

Řízení dvou peristaltických čerpadel dávkovacího systému určeného pro technologii síťování

Bc. Radim Hána

Diplomová práce
2006



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav automatizace a řídicí techniky
akademický rok: 2005/2006

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Radim HÁNA**
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Automatické řízení a informatika**

Téma práce: **Řízení dvou peristaltických čerpadel dávkovacího systému určeného pro technologii síťování**

Zásady pro vypracování:

- 1) Proveďte literární rešerši popisující současný stav dané problematiky.
- 2) Sestavte a zapojte měřicí systém na bázi webové kamery jako snímacího prvku barevných souřadnic a programového prostředí MATLAB.
- 3) Vyberte vhodný chemický systém pro ověření principů sledování změn vybraných parametrů u daných vzorků.
- 4) Navrhněte způsob řízení dávkování jednotlivých komponent pro daný systém.
- 5) Proveďte měření pro biopolymerní síť na bázi hydrolyzovaného kolagenu a příslušného síťovacího činidla.
- 6) Vyhodnoťte výsledky experimentů a navrhněte možnosti pokračování pro oblast zkoumání kinetiky síťovacích reakcí.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Fraden, Jacob, "Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications", 2nd ed. New York: Springer Verlag, 1996

Steven K. Shevel: "The science of color", 2nd edition: Elsevier, 2003

Reke G. "Detection of light", 2nd edition: Cambridge university press, 2003

Balátě, J. (2003). Automatické řízení. BEN – technická literatura, Praha.

Navrátil M. (2002). Instrumentace a zpracování signálů při měření kinetiky sířovacích reakcí pomocí impedanční spektroskopie. Diplomová práce, UTB ve Zlíně, Fakulta technologická, Zlín.

Zdráhal T. (2005). Návrh aparatury pro řízení procesu sířovací reakce hydrolyzovaného kolagenu. Diplomová práce, UTB ve Zlíně, Fakulta technologická, Zlín.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Milan Navrátil**
Ústav elektrotechniky a měření

Datum zadání diplomové práce: **14. února 2006**

Termín odevzdání diplomové práce: **26. května 2006**

Ve Zlíně dne 14. února 2006


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
pověřený děkan




prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Cílem této práce byl návrh aparatury pro řízení procesu síťování pomocí senzoru a programového prostředí MATLAB. Byl sestaven laboratorní model jehož hlavními částmi byly webová kamera, dvě peristaltická čerpadla, určená pro dávkování komponent, uzavřená komora a světelný zářič. Pro ověření principů automatického řízení byl vybrán vhodný chemický systém (voda + inkoust) a provedeny jednoduché regulační pokusy s různými typy regulátorů. Tato práce by mohla být použita pro případné průmyslové využití hydrolyzovaného kolagenu.

Klíčová slova: Řízení dvou peristaltických čerpadel, web kamera, hydrolyzovaný kolagen.

ABSTRACT

The purpose of this diploma thesis was to project the device for the control process of cross-linking reaction by sensor and to design a program in MATLAB environment. The laboratory model was consisted of the WebCamera and two peristaltic pumps for the volume-batching of components, enclosed cab and light emitter. For the verification of automatics control principles was chosen the suitable chemical system (the water + the ink) and was carried simple controlling experiment with various types of regulators. This work could be used for the possible industrial applications of the collagen hydrolysate.

Keywords: The device two peristaltic pumps, web camera, the collagen hydrolysate.

Děkuji tímto vedoucímu mé diplomové práce Ing. Milanu Navrátilovi za odborné vedení, zapůjčení materiálů k vypracování, cenné rady, kritické připomínky a trvalý zájem, který věnoval přípravě a realizaci mé diplomové práce.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího diplomové práce, ředitele ústavu a institutu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 02. 05. 2006

.....

podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 KOLAGEN	10
1.1 Hydrolyzát kolagenu	11
1.2 Sít'ování hydrolyzátu kolagenu	12
2 TEORIE BAREV	15
2.1 Modely barev	15
2.2 Model RGB	16
3 SENZORY CCD, CMOS	18
3.1 Vývoj.....	18
3.2 Popis.....	18
3.3 Konstrukce čipů	21
3.4 CMOS senzory	21
3.4.1 Hodnocení CMOS snímačů.....	25
4 TEORIE AUTOMATICKÉHO ŘÍZENÍ	26
4.1 Identifikace.....	26
4.2 Přechodová funkce a přechodová charakteristika systému.....	26
4.3 Návrh regulátoru	27
II PRAKTICKÁ ČÁST	29
5 PROSTŘEDKY PRO REALIZACI	30
5.1 Hardwarové prostředky	30
5.1.1 Měřicí technologická karta PCI 1711.....	30
5.1.2 Peristaltická čerpadla PCD21 a PCD61	31
5.1.3 Snímací webová kamera Logitech ClickSmart 310	32
5.2 Programové prostředky	33
5.2.1 MATLAB - programové prostředí	33
5.2.2 Real time toolbox	34
6 REALIZACE	36
6.1 Sestavení měřicího systému	36
6.1.1 Změna osvětlení v měřicí komoře	38
6.1.2 Vytvořený uživatelský program - kamera RH	38
6.1.3 Webcam2000.....	41
6.2 Výběr vhodného chemického systému	42
6.3 Identifikace modelu a návrh řízení.....	42
6.3.1 Měření závislosti RGB souřadnic na koncentraci inkoustu	42
6.3.2 Měření přechodových charakteristik.....	43
6.3.3 Frekvence kmitů.....	45

6.3.4	Identifikace přechodové charakteristiky	45
6.3.5	Volba regulátoru.....	50
6.3.6	Simulace modelu	51
6.3.7	Regulace soustavy	51
7	DISKUSE VÝSLEDKŮ.....	52
	ZÁVĚR	53
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	55
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	57
	SEZNAM OBRÁZKŮ	59
	SEZNAM TABULEK.....	61
	SEZNAM PŘÍLOH.....	62

ÚVOD

Biopolymery patří mezi velmi perspektivní a vyhledávané materiály, které se díky svým vlastnostem stávají téměř ideálními ve vztahu nejen k životnímu prostředí. V poslední době se aplikace přírodních polymerů výrazně rozšiřují. Jedním z nich je hydrolyzát kolagenu, který je vedlejším produktem při zpracování koželužských bílkovinných odpadů [1], [2]. Tento biologický materiál se připravuje z nerozpustného kolagenu a je podroben řízené enzymatické hydrolýze. Při této hydrolýze dochází k rozštěpení polymerů i monomerů na polypeptidy, čímž se zvýší rozpustnost kolagenu. Hydrolyzovaný kolagen je snadno rozložitelný, což je v dnešní době vlastnost, která je velmi žádoucí.

Zabýváme se měřením kinetiky síťovacích reakcí za účelem nalezení vhodného způsobu, jak tuto reakci řídit a optimalizovat. Průběh síťovací reakce byl doposud měřen pomocí dielektrické spektroskopie. V našem případě bylo cílem vytvořit měřicí systém založený na optické metodě, jelikož během reakce dochází k barevným změnám síťovaného vzorku. Její výhodou je, že umožňuje bezdotykové měření a je vysoce adaptibilní pro různá průmyslová prostředí, protože tyto systémy jsou nejen dostatečně přesné a stabilní, ale také odolné proti elektromagnetickému rušení a využitá metoda je spojena s nízkými náklady.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KOLAGEN

Kolagen je bílkovina s charakteristickým složením aminokyselin a z toho vyplývajícím prostorovým uspořádáním molekul. Tvoří hlavní organickou složku kůže, kostí, chrupavek, šlach a vaziva.[3].

Molekuly kolagenu jsou extrémně bohaté na glycin (28%) a prolin (15%). Glycinové zbytky leží uvnitř trojitě spirály a umožňují semknutí tří α -řetězců do pravotočivého superhelixu. Prolin díky své kruhové struktuře umožňuje vytvořit levotočivou konformaci každého α -řetězce, se třemi AMK na otáčku. Procentuální obsah nejčastěji zastoupených AMK je uveden v tabulce (Tab. 2).

Kolagen má charakter amfoterního polyelektrolytu, jeho iontové reakce tedy probíhají v závislosti na pH prostředí. Z fyzikálně chemického hlediska patří ke gelům, tj. přechodným koloidním soustavám, jejichž nejdůležitější vlastností je schopnost bobtnat. V roztoku podléhá progresivní hydrolytické degradaci doprovázené ztrátou mnoha fyzikálních vlastností. Rychlost tohoto procesu roste s teplotou a dále je závislá na pH systému a na vnitřním tlaku roztoku. Při neutrálním pH postupuje degradace pomaleji, s pohybem na obě strany se zrychluje. Další z reakcí vedoucích k degradaci kolagenu je oxidační degradace, která je založena na reakci činidel se sacharidy obsaženými v kolagenu.

Kromě toho, že je hlavní surovinou kožedělného průmyslu pro výrobu usní, nachází uplatnění v řadě dalších oborů. Přehled využití je uveden v tabulce (Tab. 1). Četné aplikace vyplývají z „fyziologické příbuznosti“ s tělesným kolagenem, resorbovatelnost a schopnost zadržovat vodu. Proto nachází využití převážně v oblasti lékařství [3].

Tab. 1. Strukturální hierarchie kolagenu a přiřazené obory použití.

STRUKTURNÍ ROVINA	OBOR POUŽITÍ / PRODUKTY
Plocha (pletivo vláken)	výroba usní, krytí ran, náhrada pokožky nebo cév
Vlákná	střívka z kolagenových past, obalové fólie, membrány, prášek na rány
Fibrily	biokompatibilní plastové nebo keramické materiály, kostní a čelistní chirurgie
Makromolekuly	nativní kolagen, atelokolagen, desamido-kolagen pro kosmetiku a medicínu
Polypeptidy	želatina, klíh, hydrolyzáty kolagenu, expandéry plasmy, kapsule, želatinační prostředky, tenzidy, emulgátory, zahušřovadla, krmiva, hnojiva

1.1 Hydrolyzát kolagenu

Výzkumné činnosti se dále zaměřují na enzymatickou hydrolyzu bílkovin, která musí být prováděna za vyšších teplot, protože nativní kolagen je jinak vůči působení běžných proteolytických enzymů odolný. Při vyšší teplotě dochází k rozpadu sekundární struktury kolagenu a peptidové segmenty se stanou přístupnými téměř všem proteolytickým enzymům [2].

Tab. 2. Procentuální zastoupení hlavních AMK v kolagenu a v hydrolyzátu.

AMK	HYDROLYZÁT KOLAGENU	KOLAGEN
Glycin	33,0	32,7
Prolin	12,5	13,0
Hydroxyprolin	10,0	8,6
Alanin	8,4	11,4
Glutamová kyselina	7,7	7,5
Asparagová kyselina	5,1	4,6
Arginin	4,8	5,2
Serin	4,1	3,1

1.2 Síťování hydrolyzátu kolagenu

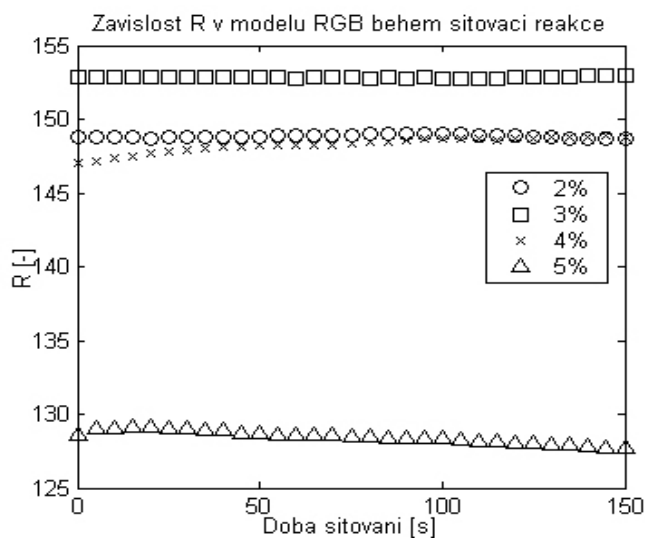
Řada chemických činidel lze použít k modifikaci vlastností kolagenu. Síťování bylo prováděno pomocí formaldehydu, glyoxalu, glutaraldehydu, hexamethylendiisokyanátu, butadiendiepoxydu, nebo diepoxioktanu [1]. Velmi zajímavě se jeví použití aldehydové kondenzace. U aldehydů jsou všechny předpoklady rychlé reakce s aminovými, amidovými a karboxylovými skupinami již při mírných reakčních podmínkách. Síťování lze docílit mono- i bi-funkčními aldehydy, jejich reakce se však liší.

Alifatický dialdehyd, glutaraldehyd (GLU), modifikuje kolagen tvorbou můstků za vzniku Schiffovy báze ($R_1-C=N=C-(C)_n-C=N-C-R_2$). Reaguje přednostně s ϵ -aminoskupinami lysinových zbytků řetězců, ale byly získány také reakce s N-koncovými AMK peptidů, SH skupinami cysteinu a imidazolovými kruhy histidinu. GLU reaguje s ϵ -NH₂ skupinami, přičemž vzniká málo stabilní amin s molární hmotností přibližně 200 g/mol. V přítomnosti nadbytku GLU nastává rychlá konverze na výšemolekulární meziprodukt. Při nízké koncentraci tvoří GLU intramolekulární síťování a při vyšší vznikají dlouhé polymerní řetězce, které způsobují intermolekulární fixaci [3], [5], [6].

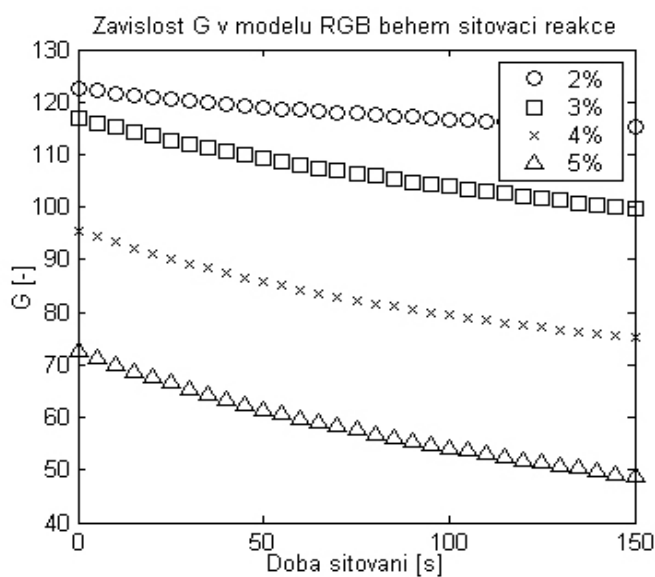
Glutaraldehyd se ukázal jako velmi účinné síťovací činidlo pro želatinu. Již po přidavku 2 % vytváří stabilní gely, u nichž nedochází k rozpuštění při teplotě 70 °C. S rostoucím přídatkem GLU však dochází ke snížení pevnosti materiálu. Byly provedeny testy biodegradability u chemicky modifikovaných želatin a ukázalo se, že ta nejvíce závisí na typu použitého síťovacího činidla. Stanovení biodegradability chemicky modifikovaných biopolymerů, se ukázalo jako hlavní klíč k řešení problémů při zkoumání ekologicky šetrných materiálů [1], [2].

Během síťování hydrolyzovaného kolagenu glutardialdehydem je možno také pozorovat výraznou barevnou změnu síťovaného vzorku. Samotný hydrolyzáat kolagenu má barvu žlutohnědou, glutardialdehyd je bezbarvý. Po smíchání těchto dvou komponent dochází pravděpodobně k chemické reakci, která se projeví plynulým přechodem z původního do červeného zabarvení vzorku během několika minut. Byly provedeny základní pokusy pozorování změny barevných vlastností hydrolyzovaného kolagenu glutardialdehydem pomocí digitálního fotoaparátu. Následný obraz byl zpracován tzn. rozložen na RGB

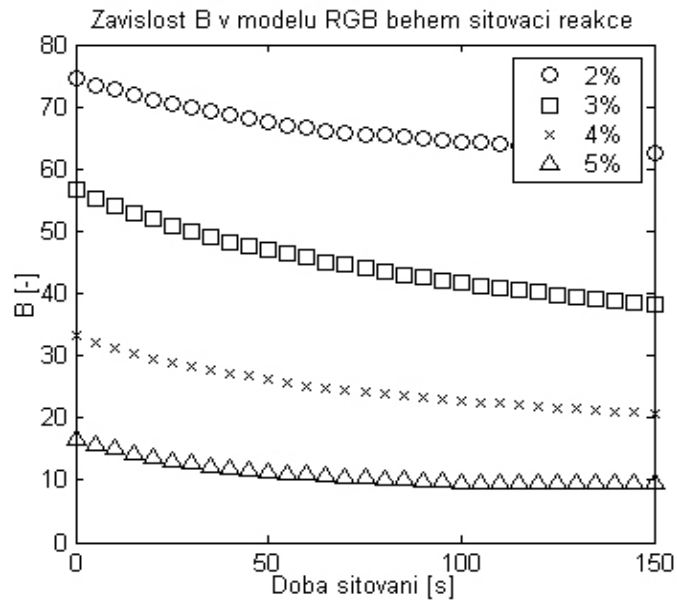
souřadnice a vyhodnocen jako závislost jednotlivých RGB souřadnic na čase (Obr. 1, Obr. 2, Obr. 3). RGB je barevný prostor, kde barva a jas každého pixelu obrázku jsou vyjádřeny kombinací tří složek, červené barvy (Red), zelené (Green) a modré (Blue). Tyto tři složky lze považovat za bázi prostoru RGB, všechny ostatní barvy jsou lineárními kombinacemi těchto složek [4].



