

Řízení dvou peristaltických čerpadel v technologickém procesu mísení dvou tekutin

Control of two peristaltic pumps in the technological process of mixing
two liquids

Bc. Aleš Bitala

Diplomová práce
2007



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav automatizace a řídicí techniky

akademický rok: 2006/2007

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Aleš BITALA**

Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**

Studijní obor: **Automatické řízení a informatika**

Téma práce: **Řízení dvou peristaltických čerpadel
v technologickém procesu mísení dvou tekutin**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši popisující současný stav dané problematiky.
2. Seznamte se s již sestaveným měřicím systémem na bázi CCD senzoru, dvou peristaltických čerpadel a programového prostředí MATLAB
3. Vyberte vhodný systém pro ověření principů sledování změn barevných souřadnic v reálném čase a provedte základní měření.
4. Daný systém identifikujte a navrhnete vhodný regulátor pro řízení otáček čerpadla.
5. Navrhnete koncepci laboratorní úlohy do předmětu "Zpracování signálů".
6. Vyhodnoťte výsledky experimentů a navrhnete možnosti pokračování resp. vhodnost této metody pro oblast zkoumání kinetiky síťovací reakce hydrolyzovaného kolagenu

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. BALÁTĚ, Jaroslav: Automatické řízení. Praha : Nakladatelství BEN, 2003, 663 s. ISBN 80-7300-020-2.
2. VÍTEČEK, A. SMUTNÝ, L. KUSYN, J.: Teorie automatického řízení III. Základní pojmy a řešené příklady z nelineární regulace. Ostrava: FSE VŠB v Ostravě, 1988.
3. RAZÍM, M., ŠTECHA, J.: Nelineární systémy. Praha: FE ČVUT v Praze, 1997, 204 s. ISBN 80-01-01663-3.
4. STEVEN K. SHEVEL: The science of color, 2nd edition, Elsevier, 2003.
5. RIEKE, George: Detection of light. 2nd edition: Cambridge university press, 2003.
6. JACOB, Fraden: "Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications", 2nd ed. New York, Springer Verlag, 1996.
7. ZAPLATÍLEK, K., DOŇAR, B.: MATLAB – tvorba uživatelských aplikací. 1. vyd. Praha : BEN – technická literatura, 2004.
8. SEDLÁČEK, M., ŠMÍD, R.: MATLAB v měření. 1. vyd. Praha : ČVUT, 2005.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Milan Navrátil

Ústav elektrotechniky a měření

Datum zadání diplomové práce:

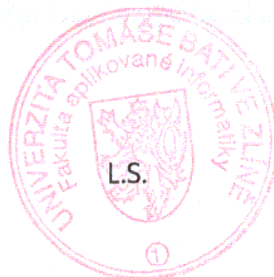
13. února 2007

Termín odevzdání diplomové práce:

24. května 2007

Ve Zlíně dne 13. února 2007

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Cílem této práce bylo ověření principu řízení dvou peristaltických čerpadel v technologickém procesu mísení dvou tekutin za použití CCD senzoru. Za tímto účelem byl sestaven laboratorní model, umožňující měření a regulaci zvolené RGB složky. Samotná regulace je realizována pomocí PC vybaveného technologickou kartou. Uživatelský software byl vytvořen v prostředí Matlab. Na sestaveném modelu byla provedena identifikace a návrh vhodného regulátoru.

Klíčová slova: peristaltická čerpadla, CCD

ABSTRACT

The aim of this thesis is to confirm the principle of the control of two peristaltic pumps in the technological process of mixing two liquids using the CCD sensor. A laboratory model has been made for measurement and control of the selected RGB component. The regulation itself is done by PC equipped with appropriate PCI card. This model also served for the identification of the process and the proposal of an apt controller. The user software is created in Matlab environment

Keywords: peristaltic pumps, CCD

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Milanu Navrátilovi za cenné připomínky, věnovaný čas a trvalý zájem.

Prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....
Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 TEORIE BAREV	10
1.1 BAREVNÉ MODELY	10
1.2 MĚŘENÍ BARVY	11
2 CCD,CMOS	13
2.1 VYUŽITÍ MODERNÍCH OBRAZOVÝCH SNÍMAČŮ V AUTOMATIZACI	16
2.1.1 Detektory barvy.....	16
2.1.2 Kamerové senzory.....	17
3 VYUŽITÍ CCD SNÍMAČE PŘI ZKOUMÁNÍ SÍŤOVACÍ REAKCE HYDROLYZOVANÉHO KOLAGENU	20
3.1 KOLAGEN	20
3.2 SÍŤOVÁNÍ HYDROLYZÁTU KOLAGENU	20
II PRAKTICKÁ ČÁST	23
4 PROSTŘEDKY PRO REALIZACI:	24
4.1 HARDWAROVÉ VYBAVENÍ	24
4.1.1 Řídící počítač	24
4.1.2 Technologická karta	24
4.1.3 Peristaltická čerpadla	25
4.1.4 Snímací kamera	25
4.2 SOFTWAREOVÉ VYBAVENÍ	26
5 SESTAVENÍ MĚŘICÍHO SYSTÉMU	27
5.1 VOLBA SYSTÉMU PRO OVĚŘENÍ PRINCIPŮ SLEDOVÁNÍ ZMĚN BAREVNÝCH SOUŘADNIC	29
5.2 UŽIVATELSKÝ SOFTWARE	29
5.2.1 Popis uživatelského programu kamera.....	30
5.2.2 Popis ovládacích prvků programu.....	31
5.2.3 Webcam2000.....	33
5.3 IDENTIFIKACE.....	33
5.4 NÁVRH ŘÍZENÍ.....	36
5.4.1 Metoda požadovaného modelu	36
5.4.2 Průběžná identifikace	37
6 NÁVRH KONCEPCE LABORATORNÍ ÚLOHY DO PŘEDMĚTU „ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLŮ“	41
7 DISKUSE VÝSLEDKŮ	43
ZÁVĚR	45
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	46

