

VYHODNOCOVÁNÍ HOŘICÍ SCÉNY V PROSTŘEDÍ MATLAB

Ing. Vojtěch Němec

FEKT VUT v Brně, Ústav automatizace a měřicí techniky, Kolejní 2906/4, 612 00 Brno,
Česká Republika, Tel.: +420 5 4114-1154, Fax: +420 5 4114-1123,
vojtech.nemec@phd.feec.vutbr.cz

Abstrakt

Příspěvek se zabývá problematikou trendu eliminace lidského faktoru v řízení provozu spalovacího kotle komunálního odpadu. Zaměřuje se hlavně na vyhodnocování digitálních snímků průmyslové CCD kamery, v prostředí Matlab 2006b, snímající obecnou tepelnou či hořící scénu s akcentem pro použití ve spalovně komunálního odpadu.

Cíle subsystému pro zpracování obrazové scény v celém modelu spalovacího simulace kotle jsou tři. Jedná se o analýzu souvislosti mezi jasovým integrálem barevného snímku kamery a tepelným výkonem kotle. Dále je to hledání spodní hranice hoření pro signalizaci míry vyhoření paliva. Posledním úkolem je nalezení těžiště a polohy hoření v kotli.

Funkční algoritmus vyhodnocování obrazové scény bude použit pro simulaci celého automatického řízení spalovacího kotle. Jeho začlenění do systému řízení je patrné z obrázku níže.

Navrhované postupy a algoritmy jsou experimentálně ověřovány na vytvořeném vyhodnocovacím řetězci.

1 Úvod

V dnešní době je otázka likvidace odpadů na jednom z čelních míst veřejného zájmu. Souvisí to samozřejmě i s naší evropskou integrací a vstupem do EU. V rámci přizpůsobování se legislativě EU jsou na odpad-zpracovávací provozy kladeny zvýšené nároky a to zejména na vysokou kvalitu zpracování odpadu a na ekologickou nezávadnost provozů. Pravidla pro zpracování a likvidaci komunálního odpadu jsou velmi přísná. V případě termického zpracování je nutné vytvořit podmínky pro dokonalé spálení všech spalitelných částí odpadu. Toho lze dosáhnout jen kvalitní regulací spalovacího procesu.

Jedním z elementárních cílů automatizace spalovacího (či jiného hořícího) procesu je minimalizace pravděpodobnosti lidské chyby při procesu řízení. Toho dosáhneme pokud možno co nejvyšší mírou úplného zautomatizování procesu a vyloučením lidského faktoru. To se týká např. spalovny SAKO s.r.o v Brně, kde v současné době i přes pokročilé stádium automatizace je spalovací proces vizuálně analyzován operátorem a na zásadě jeho rozhodnutí jsou provedeny akční zásahy do procesu spalování komunálního odpadu. Jak z výše uvedeného vyplývá, aby bylo možné dosáhnout automatického řízení i v tomto bodě, je třeba obrazovou informaci, kterou operátor ze svého stanoviště vidí na monitoru, vhodně zpracovat a vyhodnotit tak, aby bylo možné výstupy tohoto zpracování použít pro řízení spalovacího procesu.

Cílem zde předkládané problematiky je analýza možného použití barevné CCD kamery pro uvažované strojové vyhodnocování obrazové informace procesu spalování. Takto navržený systém vycházející z této technologie by měl za úkol v plánované rekonstrukci spalovny SAKO Brno nahradit lidský faktor vyhodnocování hořící scény ohniště a informace takto získané by měli být vstupními daty pro regulaci spalování odpadu. Předpokládá se, že

by takové řešení mělo pozitivní dopad na provoz spalovny jak po stránce bezpečnosti a kvality spalování resp. regulace, s příznivými ekologickými dopady na čistotu spalin, tak i dopad ekonomický způsobený úsporou obsluhy zařízení člověkem.

Cílem je navrhnout a ověřit navržené vztahy resp. algoritmy na co nejpodobnějších situacích a modelech (simulacích) spalovacího procesu prováděných v prostředí Matlab2006b a za pomoci simulačního nástroje Simulink. Klíčem bude nalezení spojitosti mezi viditelným spektrem obrazu a změnou tepelného výkonu. Dále pak rozpoznání těžiště hoření odpadu na spalovacím roštu a spodní hranice hoření.

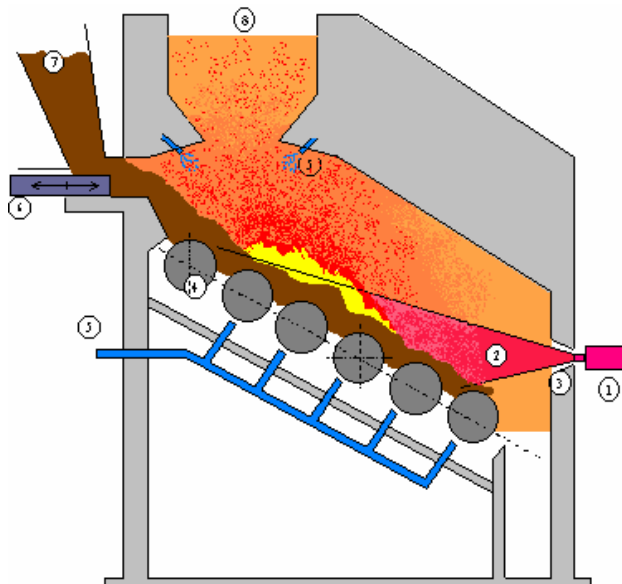
2 Současný stav

Z důvodu lepšího pochopení zvolené problematiky zpracování obrazové informace hořícího komunálního odpadu barevnou CCD kamerou je vhodné správně pochopit funkci spalovny a jen ve stručnosti se seznámit s danou problematikou.

2.1 Spalovací kotel

Z hlediska regulace spalovacího procesu je nejdůležitější částí technologie kotel, jehož funkční schéma je na obrázku č. 1.