Obr. 1. Změna červené barvy během reakce.



Obr. 2. Změna zelené barvy během reakce.



Obr. 3. Změna modré barvy během reakce.

Z obrázků (Obr. 1, Obr. 2, Obr. 3) vyplývá, že hodnoty červené barvy z modelu RGB se během síťování téměř nemění, zato zelená a modrá exponenciálně klesají, což odpovídá výše uvedenému popisu změny barvy během síťování. Fakt, že při vzrůstající koncentraci síťovadla ve vzorku se hodnoty zelené a modré barvy snižují, by mohl hrát významnou roli při řízení procesu síťování.

2 TEORIE BAREV

Odrazem části spektra od povrchu primárně vzniká barva. Právě schopnost předmětů pohltit povrchem pouze část bílého světla nám umožňuje barevné vidění. Rozkladem bílého světla získáme šest základních spektrálních složek – purpurovou (magenta), červenou (red), žlutou (yellow), zelenou (green), azurovou (cyan) a tmavě modrou (blue). Za pravé barvy považujeme ty, které tvoří virtuální prostor vyplněný necelými 17 milióny barevnými odstíny. Lidské oko je schopné rozlišit cca 17 000 odstínů chromatických barev a asi dalších 300 odstínů šedi. Barevné modely jsou jedním ze způsobů, jak zorganizovat barvy a jak vymežit prostor obsahující odstíny, které je schopen člověk vnímat, které jsme schopni tisknout nebo které jsme schopni zobrazit na monitoru počítače [7], [19].



Obr. 4. Barevné spektrum.

Obecně lze barevné modely rozčlenit do skupin:

1. Modely založené na fyziologii oka – RGB, CMYK model.
2. Kolorimetrické barevné modely, založené na fyzikálním měření spektrální odrazivosti.
3. Komplementární modely, založené na percepčních experimentech, užívající dvojice komplementárních barev.
4. Chromatický diagram CIE
5. Modely psychologické a psychofyzikální – HSV.

2.1 Modely barev

Na výše zmíněných šesti základních spektrálních barvách stojí dva hlavní barevné modely současnosti – RGB, používaný všemi barevnými monitory a CMY, používaný pro barevný tisk. Podle těchto dvou modelů rozlišujeme barvy světelné a barvy pigmentové. Kostru teorie barev tvoří poznatek, že použitím tří barev - červené (red - R), zelené (green - G) a

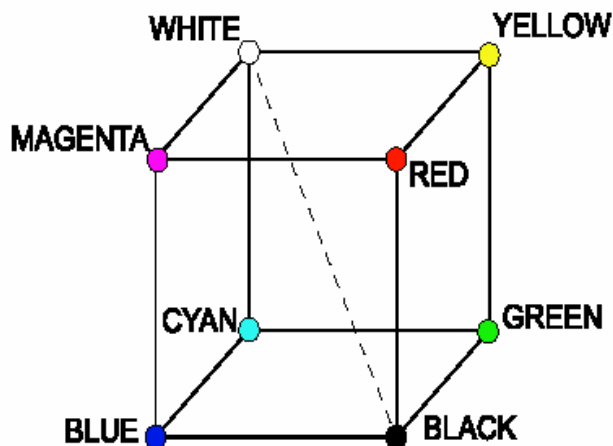
modré (blue- B) = RGB, při aditivním míchání barev nebo tyrkysové (cyan - C), purpurové (magenta - M) a žluté (yellow - Y) = CMY, při použití subtraktivního míchání barev - lze získat libovolnou jinou barvu [7], [19].



Obr. 5. Míchání barev.

2.2 Model RGB

RGB (red, green, blue) model pracuje na principu aditivního, neboli světelného (také sčítacího) míchání barev. Základem tohoto principu je fakt, že tři světelné svazky, tmavě modrý, sytě červený a sytě zelený, dohromady vytvářejí jasné, zářivé bílé světlo; jinými slovy, rekonstruují světlo, jehož složkami jsou. Na základě tohoto modelu pracují všechny monitory, televizní obrazovky apod. Data a informace zobrazované na nich tedy vždy vnímáme právě prostřednictvím tohoto modelu a i lidské oko je svými receptory přizpůsobeno pro vnímání a „míchání“ barev z těchto tří složek. Celá obrazovka se skládá z malých reflektorů vyzařujících červené, zelené a modré světlo. Teprve nedokonalost oka spolu s intenzitou jednotlivých světelných paprsků vytvoří výsledné barvy. Barevný prostor, tj. myšlenková transformace barevného spektra a jeho změna do fyzicky existujícího tělesa, je představován tzv. jednotkovou krychlí. Jednotlivé barevné odstíny jsou v tomto prostoru definovány množstvím (intenzitou) primárních barev. Interval změny odstínu jsou definovány jako lineární (každá ze tří primárních barev může nabývat stejného počtu hodnot), nejběžnější je dělení 0-255 (při RGB kódování 24bitové barvy). Jednotková krychle má ve vrcholech horní podstavy zleva doprava bílou, žlutou, červenou a purpurovou, ve vrcholech spodní podstavy pak zleva doprava azurovou, zelenou, černou a modrou. Spojnice bílá-černá tvoří jednu z vnitřních os krychle a je achromatická [7].



Obr. 6. RGB a CMY barevný prostor – jednotková krychle.

Červená, zelená a modrá jsou primárními světelnými barvami, jejich vzájemným smísením vznikají sekundární světelné barvy žlutá (zelená + červená), azurová (modrá + zelená) a purpurová (červená + modrá). Azurová je vžitý technický termín odpovídající středně syté neutrální modré, purpurová pak představuje středně sytou karmínovou červeň. Výhodou tohoto modelu je snadná matematická definice barvy a tím pádem vhodnost pro použití v programování a počítačové grafice, nevýhodou na představivost náročné určení požadované barvy. Právě tato náročnost na lidskou představivost a myšlený pohyb uvnitř jednotkové krychle spolu s relativní snadností definice a převodu barvy vede u mnoha systémů ke skrytí vlastního RGB modelu, nutného pro zobrazení na monitoru, pod modely typu HSL, HSV – modely psychologické a psychofyzikální. Důvod je nasnadě – definice nebo určení barvy v barevném prostoru je přirozenější, pokud jsou odstín (HUE), nasycení (CHROMA) a světlost (LIGHTNESS) indikovány jako oddělené parametry [7], [17].

Tab. 3. Hodnoty jednotlivých barev

R	G	B	Barva
0	0	0	Černá
255	0	0	Červená
0	255	0	Zelena
0	0	255	Modrá
255	255	0	Žlutá
255	0	255	Purpurová
0	255	255	Azurová
255	255	255	Bílá

3 SENZORY CCD, CMOS

V současnosti dochází k prudkému rozvoji zařízení sloužících k digitálnímu záznamu obrazové informace. Hlavní příčinou je vynález integrovaných obvodů umožňujících uložit obraz v digitalizované podobě prostřednictvím elektrických signálů.

Snímací prvky se vyskytují ve velkém množství zařízení, které snímají obraz. CCD se vyskytuje především v digitálních fotoaparátech, scannerech a také v digitálních videokamerách [8].

3.1 Vývoj

První obvody CCD (Charge Coupled Devices – obvody vázané nábojem) vznikaly koncem 60-tých let jako posuvné a paměťové registry pro výpočetní techniku, teprve později bylo využito k formování náboje na jednotlivých elementech obvodu fotodiod a vznikl snímací obvod CCD. Název prvních typu BBD (Bucket Brigade Devices), ukazuje princip přenosu dat v registru. „Bucket Brigade“ je řada hasičů, předávajících si nádoby s vodou od zdroje k místu požáru. To vystihuje princip přenosu nábojů i uvnitř obvodu CCD.

V roce 1986 firma Kodak vyvinula první 1,4 MP pixelový CCD senzor a začala tak éru digitálních fotoaparátů, kamer a skenerů. Díky velké konkurenci se technologie znatelně zlepšovaly a cena klesala. Dnes jsme se dostali do situace, kdy je dostupnost CCD prvku pro každého jednoduchou a levnou záležitostí při zachování vysokých standardů.

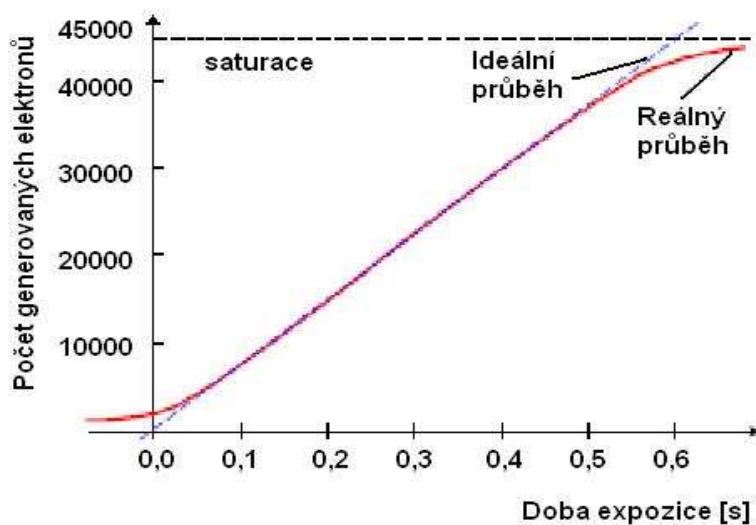
3.2 Popis

Každý CCD snímač (Obr. 7) je v podstatě složen z matice polovodičových součástek, buněk s fotodiodami zaznamenávající informaci o světelném záření. Jejich počet udává rozlišení snímače. Pokud tedy máme snímač s rozlišením 850.000 bodů (fotocitlivých prvků), produkuje obraz s rozlišením 1024x768 bodů. Moderní snímače mají rozlišení 2-3 milióny bodů a špičkové snímače mají až 10 miliónů bodů [9].

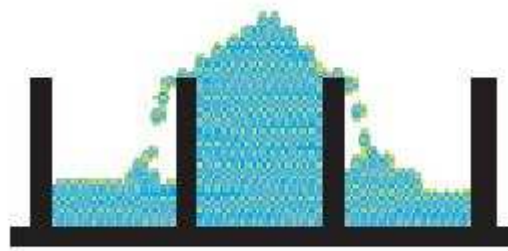


Obr. 7. CCD sensor.

Buňky samotné jsou buď obdélníkové (video snímače), čtvercové (klasické pro digitální fotoaparáty) nebo plástvové (Super CCD). Každá buňka je složena z několika vrstev se speciálními filtry. Při expozici začne na buňku dopadat světlo. To způsobuje lokální generaci elektrického náboje (pár elektron/díra) v místech obrazových bodů. Maximální množství náboje, které je možno v daném místě vygenerovat definuje veličina nazvaná „plnicí kapacita“ (Full Well Capacity), (Obr. 8). Pro nízké koncentrace nábojů je závislost mezi dopadajícím světelným zářením a množstvím vygenerovaného náboje lineární. Pro vyšší koncentrace dochází k saturaci, což vede k přetečení náboje do sousedních buněk. Tomuto jevu se říká blooming (Obr. 9) a vede k nežádoucímu zvýšení jasu sousedních elementů („rozzářením“) a může poškodit i barevné podání. K bloomingu obvykle dochází v jednom převládajícím směru, je to tím, že řádky světlocitlivých elementů jsou mezi sebou ve větší míře izolovány než buňky samotné mezi sebou.

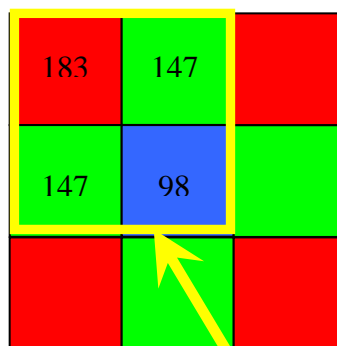


Obr. 8. Full Well Capacity.



Obr. 9. Blooming.

Citlivost k barvám je u snímacích obvodů dána spektrální citlivostí křemíku, jejíž mez leží v infračervené oblasti spektra, poměrně daleko od viditelného rozsahu. Je proto třeba odstranit infračervenou část filtrem před obvodem. Jednotlivá barevná pásma citlivosti v červené (R), zelené (G) a modré (B) se získají barevnou filtrací. Filtry lze zařazovat postupně a soubor dat RGB tak získat třemi snímky. Při řádkovacích (skenovacích) postupech snímání se využívá tří snímacích obvodů s příslušnými filtry. Soustavy se třemi obvody a optickým dělením obrazu se aplikují v profesionálních televizních kamerách, ve statické fotografii jen výjimečně. Jediným obvodem lze snímat hodnoty RGB předřazením mozaikového filtru, jehož jednotku tvoří čtyři prvky (pixel) snímacího obvodu. Nejužívanějším způsobem uspořádání těchto filtru je tzv. Bayerovo schéma (Obr. 10), se dvěma zelenými a po jednom červeném a modrém filtru. Všechny hodnoty RGB pro každý snímací element (pixel) se získají interpolací, pravidelně s využitím větší skupiny (např. 4 x 4) snímacích elementů, aby se věrněji reprodukoval průběh barevných hodnot signálu [19], [16].



hnědý pixel

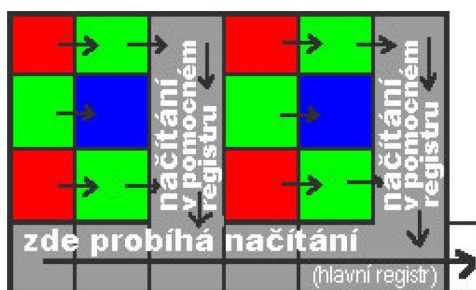
Obr. 10. Bayerovo schéma.

3.3 Konstrukce čipů

Konstrukce čipů je rozdílná a můžeme je rozdělit do několika skupin. V zásadě existují dva typy senzorů. Prokládaný (interlaced scan) a neprokládaný (progressive scan).

Interlaced scan

Prokládané CCD prvky pracují zvláště s lichými a sudými řádky. Toto uspořádání má původ v televizní technice, kde se používá již mnoho let. Buňky jsou na snímači proloženy pomocnými registry (Obr. 11). Náboj z lichých řádků je přes tyto registry řádek po řádku odveden do hlavního registru a dále přes A/D převodník a zesilovače do procesoru. Poté totéž proběhne i pro sudé řádky. Pak je možno obraz složit dohromady. Toto řešení je jednodušší, má ale řadu nevýhod. Je nutné obraz složitě sestavovat dohromady, zpracování je pomalé a neumožňuje velmi krátké časy expozice. Je také nutné použít mechanickou závěrku, aby v průběhu snímání nedošlo k posunu obrazu a tím k rozostření a degradaci. Tento systém je ale plně vyhovující potřebám videokamer, a tak výroba probíhá masově a je poměrně levná. Použití nalezne i v levnějších typech fotoaparátů.



Obr. 11. Prokládaný scan.

Progressive scan

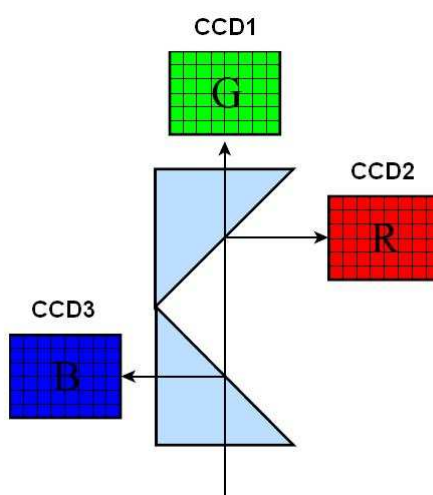
Pro potřeby digitálních fotoaparátů je ale nutné z důvodu rychlosti zpracovávat údaje z celého CCD zároveň. To umožňuje technologie řádkového čtení, kdy se pod buňkami nachází tzv. načítací (pomocný) registr (Obr. 12). Do něj se převedou náboje z buněk v řadě nad ním. Z tohoto registru se náboje odvádí branou do zesilovače a A/D převodníku. Poté se do této řady přenesou náboje buněk další řady. Tak dojde k posunu nábojů na celém CCD prvku. Náboje z poslední řady jsou opět načteny a celý proces se opakuje, dokud není načten celý snímač. Progresivní CCD snímače poskytují kvalitnější obraz, nevyžadují mechanickou závěrku. Náboj je vyhodnocen po nastavené expoziční době ve velmi krátké době, řádově tisícin vteřiny.



Obr. 12. Neprokládaný scan.

