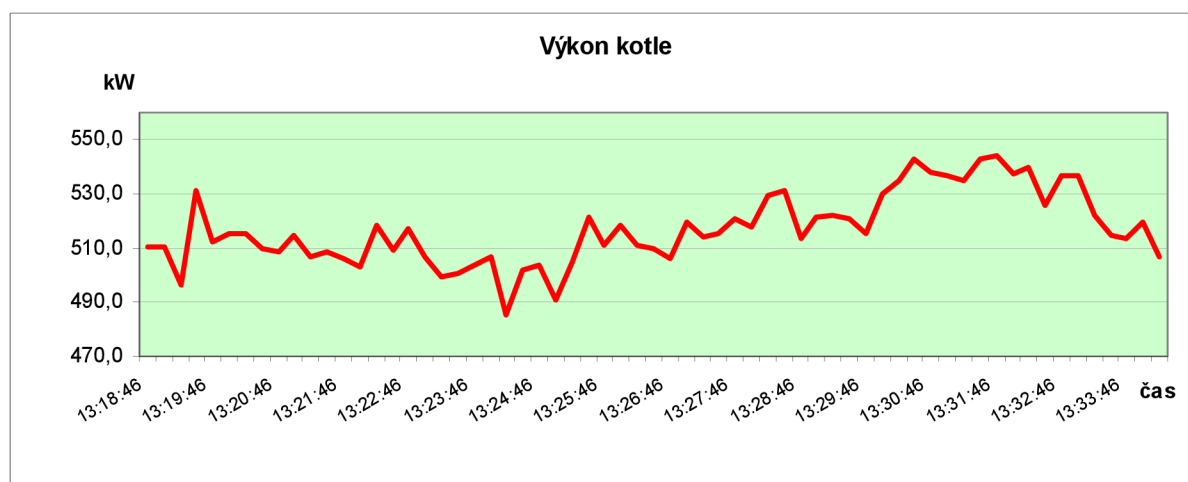
Recykl: otevřen

Venkovní teplota: +5 °C

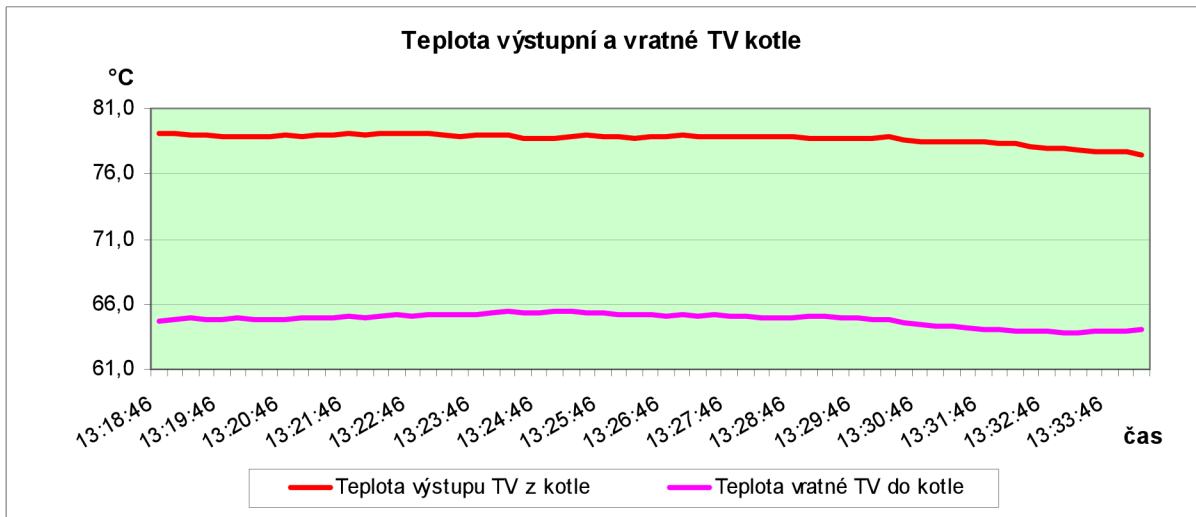
Rozsah výkonu jednotky: 480 – 550 kW



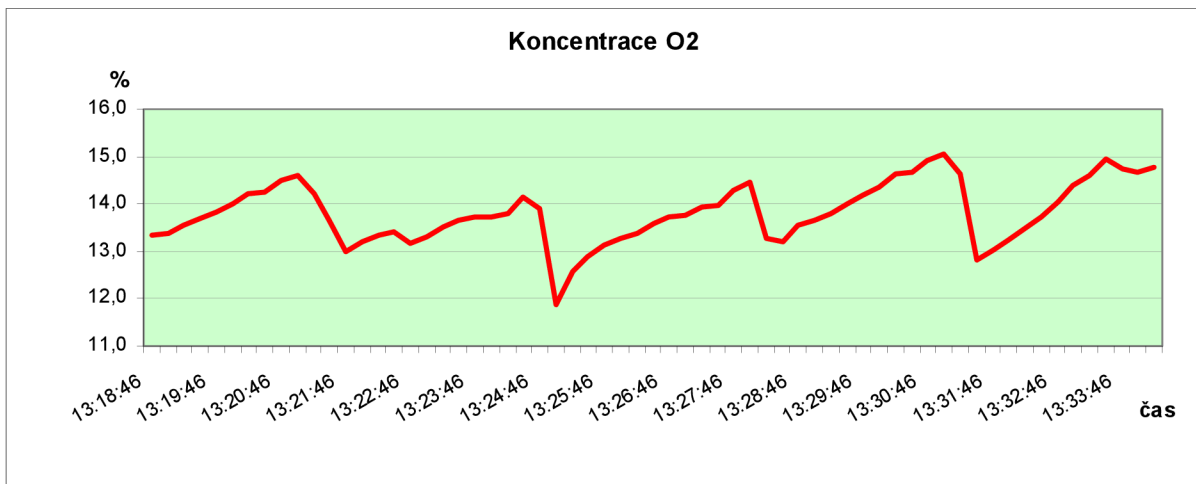
Graf 4.1 Průtoky primárního a sekundárního vzduchu, recirkulovaných spalin