- 1 - CCD kamera
- 2 - zorné pole kamery
- 3 - průzor ve stěně kotle
- 4 - válce roštu
- 5 - vstup vzduchu
- 6 - dávkovač paliva
- 7 – palivo
- 8 - odvod spalin a tepla



Obr. č. 1 Funkční schéma spalovací komory kotle

Palivo skládající se z odpadků vstupuje do komory kotle přes násypku (7). Posuvná deska (6) slouží k dávkování paliva a zároveň odděluje hořící odpadky od odpadků v zásobníku. Na prvním bubnu za deskou dochází k vysoušení paliva (4). Na dalším bubnu začíná palivo hořet. Na pozici třetího a čtvrtého bubnu odpadky hoří, na pátém bubnu dohořívají a na šestém bubnu je již víceméně škvára. Každý z bubnů je ovládán samostatně. Pro kvalitní spalování je důležité okysličování. Proto jsou bubny konstrukčně upraveny tak, že skrze jejich povrch je do ohniště vháněn vzduch. Jak je z obrázku zřejmé, je vzduch foukán i shora na ohniště. Nespalitelná škvára je pak odsypávána do zásobníku a teplo se spalinami je odváděno do výměníku tepla (8). Ve stěně kotle (3) je průzor, kterým je snímán hořící proces kamerou (1).

Typická obrazová scéna hoření sejmutá z kotle spalovny je na obrázku č.2. Na obrázku č.3 je vidět jakým způsobem je provedeno uchycení kamery na stěně kotle.

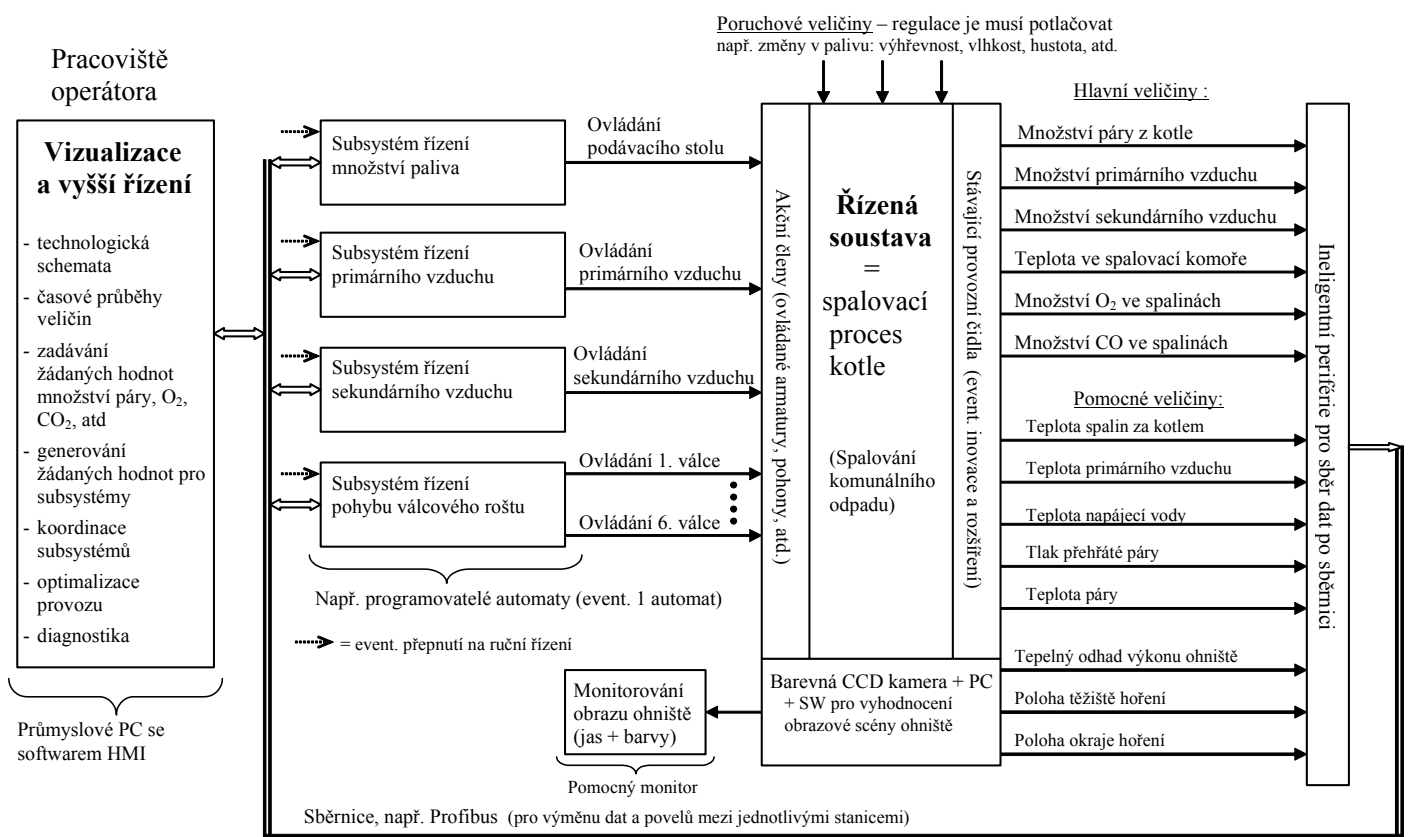


Obr. č. 2 Typická obrazová scéna hoření



Obr. č. 3 Uchycení CCD kamery na stěně kotle

2.2 Stanovení požadovaných veličin



Obr. č. 4 Schéma navrhované regulace s patrnou funkcí CCD kamery

Jelikož je zamýšlené zpracování obrazu hořící kotle primárně určeno pro potřeby regulace (automatizace) procesu spalování je třeba stanovit jaké veličiny a parametry budeme v obrazu hledat, zjišťovat či odvozovat. Jsou to veličiny, které bude možné ovlivňovat a budou nám poskytovat potřebnou informaci v reálném čase o současném stavu ve spalovacím kotli:

- změna tepelného výkonu - trend hoření

- poloha ohniska hoření
- poloha dolní hranice hoření

Samotnou teplotu hoření odpadu pomocí CCD kamery jednoduše určit nejde. Lze však z plochy, jasu a barvy světla vypočítat resp. odhadnout změnu relativního tepelného výkonu roštu a v pozorovat jeho chování v čase. To znamená pro naše účely sledovat jeho stoupající či klesající trend, který je v současné situaci řízení pozorován operátorem na velině a na základě trendu dynamiky děje je stanoven akční zásah do spalování (množství primárního nebo sekundárního vzduchu, změna spalovaného množství odpadu). Relativní výkon je možné vyhodnocovat pro každý válec samostatně, ale výhodnější a rychlejší bude ho počítat pro rošt jako celek.

Polohu ohniska (těžiště) hoření musíme určovat na základě stavu na jednotlivých válcích. Rozdělením vzduchu pod jednotlivé válce lze ovlivnit polohu těžiště, ale i velikost plochy na které dochází k nejintenzivnějšímu hoření a tím také výšku plamenů. Při vyhodnocení se opět vyjde z plochy, barvy a jasu plamene. Podle zjištěné plochy potom upravíme množství přiváděných vzduchů.