Řádkové snímače

Řádkové uspořádání CCD prvků je používáno zejména pro průmyslové aplikace. CCD prvky jsou uloženy v jedné řádce a jejich počet se pohybuje od 128 do 6000 řádků. Rozměry jednotlivých fotocitlivých prvků jsou v rozmezí $(7 \times 7) \mu\text{m}$ – $(10 \times 10) \mu\text{m}$ a délkový rozměr citlivé části senzoru se pohybuje od 4 mm do 60 mm. Pro zvýšení čtecí frekvence (obvykle 2 MHz – 20 MHz) se používá více přenosových kanálů paralelně a lze tak docílit čtecí frekvence až 240 MHz [10], [11].



Obr. 13. Princip záznamu obrazu pomocí tří světlocitlivých senzorů.

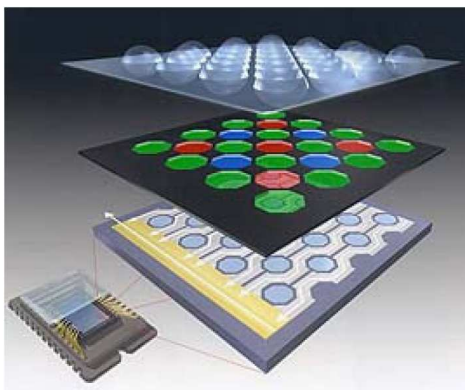
Multi – CCD

Tato technologie je využívána především v digitálních kamerách vyšší třídy. Obraz je v optické soustavě rozložen prostřednictvím hranolu na 3 CCD prvky (Obr. 13). Před

každým z nich je barevný filtr, Každý snímá plným rozlišením jednu barevnou složku obrazu. Tímto uspořádáním je možné zachovat dostatečně krátké expoziční časy pro snímání pohyblivých scén, při současném zachování vysoké obrazové kvality. Tato technologie je z důvodu použití tří snímačů dražší a vyžaduje objemnější zařízení.

Super CCD

Jedná se o speciální typ senzorů vyvinutých firmou FUJI. Buňky tohoto snímače nemají tvar čtverce, ale hexagonu (Obr. 14). Toto uspořádání je zvoleno z důvodu větší citlivosti lidského oka na svislé a vodorovné linie, než na diagonální. Buňky jsou také blíže u sebe a čtveřice buněk (GRGB) jsou otočeny o 45°. To potlačuje vnímání rastru o lidským okem. Obraz získaný touto metodou má 1,6 – 2,3 x větší rozlišení než obraz z klasického CCD. Každá buňka má též předsazenu mikročočku, což umožnilo zvýšení citlivosti. Závěrka je elektronická, stejně jako u CCD senzorů s technologií progressive scan.

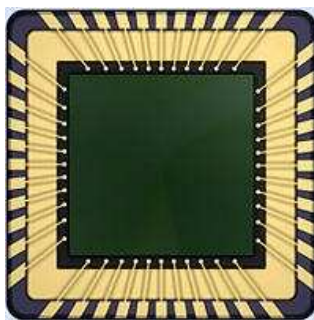


Obr. 14. Super CCD senzor.

Výroba snímacích obvodů CCD je značně náročná. Vyžaduje až 350 dílčích operací. Základním materiálem je křemík, ze kterého se odlévají válce. Ty jsou následně rozřezány na tenké plátky. Na plátky je pak fotografickou cestou nanášena v mnoha vrstvách struktura čipu. Na jeden křemíkový wafer se vejde několik čipů. Ty se pak od sebe oddělí a zasadí do patič. Celá výrobní operace klade vysoké požadavky na bezporuchovost křemíkové destičky. Proto se cena obvodu podílí 20% – 30% na ceně digitálního fotografického přístroje.

3.4 CMOS Senzory

V průběhu roku 1998 se objevily na trhu první digitální aparáty vybavené prvkem CMOS (Obr. 15). CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) se vyrábějí prakticky stejnými postupy, jako běžné procesory. Z toho důvodu je už dnes jejich cena třetinová. Navíc, díky své vnitřní konstrukci, mají podstatně menší spotřebu elektrického proudu. To jsou hlavní důvody, proč se jim předpovídá velká budoucnost [12].



Obr. 15. CMOS prvek.

CMOS senzory se dělí na dva typy:

- PPS – passive pixel senzor

Technologie Passive pixel senzor je známá již asi 30 let. Je principiálně podobná technologii CCD. Snímací čip funguje tak, že dopadající světlo se přemění na elektrický náboj, který je pak převeden do AD konvertoru a dále zpracován. Technologie však poskytuje poměrně nekvalitní obraz. Hlavně díky velké míře zašumění obrazu. Výhodou je velice levná výroba, jednoduché napájení a malá spotřeba.

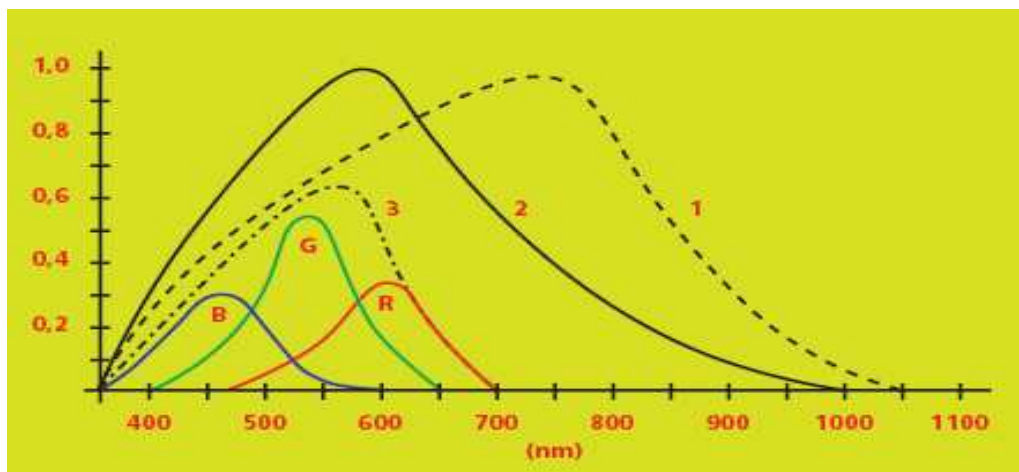
- APS – active pixel senzor

V dnešní je proto pozornost upřena na aktivní CMOS. Obraz vyprodukovaný senzorem APS je více méně srovnatelný s obrazem levnějších CCD prvků. Hlavním nedostatkem je nízká citlivost snímače. Ta je zapříčiněna tím, že část plochy světlocitlivé buňky zabírá pomocný obvod, zabraňující zašumění obrazu. Každá světlocitlivá buňka je doplněna analytickým obvodem, který vyhodnocuje tzv. šum a aktivně ho eliminuje. Uvádí se dokonce i tzv. faktor zaplnění, který vyjadřuje, jak velká část buňky funguje jako

světlocitlivá plocha. Obecně platí, že čím větší je velikost světlocitlivé plochy, tím je kvalita snímání vyšší. Zmenšení světlocitlivé plochy čidla je kompenzováno filtrem ze speciálních spojných mikročoček, které soustředí světlo pouze do světlocitlivé části.

3.4.1 Hodnocení CMOS snímačů

Veškerá část vizualizačních aplikací pracuje v dnešní době pod OS Windows nebo má vytvořenu vlastní metodu pro práci s okny. Okna slouží k zobrazení údaje z různých částí řízeného procesu, což nám umožňuje vytvořit si celkový pohled o řízeném procesu nebo detailní pohled na některou z částí procesu. Hlavním nedostatkem CMOS senzoru je rozdílnost v citlivosti jednotlivých elementárních buněk a vyšší úroveň náhodného šumu ve srovnání s CCD čidly. Tyto rozdíly je nutné eliminovat speciálními obvody a matematickou filtrací. Citlivost na světlo se snižuje použitím části plochy čidla na pomocné obvody[12].



Obr. 16. Spektrální závislosti citlivost elementů obvodu: 1 – CMOS, 2 - CCD, 3 - průběh po odfiltrování infračervené složky, R, G, B - průběhy s filtry.

4 TEORIE AUTOMATICKÉHO ŘÍZENÍ

Úlohou řízení budeme rozumět cílevědomé generování akční veličiny tak, aby se výstupní veličina chovala podle předem zadaného cíle, který je charakterizován velikostí žádané veličiny [13].

4.1 Identifikace

Pro teorii automatického řízení má největší význam redukce systému na jeho matematický model, která se nazývá identifikace. Pro identifikaci využíváme informace získané o objektu v průběhu jeho pozorování v normálním provozu. Veličiny, které při identifikaci na objektu můžeme měřit dělíme na vstupní veličinu u - akční veličina, pomocí níž realizujeme řízení a výstupy objektu y . Na objekt mohou dále působit externí poruchy v , které jsou taky měřitelné [15].

4.2 Přejchodová funkce a přechodová charakteristika systému

Přejchodová funkce, označujeme ji $h(t)$, je odezva na jednotkový skok při nulových počátečních podmínkách systému. Přejchodová charakteristika je grafické znázornění přechodové funkce.

Aproximace přenosů z přechodové charakteristiky patří mezi metody identifikace a jsou důležitým inženýrským prostředkem. Máme dvou parametrické modely, kde úkolem je získat z přechodové charakteristiky přenos s parametry K , T , případně odečtení dopravního zpoždění L z osy x , které má negativní vliv na stabilitu a kvalitu řízení [14].

$$G(s) = \frac{K}{T_s + 1} \quad , \quad G(s) = \frac{K}{T_s + 1} \cdot e^{-sL} \quad (1)$$

4.3 Volba regulátoru

Regulátorem je nazýváno zařízení v regulačním obvodu, kterým se uskutečňuje proces automatické regulace. Podstata činnosti regulátoru spočívá ve vyhodnocení regulační odchylky jako vstupního signálu, ve zpracování této odchylky podle zákona řízení, který je vlastní použitému regulátoru a ve vytvoření výstupního signálu (akční veličiny $u(t)$) s cílem tak, aby odchylka $e(t)$ byla eliminována zcela nebo aby byla co nejmenší [14].

$$e(t) = w(t) - y(t) \quad (2)$$

Jeden z různých typů regulátorů je číslicový regulátor typu PID. Jeho parametry jsou nastaveny pomocí metody Zieglera-Nichols. Činnost spojitého PID regulátoru lze popsat rovnicí.

$$u(t) = K_R \cdot [e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_D \frac{de(t)}{dt}] \quad (3)$$

kde K_R ... zesílení regulátoru

T_I ... integrační časová konstanta

T_D ... derivační časová konstanta

Číslicový regulátor nevyhodnocuje informaci spojitě, na rozdíl v porovnání se spojitým regulátorem, ale v diskrétních okamžicích $t = k \cdot T$, $k = 0, 1, 2, \dots$, kde T je perioda vzorkování. Pro malá T lze nalézt diskrétní náhradu spojitého regulátoru tak, že integrál nahradíme sumou a derivaci zpětnou diferencí 1. řádu. Diskretizujeme-li spojitý signál stupňovou funkcí, pomocí tzv. dopředné obdélníkové metody (DOBD), získáváme vztah popsán rovnicí (4).

$$u(k) = K_R \cdot \left\{ e(k) + \frac{T}{T_I} \cdot \sum_{i=0}^k e(i) + \frac{T_D}{T} \cdot [e(k) - e(k-1)] \right\} \quad (4)$$

kde K_R , T_I , T_D , jsou seřiditelnými parametry PSD regulátoru. Pro získání těchto parametrů bylo užito modifikované Ziegler-Nicholsovo kritérium, které je v praxi stále používáno.

Při diskretizaci regulačního obvodu se spojitá akční veličina upraví pomocí vzorkovače a tvarovače na stupňovou funkci, kterou je možno aproximovat původní spojitou funkcí zpožděnou o polovinu vzorkovacího intervalu T_v . Zjednodušeně lze tedy předpokládat, že diskrétní model soustavy se liší od spojitého tím, že obsahuje navíc dopravní zpoždění o velikosti $T_v/2$. Dopravní zpoždění nemění amplitudu, ale s rostoucí frekvencí lineárně zvětšuje fázový posun. [15]

$$\varphi = -\frac{T_v \omega}{2} \quad (5)$$

Na kritické frekvenci ω_k má soustava fázový posun $-\pi$ a zesílení A_k , pro které platí:

$$A_k K_{pk} = -1 \quad (6)$$

Při diskrétním řízení se vlivem fázového posunu φ , způsobeného diskretizací, změní kritická frekvence. Protože na jiné frekvenci má soustava jiné zesílení, změní se i kritické zesílení. Kritické hodnoty závisí na zvolené periodě vzorkování T_v . Vzorkování je vytváření posloupností hodnot ze spojitých signálů v pravidelných časových okamžicích, vzorkování ze spojitých funkcí dělá posloupnosti [15].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 PROSTŘEDKY PRO REALIZACI

5.1 Hardwarové prostředky

5.1.1 Měřicí technologická karta PCI 1711

Měřicí karty jsou používány téměř v celém výrobním průmyslu, protože většina výrobních linek je částečně či plně automatizována. Zásuvné měřicí karty - jsou myšleny karty standardu ISA nebo PCI, které jsou zasouvány do sběrnice PC, rozšiřují klasický PC počítač o možnosti měřit a ovládat technologické zařízení.

Karta PCI 1711 Series 12/16bit (Obr. 17) představuje multifunkční analogově-digitální vstupně/výstupní (V/V) kartu firmy Adventech, která je osazena PCI slotem. Obsahuje obvody pro analogově-digitální převod, digitálně-analogový převod, digitální vstupy a výstupy a čítač. Analogově digitální převod (též A/D konverze) je proces interpretace měřené analogové veličiny (konkrétně elektrického napětí) celým číslem, které je v počítači dále zpracováváno. Naproti tomu digitálně-analogový převod je opačný postup, při kterém je k zadanému číslu v počítači generována odpovídající hodnota analogové veličiny. Analogově-digitální převod tak počítač staví do role měřicího přístroje, digitálně-analogový převod do role regulovatelného zdroje (malého výkonu), či do role generátoru různých napěťových signálů.



Obr. 17. Technologická karta PCI-1711.

Je tvořena:

- 16 x 12ti bitovými analogovými vstupy
- 2 x 12ti bitovými analogovými výstupy
- 16ti digitálními vstupy
- 16ti digitálními výstupy
- programovatelným čítačem
- logikou přerušení (IRQ2 – IRQ15)
- 12 bitovým A/D převodníkem
- 12 bitovým D/A převodníkem

V/V konektory této karty tvoří plochý konektor s počtem pinů 68 (obr. 17). Vstupní analogové napětí karty se dá softwarově nastavovat a mezní hodnoty se pohybují v rozmezí ± 10 V, ± 5 V, ± 2.5 V, ± 1.25 V, ± 0.625 V, ± 0.3125 V. Rovněž výstupní napětí se pohybuje v rozmezí hodnot $-10 - +10$ V, ovšem už bez softwarového programování.

5.1.2 Peristaltická čerpadla PCD21 a PCD61

Peristaltická dávkovací čerpadla PCD (obr. 18) využívají obecného principu činnosti rotační peristaltiky. Tím, že do styku s čerpaným médiem dojde pouze čerpací hadička, je zajištěna těsnost a snadná dekontaminace. Volbou vhodného materiálu hadičky je možno dosáhnout široké chemické kompatibility čerpadla. Čerpadla jsou samonasávací a jejich výkon je dán vnitřním průměrem hadičky a otáčkami, průměrem a počtem kladiček rotoru. Vzhledem k tomu, že nasávání čerpadla je limitováno pružností hadičky (schopností udržet geometrický tvar - nezmáčknout se), může sací výška do jisté míry ovlivnit výkon čerpadla. K pohonu jsou použity krokové motory. Požadovaný výkon lze nastavit řídicím napětím 0 -1 V nebo 0 - 5 V lineárně v rozsahu 0 – 100 % max. výkonu pro daný typ čerpadla. Pro omezení nebezpečí spuštění čerpadla v oblasti malých napětí je možno nastavit offset spuštění 0 - 0,5 V. Konstrukční díly čerpadla jsou z PVC nebo duralu v kombinaci s nerez ocelí a teflonem.



Obr. 18. Peristaltická čerpadla PCD 21, PCD 61.

Tab. 4. Vlastnosti peristaltických čerpadel.

typ	PCD 21	PCD 61
výkon čerpadla	0,0 - 25 ml/min	0,0 - 200 ml/min
otáčky rotoru	0,06 - 30 1/min	0,5 - 2201/min
stabilita otáček	lepší než 1%	
napájení	AC 230 V / 50 Hz	
izolační třída/krytí	1 / IP 20	
rozměry (š x v x d)	137 x 95 x 205 mm	
hmotnost	1,6 kg	

5.1.3 Snímací webová kamera Logitech ClickSmart 310

Pro snímání obrazu byla zvolena web kamera firmy Logitech. Jedná se o model digitálního fotoaparátu, který může být využit jako webová kamera, která je vybavena CMOS senzorem a nabízí rozlišení od 160 x 120, přes 320 x 240 až po maximálních 640 x 480 bodů. Záznam je pořizován s rychlostí 30 snímků za vteřinu. Kvalita obrazu je uspokojivá a barvy jsou poměrně věrné k čemuž přispívá kromě možnosti podrobného nastavení všech parametrů. Webová kamera Logitech ClickSmart 310 (Obr. 19) vyžaduje pro svou instalaci PC s procesorem Intel Pentium II/Celeron nebo AMD Athlon+ o frekvenci 400 Mhz, operační systém Windows 98/2000/Me nebo XP, 64MB RAM, 200 MB volného místa na harddisku a USB port.