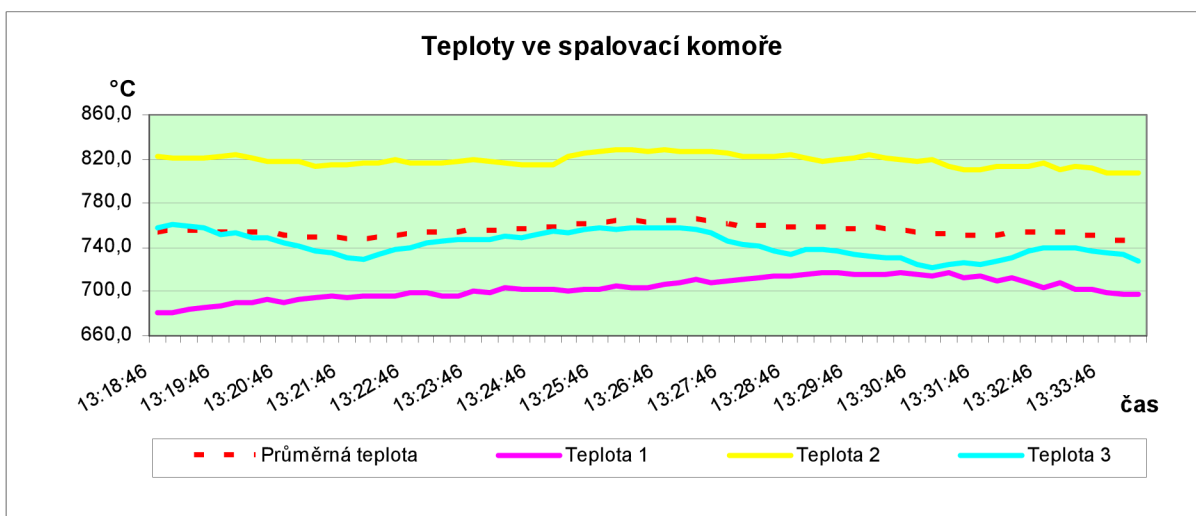
Graf 4.2 Výkon kotle



Graf 4.3 Teplota výstupní a vratné topné vody kotle



Graf 4.4 Koncentrace O₂ ve spalínách



Graf 4.5 Teploty ve spalovací komoře 1 – 3, průměrná teplota ve spalovací komoře

Čtvrtek 05. 02. 2009:

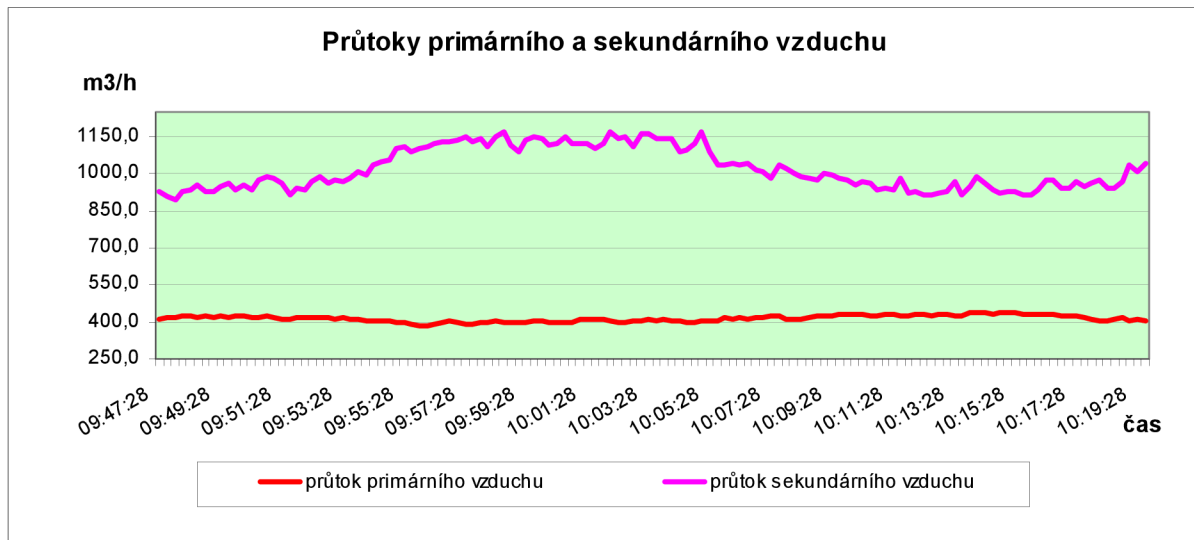
Interval měření: 09:47:28 - 10:19:43

Typ paliva: kůra

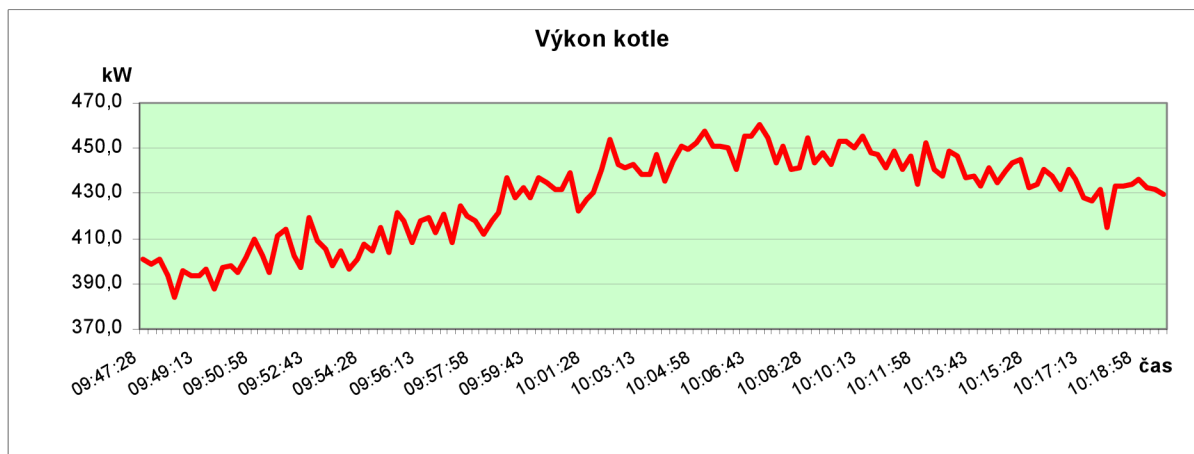
Recykl: uzavřen

Venkovní teplota: +4 °C

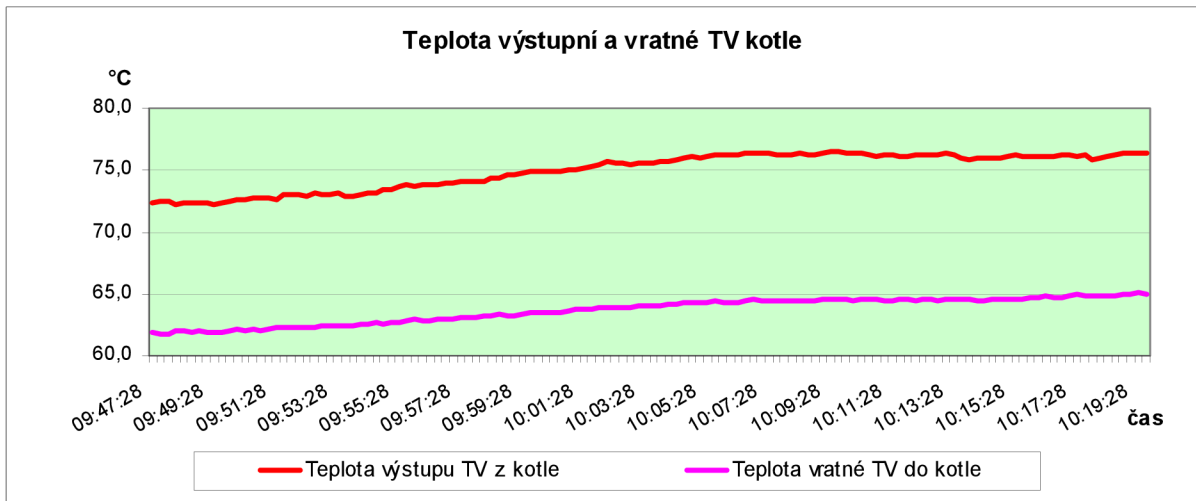
Rozsah výkonu jednotky: 380 – 460 kW



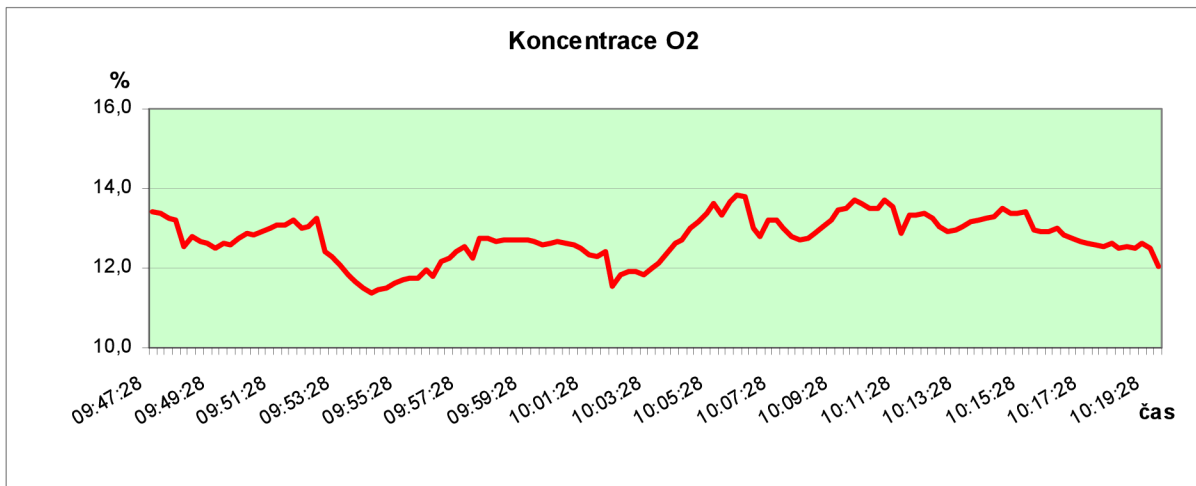
Graf 4.6 Průtoky primárního a sekundárního vzduchu