Detekci spodního okraje ohniště rozumíme algoritmus, který určí hranici mezi odpadky, které ještě hoří a odpadky, které již nehoří. Je totiž žádoucí, aby odpadky, které opouštějí kotel a jsou ukládané v zásobníku, již nehořely. To musí zabezpečit regulace pomocí změny rychlosti otáčení bubnů a pomocí přívodu vzduchu. Regulace je však závislá na vstupních informacích zjišťujících právě hranici hoření. Při hledání dolní hranice hoření nás tedy zajímá místo, kde se už neobjevují plameny. To lze zjistit výpočtem jasu na jednotlivých úrovních obrazu. Tam kde velikost jasu klesne pod určitou stanovenou mez, konstatujeme dolní hranici hoření.

3 Návrh vyhodnocování obrazové scény

Zde nastíníme rozbor jednotlivých manipulací s obrazem. U každého bloku je uvedeno jaký mechanismus pro vyhodnocení jednotlivých vlastností můžeme použít. V některých případech je navrženo více možných přístupů k vyhodnocování a jsou uvedeny jejich výhody a nevýhody. Většinou půjde o rozpor mezi přesností získaných dat a časem potřebným k jejich získání.

3.1 Tvorba a aplikace masky

Při pohledu na obrazovou scénu přicházející z kamery do velínu je patrné, že nás z obrazu zajímá pouze určitá část. Obraz se skládá obecně z těchto částí: průzoru do kotle, vyzdívky kotle a zajímavé oblasti. Tato zahrnuje unikající plyny a spaliny, hořící dohořívající a vyhořelé odpadky. Tato oblast v kotli má tvar obdélníku, avšak vlivem perspektivy se mění a v obraze se jeví jako lichoběžník. Na začátku bylo uvažováno o transformaci na obdélníkový tvar, kvůli pohodlnějšímu matematickému zpracování, ale po zvážení všech důsledků bude od této varianty zřejmě upuštěno. Přesto je zde pro zajímavost uvedena.

Celý tento proces rozdělíme do dvou kroků. Za prvé vymezení zajímavé oblasti, neboli nalezení masky a za druhé její aplikace a transformace na obdélník.

3.1.1 Nalezení hranic zajímavé oblasti

Jako u řady problému i zde vede k uspokojivému výsledku několik postupů. V tomto případě se nabízejí možnosti dvě. Nejdříve definujeme požadavky na algoritmus, pak metody navrhneme a na závěr srovnáme.

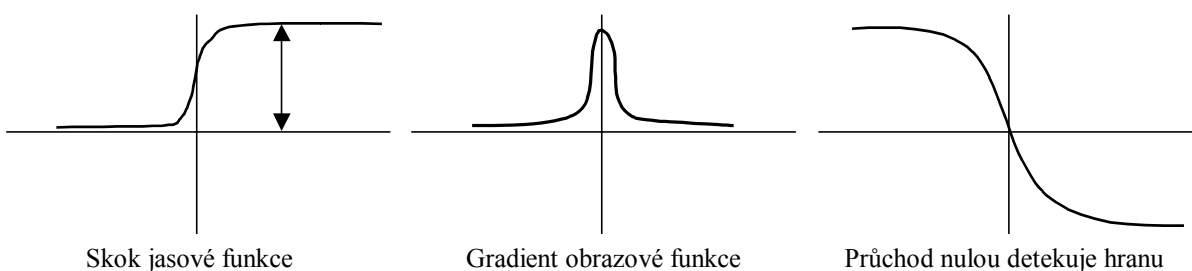
Požadavky na algoritmus

- 1- správné vymezení zajímavé oblasti
- 2- rychlost vyhodnocení (souvisí s bodem 3)
- 3- složitost vyhodnocování
- 4- nezávislost algoritmu na znalostech obsluhy
- 5- nezávislost algoritmu na konkrétním obraze
- 6- možnost periodické kontroly

a) Gradientní metoda

Tato metoda se běžně používá v systémech počítačového vidění. Všeobecně se nazývá detekce hran. Ačkoliv tento název přesně nevystihuje naši situaci, jedná se o stejný princip. Nalézt v obraze hranu oddělující dvě plochy s různou intenzitou a barevností. Derivací obrazové funkce získáme gradient obrazové funkce. Ten nám sám o sobě stačí pro identifikaci hrany, musíme však hledat lokální maximum funkce, což je matematicky opětovné provedení derivace. V místě průchodu druhé derivace nulou je hledaný gradient a tedy i hrana v obraze.

Tím jsme získali matici obrazové funkce, ve které nám nuly označují místa možného výskytu hrany. Nyní musí nastoupit lineární regrese pomocí které definujeme přímky zajímavou oblast vymezející.



Obr. č. 5 Gradient obrazové funkce

Dále je třeba si uvědomit, že hranice není jen mezi zajímavou oblastí a zbytkem, ale i uvnitř zajímavé oblasti a také mezi oblastmi průzoru a vyzdívek. Proto by se musel navrhnout algoritmus pro sémantické vyhodnocení získaných přímek.

b) Manuální zadání hranice obsluhou

Ve okně programu se před spuštěním samotného vyhodnocování nebo v jeho průběhu, manuálně nastavují hranice oblasti pomocí obsluhy resp. uživatele. Jakkoli se nám tato metoda může zdát jednoduchá, je zároveň velice přímočará a efektivní. Pracovník obsluhy se na rozdíl od počítače neřídí pouze statickým obrazem, ale i celkovým „dojemem“ z obrazu a může identifikovat i hrany skryté pod výrony plynů apod.