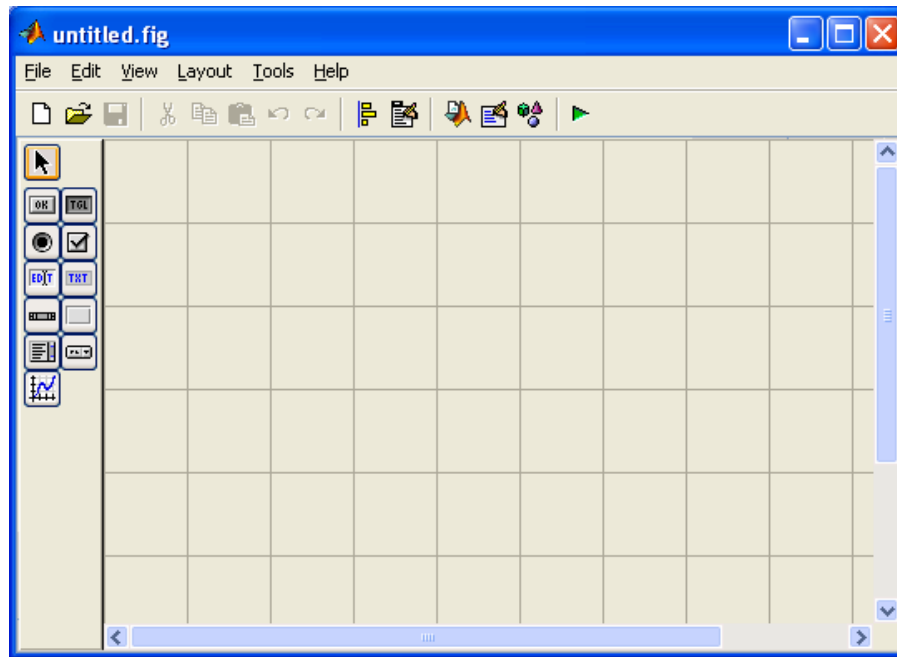
Obr. 19. Webcam Logitech ClickSmart 310.

5.2 Programové prostředky

5.2.1 MATLAB - programové prostředí

Pro zobrazování a vyhodnocování naměřených dat byl využit program MATLAB 6.5 od firmy Mathworks. MATLAB umožňuje pomocí velmi jednoduchých příkazů aplikovat širokou škálu matematických operací.

Spuštěním programu MATLAB a napsáním příkazu „*guide*“ do příkazového řádku se nám spustí grafické uživatelské rozhraní GUI. To je založeno na práci se základními grafickými objekty (tlačítka, textová pole, posuvníky, přepínače atd.). GUIDE zjednodušuje tvorbu a manipulaci objektů a usnadňuje přístup k jejím vlastnostem. Umožňuje interaktivně tvořit a upravovat naše uživatelské aplikace GUI (Obr. 20). GUIDE má celkem pět nástrojů, které umožňují tvorbu a manipulaci s GUI. Těmito nástroji jsou Control panel, Property editor, Callback editor, Alignment tool a Menu editor. Tyto nástroje mezi sebou interaktivně spolupracují. Každý z nástrojů lze vyvolat samostatně z příkazové řádky programu MATLAB a to příslušným příkazem. Pro Control panel je to *guide*, pro Property editor je to *proedit*, pro Callback editor je to *cbedit*, pro Alignment tool je to *align* a pro Menu editor je to *menuedit*.



Obr. 20. Grafické prostředí MATLABu 6.5.

Při novém vytváření programu za použití GUI se používá „property editor“, ve kterém sestavíme pomocí základních grafických objektů vizuální část programu. Při překladu se automaticky vytváří dva soubory s příponou “*.fig”, ve kterém je definováno grafické prostředí a “*.m”, ve kterém jednotlivým objektům přiřazujeme funkce typu (callback, create function, delete function, buttondownfnc). Struktura grafického objektu je uložena do globální proměnné „handles“. Do této struktury můžeme zapisovat i čísta pomocí základních příkazů programového prostředí MATLAB. Aplikace vytvořené v GUI jsou přehlednější a příjemnější na ovládání než zadávání hodnot z příkazové řádky MATLABu.

5.2.2 Real time toolbox

Real time Toolbox je nadstavba programu MATLAB, od firmy HUMUSOFT. Je založen na jádře reálného času a ovladačích populárních přídatných karet pro vstup a výstup signálů. Slouží jako uživatelské prostředí pro sledování dějů probíhajících u měřených zařízení. Umožňuje přístup k vnějším analogovým a digitálním signálům a tím vytváří z počítače měřicí ústřednu. Je schopen provádět sběr dat se zajištěným pravidelným vzorkováním a jejich další zpracování.

Vlastnosti:

1. Pracuje pod Microsoft Windows XP.
2. Vzorkovací frekvence až do 66KHz, bez nutnosti používat externí zdroje hodinového signálu.
3. 32 nezávislých časovačů, 256 vstupních a výstupních kanálů.
4. Zpracování dat on-line pomocí diskrétních polynomiálních filtrů.
5. Knihovna bloků pro systém Simulink umožňuje používat většinu funkcí přímo z blokového schématu.
6. Úrovně spouštěné ukládání dat umožňuje zachytit jednorázové děje.
7. On-line řízení rychlých systémů vestavěnými lineárními regulátory.
8. Podpora generování periodických signálů na analogových výstupních kanálech.
9. Automatické vytváření skriptových M-souborů z graficky zadaných povelů.
10. Možnost přístupu k více přídavným zařízením zároveň.
11. Možnost změny parametrů ovladačů hardware za běhu a možnost změnit jejich implicitní nastavení.
12. Asynchronní přístup přímo na vstupní a výstupní porty.

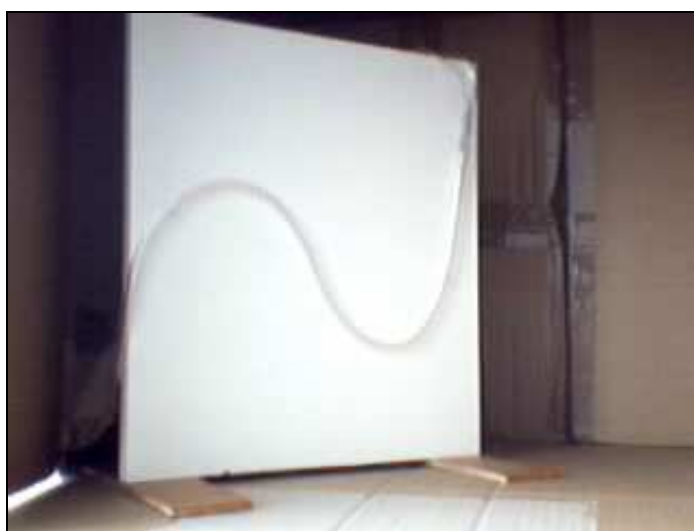
Real Time Toolbox je navržen tak, že bez problémů spolupracuje s mnoha knihovnamí firmy The MathWorks, Inc. To platí zejména pro Signal Processing Toolbox a Control System Toolbox.

6 REALIZACE

Úkolem bylo provést sestavení nového měřicího systému, vylepšení uživatelského programu vytvořeného v programovém prostředí MATLAB 6.5, provést novou identifikaci modelu a návrh řízení, podle již zpracované problematiky.

6.1 Sestavení měřicího systému

K sestavení měřicí aparatury byl použit osobní počítač PC Intel Pentium 1,6 GHz, 512 RAM běžící na operačním systému Windows XP Professional a technologickou kartou firmy Advatech PCI 1711. Přes USB 2.0 byla připojena web kamera Logitech ClickSmart 310, zajišťující snímání obrazu. Kamera byla umístěna 20 cm od měřicího panelu a snímáný obraz byl v rozlišení 128 x 96 pixelů. Na analogové výstupní porty technologické karty byly připojena obě peristaltická čerpadla PDC 21 a PDC 61. Tyto čerpadla s maximálním výkonem 15 ml/min a 200 ml/min byla zvolena pro laboratorní podmínky a pro svoji vlastnost přesného dávkování. K čerpání kapalin bylo využito zdravotních hadiček vyrobených z čírého silikonu o průměru 3 mm a 5 mm. Pro spojení hadiček bylo využito z polymeru vyrobené spojky tvaru Y. Pro lepší a rychlejší promíchání tekutin byl do odvodní hadičky instalován prvek, který zajišťuje dobré smíchání.

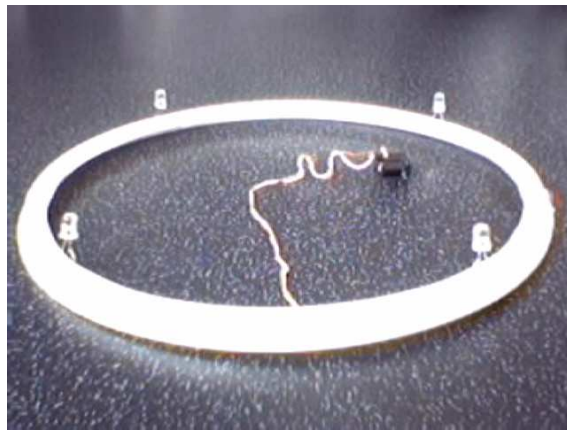


Obr. 21. Měřicí plocha.

Soustava hadiček byla přichycena na měřicí panel o rozměru 400 x 300 mm (Obr. 21) a to tak, aby bylo zajištěno dobré promíchání inkoustu a vody. Bylo nutné vytvořit uzavřenou

komoru ve které by bylo konstantní osvětlení a nedocházelo ke změnám intenzity světla. Využili jsme papírovou lepenkovou krabici o rozměru 700x500x400 mm. Do které jsme umístili kameru, měřící panel a světelný zářič.

Zářič (Obr. 22) byl vytvořen proto, aby zaručoval konstantní podmínky osvětlení nutné pro zpřesnění řízení procesu. K jeho výrobě bylo použito plastové obruby, na kterou jsme připevnili čtyři vysoce zářivé diody o svítivosti 3000 mcd, napájeny byly přes adaptér a to 3V. Tím jsme dosáhli potřebné osvětlení měřícího místa u sestavené měřící aparatury (Obr. 23).



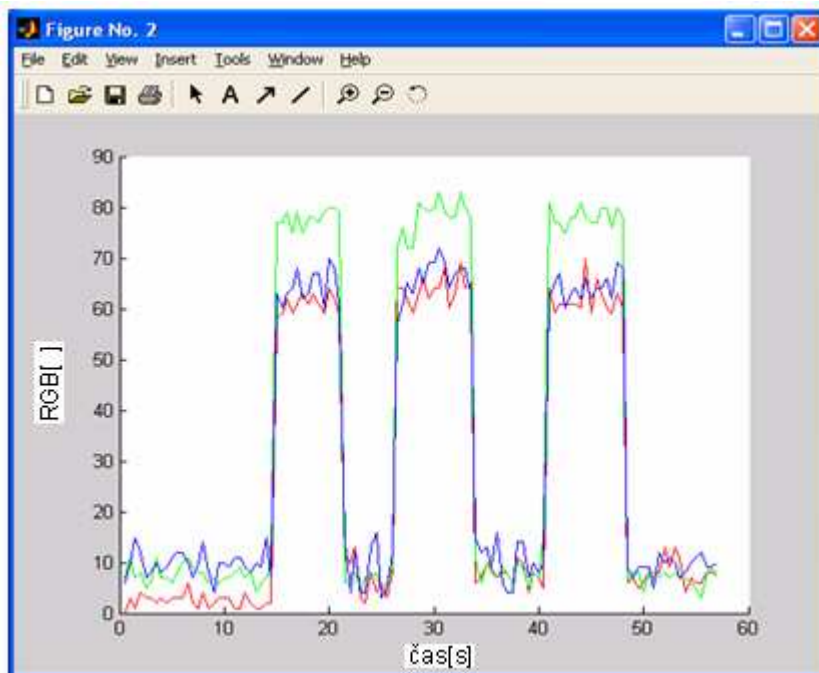
Obr. 22. Světelný zářič.



Obr. 23. Sestavená měřící aparatura.

6.1.1 Změna osvětlení v měřící komoře

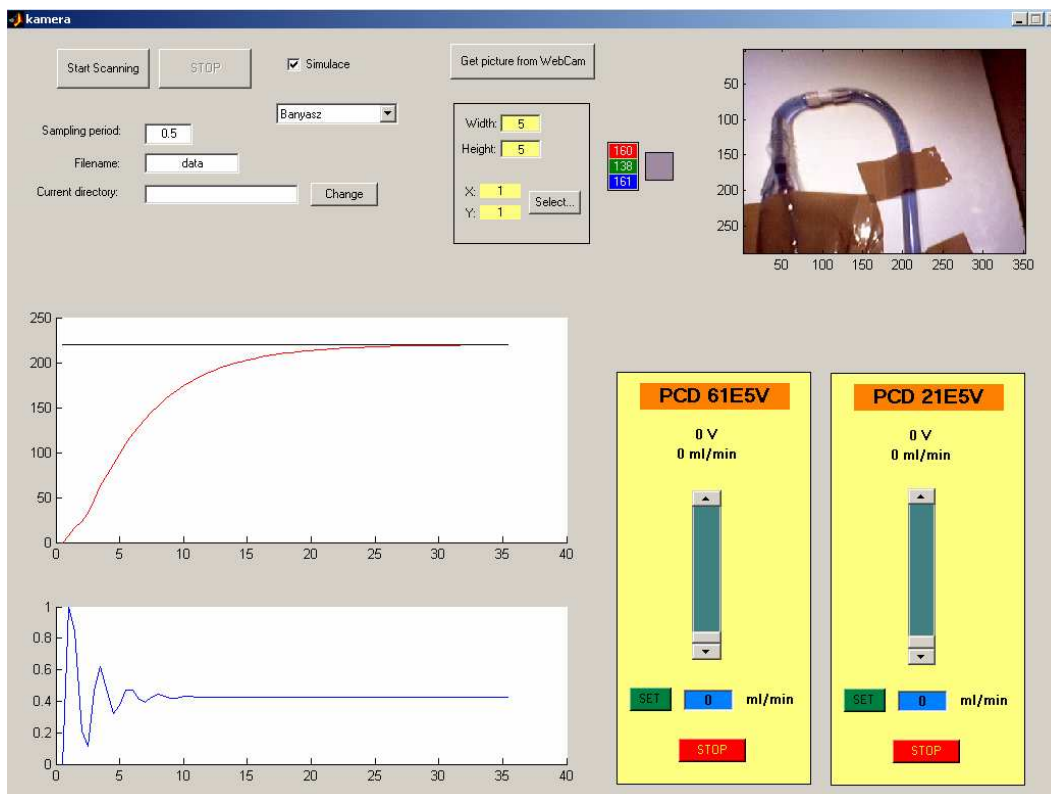
Vytvořením uzavřené měřící komory a umělého osvětlení můžeme vyhodnotit hodnoty RGB, které se mění v závislosti na světle (obr. 24). Při uzavření komory a bez osvětlení měřící plochy dostáváme hodnoty téměř nulové. Při osvětlení komory hodnoty RGB se mění.



Obr. 24. Změna hodnot RGB v závislosti na světle.

6.1.2 Vytvořený uživatelský program - kamera RH

Vyhodnocení barevných souřadnic obrazu bylo realizováno vytvořeným programem v prostředí MATLAB 6.5, pojmenován jako „kamera RH“. Obsahuje zobrazovací pole snímaného místa, tlačítka pro obsluhu a nastavení parametrů měření uživatelem, zobrazení hodnoty a barvy složek RGB souřadnic při skenování obrazu, výsledný graf závislosti RGB souřadnic na čase. Program je doplněn dvěma ovládacími tlačítky. Každé z nich ovládá jedno čerpadlo. Rozsahu 0 - 5 V odpovídá 0 - 100 % výkonu čerpadla který je přepočítán na hodnotu průtoku v ml/min. Nejmenší možná změna byla nastavena na 0,1 V. Tyto tlačítka slouží pouze k manuálnímu řízení čerpadel. Vše je názorně demonstrováno na obrázku (Obr. 25).



Obr. 25. Ovládací program „kamera RH“.

Sampling period:

Čas mezi jednotlivými odečty hodnot RGB z obrázku v sekundách.

File name:

Konkrétní název souboru s naměřenými daty bez přípony, ta je automaticky připojena k názvu při zápisu na disk, jedná se o příponu „*.txt“.

Current directory:

Jedná se o specifikaci cílového adresáře, kam se bude ukládat soubor s naměřenými daty.

Change:

Změna cílového adresáře.