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	48
SEZNAM OBRÁZKŮ	50
SEZNAM TABULEK.....	51
SEZNAM PŘÍLOH.....	52

ÚVOD

Díky velkému pokroku ve vývoji CCD a CMOS snímačů, rostoucí kvalitě všech jejich parametrů a klesajícím cenám, se čím dál častěji setkáváme s jejich využitím v oblasti automatizace. Jsou používány v aplikacích, kde nevystačíme s běžnými optickými senzory, či senzory přiblížení. Je tak možné automatizovat procesy, které se dříve neobešly bez přítomnosti člověka. Na bázi CCD a CMOS senzorů jsou realizovány detektory barev, schopné například třídit výrobky s různobarevnými potisky na dopravních pásech, nebo sledovat barevné odchylky produktu a zpětnou vazbou regulovat výrobu. Se vzrůstajícím výkonem výpočetní techniky, její integrace do průmyslových senzorů a také s rozvojem moderních algoritmů pro vyhodnocení obrazu se objevují stále dokonalejší systémy schopné nejen rozpoznat barvu, ale také konkrétní tvar, či text umožňují tak regulaci na základě podmětů, které by nebylo možné sledovat žádným jiným typem senzoru .

Tato práce se zabývá ověřením principu sledování barevné změny při mísení dvou tekutin pomocí CCD snímače a následné regulace čerpadel za účelem dosažení požadované barvy. Tento systém by se mohl uplatnit při zkoumání kinetiky síťovací reakce hydrolyzovaného kolagenu. Průběh síťovací reakce byl doposud měřen pomocí dielektrické spektroskopie. Pokusy však ukázaly, že během reakce dochází k barevným změnám, které by bylo možné vyhodnocovat právě pomocí CCD snímače.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TEORIE BAREV

Světlo lze z fyzikálního hlediska chápat jako vlnění v oblasti 10^8 MHz. Každá barva odpovídá určité frekvenci. Rozsah člověkem vnímatelných barev je od červené ($4,3 \times 10^8$ MHz) až po fialovou ($7,5 \times 10^8$ MHz). Nižší hodnoty odpovídají infračervenému světlu, vyšší ultrafialovému záření. V rámci viditelné části spektra je člověk schopen rozlišit víc než 4×10^5 různých barev a jejich odstínů. Existují tzv. komplementární barvy, jejichž složením vznikne bílé světlo. Barevné modely určují, ze kterých základních barev se budou ostatní skládat, jaký bude poměr jednotlivých základních barev a jakým způsobem se budou základní barvy míchat.[5]

1.1 Barevné modely

Aditivní barevný model:

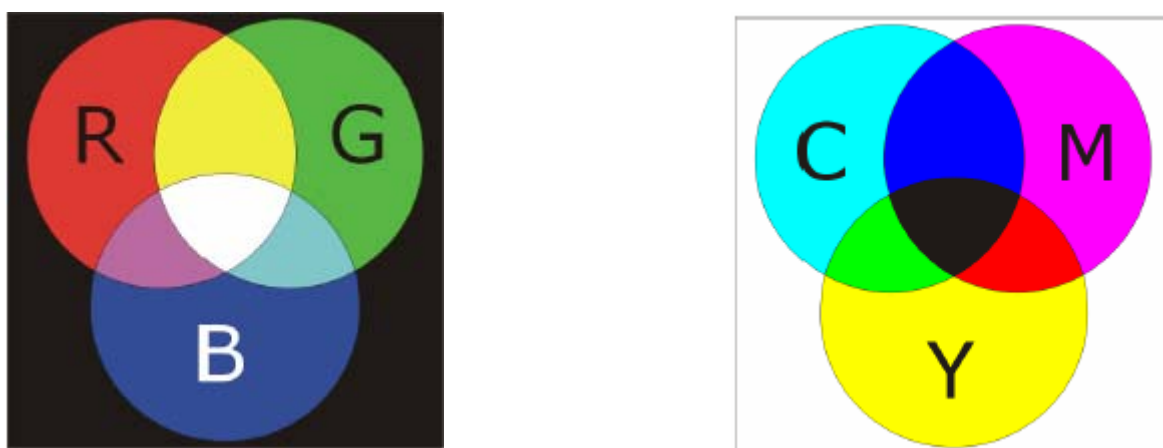
Pracuje na principu přidávání barev do černé. Typický aditivní model je RGB — Red, Green, Blue (červená, zelená, modrá). Aditivní barevné prostředí nepotřebuje vnější světlo. Z tohoto důvodu je využíván u počítačové grafiky a zobrazení na monitoru. Pokud splynou barvy získané ze světelných zdrojů, dojde k takzvanému aditivnímu míchání. Při tomto typu míchání barev platí, že maximální intenzita všech světél dá bílou barvu a naopak vypnutí všech světél tvoří černou (černou barvu tím pádem netvoří zdroj světla, ale barva podložky). Je zřejmé, že se na výsledné barvě promítne i okolní světlo – například barvy na monitoru budou vypadat jinak za umělého osvětlení nebo za úplného slunečního světla. Proto je důležité, aby pracoviště, kde se provádějí barevné korekce bylo stabilně světelně osvětleno.