Srovnání obou metod

	Gradient	Manual
správné vymezení zajímavé oblasti	střední	vysoká
rychlost vyhodnocení	nízká	střední

jednoduchost vyhodnocování	nízká	vysoká
nezávislost algoritmu na znalostech obsluhy	vysoká	nízká
nezávislost algoritmu na konkrétním obrazu	nízká	vysoká
možnost periodické kontroly	vysoká	střední

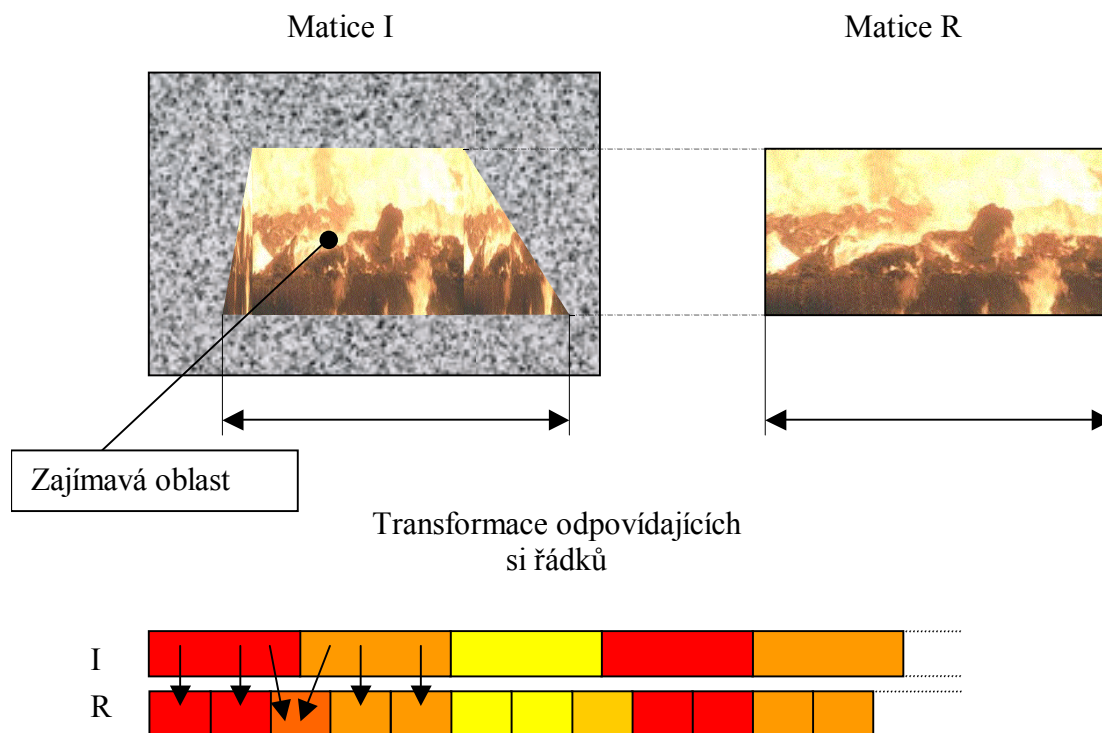
Z uvedené tabulky vyplývá, že jakkoli je gradientní metoda výhodná pro svou nezávislost na obsluze a možnost periodického spuštění kontroly hranic, je zároveň velice složitá, časově i hardwarově náročná a neposkytuje výsledky srovnatelné s metodou druhou. Proto se nadále budeme zabývat pouze metodou manuální obsluhy.

3.1.2 Aplikace masky – rozměrová transformace

Pokud budeme uvažovat zpracování obrazu v obdélníkovém rozměru máme i zde několik možností transformace, ale je zvolena jedna z těch nejjednodušších.

Jedná se o transformaci po řádcích. Nejdříve si připravíme výslednou matici která bude mít stejný počet řádků jako matice původní a počet sloupců bude odpovídat nejširšímu místu lichoběžníku, v našem případě jeho základně.

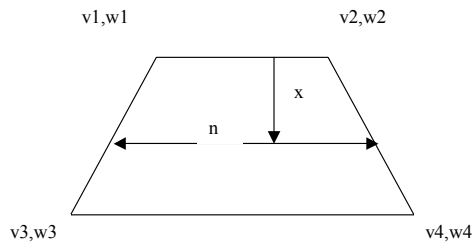
Poté se vezmou vždy dva řádky, řádek z původní matice, v našem případě matice I a řádek z matice výsledné, matice R. Nyní procházíme po pixelu řádek matice R a hledáme odpovídající pixel v řádku matice I. Pokud pixelu řádku matice R odpovídá více pixelů řádku matice I, vypočítá se jejich vážený průměr. Celý algoritmus je patrný z obrázku č.12.



Obr. č. 6 Geometrická transformace

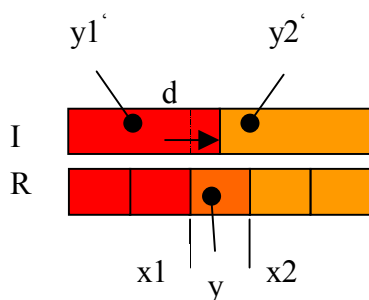
První cyklus programu geometrické transformace postupuje ve snímku po řádcích. Počet řádků je dán předem velikostí lichoběžníku. Jednotlivé řádky zajímavé oblasti však mají rozdílnou délku. Ta se vypočítává a figuruje v programu jako proměnná „n“.

$$n = w_2 + \text{round}\left(\frac{w_4 - w_2}{v_3 - v_1} * x\right) - \left(w_1 - \text{round}\left(\frac{w_1 - w_3}{v_3 - v_1} * (x - v_1)\right)\right)$$



Vnořený cyklus prochází řádek matice R po sloupcích. Počet sloupců je také předem znám a závisí na rozměrech lichoběžníku, respektive na jeho nejširší části.

Dále se vypočítávají hodnoty $x1$ a $x2$. Ty nám určí „začátek“ a „konec“ výstupního pixelu a zároveň jejich příslušnost k pixelu vstupnímu. Program se větví dle toho zda se $x1$ rovná $x2$. Pokud ano, informace o intenzitě se jednoduše překopíruje. Pokud se čísla nerovnájí, znamená to že výstupní pixel je na hranici dvou pixelů vstupních. Pak se počítá vážený průměr obou intenzit.



$$x1 = \text{fix} \left(\left(\frac{n}{w4 - w3} \right) * \left(y - 1 + \frac{w4 - w3}{n} \right) \right)$$

$$x2 = \text{ceil} \left(y * \frac{n}{w4 - w3} \right)$$

funkce *fix* zaokrouhluje k nule

funkce *ceil* zaokrouhluje k nekonečnu

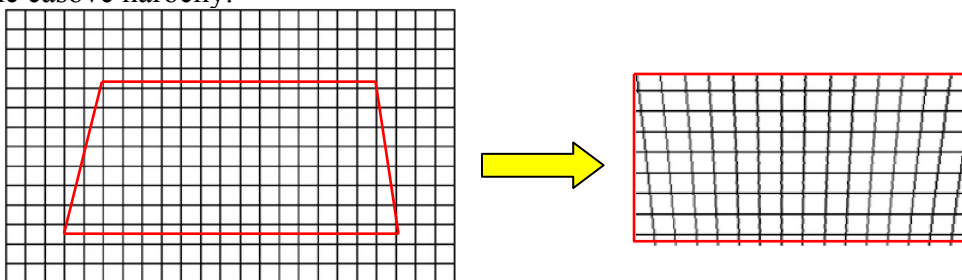
Obr. č. 7 Transformace pixelů

Vážený průměr se vypočítá tak, že se určí, jakou částí zasahuje pixel y do pixelu odpovídajícímu hranici $x1$. Tuto hodnotu nazveme „ d “. Jedná se o číslo v intervalu $\langle 0,1 \rangle$.

$$d = x1 * \frac{w4 - w3}{n} - (y - 1)$$

Poté již snadno vypočteme intenzitu pixelu y jako: $y = y1' * d + y2'(1 - d)$

Takto se projde celá zajímavá oblast. Algoritmus dává dobré výsledky, i když je poměrně časově náročný.