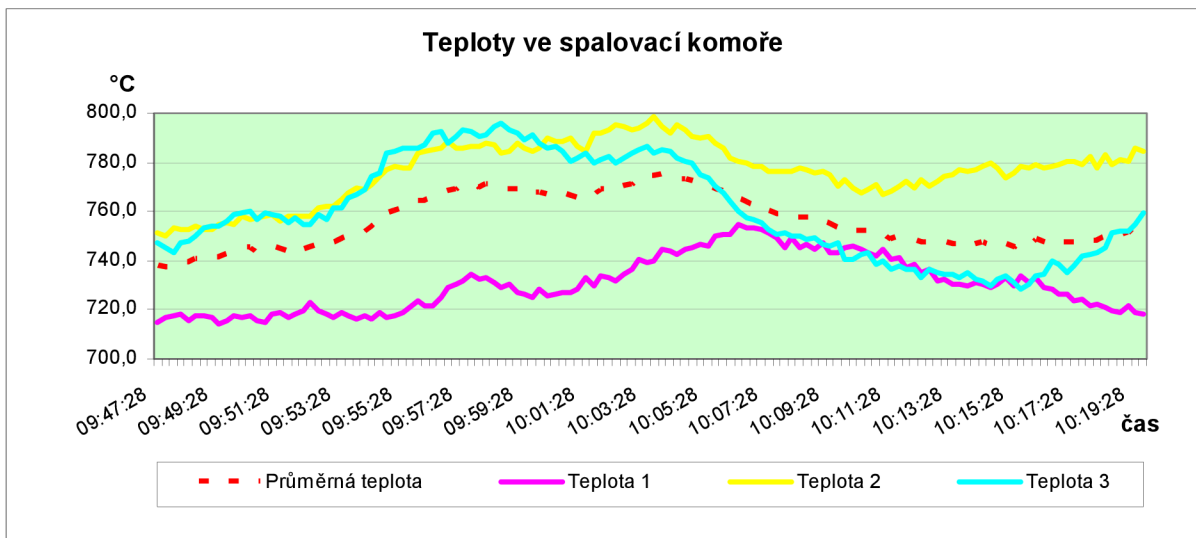
Graf 4.7 Výkon kotle



Graf 4.8 Teplota výstupní a vratné topné vody kotle



Graf 4.9 Koncentrace O₂ ve spalínách



Graf 4.10 Teploty ve spalovací komoře 1 – 3, průměrná teplota ve spalovací komoře

Čtvrtek 05. 02. 2009:

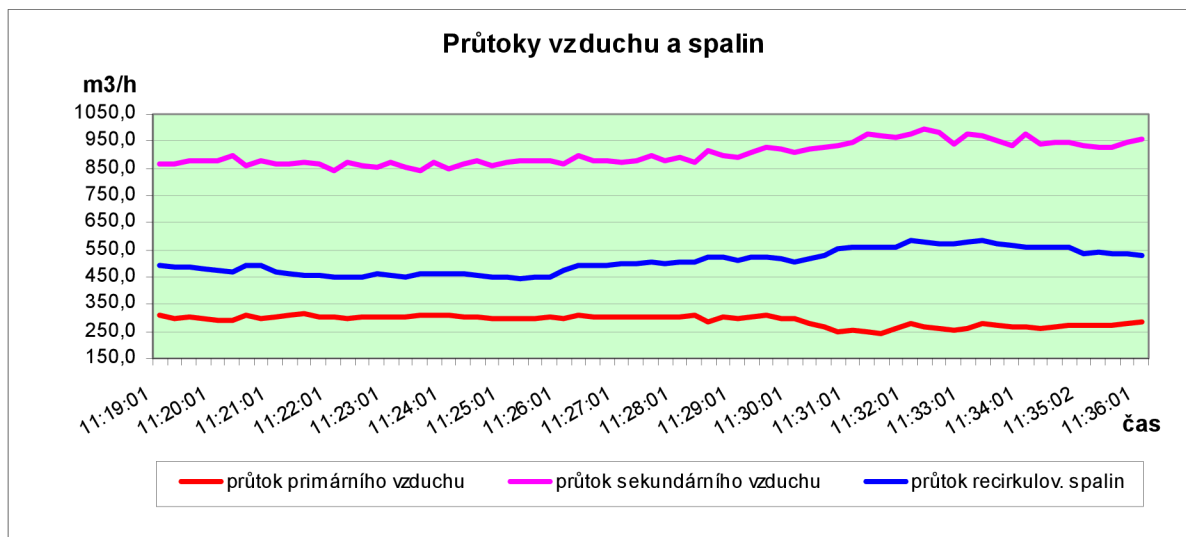
Interval měření: 11:19:01 - 11:36:01

Typ paliva: kůra

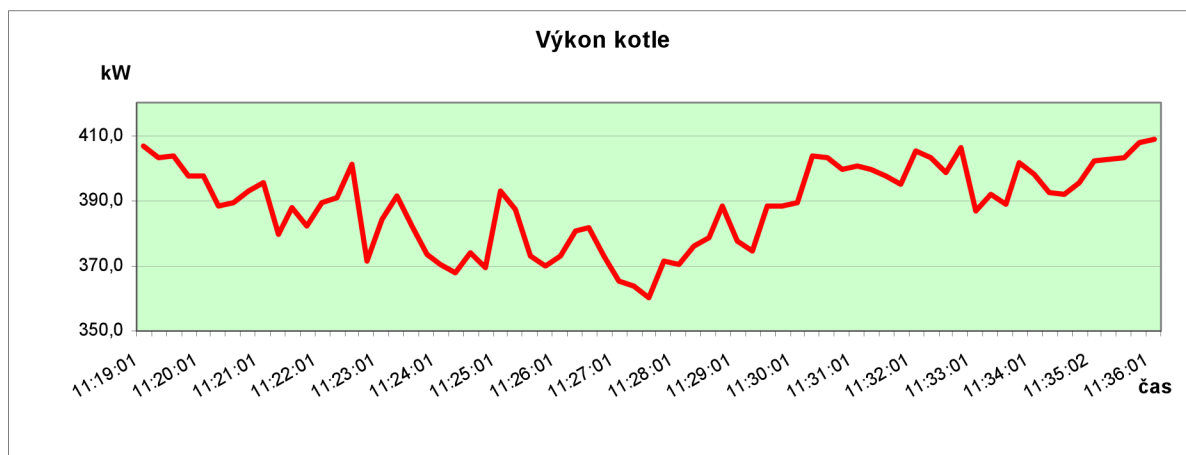
Recykl: otevřen

Venkovní teplota: +4 °C

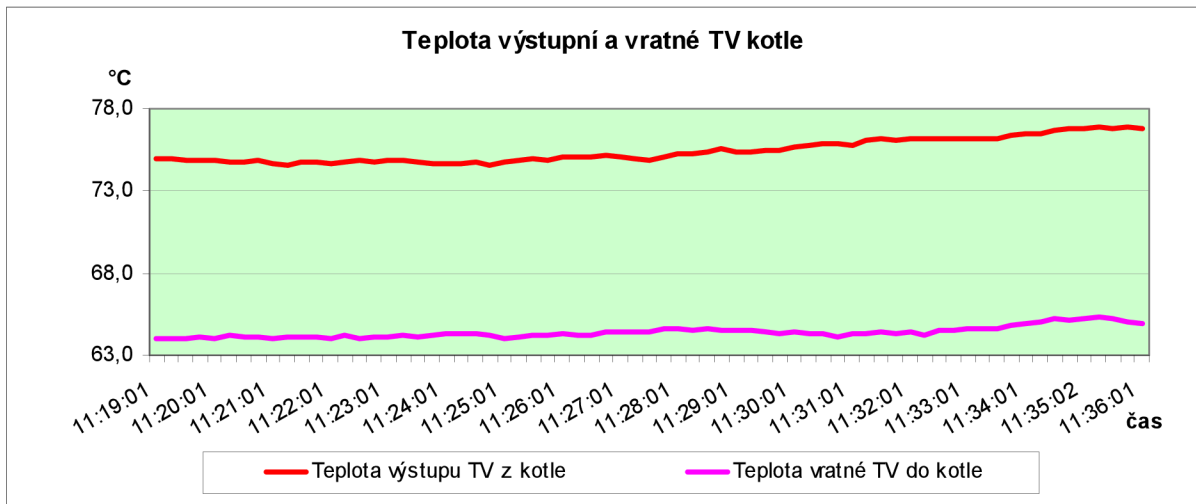
Rozsah výkonu jednotky: 360 – 410 kW



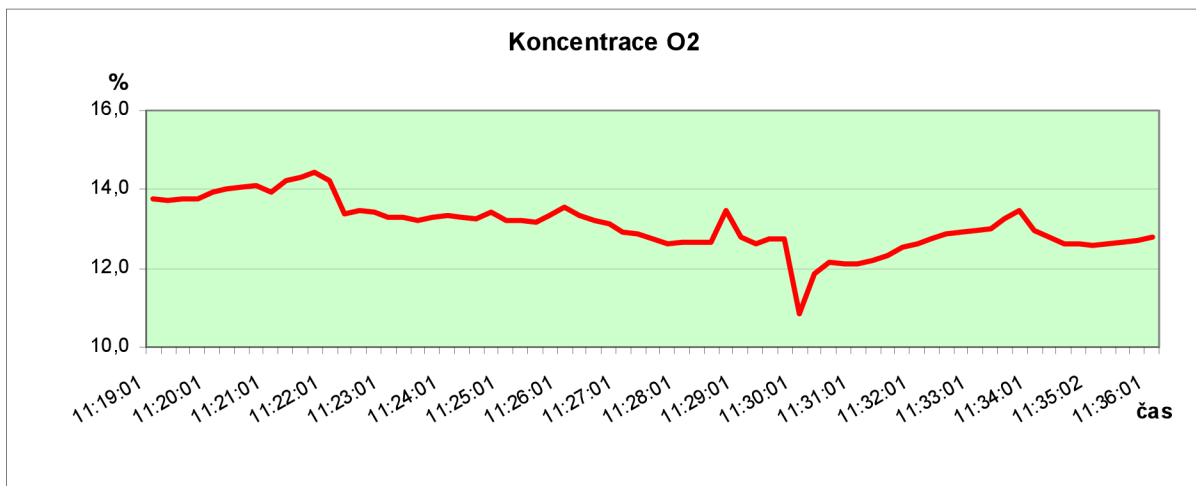
Graf 4.11 Průtoky primárního, sekundárního vzduchu a recirkulovaných spalin



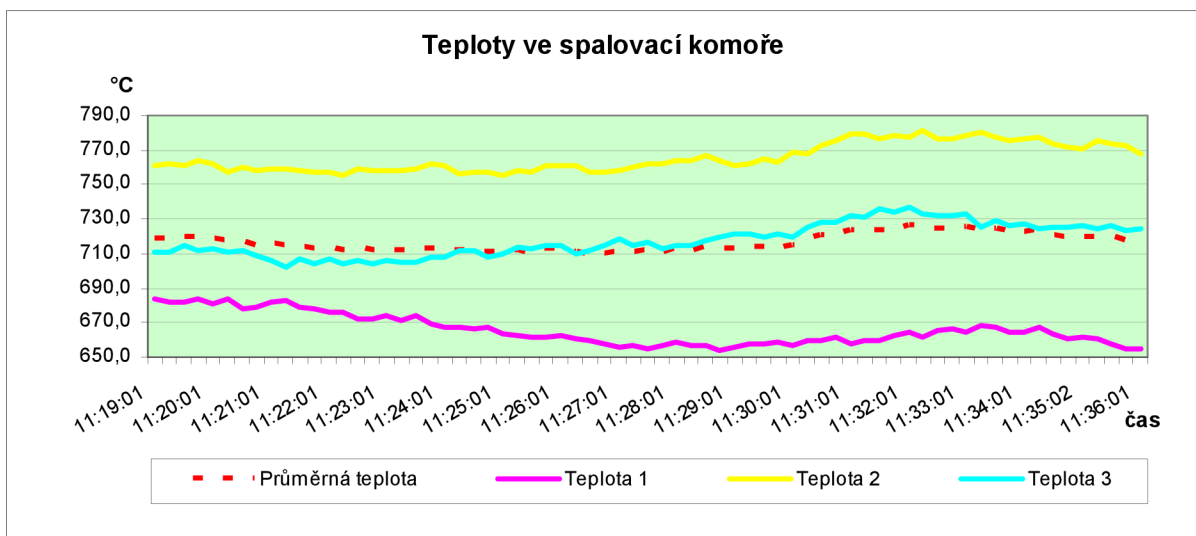
Graf 4.12 Výkon kotle



Graf 4.13 Teplota výstupní a vratné topné vody kotle



Graf 4.14 Koncentrace O₂ ve spalínách



Graf 4.15 Teploty ve spalovací komoře 1 – 3, průměrná teplota ve spalovací komoře

4.5.2 Data pro experimentální identifikaci

Z uvedených měřicích dnů (kap. 4.3) byly dva věnovány přímo měření za účelem experimentální identifikace.