V teoretickém modelu RGB lze intenzitu barev měnit spojitě a vytvářet tak velmi široké spektrum barev. Prakticky se ale intenzity červené, zelené a modré nastavují v rozsahu 256 odstínů, od 0 do 255, což jsou hodnoty, které lze uložit do jednoho bajtu. Libovolnou barvu z RGB barevného model tak lze vyjádřit pomocí tří bajtů [5], [6].

Subtraktivní barevný model:

Subtraktivní prostředí je prostředí, které odráží světlo, a proto potřebuje vnější zdroj světla. Jakákoliv předloha zobrazená na papíře je příkladem subtraktivního modelu. Základní barvy jsou odečítány od bílého světla, čím více odečtu, tím více se blížím černé. Typický subtraktivní model je CMY — Cyan, Magenta, Yellow (tyrkysová, fialová, žlutá). Další

možnou variantou je model CMY(K), kde je přidána ještě černá barva. V praxi je použití CMY modelu problematické. Navíc přidání černé barvy omezí celkové množství nanášených barev a dodá obrazu hloubku. Tím, že je ale černá barva přidána navíc, vnáší se do modelu CMYK neurčitost – je třeba nastavit, kolik černé barvy se má přidávat. Barevný model CMYK je používán především tam, kde se barvy nanášejí (typicky ofsetový tisk, nebo inkoustové tiskárny). Subtraktivní míchání barev pracuje s odraženým a absorbovaným světlem, proto velmi záleží na jeho zdroji [5], [6].



Obr.: 1 míchání barev RGB a CMY

1.2 Měření barvy

„Měření barvy“ je prakticky nemožné, protože barva vzniká pouze jako vjem v mysli pozorovatele. Měřitelný je pouze vstupní stimul – tj. světlo vstupující do oka pozorovatele a vytvářejícího vněm určité barvy. Reakci, jakou tento stimul vyvolá, můžeme pouze odvozovat na základě našich zkušeností. K měření interpretovaných pozorovateli jako barva se používají tři základní typy přístrojů. Princip činnosti je u všech typů shodný: přístroje vyzařují světlo s přesně definovanou spektrální charakteristikou na povrch objektu či skrz něj a následně se pomocí detektorů snaží změřit to světlo, které bylo povrchem odraženo či jím prošlo. Přitom detektorem je pouhý čítač fotonů, neboť detektor není schopen určit vlnovou délku počítaných fotonů. Pro zjištění vlnové délky je proto nutné, aby přístroj prováděl ještě i filtrování světla dopadajícího na detektor. Hlavní rozdíly mezi uvedenými typy přístrojů, kterými jsou denzitometry, kolorimetry a spektrometry, pak spočívají v počtu a typu použitých filtrů a citlivosti jejich detektorů.

Denzitometry

Slouží k měření hustoty, tj. míry, s jakou odrazný povrch absorbuje světlo či propustný povrch propouští. Denzitometry neměří hustotu přímo. Namísto toho přístroje měří poměr intenzity světla dopadajícího na povrch či jím procházejícího a světla dopadajícího do detektoru přístroje. Tento poměr se pak nazývá odrazivostí (R) či propustností (T), a to v závislosti na tom, zda se přístrojem měří povrchy odrazivé (např. papír či inkoust) nebo povrchy propustné (např. film). Při měření denzitometry se používají filtry, jejichž barva odpovídá barvě měřeného materiálu. To znamená, že do detektoru dopadá neutrální šedé světlo.

Kolorimetry

Měří světlo procházející pře filtry napodobující reakci různých typů čípků v lidském oku. Výsledkem jsou číselné hodnoty vypočítané v některém z barevných modelů.

Spektrofotometr

Měří spektrální odrazivost, což je poměr intenzity dopadajícího světla a světla odraženého do detektoru přístroje, měřený pro každou vlnovou délku zvlášť. Spektrální odrazivost se až na jeden rozdíl podobá odrazivosti (R) měřené denzitometrem a následně převedené na denzitu. Tím rozdílem je skutečnost, že denzita je jediným číslem představujícím celkový počet odražených či vyzářených fotonů. Naopak spektrální odrazivost je sadou čísel představujících počty fotonů odražených či vyzářených při různých vlnových délkách. [13]

2 CCD,CMOS

Obrazové snímače dnes najdeme prakticky ve všech aplikacích pro zpracování obrazu. Narozdíl od snímačů ve fotoaparátech a kamerách, kde se dává důraz na rozlišení dané počtem pixelů, v průmyslových aplikacích se často klade důraz na parametry udávající účinnost a šumové vlastnosti. V současné době se používají k záznamu obrazu dvě technologie, které si navzájem konkurují, a to CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductors) a CCD (Charge Coupled Devices). Postupem doby si tyto technologie našly svoji oblast aplikací, pro které se používají [7],[14].