Select:

Obsahuje editační část, která umožňuje nastavení velikosti snímacího pole. Standardně je navoleno pole o rozměrech 5 x 5 pixelů. Po stisknutí tlačítka je možno umístit snímací políčko na libovolné místo v obraze.

Get picture from WebCam:

Toto tlačítko slouží k jednorázovému sejmutí obrazu.

Start Scanning:

Zahájení procesu skenování obrazu. Obraz je načítán z webové kamery a podle zadané doby periody vyhodnocován. Čas a výsledné RGB souřadnice jsou ukládány na zvolené místo a pod zvoleným názvem.

Stop:

Zastavení procesu skenování obrazu.

Panel 1:

Peristaltického čerpadla PCD 61 se ovládá manuálně a to symbolickým táhlem nebo lze definovat konkrétní hodnotu čerpání v rozsahu od 0 do 200 ml/min a tlačítko SET ji nastaví a spustí. Tlačítko STOP ukončí čerpání. Současně je zobrazována hodnota čerpání v ml/min a řídicí napětí ve voltech.

Panel 2:

Peristaltického čerpadla PCD 21 se také ovládá manuálně a to symbolickým táhlem nebo lze definovat konkrétní hodnotu čerpání v rozsahu od 0 do 25 ml/min a tlačítko SET ji nastaví a spustí. Tlačítko STOP ukončí čerpání. Současně je zobrazována hodnota čerpání v ml/min a řídicí napětí ve voltech.

Simulace:

Pro ověření správnosti identifikované soustavy a navrženého regulátoru může být provedena simulace matematického modelu.

Volba číslicového PID regulátoru:

PID Ziegler - Nichols

PID Takahashi

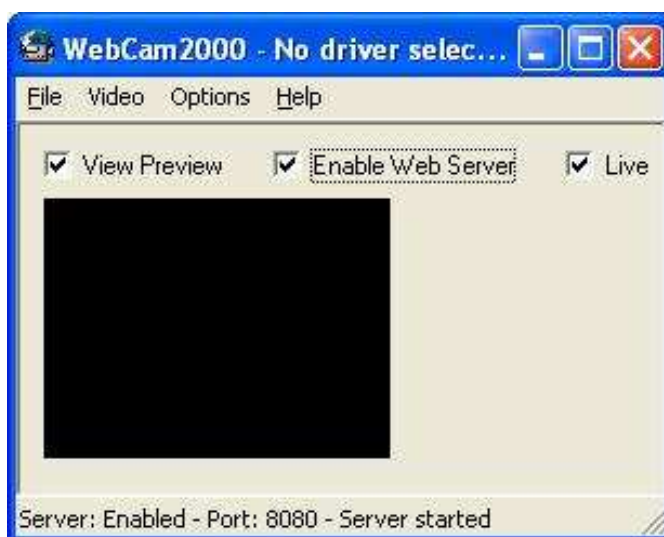
PID Bányász - Keviczky

Program se spouští stisknutím tlačítka „Start Scan“ umístěného na uživatelské ploše. Předpokladem je správné nastavení parametrů měření, tzn. tlačítkem „Get the picture“ sejmout aktuální obraz z kamery a tlačítkem „Select“ umístit snímací políčko v obraze na požadované místo. Po spuštění se všechny parametry uloží do paměti v podobě globálních proměnných. Vlastní měření probíhá v nekonečném cyklu. Výsledné hodnoty RGB souřadnic v závislosti na čase, se zaznamenávají do grafu a současně se ukládají do souboru. Cyklus se opakuje tak dlouho, dokud není měření ukončeno stisknutím tlačítka „Stop“.

6.1.3 Webcam2000

Jedná se o freeware nástroj pro pořizování snímků z webové kamery v daném časovém intervalu. Program umožňuje vytvoření web serveru nebo lze snímky ukládat jako soubor BMP, JPG. Instalace pro WebCam2000 obsahuje pouze 3 soubory „WebCam2000.exe“, „overlay.bmp“ a „capoff.bmp“. Program se spouští souborem „WebCam2000.exe“. Po jeho spuštění se objeví základní okno (Obr. 26), které obsahuje hlavní nabídku programu.

Složka „File“ obsahuje nabídku k uložení nastavení a ukončení programu. Složka „Video“ obsahuje nabídku „Microsoft WDM Image Capture“. Pro snímání obrazu z kamery je nutné tuto nabídku zatrhnout. Dále tato složka obsahuje podnabídky „Source“, „Format“ a „Display“. V těchto nabídkách se volí nastavení obrazu.



Obr. 26. Hlavní nabídka programu WebCam2000.

Složka „Options“ se skládá ze dvou podnabídek a to „Web Server“ a „Image“. V první záložce je možno založit lokální webový server, zvolit si adresu portu, kde se budou obrázky ukládat a odkud je budeme číst. V našem případě bylo využito možnosti založení Web serveru, přičemž snímáný obrázek byl poslán na lokální adresu <http://localhost:8080/> a odtud se přes funkci `imread` načítal do programu „kamera RH“ právě z uvedené adresy.

V záložce „Image“ je možno volit vlastnosti ukládaného obrazu. Opět se dá nastavit velikost obrazu, jeho natočení a jeho kvalita uložení. Složka „Help“ slouží k poskytnutí

pomoci při nastavování programu. Tato nabídka je dostupná pouze při připojení na síť internet.

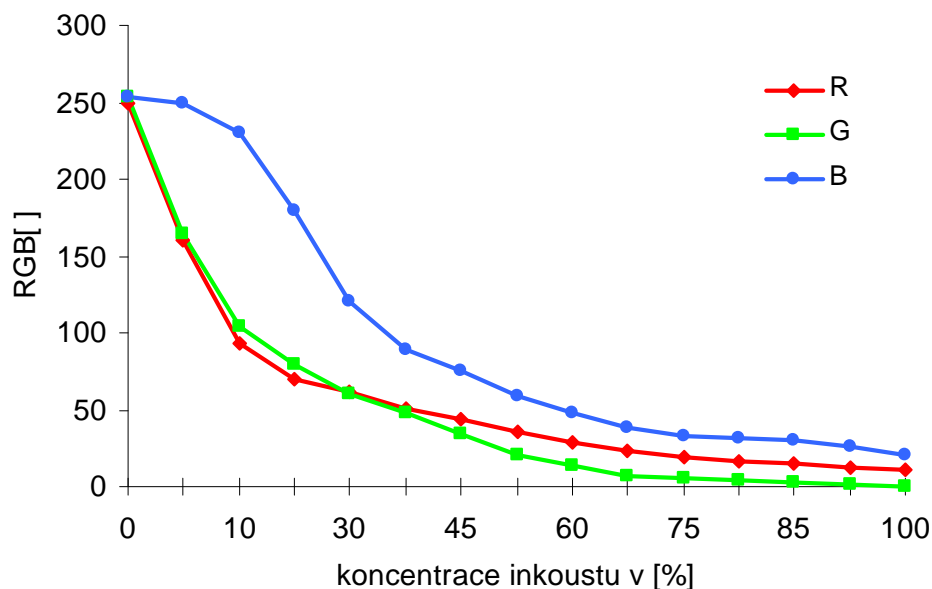
6.2 Výběr vhodného chemického systému

Pro ověření principů sledování změn barevných souřadnic v reálném čase na sestavené měřicí aparatuře byl zvolen inkoust a voda. Inkoust je tmavomodré až černé barvy a vyrábí se z pentahydrátu síranu měďnatého neboli modré skalice. Používá se hlavně v tiskařském průmyslu a je běžně k dostání. Jeho vlastnosti, jak chemické tak fyzikální, se neshodují s vlastnostem hydrolyzátu kolagenu. Pro náš pokus však nebylo zapotřebí najít takovou látku, která by byla chemicky podobná hydrolyzátu kolagenu. Tyto dvě látky byly zvoleny pro jejich vlastnosti, které umožňují snadné promíchání pomocí jednoduchého prvku vloženého do potrubí za spojku Y, kde se inkoust a voda stékají a dochází k smíchání, dále pro rychlé změny barvy a dobrou ředitelnost. Volba látky na které bychom si mohli otestovat funkčnost měřicí sestavené aparatury.

6.3 Identifikace modelu a návrh řízení

6.3.1 Měření závislosti RGB souřadnic na koncentraci inkoustu

Počáteční měření bylo určeno pro otestování funkčnosti nové webové kamery a programu „kamera RH“, bylo zaměřeno na vyhodnocení RGB souřadnic snímaného obrazu. Princip tohoto pokusu spočíval ve stanovení RGB souřadnic na změně koncentrace inkoustu. Čerpadlem PDC 61 se čerpala voda. Jednorázově byl sejmout obraz a odečteny a zapsány hodnoty RGB souřadnic do tabulky. Dále se pokračovalo v měření tak, že do vody byl přidáván inkoust v příslušných poměrech čerpáním čerpadla PDC 21. Tento pokus byl několikrát po sobě zopakován. Výsledky měření jsou znázorněny na obrázku (Obr.27).



Obr. 27. Závislost RGB souřadnic na koncentraci inkoustu.

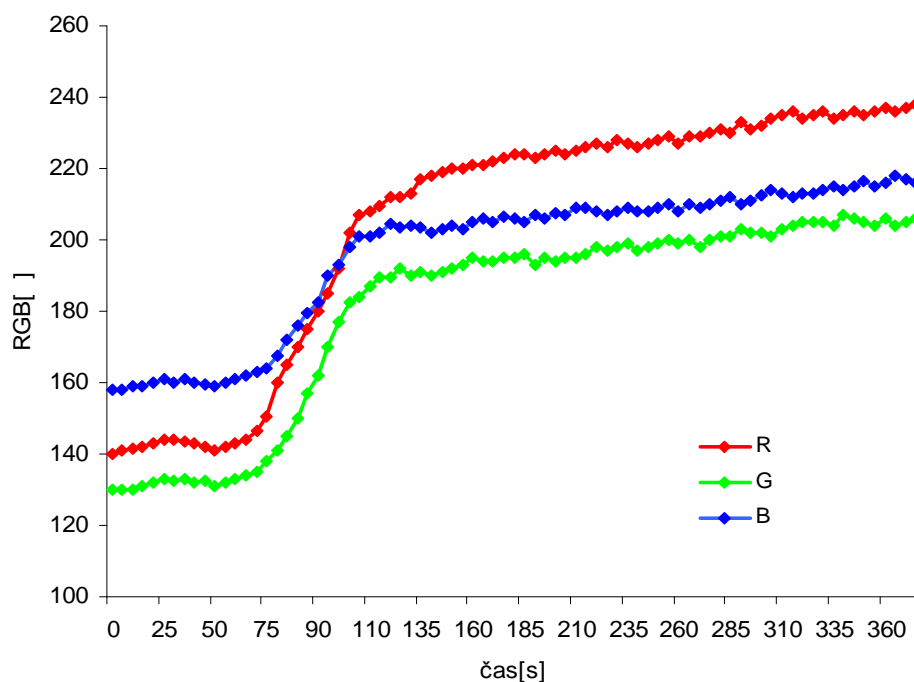
Z výsledku měření vyplývá, že hodnoty RGB souřadnic se mění lineárně do koncentrace asi 10 %. S vyšší koncentrací inkoustu už nedocházelo k takové změně RGB souřadnic. Kapalina už byla natolik tmavá, že se změna hodnot RGB projevovала jen nepatrně. Stejných výsledků měření bylo dosaženo i v použití opačného poměru vody a inkoustu, kde inkoust byl ředěn vodou v příslušných poměrech. Během měření se také ukázalo, že velký vliv na měření mají změny v osvětlení. Tento problém byl však vyřešen pomocí uzavíratelné měřicí komory s náhradním, konstantním osvětlením.

6.3.2 Měření přechodových charakteristik

Sestavená aparatura tvoří jednoduchý regulační obvod, který je tvořen regulátorem (PC) a regulovanou soustavou. Pro správné řízení bylo nutno co nejpřesněji identifikovat regulovanou soustavu. K tomu byly využity přechodové charakteristiky resp. přechodové funkce. Přechodová charakteristika se měří poměrně snadno tím způsobem, že objekt se nejprve uvede do ustáleného stavu a poté vstupní veličinu změníme skokem na jinou hodnotu.

Ke stanovení naší přechodové charakteristiky byl využit modifikovaný program „kamera RH“. V programu byla nastavena doba vzorkování $T_v = 0,5$ s. Vlastní měření potom probíhalo tak, že z jedné nádoby se pomocí peristaltického čerpadla PDC 61 čerpala voda 30 ml/min, tento průtok byl nastaven na ovládacím panelu čerpadla a spuštěn tlačítkem „SET“. Potrubí bylo zaměřeno kamerou, která snímala obraz kapaliny. Z potrubí se kapalina odváděla pryč do odpadní láhve. Po ustálení výstupní veličiny (hodnoty RGB souřadnic), došlo ke skoková změně vstupní veličiny. To znamená, že bylo spuštěno čerpadlo PDC 21, které začalo čerpat inkoust a to 20 ml/min po zvolenou dobu 40 s.

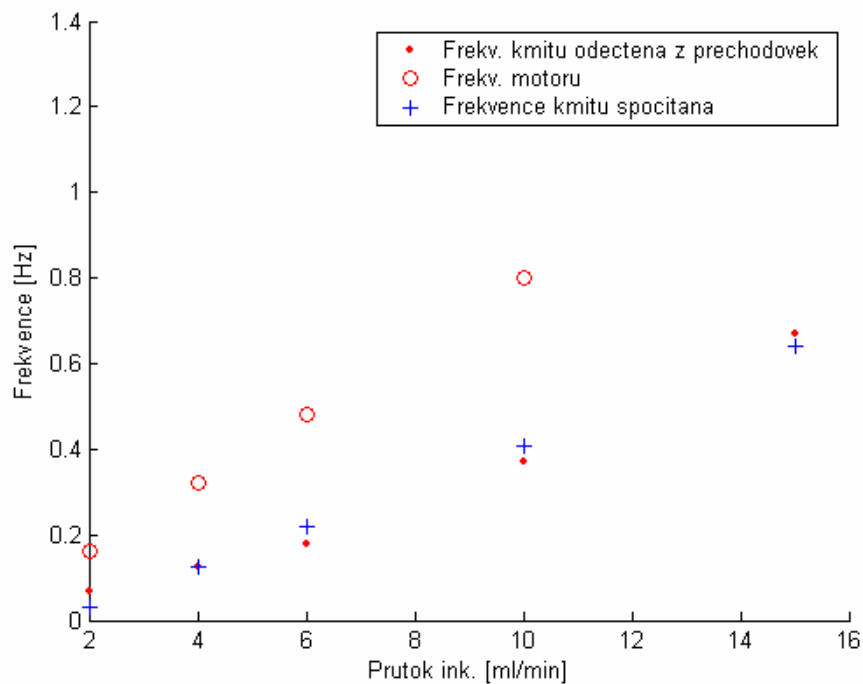
Při prvních měřeních docházelo k problému typu: než došlo k smíchání vody a inkoustu trvalo to určitou dobu v důsledku vzdálenosti mezi čerpadlem a měřeným místem. Bylo rozhodnuto změnit tedy umístění kamery blíže k místu smíchání a vliv dopravního zpoždění snížit. Kamera byla umístěna tak, aby snímala obraz asi 3 cm za spojkou tvaru Y, kde dochází k dobrému promíchání vody s inkoustem přes vložený prvek pro smíchání. Na menším objemu smíšené tekutiny byl znát sebemenší barevný rozdíl s menším dopravním zpožděním. Naměřené přechodové charakteristiky jsou znázorněny na obrázku (Obr. 28). Jedná se o 3 různé křivky představující přechodový děj RGB složek.



Obr. 28. Naměřené přechodové charakteristiky RGB souřadnic.

6.3.3 Frekvence kmitů

Na obrázku (Obr.29) vidíme, závislost frekvence kmitů pozorovaných v přechodových charakteristikách s otáčkami peristaltického čerpadla pro dané průtoky inkoustu 2, 4, 6, 10 a 15 ml/min. Frekvence kmitů souvisí s frekvencí motoru, pro čerpadlo PCD 61 jsou otáčky konstantní, pro čerpadlo PCD 21 se otáčky mění a frekvence roste. Při zvolené periodě vzorkování 0,5 s to odpovídá 2 Hz. Nad touto hranicí už nejsme schopni hodnoty bodů charakteristiky, které by zobrazovaly kmity, zachytit. V našem případě se jednalo o průtoky 15, 20, 25 ml/min.



Obr. 29. Frekvence kmitů.