- **03. 12. 2007** – byly provedeny následující testy: vliv recirkulace, vliv průtoku sekundárního vzduchu a vliv průtoku primárního vzduchu na výstupní veličiny (**tab. 4.3**)

Typ paliva: neznáme (pravděpodobně dřevní štěpka)

Recykl: otevřen

Venkovní teplota: +9 °C

Průměrný výkon jednotky: 475 kW

- **15. 02. 2010** – byly provedeny následující testy: vliv průtoku sekundárního vzduchu, vliv průtoku primárního vzduchu a vliv podavače paliva na výstupní veličiny (**tab. 4.3**)

Typ paliva: dřevní štěpka (s kusy kukuřičné slámy)

Recykl: otevřen

Venkovní teplota: +1 °C

Průměrný výkon jednotky: 475 kW

Aby bylo možné vybrat ještě další intervaly, byly pro zbývající měřicí dny pomocí deníku měření vypracovány tabulky (**tab. 4.6 - tab. 4.12**), které uvádí přehled prováděných změn v nastavení během měření. Sledovány jsou především změny doby klidu podavače paliva (dále DKPP), změny ovlivňující průtok primárního nebo sekundárního vzduchu a změny ovlivňující průtok recirkulovaných spalin.

11. 12. 2008		
Čas	Veličina	Nastavení
10:00	DKPP	80 s
10:20	DKPP	40 s
10:00	Rozsah otáček (min. – max.) prim. ventilátoru	25 – 50 %
10:30	Rozsah otáček (min. – max.) prim. ventilátoru	10 – 30 %
12:00	Rozsah otáček (min. – max.) prim. ventilátoru	20 – 40 %
12:23	Rozsah otáček (min. – max.) prim. ventilátoru	10 – 30 %

Tab. 4.6 Přehled změn v nastavení dne 11. 12. 2008

06. 01. 2009		
Čas	Veličina	Nastavení
11:00	DKPP	220 s
11:33	DKPP	30 s

Tab. 4.7 Přehled změn v nastavení dne 06. 01. 2009

07. 01. 2009		
Čas	Veličina	Nastavení
08:44	DKPP	180 s
13:03	DKPP	100 s

Pozn.: Nefunguje recykl, v 13:20 proběhla výměna klapky recykl.

Tab. 4.8 Přehled změn v nastavení dne 07. 01. 2009

14. 01. 2009		
Čas	Veličina	Nastavení
09:33	DKPP	80 s
09:35 – 10:15	DKPP	50 s
10:15	DKPP	70 s
10:20	DKPP	80 s
11:20	DKPP	120 s
kolem 12:00	DKPP	140 s
12:20	DKPP	120 s
14:20	DKPP	100 s

Pozn.: V čase 09:35 - 10:15 a kolem 12:00 byla změna doby klidu podavače paliva pouze krátkodobá.

Tab. 4.9 Přehled změn v nastavení dne 14. 01. 2009

15. 01. 2009		
Čas	Veličina	Nastavení
09:26	DKPP	120 s
09:26	max. otáčky sek. ventilátoru	60 %
09:40	max. otáčky sek. ventilátoru	50 %
09:26	teplota regulace průtoku sek. vzduchu	900 °C
09:40	teplota regulace průtoku sek. vzduchu	950 °C
10:20	DKPP	140 s
10:20	max. otáčky sek. ventilátoru	60 %
10:48	max. otáčky sek. ventilátoru	70 %
10:50	max. otáčky sek. ventilátoru	60 %
10:50	teplota regulace průtoku sek. vzduchu	900 °C
11:00	DKPP	140 s

Pozn.: Změny max. otáček sekundárního ventilátoru a teploty regulace průtoku sek. vzduchu (09:26 – 09:40) vedly ke zvýšení teplot T₂, T₃ a průtoku primárního vzduchu, došlo také ke snížení O₂ ve spalinách.

Tab. 4.10 Přehled změn v nastavení dne 15. 01. 2009

21. 01. 2009		
Čas	Veličina	Nastavení
10:00	DKPP	180 s
11:25	DKPP	140 s
11:55	DKPP	160 s
12:00	mez teploty pro polohu 0 % recirkulace	100 °C
12:00	mez teploty pro polohu 100 % recirkulace	1300 °C
12:11	DKPP	140 s
12:17	DKPP	120 s
12:35	mez teploty pro polohu 0 % recirkulace	400 °C

Pozn.: V 10:40 byl zapnut recykl, došlo ke zvýšení průtoku směsi spalin a vzduchu, průtoku recirkulovaných spalin a poklesl průtok primárního vzduchu. Díky tomu rychleji vyhořívá palivo a klesla teplota T1. V 11:07 byla otevřena vrata vytápěné haly, ke stabilizaci teplot a průtoků došlo v 11:40. Vrata byla zavřena v 11:50, což vedlo k nárůstu teplot a průtoků sek. vzduchu. Po změně mezí teplot pro polohu recirkulace ve 12:00 se klapka recyklu ustálila na 60 %. Ve 12:35 po změně spodní meze teploty pro polohu recirkulace se klapka recyklu ustálila na 40 %. Recykl byl uzavřen ve 12:40.

Tab. 4.11 Přehled změn v nastavení dne 21. 01. 2009

05. 02. 2009		
Čas	Veličina	Nastavení
08:45	DKPP	200 s
10:12	DKPP	140 s
10:32	DKPP	200 s
10:45	mez teploty pro polohu 0 % recirkulace	500 °C
10:45	mez teploty pro polohu 100 % recirkulace	1000 °C
08:45	max. otáčky prim. ventilátoru	30 %
11:15	max. otáčky prim. ventilátoru	25 %
12:26	max. otáčky prim. ventilátoru	30 %
12:26	mez teploty pro polohu 0 % recirkulace	600 °C
12:26	mez teploty pro polohu 100 % recirkulace	1100 °C

Pozn.: V časovém rozmezí 10:12 – 10:32 proběhl test vlivu podavače paliva na sledované veličiny. Po změně mezí teplot pro polohu recirkulace ve 12:26 se klapka recyklu ustálila na 38 %.