Vlastnosti:

Výroba CCD senzorů je poměrně drahá a časově náročná, protože vlastní záznamové prvky jsou vyráběny odlišnou technologií než ostatní podpůrné obvody (posuvné registry, A/D převodníky, apod.) a je třeba zabezpečit transport náboje přes čip bez zkraslení. Na druhé straně však dosahují vynikajících parametrů vytvářejí velmi kvalitní nízkošumový obraz. mají vynikající světelnou citlivost, protože jejich konverzní účinnost je velmi vysoká (nedochází k ohřevu senzorů).

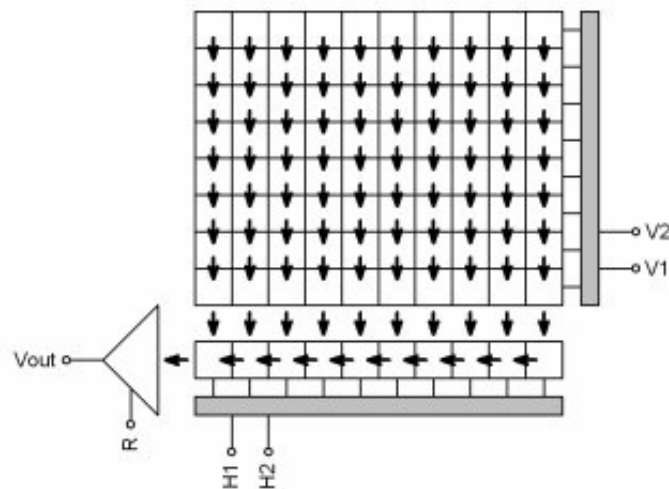
CMOS senzory mají nižší kvalitu, menší rozlišení a menší světelnou citlivost. Na druhé straně mají však podstatně menší spotřebu elektrické energie, a tedy delší životnost baterií. Postupem času se stanou konkurentem CCD senzorů. Z uvedených skutečností vyplývá, že výroba CMOS senzorů je podstatně levnější a technologicky méně náročná než u CCD (až 100×). Také provoz je v porovnání se CCD senzory podstatně levnější a tedy výhodnější. Nevýhodou CMOS senzorů je malý poměr signál/šum a nižší světelná citlivost (část energie

fotonu se spotřebuje na nežádoucí ohřev CMOS senzorů). V průběhu technologického procesu je možné optimalizovat fototranzistory na citlivost na různé vlnové délky světla, čímž lze zaznamenat informace o barvě (kterou lze zpětně rekonstruovat). CMOS senzory se vyznačují také širokým dynamickým rozsahem [14].

Princip:

Senzor CCD obsahuje vstupní část s fotocitlivými prvky, přenosovou část s CCD posuvnými registry a výstupní část s převodem náboje na napětí videosignálu. Fotocitlivé prvky jsou tvořeny kapacitorem MOS, nebo ochuzenou vrstvou PN přechodu. Dopadající světlo na povrch křemíkové destičky v podobě fotonů se ukládá jako náboj v

potenciálových jámách. Ty zabraňují volnému pohybu elektronů a tím i náboje po chipu a dochází tak k jeho kumulování. Každá taková potenciálová jáma představuje jeden pixel CCD snímače. Velikost zachyceného náboje je hlavně ovlivňována intenzitou dopadajícího světla a dobou, po kterou necháme CCD chip světlu vystavený. Zachycený náboj je nutné po nějaké době odebrat a převést na elektrický signál. Jinak by mohl dojít k přetečení potenciálové jámy. Obrazové CCD snímače obsahují matici pixelů (potenciálových jam), u nichž postupným přesouváním náboje z jedné jámy do vedlejší dochází k jeho vysouvání na okraj chipu, kde je převáděn převodníkem na napěťový signál - viz obrázek. Praktický problém je ten, že se během tohoto vysouvání jednotlivých řádků nesmí snímat obraz. CCD chip by tedy měl být zacloněn, aby nedocházelo k ovlivňování náboje [7],[10].



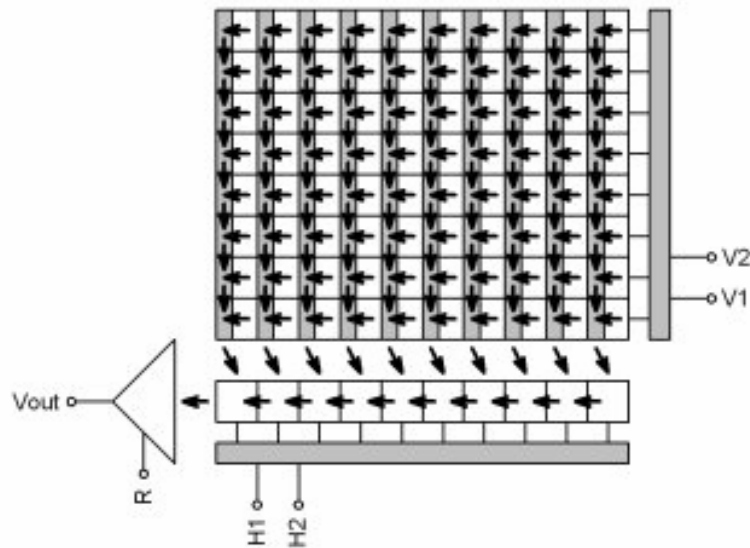
Obr.: 2 Princip přesouvání náboje v CCD snímači

Z tohoto pohledu se vyskytují 3 principy:

- **FF - Full Frame** - vystavena světlu je celá plocha chipu, tzn. všechny dostupné pixely. K vysunutí/sejmutí náboje je nutná mechanická clona (mechanical shutter), která chip zakryje.
- **FT - Frame Transfer** - chip je rozdělen na plochu stále vystavenou dopadajícímu světlu (Imaging Area—IA) a plochu trvale zakrytou (Storage Area—SA). Do ní se v daný okamžik rychle přehraje celá snímací matice a z ní již je možné náboj klidně pomalu digitalizovat po celou dobu snímání dalšího obrázku na snímací části čipu (cca desítky ms). Funguje zde tedy paralelizmus. Princip se také označuje jako

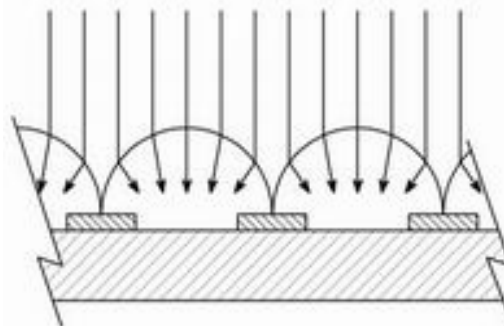
elektronická clona (electronic shutter) a patří mezi nejlevnější, ale kvalitativně nejhorší, řešení.

- **IT - Interline Transfer** - princip je podobný FT. Také zde jde o elektronickou clonu (electronic shutter), ale jinak provedenou. Vedle každého na světlo citlivého sloupce je i podobný zakrytý a na světlo necitlivý sloupec, který udržuje a posouvá náboj pro převod na signál během již dalšího snímání obrázku - viz obrázek.[7]



Obr.: 3 IT režim převodu náboje na napětí signál

Aby se co nejvíce zabránilo ztrátám v detekci světla způsobené neregistrováním fotonů dopadajících na zakryté plošky, implantují se na povrch CCD snímače miniaturní čočky. Ty lámou světlo a směřují ho jen do citlivé oblasti - viz obrázek .[7]



Obr.: 4 Implantované čočky na povrchu CCD snímače

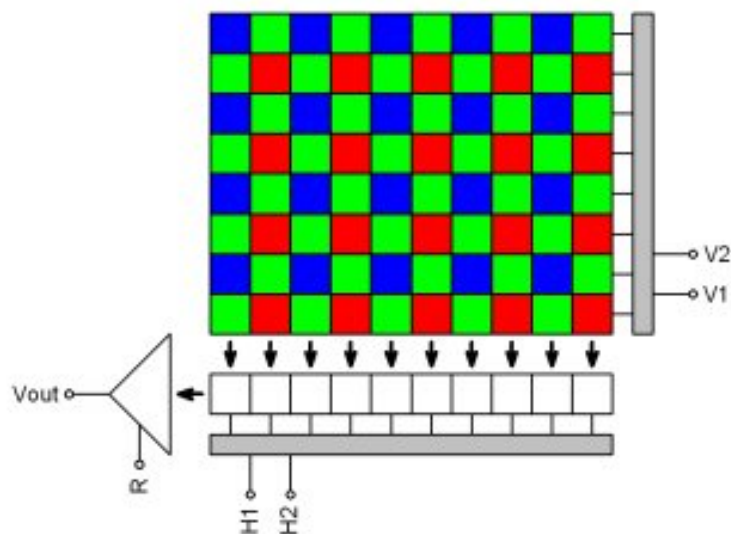
Uvedené principy beze zbytku platí pro monochromatické, dá se říct černobílé, CCD snímače. V dnešním světě ve většině případech potřebujeme snímat obraz barevně. Proto

je nutné CCD snímače doplnit o barevné filtry, které propustí jen konkrétní barvu. V elektronické praxi se využívá tradičního rozložení spektra do tří základních barev, z nichž lze zpětně složit původní barevný obraz. V současnosti se v tomto směru využívá komplementárních trojic: RGB a CMY.

Z pohledu principu snímání jednotlivých 3 složek barev se prakticky využívá 2 principů:

Použití 3 separátních filtrů na 3 nezávislých CCD snímačích (používá se v kvalitních kamerách) nebo 3 filtrů na mechanickém karuselu před jedním monochromatickým CCD snímačem (vědecké kamery).

Implementace barevného 3barevného filtru přímo na CCD chip v podobě střídání sloupců pixelů pro jednotlivé barvy nebo "barevné" pixely rozloženy dle Bayerovi masky (Bayer mask) - viz obrázek. Zde se využívá vlastnosti lidského oka, které je více citlivé na jas než barevné podání. Tyto principy se využívají hlavně ve fotoaparátech a levných kamerách [7].



Obr.: 5 Rozložení barevného filtru na barevném CCD snímači obrazu dle Bayerovi masky

2.1 Využití moderních obrazových snímačů v automatizaci

2.1.1 Detektory barvy

V mnoha průmyslových aplikacích je nutné předměty třídit nebo jen rozlišovat podle jejich barvy. K tomu slouží detektory pro optické snímání a rozlišení barvy daného předmětu, tzv. *Colour sensors*. S využitím zobrazeného detektoru barvy je možné například

automaticky vybírat ze společného dopravního pásu, palety nebo krabice. Jedním běžným senzorem je možné identifikovat například pouze jednu konkrétní barvu z mnoha jiných nebo vzájemně poznat a oddělit více různých barev. Celý průmyslový senzor/detektor barvy obsahuje několik funkčních bloků:

- Vysílač/zdroj světla (obvykle složek RGB)
- Samotný snímač odraženého barevného světla
- Vyhodnocovací obvody a logika
- Výstupní obvody (spínací u digitálního/logického výstupu, lineární budič v případě analogového)

Samotný snímač barvy je dnes obvykle již integrovaná křemíková CMOS součástka obsahující mimo samotné fotocitlivé prvky i obvody pro předzpracování signálu. Dnešní snímače detekují barvu na principu jejího rozložení na klasické složky typu RGB (červená - Red, zelená - Green, modrá - Blue) s následným porovnáním úrovní signálů každé složky s uloženými hodnotami z cyklu učení na danou konkrétní barvu. Možné je tedy každý senzor naučit na detekci libovolné barvy ze spektra.[9]



Obr.: 6 Průmyslový snímač barev

2.1.2 Kamerové senzory

Současné vyspělé obrazové čipy a algoritmy pro zpracování obrazu již dovolují běžně vyrábět kompaktní kamerové systémy - senzory pro kontrolu a třídění výrobků podle jejich barvy, tvaru, na výrobku vytištěném textu nebo například data a času spotřeby. Kompaktní kamerové senzory zpracovávají obrazové informace o snímaném produktu tak, že je možno jeho vyhodnocení obdržet na výstupu ve formě datového signálu. Podstatné přitom

je, že při uživatelsky velmi jednoduché obsluze je oblast použití tohoto přístroje velice pestrá. Kompaktní kamerové systémy se vyznačují tím, že v jednom pouzdře s krytím až IP67 obsahují integrované všechny potřebné komponenty:

- optika a osvětlení z bílých LED
- miniaturní, CMOS kamera
- elektronika s DSP procesorem pro zpracování a porovnání obrazů
- paměť pro referenční naučené obrazy
- vyhodnocovací elektronika s digitálními a spínanými výstupy
- HMI rozhraní pro ovládání, učení systému a kontrolu funkce

Moderní kamerové senzory fungují tak, že obraz nasnímaný CMOS kamerou porovnávají s uloženými správnými předlohami podle určitých dominantních znaků. Pokud se uvedené znaky obrazu shodují nebo jsou si do určitého zadaného stupně blízké, vyhodnotí se kontrolovaný objekt (produkt, materiál, věc) jako správný (shodný) nebo špatný (rozdílný) a výsledkem je nebo není signál pro regulaci (např. řazení objektu z linky, přesunutí na jiný pás nebo zpětná regulace výrobního zařízení).

Základní a nejjednodušší je typy umožňují naučit se na detekci například 8 určitých barev. Při rozhodování využívají jednodušší metody, kdy v obraze spočítá počet pixelů určité barvy a celkovou sumu porovnává s rozhodovací úrovní uloženou v paměti. Při učení takového senzoru se předkládají jednotlivé, barevně odlišené vzorky. Pomocí filtrů se nastaví citlivost senzoru na určitý odstín jedné barvy nebo více barev, které se mohou vyskytovat v jednom záměru. V samotném provozu pokud se v záměru nevyskytuje určitá stanovená kombinace barev, sepne nebo rozepne se výstup, kterým lze pak řídit aplikační zařízení.

Nejvyspělejší a nejsložitější typy používají mimo principu porovnání kontur a výrazných hran obrazu i OCR technologii rozpoznání znaků. Do paměti lze uložit několik informací o čase/datu a sériových číslech v různých formátech, či volně nadefinovaný formát znaků a čísel, nebo referenční porovnávací obrazce [15].



Obr.: 7 Kamerový senzor

3 VYUŽITÍ CCD SNÍMAČE PŘI ZKOUMÁNÍ SÍŤOVACÍ REAKCE HYDROLYZOVANÉHO KOLAGENU

3.1 Kolagen

Kolagen tvoří hlavní organickou složku kůže, kostí, chrupavek, šlach a vaziva. Je to bílkovina s charakteristickým složením aminokyselin a z toho vyplývajícím prostorovým uspořádáním molekul [11].

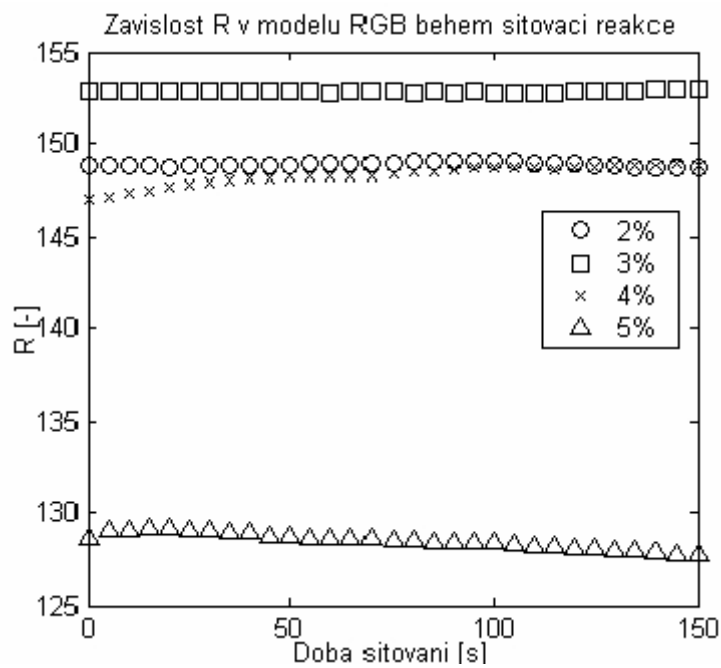
Kolagen má charakter amfoterního polyelektrolytu, jeho iontové reakce tedy probíhají v závislosti na pH prostředí. Z fyzikálně chemického hlediska patří ke gelům, tj. přechodným koloidním soustavám, jejichž nejdůležitější vlastností je schopnost bobtnat. V roztoku podléhá progresivní hydrolytické degradaci 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 úsní, nachází uplatnění v řadě dalších oborů. Četné aplikace vyplývají z „fyzilogické příbuznosti“ s tělesným kolagenem, resorbovatelnosti a schopnosti zadržovat vodu. Proto nachází využití převážně v oblasti lékařství [11].