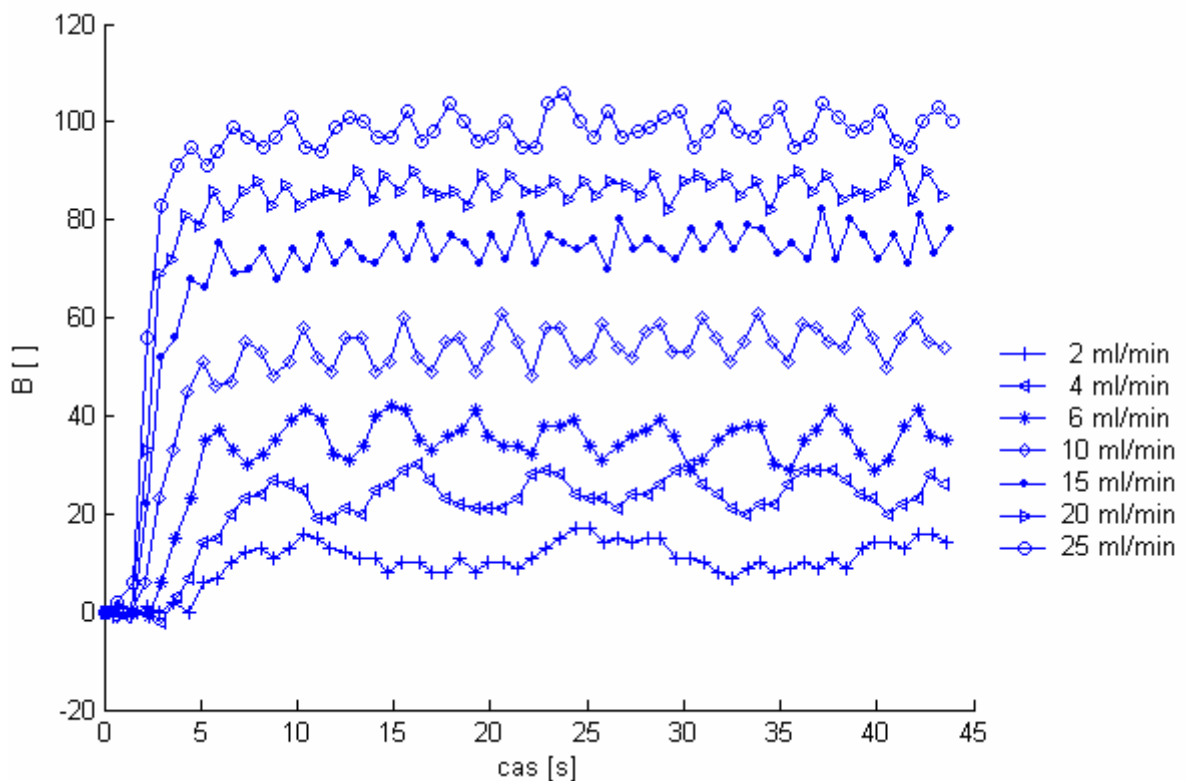
6.3.4 Identifikace přechodové charakteristiky

Pro řízení systému se stanovilo, že bude řízeno pouze jedno čerpadlo a regulována jen jedna složka z RGB modelu. Bylo vybráno čerpadlo PCD 21, které čerpalo inkoust. Z rozboru naměřené přechodové charakteristiky byla zvolena modrá složka pro svou stabilitu oproti původnímu měření kde byla použita zelená složka.

Tab.5. Naměřené hodnoty K , T , T_d pro 1.řád s dopravního zpoždění, při zadaných průtocích inkoustu a průtoku vody 30 ml/min.

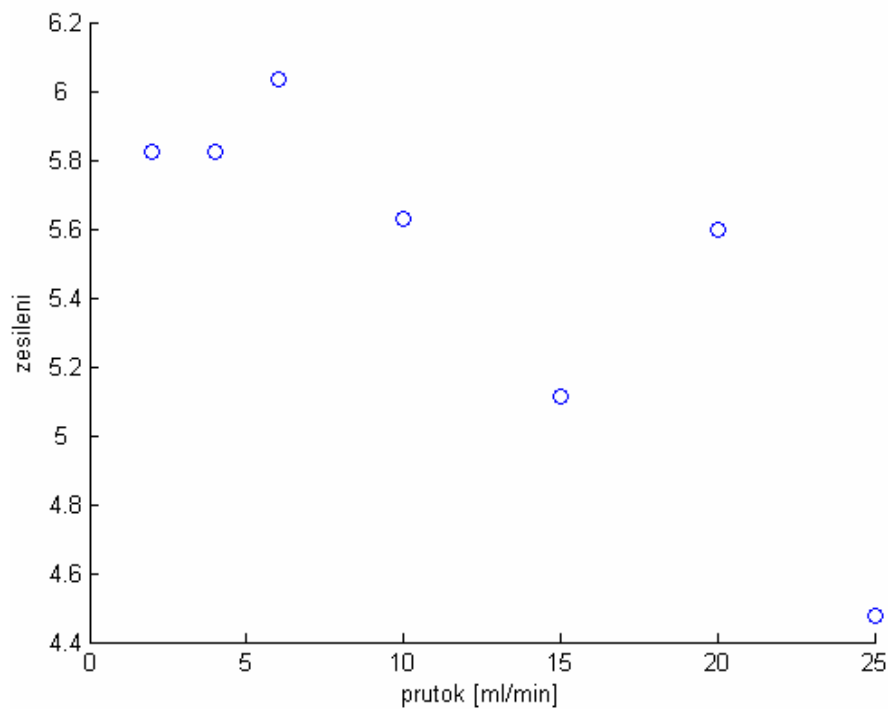
	2 ml/min ink	4 ml/min ink	6 ml/min ink	10ml/min ink	15ml/min ink	20ml/min ink	25ml/mi n ink
K	6,038	6,035	6,020	6,035	5,589	4,379	4,121
T	5,892	5,061	4,316	4,009	3,324	2,785	2,577
T_d	4,9	2,9	2,2	1,9	1,5	1,4	1,3

Naměřená přechodová charakteristika modré složky při průtoku vody 30 ml/min a průtoku inkoustu o 2, 4, 6, 10, 15, 20, 25 ml/min je zobrazena na obrázku (Obr.30). Zde vidíme, že velké průtoky v našem případě šlo o 15, 20, 25 ml/min vytváří přechodové charakteristiky, jejichž body se nesnadno určují (jak bylo již zmíněno v kapitole 6.3.3) a odhady parametrů K , T , T_d můžeme vyčíst z naměřených hodnot v tabulce (Tab.5), vypočtené hodnoty pro jiné průtoky jsou uvedeny v příloze (Příloha 3, 4). Dopravní zpoždění bylo odečteno z časové osy.



Obr. 30. Naměřené přechodové charakteristiky B složky pro dané průtoky inkoustu.

Průtok vody 30 ml/min byl vybrán proto, že zesílení bylo téměř konstantní, hodnoty statické charakteristiky měly nejmenší rozptyl. Dal se zaznamenat lineární průběh, hlavně v prvním úseku pro průtoky inkoustu od 2 do 10 ml/min a v druhém úseku od 10 do 25 ml/min čerpání (Obr.31), charakteristiky pro jiné průtoky jsou uvedeny v příloze (Příloha 2).



Obr. 31. Závislost zesílení K na průtoku inkoustu a vody 30 ml/min.

Přesné určení dynamických vlastností řízeného objektu podle průběhu přechodové charakteristiky je prakticky nemožné. Proto se vyhodnocováním přechodové charakteristiky určuje většinou pouze přibližný (aproximační) přenos objektu. V literatuře zabývající se teorií regulace je popsáno spousta jednoduchých i složitých metod vyhodnocování přechodových charakteristik, lišících se volbou typu aproximačního přenosu a vlastním postupem při vyhodnocování jeho neznámých parametrů.

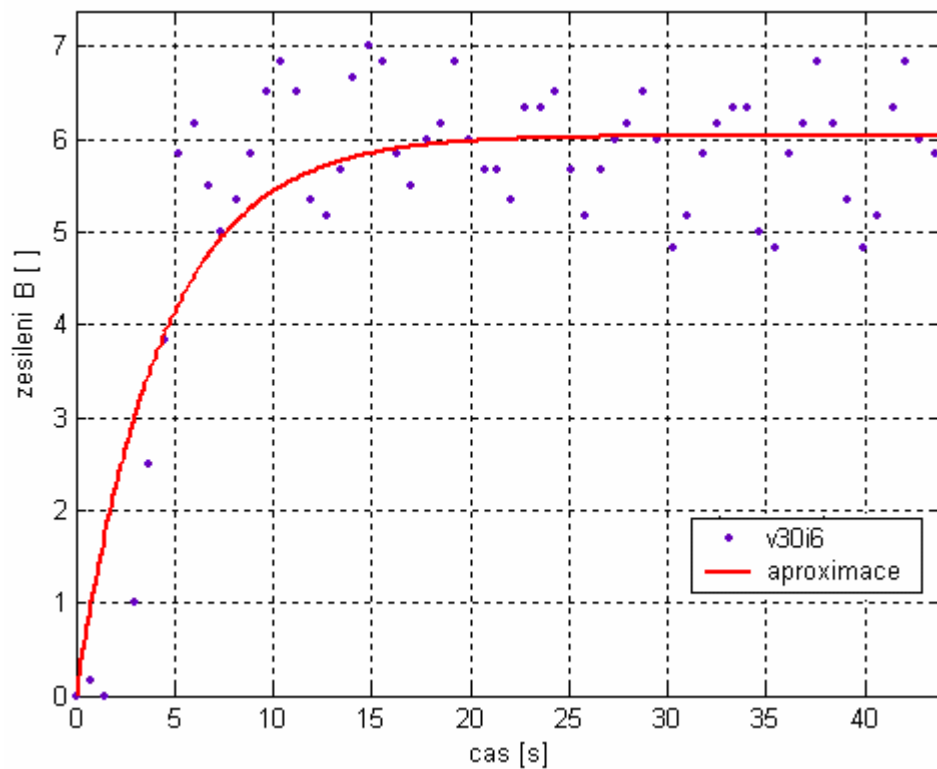
Jestliže se přechodová charakteristika ustálí na konečné hodnotě, jedná se o statickou soustavu. Z obrázku (Obr.28) je patrné, že se pravděpodobně jedná o statickou soustavu. K identifikaci bylo využito pro zjednodušení aproximace statické soustavy prvního a druhého řádu. Nejprve však bylo nutno upravit naměřenou charakteristiku. K tomu bylo

využito programového prostředí MATLAB 6.5., kde bylo provedeno její ořezání a přepočítány hodnoty na jednotkovou změnu. Vše je zobrazeno na obrázku (Obr. 32).

Pomocí nástroje „*CFTOOL*“ v programu MATLAB, jsme proložili naši přechodovou charakteristiku přechodovou normovanou funkcí prvního řádu:

$$y(t) = K \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T_1}}) \quad (7)$$

Parametr K je zesílení a parametr T_1 je časová konstanta soustavy. Výsledek aproximace funkce (7) je vyjádřen na obrázku (Obr. 32) a charakteristiky pro jiné průtoky jsou uvedeny v příloze (Příloha 1).



Obr. 32. Aproximace upravené přechodové charakteristiky 1. řádu.

Vypočítané parametry pro 1.řad

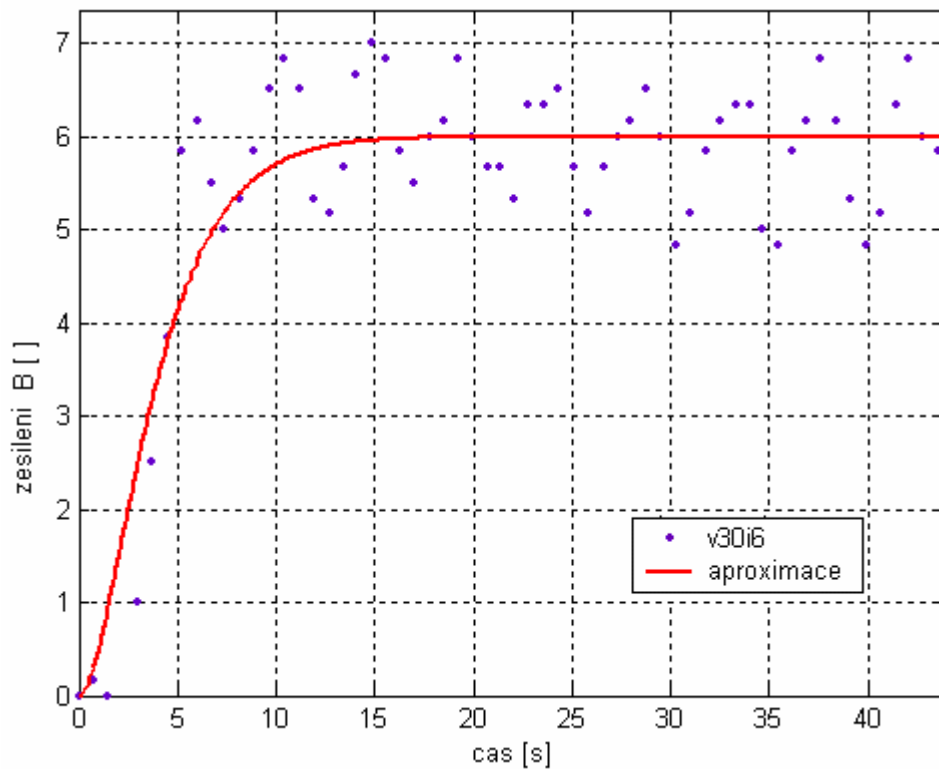
$$K = 6,037$$

$$T = 4,316 \text{ s}$$

Stejným způsobem byla proložena naše přechodová charakteristika přechodovou normovanou funkcí druhého řádu. Toto bylo provedeno pro zopakování postupu podle původního měření, zda tato funkce byla vhodně zvolena. Tuto funkci můžeme vyjádřit vztahem.

$$y(t) = K \cdot \left(1 - \frac{T_1}{T_1 - T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2}{T_1 - T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}\right) \quad (8)$$

Parametr K je zesílení a parametry T_1 a T_2 jsou časové konstanty soustavy. Výsledek aproximace funkce (8) je vyjádřen na obrázku (Obr. 33), charakteristiky pro jiné průtoky jsou uvedeny v příloze (Příloha 1).



Obr. 33. Aproximace upravené přechodové charakteristiky 2. řádu.

Vypočítané parametry pro 2.řad

$$K = 6,035$$

$$T_1 = 2,094 \text{ s}$$

$$T_2 = 2,094 \text{ s}$$

6.3.5 Volba regulátorů

Pro návrh regulátoru bylo použito metod popsaných v teorii automatického řízení. Za první byl použit číslicový PID regulátor s pevně nastavenými parametry pomocí metody Ziegler-Nichols, za druhé byl využit Takahashiho PID regulátor a za třetí PID regulátor Bányász - Keviczky.

kde K_R ... zesílení regulátoru

T_I ... integrační časová konstanta

T_D ... derivační časová konstanta

kde K_R , T_I , T_D , jsou seřiditelnými parametry regulátoru. Pro získání těchto parametrů bylo užito Ziegler-Nicholsovo kritérium, které je v praxi stále používáno. Rovnice pro výpočet akčního zásahu je:

$$u(k) = q_0 e_k + q_1 e_{k-1} + q_2 e_{k-2} + u_{k-1} \quad (9)$$

Rovnice pro výpočet akčního zásahu u Takahashiho PID regulátoru:

$$u(k) = K_R [y(k-1) - y(k)] + K_I [w(k) - y(k)] + K_D [2y(k-1) - y(k-2) - y(k)] + u(k-1) \quad (10)$$

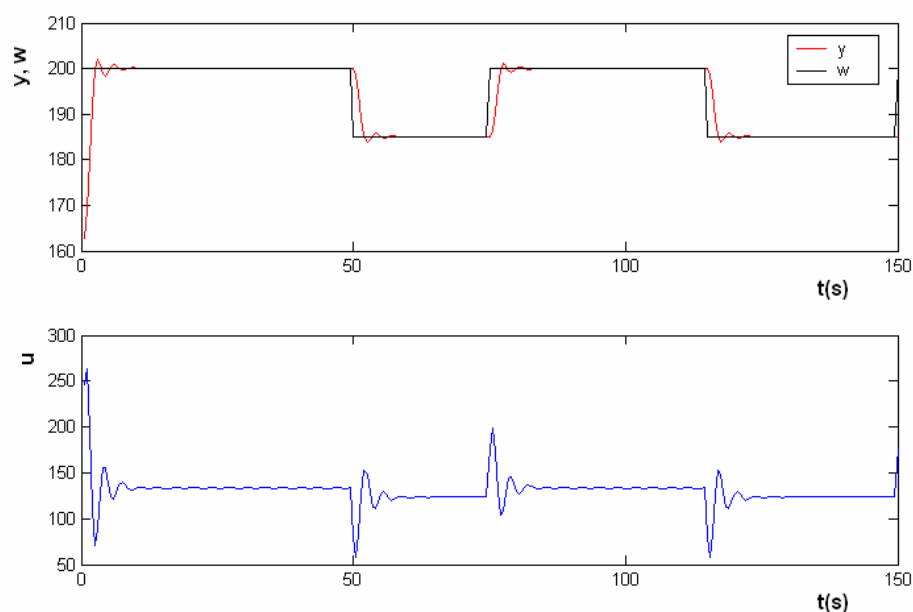
Rovnice pro výpočet akčního zásahu u PID regulátor Bányász - Keviczky:

$$u(k) = q_0 e(k) + q_1 e(k-1) + q_2 e(k-2) + u(k-1) \quad (11)$$

Pro výpočet regulátorů bylo využito vytvořených programů v prostředí MATLAB, které jsou přehledně popsány a podrobně zpracovány pro okamžité použití. Jsou dostupné na webových stránkách UTB, konkrétně na www.utb.cz/stctool.