Tab. 4.12 Přehled změn v nastavení dne 05. 02. 2009

5 ZHODNOCENÍ A DOPORUČENÍ

5.1 Zhodnocení vstupních a výstupních veličin

Během vyhodnocení naměřených a zpracovaných dat se některé zvolené vstupní a výstupní veličiny (kap. 4.2) ukázaly jako nevhodné nebo problematické. Proto je dále zmíněno doporučení k jejich případnému nahrazení jinou, vhodnější veličinou.

Výkon kotle – jak uvádí kap. 4.4, byla jednoduchou analýzou posuzována stabilita průtoku topné vody. Důvodem byla uvažovaná záměna výstupní veličiny y_1 (výkon kotle) za teplotu výstupu topné vody z kotle, pro zjednodušení výpočtu a snížení počtu vstupních veličin. Analýza ovšem ukázala značné kolísání průtoku topné vody, které je zřejmě způsobeno regulací teploty vratné vody do kotle směšovacími ventily nebo změnami teploty topné vody. Z toho důvodu nelze teplotu topné vody jako hlavní výstupní veličinu použít. Výkon kotle je tedy pro tento účel vhodně zachovat.

Výkon podavače paliva – tato veličina je problematická hned z několika důvodů. Základním problémem při určování množství (hmotnostního průtoku) dodávaného paliva je skutečnost, že není u kotlů obvykle instalován systém přímého vážení. Výkon podavače je „virtuální“, řídicím systémem dopočítávaná hodnota, z níž není možné s dostatečnou přesností odvodit reálnou periodu dodávky paliva (množství dodaného paliva). Dodávka paliva je totiž dávková (nespojité), kdežto výkon paliva je spojitou veličinou, která je určena pro účely řízení. Množství dodávaného paliva je regulováno v závislosti na odchylce žádané teploty TV a reálné (měřené) teploty TV. Čím je tato odchylka větší, je kratší perioda dodávek paliva. Minimální perioda nastane při odchylce vyšší než 4 °C a odpovídá součtu doby klidu podavače a doby samotného posunu podavače (cca 60 s). Výpočet výkonu podavače je závislý na dalších proměnných, jejichž hodnoty není možné z archivních dat zjistit (minimální a maximální poměr podavače, nejistota ohledně časového okamžiku výpočtu). Pro potřeby přesnějšího výpočtu množství dodaného paliva by tedy bylo vhodnější vyjít přímo ze závislosti periody podavače paliva na odchylce žádané teploty TV a reálné (měřené) teploty TV. Tato analýza už v rámci bakalářské práce provedena nebyla, a proto hmotnostní průtok paliva není zahrnut ani v **tab. 5.1**. Pokud tato skutečnost brání ověření průtoku paliva experimentální identifikací, je možné využít identifikace analytické a množství paliva dopočítat z bilančního modelu, u něhož jsou známy výstupy i matematický popis dějů v kotli.

Průměrná teplota ve spalovací komoře – teploměry jsou rozmístěny tak, aby co nejpřesněji ukazovaly aktuální situaci ve spalovací komoře. T1 nad roštem v primární komoře, T2 ve střední části sekundární (dohořivací) komory a T3 na výstupu spalin do výměníku. Vzhledem k rozdílným fázím hoření v místech, kde jsou teploměry umístěny, se zaznamenané teploty výrazně liší (v desítkách °C). Proto je vhodnější než aritmetický průměr z těchto teplot využít pouze snímač T3, který udává reálnou teplotu spalin, po skončení hoření. Jedná se o teplotu spalin, které dále vstupují do trubkového výměníku a z tohoto pohledu má pro identifikaci systému nejvyšší vypovídací hodnotu.

5.2 Analýza intervalů pro identifikaci

Pro identifikaci systému jsou vhodnými intervaly ty, které obsahují změny vstupních veličin. Pak je možné posoudit jejich vliv na veličiny výstupní. Změny, ke kterým došlo ve zvolených intervalech (kap. 4.5.1), jsou uvedeny v **tab. 5.1**.

21. 01. 2009 13:18:46 - 13:34:16					
Veličina	Arit. průměr [m ³ /h]	Maximum [m ³ /h]	Odchylka maxima [%]	Minimum [m ³ /h]	Odchylka minima [%]
Palivo	-	-	-	-	-
Průtok primárního vzduchu	504,0	532,0	+ 5,6	475,9	- 5,6
Průtok sekundárního vzduchu	1095,3	1202,9	+ 9,8	1014,2	- 7,4
Průtok recirkulovaných spalin	469,6	510,3	+ 8,7	424,6	- 9,6
05. 02. 2009 09:47:28 - 10:19:43					
Veličina	Arit. průměr [m ³ /h]	Maximum [m ³ /h]	Odchylka maxima [%]	Minimum [m ³ /h]	Odchylka minima [%]
Palivo	-	-	-	-	-
Průtok primárního vzduchu	414,3	439,6	+ 6,1	383,4	- 7,5
Průtok sekundárního vzduchu	1018,5	1168,8	+ 14,8	897,2	- 11,9
Průtok recirkulovaných spalin	Recykl uzavřen				
05. 02. 2009 11:19:01 - 11:36:01					
Veličina	Arit. průměr [m ³ /h]	Maximum [m ³ /h]	Odchylka maxima [%]	Minimum [m ³ /h]	Odchylka minima [%]
Palivo	-	-	-	-	-
Průtok primárního vzduchu	289,4	314,7	+ 8,8	240,0	-17,1
Průtok sekundárního vzduchu	903,8	996,0	+ 10,2	840,0	- 7,1
Průtok recirkulovaných spalin	506,5	584,2	+ 15,3	446,4	- 11,9

Tab. 5.1 Přehled změn vybraných veličin

Z tohoto pohledu lze vybrané intervaly použít zejména pro analytickou identifikaci, tj. vytvoření bilančního matematického modelu, který musí vycházet z dat s co nejstálenějšími hodnotami sledovaných veličin. Pro experimentální identifikaci by bylo vhodné vybrat interval s větším počtem skokových změn vstupních veličin, které by jasněji ukazovaly dynamické vazby mezi sledovanými vstupy a výstupy.