3.2 Sít'ování hydrolyzátu kolagenu

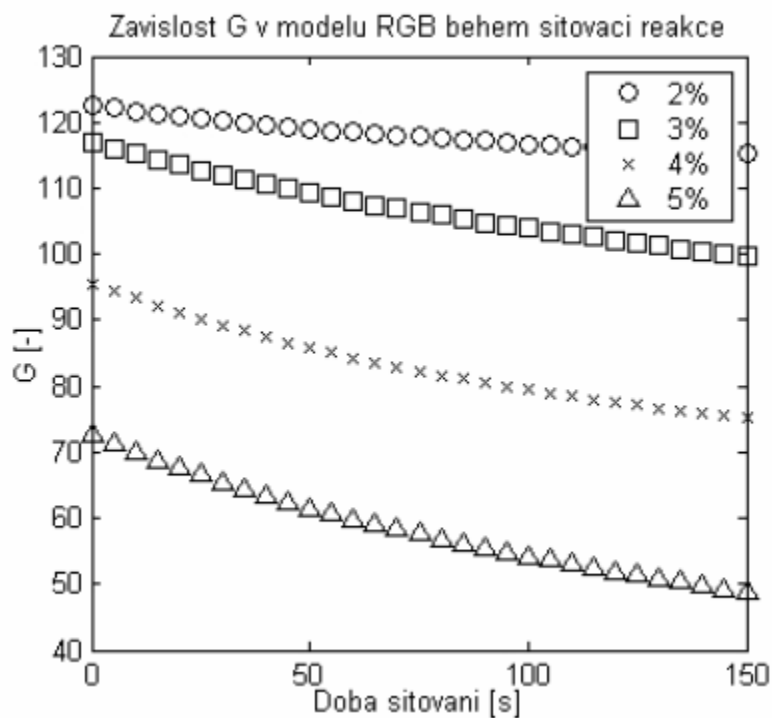
Jako velmi účinné sít'ovací činidlo pro želatinu se ukázal být glutaraldehyd (GLU). Již po přidavku 2 % vytváří stabilní gely, u nichž nedochází k rozpuštění při teplotě 70 °C. S rostoucím přídatkem GLU však dochází ke snížení pevnosti materiálu.

Za účelem řízení reakce byla zkoumána možnost sledování barevných změn během sít'ování hydrolyzovaného kolagenu glutardialdehydem. Při reakci dochází k výrazným barevným změnám sít'ovaného vzorku. Samotný hydrolyzát 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. [8].

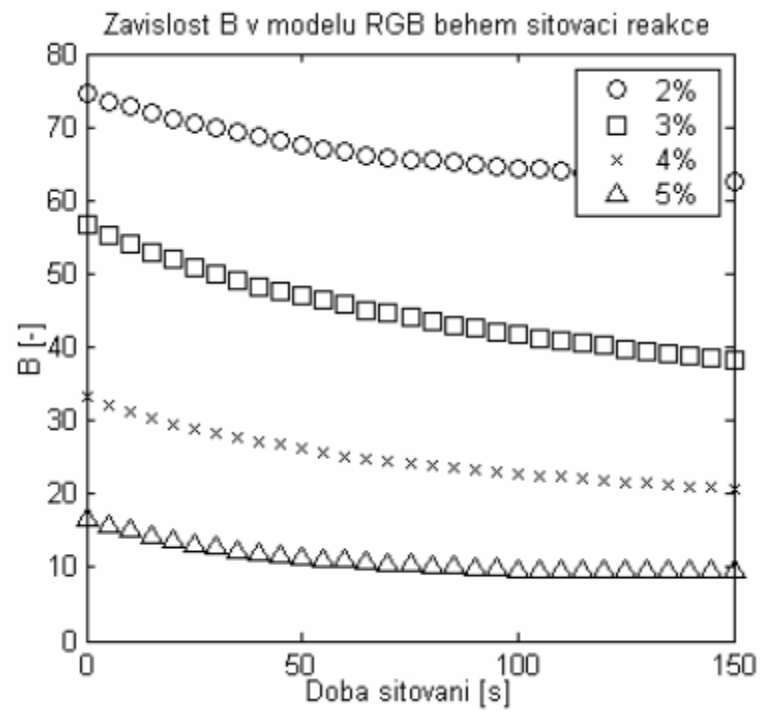
Bylo zjištěno, že hodnoty červené barvy z modelu RGB se během síťování téměř nemění, zato zelená a modrá exponenciálně klesají, což odpovídá výše uvedenému popisu změny barvy během síťování. Fakt, že při vzrůstající koncentraci síťovadla ve vzorku se hodnoty zelené a modré barvy snižují, by mohl hrát významnou roli při řízení procesu síťování [9].