6.3.6 Simulace modelu

Pro ověření správnosti identifikované soustavy a navrženého regulátoru byla nejprve provedena simulace matematického modelu, pro všechny tři navržené regulátory. Simulace matematického modelu zobrazena na obrázku (Obr. 34). Výstupní veličina $y(t)$ nejprve překmitla žádanou hodnotu $w(t)$, ale pak se rychle ustálila. Na základě toho bylo usouzeno, že námi identifikovaná soustava a navržený regulátor jsou správné.



Obr. 34. Simulace regulace PID regulátoru.

6.3.7 Regulace soustavy

Navržené regulátory byly pak aplikovány na reálnou soustavu. Vlastní pokus byl proveden tak, že čerpadlem PCD 61 byla konstantním výkonem čerpána voda. Proces regulace byl uskutečněn čerpadlem PCD 21. Správné regulace nebylo dosaženo. Byly otestovány tři regulátory a naměřené výsledky neodpovídaly námi požadovaným výsledkům.

Chybu můžeme odhadovat v špatně zvolených regulátorech, identifikaci, případné zhodnocení celého zvoleného měřicího systému. Proto by vyřešení těchto problémů, mohly být předmětem experimentální části navazující diplomové práce.

7 DISKUSE VÝSLEDKŮ

Naším úkolem bylo zopakovat, prověřit, případně vylepšit původní měřicí systém - jeho programové a technické vybavení, vyřešit nedostatky jejím odstraněním, případná eliminace rušivých vlivů, jako bylo například osvětlení. Na základě tohoto požadavku, bylo měření prováděno zvolenou metodou a to za podpory umělého osvětlení v uzavíratelné měřicí komoře, které snížilo negativní vliv výkyvů vnějšího osvětlení a bylo tak dosaženo téměř 100% neměnnosti vnitřního osvětlení. Pak výsledky nevykazovaly výraznější odchylky měření.

Byla provedena modifikace ovládacího programu „*kamera*“ a nahrazena za „*kamera RH*“. Provedené úpravy zvýšily kvalitu programu pro ovládání řízení. Rozšíření programu o funkce pro zobrazení výsledků měření, vhodnější zadávání parametrů pro řízení dvou peristaltických čerpadel, možnost nastavení regulátoru ze seznamu.

Pro ověření principů sledování změn barevných souřadnic v reálném čase na sestavené měřicí aparatuře byl zvolen inkoust a voda. Tyto dvě látky byly zvoleny pro jejich vlastnosti, které umožňují snadné promíchání pomocí jednoduchého prvku vloženého do potrubí za spojku Y, kde se inkoust a voda mísí.

Pro testování schopnosti aparatury k měření a zpracovávání obrazových dat v reálném čase bylo navrženo a naprogramováno automatické řízení založené na regulaci modré složky z modelu RGB snímaného obrazu. Byla řešena problematika přechodových charakteristik, jejich identifikace, aproximace pro námi zvolené průtoky vody 6, 10, 20, 30 ml/min a průtoky inkoustu 2, 4, 6, 10, 15, 20, 25 ml/min, souvislost frekvence kmitů pozorovaných v přechodových charakteristikách s otáčkami peristaltického čerpadla pro dané průtoky inkoustu. Její řešení bylo nutné z hlediska přechodu na další krok, kterým byl návrh regulátorů.

Bylo využito Ziegler-Nicholsovy, Takahashiho, Bányász - Keviczky metody. Perioda vzorkování T_v byla volena experimentálně na základě dynamiky soustavy. Dále byly provedeny simulační pokusy na modelu soustavy a vlastní proces řízení na reálné soustavě. Z naměřených výsledků jsme zjistili, že je nutné dále prověřovat proces řízení pro dosažení kvalitnější regulace.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo zopakovat, prověřit, případně vylepšit původní měřicí systém - jeho programové a technické vybavení. Dosažené výsledky jsou uvedeny výše. Navrhnout aparaturu pro technologii řízení procesu síťování mezi hydrolyzovaným kolagenem a glutaraldehydem pomocí webové kamery jako senzoru, dvou peristaltických čerpadel a programového prostředí MATLAB, uzavíratelné komory s konstantním osvětlením, což bylo splněno.

Celá diplomová práce byla rozdělena na dvě části, kde každá z nich má svůj význam. V první teoretické části, byl popsán současný stav dané problematiky a vysvětlena teorie základních pojmů zpracování obrazových dat pomocí CMOS a CCD senzorů. Druhá praktická část je dána stanovenými cíli diplomové práce, určuje co je třeba splnit k jejímu úspěšnému provedení.

Zde je podrobně řešen zadaný úkol a to zopakovat, prověřit, případně vylepšit původní měřicí systém - jeho programové a technické vybavení, vyřešit nedostatky jejím odstraněním, případná eliminace rušivých vlivů vlastním postupem. Byl proveden návrh a realizace měřicí aparatury. K sestavení měřicí aparatury byla vybrána webová kamera ClickSmart 310, která obsahovala CMOS snímací prvek, zvolená peristaltická čerpadla, uzavíratelná měřicí komora, světelný zářič a program, který byl modifikován z původní jednodušší verze, kde snímá obraz a vyhodnocuje změnu RGB souřadnic.

K otestování funkčnosti a schopnosti k měření obrazových dat v reálném čase byl naprogramován program simulující číslicové PID regulátory a byly provedeny jednoduché regulační pokusy. Simulace proběhla úspěšně. U pokusu o regulaci bylo dosaženo neuspokojivých výsledků, proto nebylo prováděno měření s hydrolyzovaným kolagenem. Výsledky které nebyly žádoucí, však byly přínosem pro určení špatných kroků, z kterých se může v budoucnu vycházet.

Chybu můžeme odhadovat z problematiky identifikace, nelinearity různých průtoků, případně ze zhodnocení celého zvoleného měřicího systému. Proto by řešení těchto problémů mohla být předmětem experimentální části navazující diplomová práce na dané téma se zaměřením především na tyto body:

- a) Zdokonalení regulačních metod, například použitím mnoho-rozměrového popisu systému a jeho následné regulace, využití průběžné identifikace.
- b) Případné nahrazení zvoleného měřicího systému, jeho částí.
- c) Vyzkoušet funkčnost aparatury při síťovací reakci hydrolyzovaného kolagenu, případně jiné látky.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DALEV, P. G., PATIL, R. D. aj. *Biodegradation of chemically modified gelatin films in soil*, JAPS, VOL. 78, P 1341-1347, 2000
- [2] TAYLOR M. M., CABEZA L. F., KOLOMAZNÍK K. et al. *Functional Properties of Hydrolysis Products from Collagen*. Alca, Vol. 93, p. 40 – 50, 1998.
- [3] LAPČÍK, L., RAAB, M. *Nauka o materiálech II*, UTB ve Zlíně, Zlín 2000
- [4] NAVRÁTIL, M., KŘESÁLEK, V. *Využití digitálního fotoaparátu pro sledování stavu síťovací reakce biopolymerů*, Institut informačních technologií, Fakulta technologická, UTB ve Zlíně
- [5] PETERKOVÁ, P., LAPČÍK, L. *Kolagen - vlastnosti, modifikace a aplikace*, Chem. Listy 94, 371 - 379 (2000)
- [6] ZÁMORSKÝ, Z., PEŇÁZOVÁ, L. *Možnosti síťování hydrolyzátu chromochiněných usní*, Průběžná zpráva, VUT Brno, Fakulta technologická ve Zlíně, Zlín, 1995
- [7] *Barva jako kartografie* [online]. [cit. 2005-01-12]. Dostupný z WWW: <http://www.geogr.muni.cz/vyuka/KartGeoinf.pdf>
- [8] ZMEŠKAL, O., NEŽÁDAL, O. *Metody obrazové analýzy dat*.
- [9] *CCD senzory* [online]. [cit. 2005-10-29]. Dostupný z WWW: <http://nwit.pedf.cuni.cz/litoj8yz/pc4web/ccd.htm>
- [10] KREIDL M. *Senzory*, ČVUT, Praha 1993
- [11] HRUŠKA F. *technické prostředky automatizace III.*, UTB ve Zlíně, Zlín 2002
- [12] *CMOS* [online]. [cit. 2004-05-11]. Dostupný z WWW: <http://diginet.cz/cojeto/cmos/cmos.html>
- [13] PROKOP, R. *Teorie automatického řízení I, II*.
- [14] BALÁTĚ, J. *Automatické řízení*, BEN- technická literatura, Praha 2003
- [15] BOBÁL, V., BÖHM, J., PROKOP, R., FESSL, J. *Praktické aspekty samočinně se nastavujících regulátorů: algoritmy a implementace*, VUT v Brně, Brno 1999
- [16] FRADEN, J. *Handbook of Modern Sensore: Physics, Designs, and Applications* New York 1996
- [17] SHEVEL, S. *The science of colors*, Elsevier 2003
- [18] NAVRÁTIL M. *Instrumentace a zpracování signálů při měření kinetiky síťovacích reakcí pomocí impedanční spektroskopie*. Diplomová práce, UTB ve Zlíně 2002

- [19] ZDRÁHAL, T. *Návrh aparatury pro řízení procesu síťovací reakce hydrolyzovaného kolagenu*. Diplomová práce, UTB ve Zlíně, Fakulta technologická 2005

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AMK	aminokyselina
GLU	glutaraldehyd
CCD	charge coupled devices
CMOS	complementary metal oxide semiconductor
RGB	red/červená, green/zelená, blue/modrá
CMYK	cyan/ tyrkysově, magenta/purpurová, yellow/žlutá, black/černá
APS	active pixel senzor
PPS	pasive pixel senzor
GUI	graphical user interface
$h(t)$	Přechodová funkce
T_v	perioda vzorkování
K	zesílení soustavy
T_1, T_2	časové konstanty soustavy
$G(s)$	přenos soustavy
$u(t)$	akční veličina
$e(t)$	odchylka
$w(t)$	žádaná veličina
$y(t)$	výstupní veličina
K_R	zesílení regulátoru
K_{pk}	kritické zesílení regulátoru
T_k	kritická perioda kmitů regulátoru
T_I, T_D	integrační a derivační časové konstanty regulátoru
ω_k	kritická frekvence
φ	fázový posun

A_k	kritické zesílení
$\hat{\theta}^{(k)}$	vektor odhadu parametrů
$e(k)$	pomocný skalár
$\xi(k-1)$	chyba predikce
$\varphi(k)$	hodnota adaptivního zapomínání
$C(k)$	kovarianční matice
$\eta(k),$ $\lambda(k)$	$v(k),$ pomocné proměnné

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Změna červené barvy během reakce.	13
Obr. 2. Změna zelené barvy během reakce.....	13
Obr. 3. Změna modré barvy během reakce.....	14
Obr. 4. Barevné spektrum.	15
Obr. 5. Míchání barev.	16
Obr. 6. RGB a CMY barevný prostor – jednotková krychle.	17
Obr. 7. CCD sensor.....	19
Obr. 8. Full Well Capacity.....	19
Obr. 9. Blooming.	20
Obr. 10. Bayerovo schéma.....	20
Obr. 11. Prokládaný scan.....	21
Obr. 12. Neprokládaný scan.	22
Obr. 13. Princip záznamu obrazu.....	22
Obr. 14. Super CCD senzor.	23
Obr. 15. CMOS prvek.....	24
Obr. 16. Spektrální závislosti citlivost elementů obvodu	25
Obr. 17. Technologická karta PCI-1711.....	30
Obr. 18. Peristaltická čerpadla PCD 21, PCD 61.	32
Obr. 19. Webcam Logitech ClickSmart 310.....	33
Obr. 20. Grafické prostředí MATLABu 6.5.	34
Obr. 21. Měřicí plocha.....	36
Obr. 22. Světelný zářič.	37
Obr. 23. Sestavená měřicí aparatura.	37
Obr. 24. Změna hodnot RGB v závislosti na světle.....	38
Obr. 25. Ovládací program „kamera RH“.	39
Obr. 26. Hlavní nabídka programu WebCam2000.	41
Obr. 27. Závislost RGB souřadnic na koncentraci inkoustu.	43
Obr. 28. Naměřené přechodové charakteristiky RGB souřadnic..	44
Obr. 29. Frekvence kmitů.	45
Obr. 30. Naměřené přech.charakteristiky B složky pro dané průtoky ink.	46
Obr. 31. Závislost zesílení K na průtoku inkoustu a vody 30ml/min.....	47

Obr. 32. Aproximace upravené přechodové charakteristiky 1. řádu	48
Obr. 33. Aproximace upravené přechodové charakteristiky 2. řádu	49
Obr. 34. Simulace regulace PID regulátoru.....	51

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Strukturní hierarchie kolagenu a přiřazené obory použití	11
Tab. 2. Procentuální zastoupení hlavních AMK v kolagenu a v hydrolyzátu	11
Tab. 3. Hodnoty jednotlivých barev	17
Tab. 4. Vlastnosti peristaltických čerpadel.....	32
Tab. 5. Naměřené hodnoty K, T, Td pro průtok vody 30 ml/min.....	46

SEZNAM PŘÍLOH

P I Aproximovaná přechodová charakteristika B složky pro průtok vody 30ml/min.

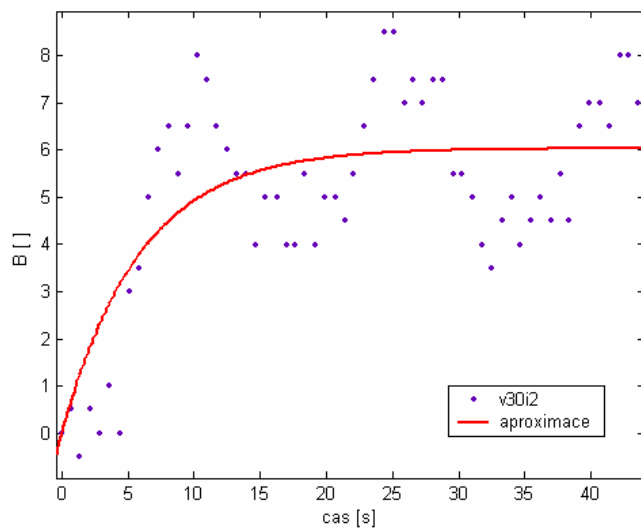
P II Závislost zesílení K na průtoku inkoustu a vody.

P III Tabulky hodnot K, T, Td přechodových charakteristik.

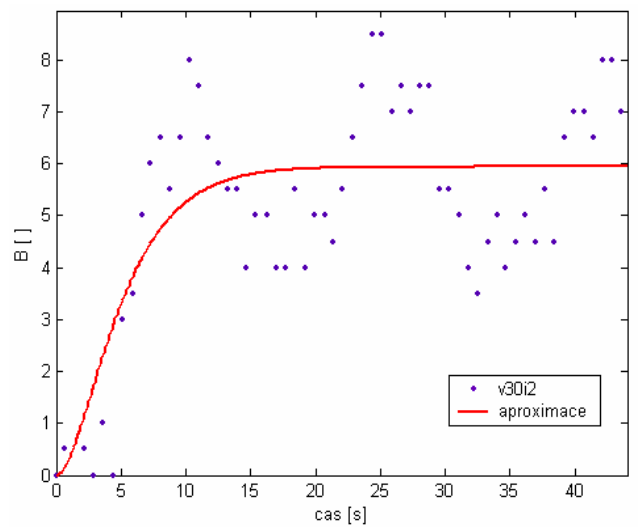
P IV Grafy hodnot K, T, Td přechodových charakteristik.

PŘÍLOHA P I: APROXIMOVANÁ PŘECH. CHARAKTERISTIKA B SLOŽKY PRO PRŮTOK VODY 30 ML/MIN.