Obr. č. 8 Ukázka transformace

3.2 Filtrace obrazu

Obecně lze říci, že filtrace obrazu je algoritmus používaný pro zvýraznění určitých rysů a charakteristik obrazu, nebo pro potlačení šumu. Existuje mnoho metod filtrace, ale v principu jsou si všechny podobné.

V našem případě se jedná o přepočítání intenzity pixelu v závislosti na intenzitách okolních pixelů. V této souvislosti se definuje pojem okolí bodu. Jedná se o matici obklopující daný bod. Každý z filtrů používá různě velké a různě položené okolí bodu.

Okolí 3x3

5	1	-2
4	7	2
1	7	3

Okolí 2x3

5	8	3
2	1	2

Nastavením velikosti okolí můžeme ovlivnit výsledný efekt v obraze.

Při testování filtrů na snímcích byly použity dvě metody často užívané při filtraci obrazu. Jednalo se o filtraci mediánem a adaptivní filtraci. Oba algoritmy poskytuje Image Toolbox Processing. Na obrázcích můžeme vidět výsledný efekt zmíněných filtrací.

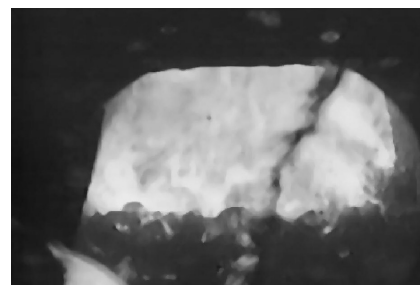
Filtrace mediánem poskytuje poměrně dobré výsledky, pokud jde o odstranění zobrazených polétavých částic. Nutno však říci, že je efektivní pouze u částic velkých srovnatelně s nastaveným okolím pro filtraci (v našem případě je okolí 5x5). Toto okolí však nemůžeme nastavit příliš velké, neboť by docházelo ke ztrátě informace v obraze.

Adaptivní filtrace sice nemá tak dobré výsledky pokud jde o odstranění vlivu polétavých částic, zato je však šetrnější k hranám v obraze. To se jeví výhodné pokud jde o hranici hoření, ale jako nevýhodné pokud jde o prasklinu v okénku.

Z výše uvedeného vyplývá, že pro tuto technickou aplikaci není filtrace nezbytná. Nepřináší totiž výsledky ani v oblasti potlačení nežádoucích vlastností, ani ve zvýraznění vlastností žádoucích. Použití filtrace by zbytečně zvyšovalo časovou náročnost algoritmu, nehledě již ke zvýšeným požadavkům na hardware počítače.



Sejmutý obrázek



Filtrace mediánem



Adaptivní filtrace

3.3 Vytvoření jasového pole

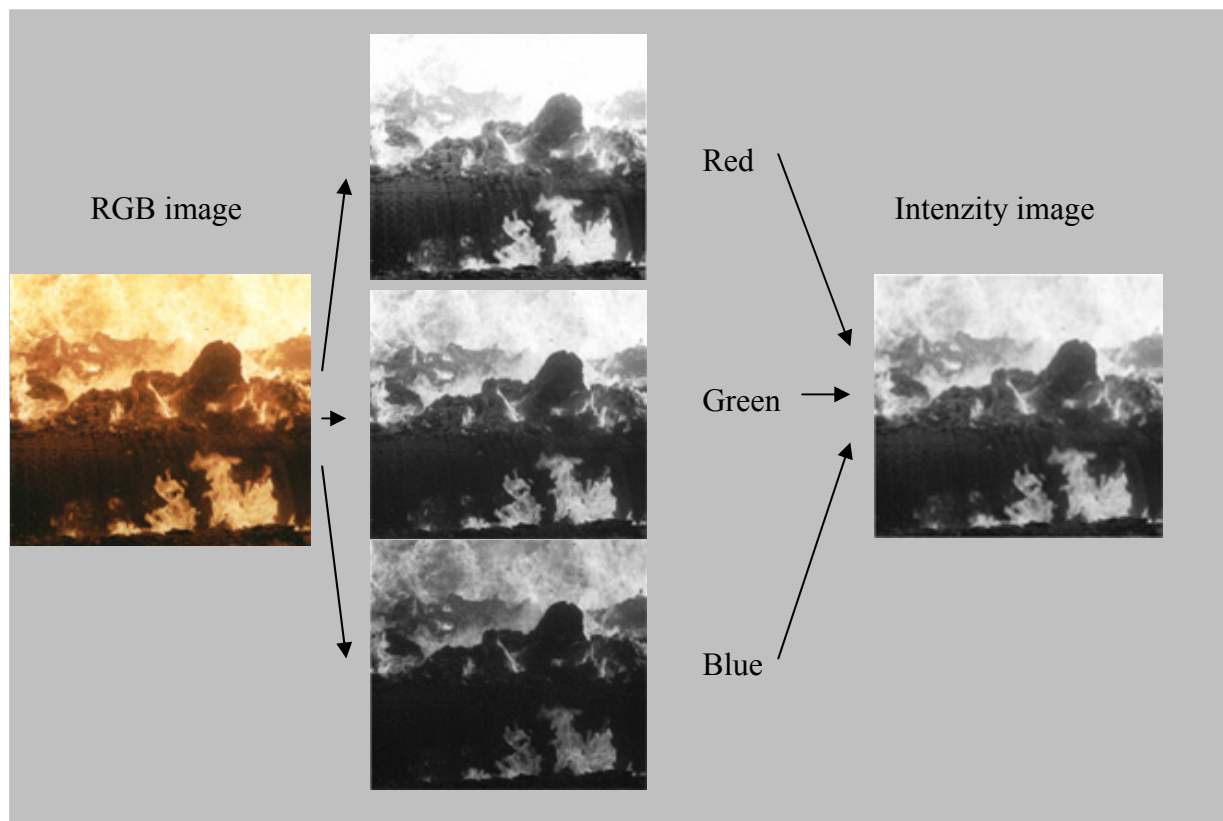
Ze vstupního obrazu jsme v této fázi již vybrali a vyřízli zajímavou oblast (případně transformovali do obdélníkového tvaru). Tyto operace podvědomě dělá i obsluha ve velině.