Vzhledem k tomu, že některá měření probíhala přímo za účelem sběru dat pro experimentální identifikaci (03. 12. 2007; 15. 02. 2010), lze pro další analýzu doporučit data z měření v těchto termínech. Pro zhodnocení vhodnosti dat z ostatních termínů měření je možné vyjít z tabulek (**tab. 4.6 - tab. 4.12**) v kap. 4.5.2, která shrnuje změny nastavení prováděné na vstupech systému během jednotlivých měření. Pro účely další analýzy jsou data připravena v databázi (viz. kap. 4.3). Uživatel může z dat snadno vytvořit grafy, z nichž vizuální kontrolou vybere vhodné intervaly pro experimentální identifikaci systému.

6 ZÁVĚR

Cílem předložené práce bylo jednak popsat metodiku zpracování dat pro účely experimentální identifikace. A dále vytvořit ucelenou databázi z dodaných podkladů, dopočítat požadované veličiny a závislosti prezentovat ve formě grafů. Vzhledem k rozsáhlosti databáze ji nebylo možné zahrnout do písemné části bakalářské práce. Databáze i grafy jsou proto obsahem zmíněného CD ve formátu Microsoft Office Excel. Tento formát byl předem zvolen pro své nesporné výhody, jako je např. dostupnost nebo uživatelská jednoduchost. Databáze v této podobě je připravená pro okamžité použití. Požadavky plynoucí ze zadání byly tedy splněny ve všech bodech.

Během zpracování jednotlivých měřících dnů, byly objeveny výpadky měření. V databázi jsou tato místa vyznačena a je doporučeno se jim při identifikaci vyhnout. Důvodem je rozsáhlost výpadků a tedy nemožnost jejich náhrady aproximací z blízkého okolí.

Dále byla posouzena vhodnost jednotlivých měřících dnů vzhledem k požadavkům experimentální, ale i analytické identifikace. Byly doporučeny konkrétní dny, kdy měření probíhala právě pro účely identifikace experimentální (03. 12. 2007; 15. 02. 2010). Z ostatních měřících dnů lze vybrat další intervaly použitelné pro experimentální identifikaci jednotky. Pro snadnější orientaci v datech byly vytvořeny tabulky shrnující změny ovlivňující vstupní veličiny zaznamenané v deníku měření (**tab. 4.6 - tab. 4.12**).

Práce shrnuje objevené nedostatky při volbě vstupních a výstupních veličin, které vyplynuly v průběhu práce a navrhuje jejich případné řešení. Dále je doporučeno využití vybraných intervalů při analytické identifikaci a je navržen způsob výběru intervalů pro identifikaci experimentální (viz. předchozí odstavec). Tím byly vytvořeny vhodné podmínky pro realizaci dalších kroků vedoucích ke vzniku matematického modelu zmíněné jednotky experimentální identifikací.

Tato bakalářská práce nemusí sloužit pouze pro účely identifikace na konkrétní technologii, ale lze ji využít také jako návod při přípravě na experimentální identifikaci jiných procesních zařízení a následné vyhodnocení takto získaných dat.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MODRLÁK, O.: *Teorie automatického řízení I., Úvod do identifikace: Studijní materiály*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2004. 32 s.
- [2] NOSKIEVIČ, P.: *Modelování a identifikace systémů*. Ostrava: MONTANEX a.s., 1999. 273 s. ISBN 80-7225-030-02.
- [3] ZHU, Y.: *Multivariable system identification for process control*. Oxford: Elsevier science & Technology books, 2001. 350 p. ISBN 0-08-043985-3.
- [4] KAMLER, R.: *Metody identifikace spojitých modelů technologických soustav*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 1999. 146 s.
- [5] LJUNG, L.: *System identification, theory for the user (2nd. Ed.)*. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 609 p. ISBN 0-13-656695-2
- [6] Projekt MPO – *Prototyp jednotky o výkonu 1 až 3 MW pro energetické využití různých druhů biomasy a fytomasy* [online]. [cit. 2010-03-02]. Dostupné z: <<http://www.uepi.fme.vutbr.cz/cs/struktura/sezsv-projekt-prototyp-jednotky-o-vykonu-1-az-3-mw-pro-energeticke-vyuziti-ruznych-druhu-biomasy-a-fytomasy.php>>
- [7] HÁJEK, J.; PAVLAS, M.; URBAN, L.; STEHLÍK, P.: *Matematické modelování jako podpůrný nástroj při návrhu prototypu experimentální jednotky pro energetické využití různých druhů biomasy a fytomasy*. Výzkumná zpráva VZ-MPO-2006/02. Brno: VUT Brno, 2006. 36 s.
- [8] URBAN L., MASA V., PAVLAS M., STEHLIK P.: *Novel type of technology for biomass utilization*. In 10th Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction, PRES 2007, Ischia Porto, Italy, Volume 12. Italy, 2007. 465– 470 p.
- [9] PASTOREK Z., KÁRA J., JEVIČ P.: *Biomasa - obnovitelný zdroj energie*. FCC PUBLIC, 2004. 288 s. ISBN 80-86534-06-05
- [10] LISÝ M., BALÁŠ M., KOHOUT P., SKÁLA Z.: *Energetické parametry při fluidním zplyňování* [online]. [cit. 2010-04-16]. Dostupné z: <http://oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa_iv/papers/lisy.pdf>