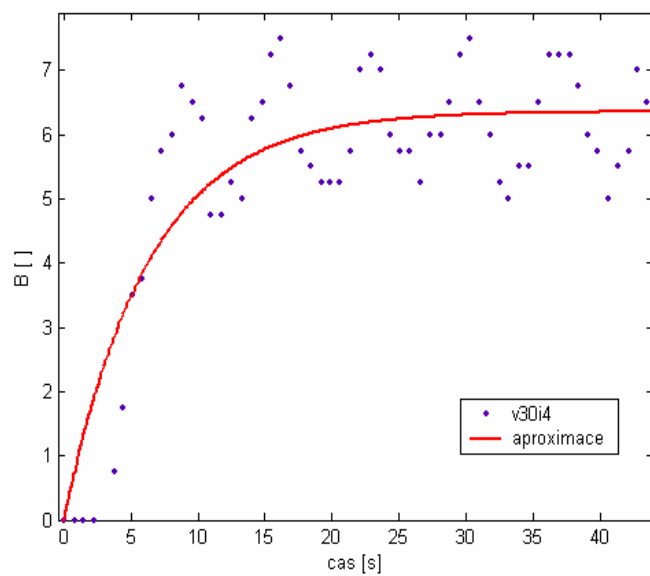
1. Řádu



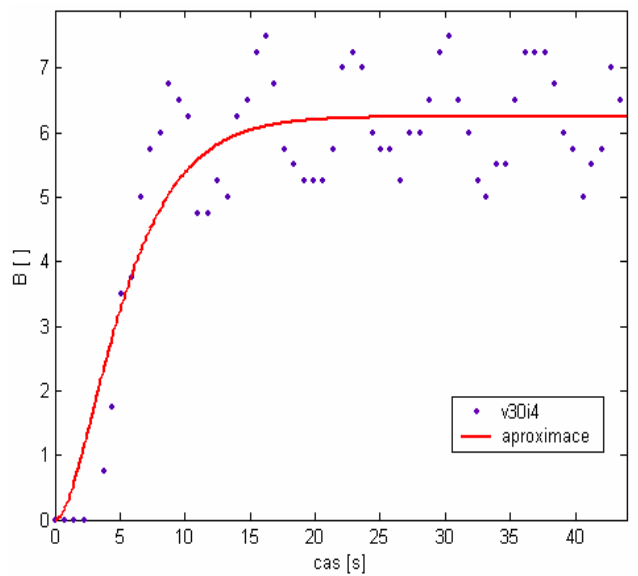
2.Řádu



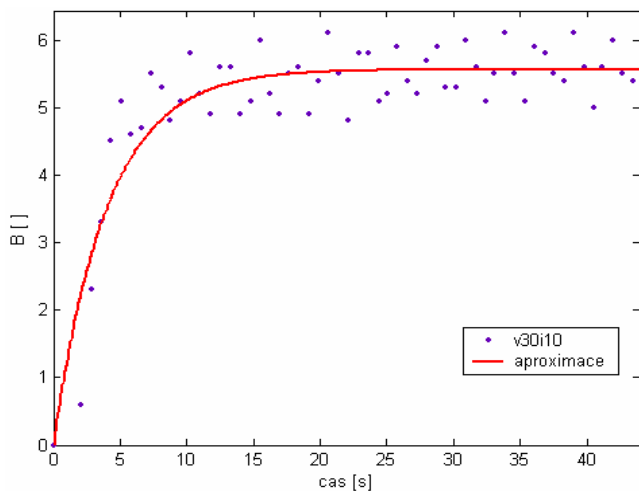
1. Řádu



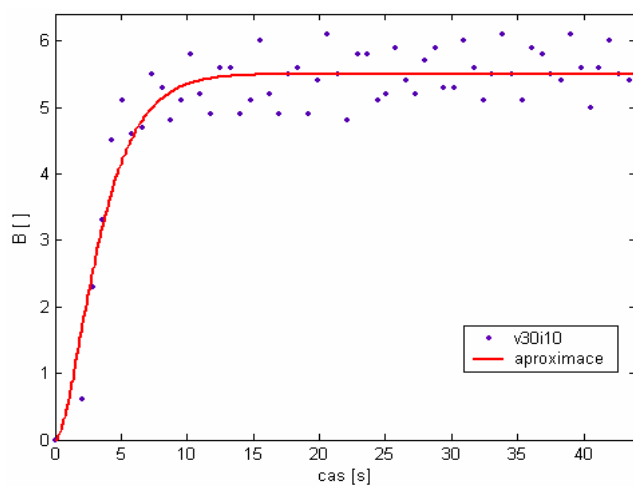
2.Řádu



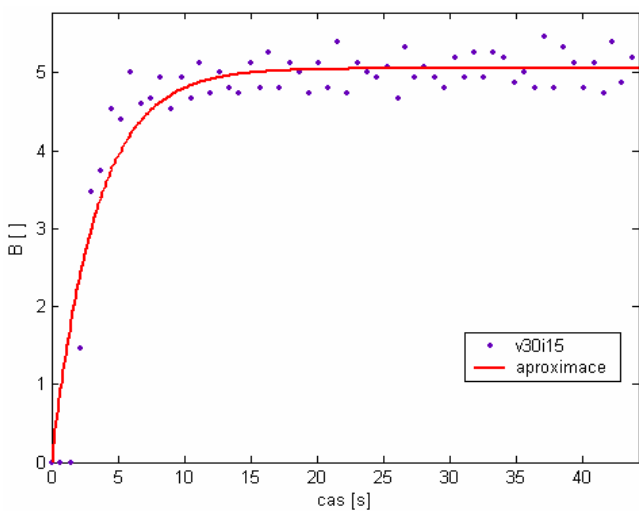
1. Řádu



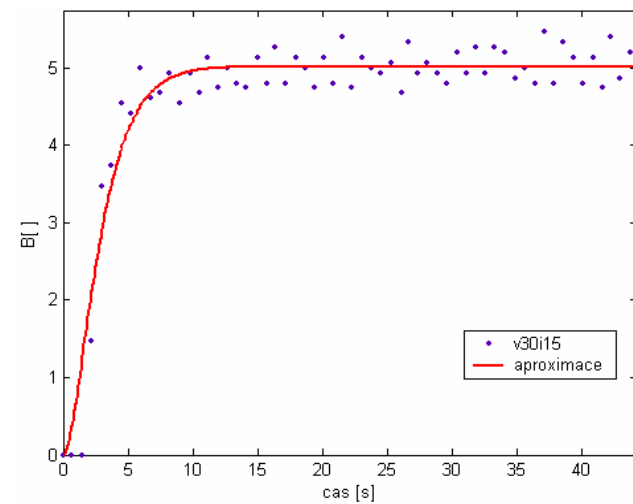
2.Řádu



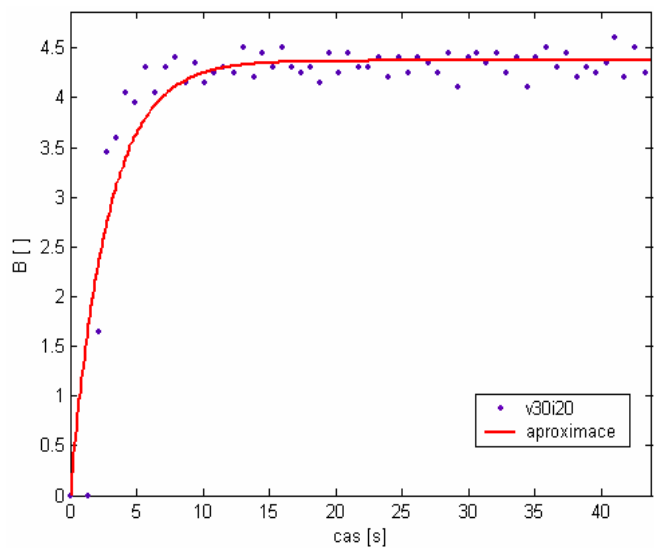
1. Řádu



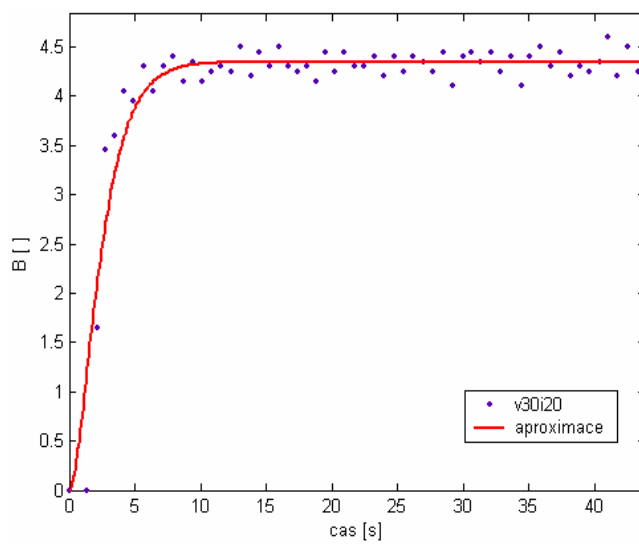
2.Řádu



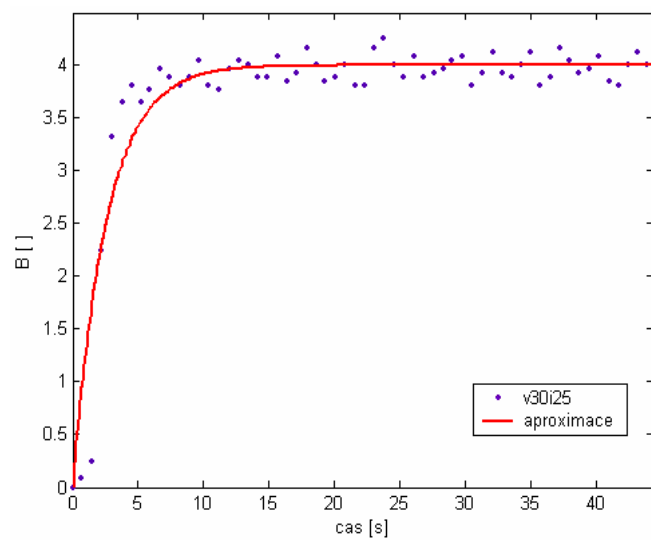
1. Řádu



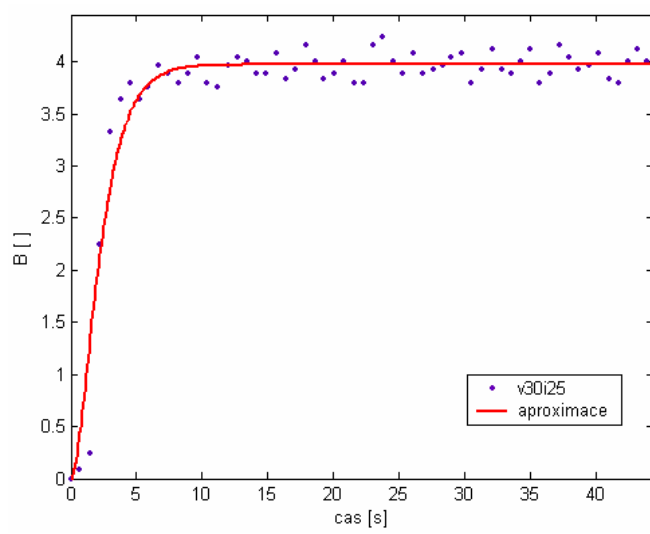
2.Řádu



1. Řádu

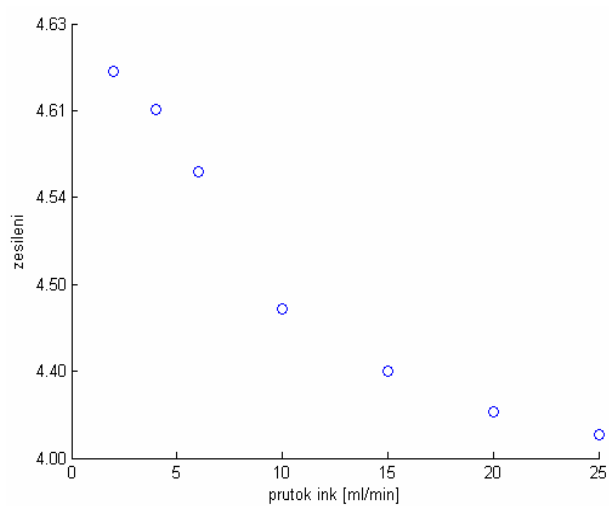


2.Řádu

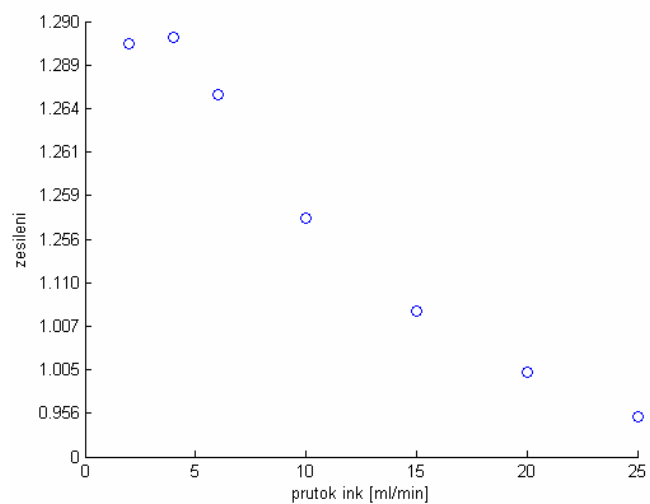


PŘÍLOHA P II: ZÁVISLOST ZESÍLENÍ K NA PRŮTOKU INKOSTU A VODY

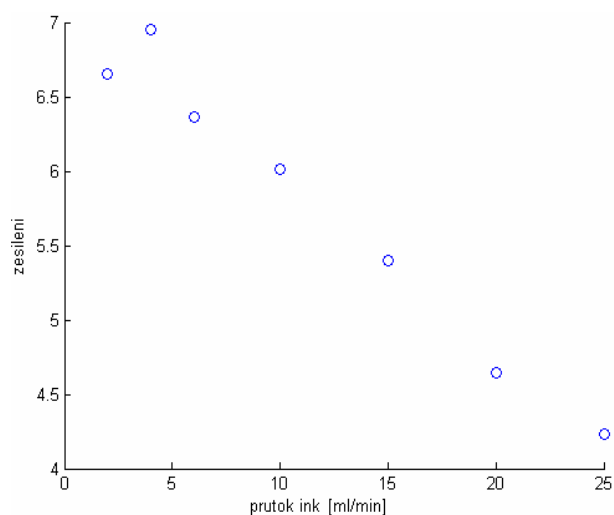
Průtok vody 6ml/min



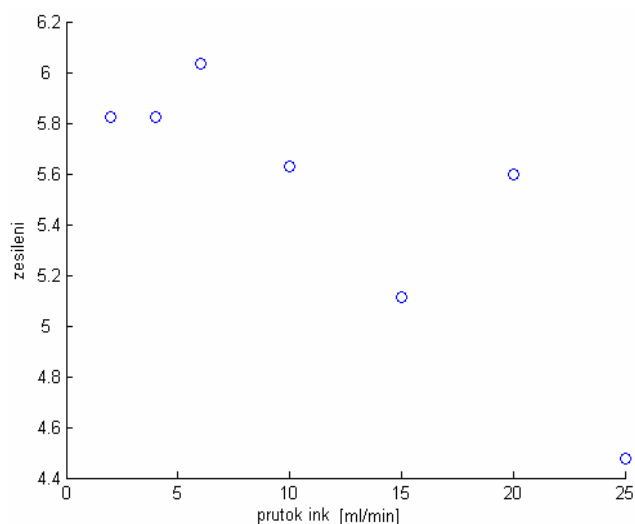
Průtok vody 10 ml/min



Průtok vody 20 ml/min



Průtok vody 30 ml/min



PŘÍLOHA P III: TABULKY HODNOT K , T , T_d PŘECHODOVÝCH CHARAKTERISTIK

Tab: Naměřené hodnoty K , T , T_d pro 1.řád s dopravního zpoždění, při zadaných průtocích inkoustu a průtoku vody 6 ml/min,

	2 ml/min ink	4 ml/min ink	6 ml/min ink	10ml/mi n ink	15ml/mi n ink	20ml/mi n ink	25ml/mi n ink
K	4,621	4,614	4,609	4,470	4,437	4,423	4,080
T	19,781	10,054	7,801	4,215	2,703	1,369	0,8532
T_d	15	9,5	6,8	5,2	3,7	2,9	2,1

Tab: Naměřené hodnoty K , T , T_d pro 1.řád s dopravního zpoždění, při zadaných průtocích inkoustu a průtoku vody 10 ml/min.

	2 ml/min ink	4 ml/min ink	6 ml/min ink	10ml/mi n ink	15ml/mi n ink	20ml/mi n ink	25ml/mi n ink
K	1,289	1,235	1,264	1,256	1,007	1,005	0,956
T	4,985	4,139	3,121	1,771	1,318	0,693	0,488
T_d	9,8	5,1	4,3	2,7	2,4	2,3	1,8

Tab: Naměřené hodnoty K , T , T_d pro 1.řád s dopravního zpoždění, při zadaných průtocích inkoustu a průtoku vody 20 ml/min.

	2 ml/min ink	4 ml/min ink	6 ml/min ink	10ml/mi n ink	15ml/mi n ink	20ml/mi n ink	25ml/mi n ink
K	6,744	6,931	6,454	6,101	5,409	4,665	4,301
T	3,391	3,390	3,201	3,200	3,118	3,034	3,006
T_d	5,1	2,1	1,5	1,4	1,3	0,65	0,41

Tab: Naměřené hodnoty K, T, Td pro 1.řád s dopravního zpoždění, při zadaných průtocích inkoustu a průtoku vody 30 ml/min.

	2 ml/min ink	4 ml/min ink	6 ml/min ink	10ml/mi n ink	15ml/mi n ink	20ml/mi n ink	25ml/mi n ink
K	6,038	6,035	6,020	6,035	5,589	4,379	4,121
T	5,892	5,061	4,316	4,009	3,324	2,785	2,577
Td	4,9	2,9	2,2	1,9	1,5	1,4	1,3

PŘÍLOHA P IV: GRAFY HODNOT K , T , Td PŘECHODOVÝCH CHARAKTERISTIK