Nyní je potřeba zakomponovat do procesu lidské vnímání teploty. Lidský mozek vnímá jak intenzitu záření vycházející ze zkoumaného objektu, tak barvu tohoto záření. Přičemž podvědomě vnímá barvy blíže červené jako teplejší než barvy blíže modré.

Nyní tedy máme tři matice vyjadřující poměr barevných složek RGB. Intenzita jednotlivých barevných složek je dána číslem v intervalu $\langle 0,1 \rangle$. Toho dosáhneme převodem typu souboru z *uint8* $\langle 0-255 \rangle$ na *double arrays* $\langle 0-1 \rangle$.

V některých variantách řešení problému vyhodnocování hořící scény kotle se jeví jako dostačující převést barevný obraz do jednodušší formy, respektive ze tří matic udělat matici

jednu. Úkol to rozhodně není triviální, ač v našem případě se řešení jednoduché zdá. Máme totiž k dispozici mocný matematický aparát Matlab-2006b, který nám spolu s Image toolbox procesingem poskytne vhodný nástroj na uvažovanou konverzi.



Obr. č. 8 Barevná transformace

Tímto nástrojem jsou konverzní funkce, v našem případě funkce *RGB2GRAY*. Tato převádí obrázek z formátu *RGB* na *intenzity image*. Takto získaný obraz je reprezentován maticí jejíž hodnoty vyjadřují intenzitu záření v daném bodě upravenou pomocí vah jednotlivých barevných složek původního obrazu. Samotný algoritmus je chráněn výrobcem softwaru, avšak pro představu si můžeme uvést běžně užívaný vztah pro převod *RGB* na *intenzity image*. Ze vztahu je patrné že větší váha je přiřknuta barvám bližším barvě červené.

$$I_{as} = 0,299 * R + 0,587 * G + 0,114 * B$$

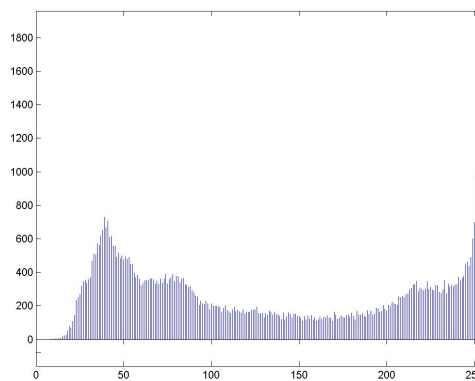
Na podporu těchto tvrzení jdou dále uvedeny histogramy získané pomocí Image Toolbox Procesingu. Na všech histogramech všeobecně si můžeme povšimnout, že pixely mají buď velmi malou nebo naopak velkou intenzitu. Zastoupení intenzity ve středním pásmu je malé. To pro nás bude výhodné především při vyhodnocování hranice hoření.

Histogram červené složky

Zde je jasně patrné, že červená složka je v obraze zastoupena pro vysoké hodnoty intenzity. Četnost pro nejvyšší hodnoty intenzity dosahují až 2000.

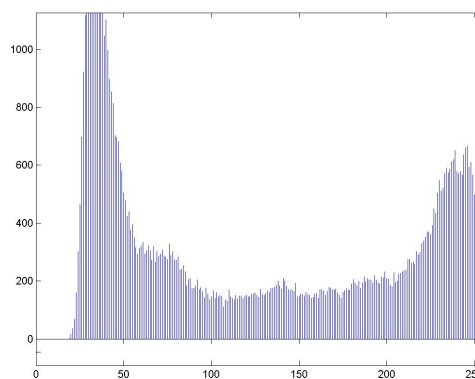
Histogram zelené složky

Histogram ukazuje, že zelená barva je rozvrstvena více rovnoměrně, než je tomu u barvy červené. Stále však dominují pixely o nízké nebo vysoké intenzitě. Za povšimnutí stojí, že maximální četnosti dosahují pouze 1200, což je podstatně méně než u barvy červené.



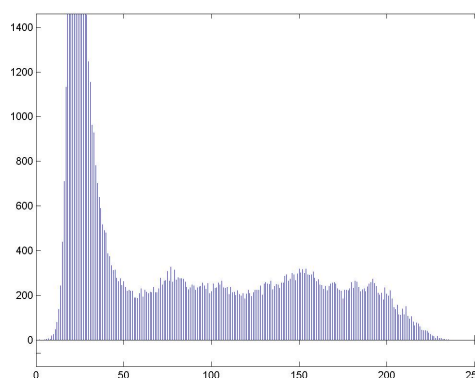
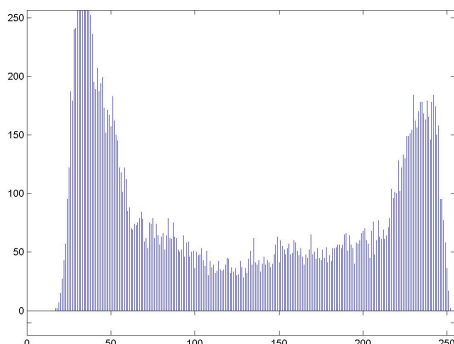
Histogram modré složky

Histogram modré barvy ukazuje, že zde prakticky nejsou zastoupeny body s vysokou intenzitou.



Histogram šedé složky

Po provedení převodu *RGB* na *intenzity image* a získání histogramu se můžeme přesvědčit, že převod splnil naše očekávání. Vliv červené složky je jasně patrný. Také odstup mezi malou a velkou intenzitou je dostatečný pro provedení detekce okraje ohniště.



3.4 Detekce spodního okraje ohniště

Detekcí spodního okraje ohniště rozumíme algoritmus, který určí hranici mezi odpadky, které ještě hoří, a odpadky, které již nehoří. Je totiž žádoucí, aby odpadky které opouštějí kotel a jsou ukládané v zásobníku již nehořely.

To musí zabezpečit regulace pomocí změny rychlosti otáčení bubnů a pomocí foukání okysličovadla. Regulace je však závislá na vstupních informacích zjišťujících právě hranici hoření.

Člověk při svém hodnocení scény vnímá změnu intenzity a barevnosti obrazu. Poklesnou – li obě pod určitou mez, vyhodnotí to obsluha jako hranici hoření. Stejný princip můžeme použít i v našem algoritmu. Celý algoritmus proto založíme na vyhodnocování intenzity (stupeň šedi) v obraze.

Člověk při svém pozorování obrazu vnímá hranici jako spojitou křivku mezi dvěma plochami. Reprezentace člověkem je však dosti vágní, protože jeho hranice nemá nekonečně malou tloušťku, ale je spíše vnímána jako pásmo plochy oddělující.

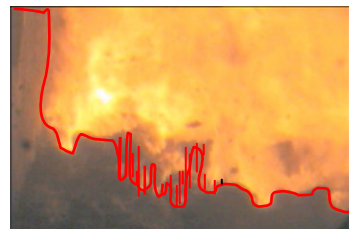
Takovýto popis je pro počítač nevhodný a nemožný. Za prvé vzhledem k reprezentaci obrazu pomocí pixelů nemůže hranice být spojitá ale diskrétní. Za druhé vágní reprezentace

hranice je sice s pomocí fuzzy množin možná, ale pro nás zbytečně složitá a nevyhovující. Tento fuzzy charakter problému obejdeme jiným snazším způsobem.

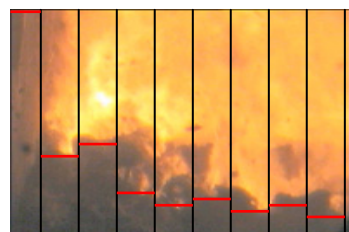
Opět je k dispozici několik variant možných přístupů při vyhodnocování hranice hoření.

Možné přístupy vyhodnocování :

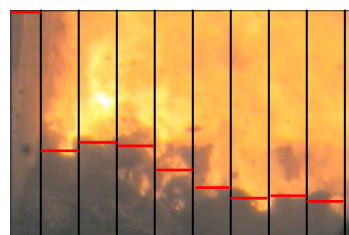
1) Celý obraz se prochází po sloupcích a od základny obdélníku se hledá první překročení intenzity hoření. Poté se přejde na další sloupec a proces se opakuje. Výsledkem tohoto algoritmu je diskrétní funkce. Zdálo by se, že se jedná o nejpřesnější popis, ale postup má několik nevýhod. Například reaguje na sebemenší žhavou částičku za hranicí hoření. Dále je příliš popisný, informace pro regulátor budou stejně obsahovat nanejvýš několik čísel.



2) Tento algoritmus, stejně jako následující vyžaduje rozdělení obrazu do pásů. Poté se projíždějí pásy, ne sloupce, a vyhodnocuje se vždy celý vektor čísel. Pokud maximální hodnota některého členu překročí povolenou mez, je hranice zaznamenána a přechází se na další pás. Výhodou oproti předchozí metodě je značná úspora dat. Nevýhodou však zůstává reakce na sebemenší žhavou částici.



3) Tato metoda je podobná předchozí metodě s tím rozdílem, že se nezjišťuje maximální hodnota ve vektoru, ale počítá se jeho střední hodnota. Teprve pokud tato překročí povolenou hranici je zaznamenán údaj o poloze hranice. Tato metoda je z tří uvedených nejvhodnější. Neposkytuje zbytečně velké množství dat a svým přístupem eliminuje vliv malých ostrůvků hoření.



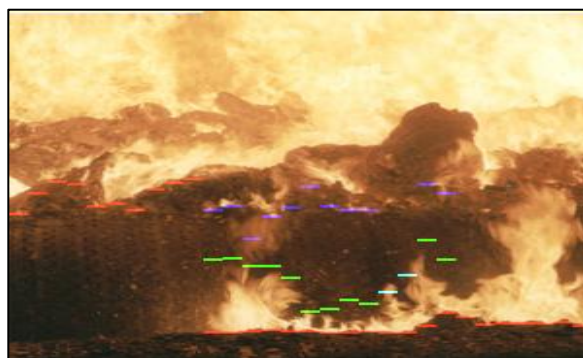
Dále je použita pouze třetí varianta, která se zdá být pro náš účely nejvhodnější.

Vzhledem ke skutečnosti, že součástí vyhodnocování obrazu je i detekce tmavých skvrn, které je svým principem shodné s detekcí hranice hoření, jsou vyhodnocovány zároveň.

Výsledkem algoritmu jsou proto tři vektory Q1, Q2 a Q3. Vektor Q1 obsahuje informaci o hranici hoření. Vektor Q2 informaci o spodní hranici černé skvrny a konečně vektor Q3 informaci o horní hranici černé skvrny.

Z uvedeného vyplývá, že odečtením Q3 od Q2 dostaneme plochu černé skvrny. Je – li rozdíl nulový, znamená to že se v obraze černé skvrny nevyskytují.

Samotný algoritmus je jednoduchý, plocha obrazu se rozdělí na pásy široké deset pixelů. Poté se jednotlivé pásy prochází a počítají se průměry řádkových vektorů. Po nalezení hranice se údaj zapíše do vektoru Q1 a přejde se na hledání hranice Q2 a poté Q3. Po nalezení hranic se přejde na další pás a cyklus se opakuje.



Obr. č. 9 Výsledek hledání hranice hoření

3.5 Vyhodnocování intenzity hoření

V současném stavu řízení obsluha sleduje obraz hořící scény a na základě intenzity a barevného složení posuzuje hořící proces způsobem „hoří méně, hoří více“. Poté na základě svých předchozích zkušeností dojde k nějakému závěru a podle toho mění akční veličiny regulace spalování. Tento proces připomíná funkci expertního systému s fuzzy vstupy. Vzhledem ke skutečnosti, že báze znalostí v našem případě není velká a vztahy mezi znalostmi jsou jednoduché, nemusíme použít přímo expertní systém, ale jeho činnost zjednodušeně napodobit.

To ovšem předpokládá zjištění souvislosti mezi intenzitou emitovaného světla a emitovaným teplem. Tuto souvislost se podařilo již experimentálně ověřit.

Předpokládá se, že intenzita emitujícího záření, stejně jako jeho barva, závisí mimo teploty také na chemickém složení odpadků a dalších okolnostech hoření, jako například množství okysličovačů, atd. Lze však vysledovat jistou korelaci mezi průměrnými hodnotami uvolněného tepla a intenzitou záření produkovanou během spalování.

Budeme-li předpokládat, že v netransformovaném obraze je vlastně každý pixel malým snímačem, je možné pak integrací přes celou plochu obrazu získat jakousi poměrnou hodnotu intenzity hoření. Tato hodnota v kombinaci se zpožděným údajem o tepelném výkonu, který získáme z vyrobené páry, může být dostatečným vodítkem pro regulaci provozu.

Intenzity a změnu hoření vypočítáme pouhým sečtením jednotlivých intenzit pixelů v obraze. Výsledek podělíme celkovou plochou obrazu, abychom získali poměrnou veličinu na velikosti obrazu nezávisící. V budoucí simulaci bude pak tento údaj spjat s určitým tepelným výkonem (časově zpožděným) a bude se ověřovat funkčnost této varianty řešení.

Hodnota proměnné nabývá tedy hodnot z intervalu $\langle 0,1 \rangle$, přičemž hodnota nuly by znamenala naprosto vyhaslé ohniště, čím se hodnota více blíží k hodnotě jedna, tím je intenzita hoření vyšší.

$$Int_{k,l} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_i^k \cdot y_j^l \cdot /(\text{řádky} * \text{sloupce})$$

3.6 Vyhodnocování těžiště hoření

Problém vyhodnocování těžiště hoření je vzhledem k regulaci velmi důležitý. Je totiž žádoucí, aby bylo těžiště víceméně pořád na stejném místě. Přičemž nás ani tak nezajímá jeho horizontální poloha, jako poloha vertikální.

Jeví se jako žádoucí vyhodnocovat tuto veličinu jak pro celou plochu obrazu, tak pro její jednotlivé části dané polohou bubnů v obraze. Vzhledem k možnosti ovládnutí primárního a sekundárního vzduchu a rychlosti otáčení pro každý buben zvlášť, máme možnost přímo ovlivnit i polohu těžiště pro každý z nich.

Výpočet samotného těžiště se pak děje dle vztahu :

$$T_{x,y} = \left[\frac{m_{1,0}}{m_{0,0}}, \frac{m_{0,1}}{m_{0,0}} \right]$$

přičemž platí :

$$m_{k,l} = \iint_S x^k \cdot y^l \cdot f(x,y) dx dy$$

pro náš případ (diskrétní vyjádření) platí :

$$m_{k,l} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_i^k \cdot y_j^l \cdot a_{i,j}$$

Dělitel $m_{0,0}$ zajišťuje invariantnost polohy těžiště vůči použitým jednotkám.

4 Závěr

Existuje několik možností a koncepcí řešení, jak vyhodnocovat tepelné hořící obrazové scény spaloven odpadů či kotlů tepelných elektráren. V České republice stále převažuje poloautomatické řízení těchto provozů člověkem. Tento stav je v rozporu se současnými všeobecnými požadavky na plnou automatizaci provozů s vyloučením lidského faktoru, a proto je žádoucí se zabývat řešením uvedené problematiky.

Cílem zde nastíněné koncepce je dovést do konce již částečně experimentálně potvrzenou teorii, že existuje určitý vztah resp. závislost mezi parametry barevného obrazu CCD kamery a tepelným výkonem snímané scény. Pro patřičně ověřené fungující řešení dané problematiky se nabízí široké uplatnění v současných snahách o automatizaci operátorských stanovišť průmyslových zařízeních, kde se vyskytuje situace monitorování a řízení spalovacích kotlů o vysokých teplotách.

Jelikož je velmi problematické provádět jakékoli experimenty v průmyslových zařízeních za jejich plného provozu, je nutné ověřit navrhované možnosti řešení vyhodnocování tepelné obrazové scény na modelech, simulacemi či dostupných zdrojích podobných svými hořícími parametry té situaci, kterou je možné pozorovat ve spalovacích kotlích.

Prostředí Matlab a nástroj Simulink se jeví pro simulační testování jako jeden z nejvhodnějších produktů na trhu. Umožňuje dopředu navrhnout a simulacemi ověřit možné varianty řešení, které by mohli vést k pozdější průmyslové realizaci.

Literatura

- [1] SIEGEL, R. – HOWELL, J. *Thermal radiation heat transfer*. 1. vyd. New York: McGraw-Hill Book Company, 1972. 814 s. ISBN 1560329688.
- [2] ĎAĎO, S. – KREIDL, M. *Senzory a měřicí obvody*. 2.vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT , 1999. 315 s. ISBN 80-01-02057-61999.
- [3] BAXANT, P. *Analýza jasových poměrů s využitím digitální fotografie*. 1 vyd. Brno: Vutium, 2000. 125 s. ISBN 80-214-1585-1
- [4] LU, G., YAN, Y., WARD, D. Advanced monitoring, characterization and evaluation of gasfired flames in a utility boiler. *J. Inst. Energy*. 2000, p. 43-49.
- [5] UNIVERSITY OF KENT, CANTERBURY. Vision-based multi-functional flame monitoring apparatus. Původci vynálezu: Lu,G., Yan, Y. Velká Británie. Patentový spis GB0215983.8 2002.
- [6] KENTH, I., MACKRORY, A. Calibration of an RGB, CCD Camera and Interpretation of its Two-Color Images for KL and Temperature. *SAE World Congress & Exhibition: Combustion and Flow Diagnostic*. Detroit(USA).

- [7] LU, G., YAN, Y., COLECHIN, M. A digital imaging based multi-functional flame monitoring system. *IEEE trans. – Inst. and Meas.* 2004, p. 53-57 ISSN 1520-1158.
- [8] BRÁZDIL, J.: *Vyhodnocování obrazové scény z CCD kamery*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav automatizace a informatiky, 2002. 57 s.
- [9] KOŇAŘÍK, M., SKÁLA, Z.: *Automatické řízení spalovacího procesu v SAKO Brno: etapová zpráva projektu GAČR 101/98/0271*. Brno: VUT Fakulta strojního inženýrství, 2000.
- [10] LU, G., YAN, Y. *Vision-based measurement of temperature distribution in a 500-kW model furnace using the two-colour method* [online]. c2000. Dostupné z: <<http://www.sciencedirect.com>>.
- [11] WANG, M., CHEN, J. *Luminous flame temperature distribution measurement using the emission Method* [online]. c2000. Dostupné z: <<http://www.wanfangdata.com.cn/qikan/periodical.Articles>>
- [12] *Technologický proces (SAKO Brno)* [online]. c2006. Dostupné z: <<http://www.sako.cz/spalovna/proces>>