Obr.: 8 Změna červené barvy během reakce síťování



Obr.: 9 Změna zelené barvy během reakce síťování



Obr.: 10 Změna modré barvy během reakce síťování

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 PROSTŘEDKY PRO REALIZACI:

4.1 Hardwarové vybavení

4.1.1 Řídící počítač

Pro řízení měřicího systému byl z důvodu dostupnosti, vysokého komfortu a použitelnosti velkého množství softwarových prostředků zvolen klasický PC v konfiguraci: procesor: Intel Pentium na frekvenci 1,6 GHz, operační paměť: 512MB, operační systém: Windows XP Professional.

4.1.2 Technologická karta

Pro ovládání připojených peristaltických čerpadel je k počítači přes rozhraní PCI připojena technologická karta PCI 1711 Series 12/16bit od firmy Adventech. Karta obsahuje 16 analogových vstupů s převodem pomocí 12-bit A/D převodníků a vzorkováním 100kHz. Dva analogové výstupy, 16 digitálních vstupů a výstupů. Dále je zde obsažen programovatelný čítač a FIFO registr pro zaznamenání 1024 vzorků.



Obr.: 11 Technologická karta Adventech

4.1.3 Peristaltická čerpadla

Pro čerpání mísených tekutin byla použita peristaltická čerpadla, využívající principu rotační peristaltiky. Tím, že do styku s čerpaným médiem se dostane pouze hadička, nikoli jakákoliv část samotného čerpadla, je možné volbou materiálu hadičky dosáhnout široké chemické kompatibility. Pohon čerpadel zajišťují krokové motory. Otáčky čerpadla je možné díky vestavěné regulaci řídit vstupním analogovým signálem 0 – 5V. Jistou nevýhodou peristaltických čerpadel je pulsující proud media, což je dáno zaškrcením hadičky kladičkou. Konkrétní použité typy čerpadel jsou PCD 21 a PCD 61. Parametry čerpadel jsou uvedeny v tabulce.

typ	PCD 21	PCD 61
výkon čerpadla	0,05 - 25 ml/min	0,5 - 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 hl)	137 x 95 x 205 mm	
hmotnost	1,6 kg	

Tab. 1. Parametry čerpadel



Obr.: 12 Peristaltická čerpadla

4.1.4 Snímací kamera

Pro snímání barvy mísené kapaliny byl použit starší typ webové kamery ClickSmart 310 od firmy Logitech. Kamera využívá senzor vyrobený technologií CMOS. Snímky jsou

pořizovány rychlostí 30/s v maximálním rozlišení 640x 480 pixelů. Veškeré parametry jako vyvážení bílé barvy, či expozice je možné nastavovat ručně nebo automaticky.



Obr.: 13 Webová kamera ClickSmart 310

4.2 Softwarové vybavení

Pro řízení systému bylo použito prostředí Matlab 6.5 od firmy MathWorks s nástavbou Real time toolbox od firmy Humusoft. Matlab je integrované prostředí pro vědeckotechnické výpočty, modelování, návrhy algoritmu, simulace, analýzu a prezentaci dat, měření a zpracování signálu, návrhy řídicích a komunikačních systému. V Matlabu je možné pomocí m-file souborů a obsáhlé knihovny příkazů sestavovat procedury a funkce řídicího programu. Matlab také obsahuje nástroj pro interaktivní tvorbu grafického rozhraní, který velmi zjednodušuje tvorbu uživatelských aplikací. Tento nástroj je přístupný z příkazového řádku zapsáním instrukce *guide*. V tomto režimu je možné sestavit celkový vzhled aplikace za použití základních předdefinovaných prvku jako tlačítek posuvníků, editačních oken atd.

Nástavba Real time toolbox je založena na jádře reálného času a ovladačích nejčastěji používaných technologických karet. Slouží jako uživatelské prostředí pro sledování dějů probíhajících u měřicích zařízení. Umožňuje přístup k vnějším analogovým a digitálním signálům a tím i vytváří v počítači měřicí ústřednu. Je schopen provádět sběr dat se zajištěným pravidelným vzorkováním a jejich další zpracování.

5 SESTAVENÍ MĚŘÍCÍHO SYSTÉMU

Systém pro ověření principu vyhodnocování barevných změn během procesu síťování se skládá ze dvou peristaltických čerpadel, připojených pomocí technologické karty k řídicímu počítači. Dále pak z uzavíratelné komory, snímací kamery a panelu, ke kterému je přichycena kamera, osvětlení a hadičky s míšenými tekutinami.

V předchozích diplomových pracích bylo snímání barevných souřadnic prováděno přímo na hadičce těsně za t-spojkou. Ukázalo se však, že při osvětlení snímané plochy dochází na kulatém profilu hadičky k odleskům, které zkreslovaly výsledky měření, navíc snímaná plocha byla velmi malá a bylo obtížné ji zaměřit. Byl proto sestaven prvek, který podstatně zvýšil snímatelnou plochu a odstranil problémy s odlesky. Prvek je tvořen dvěma destičkami plexiskla, mezi kterými je vložena plastová fólie s výřezem, který vymezuje tok tekutiny. Snímaná látka tak protéká velmi tenkou mezerou mezi plexiskly. Průřez mezery přibližně odpovídá průřezu hadičky. Je tak minimalizováno kumulování kapaliny a tím i dopravní zpoždění [14].



Obr.: 14 Snímací okénko

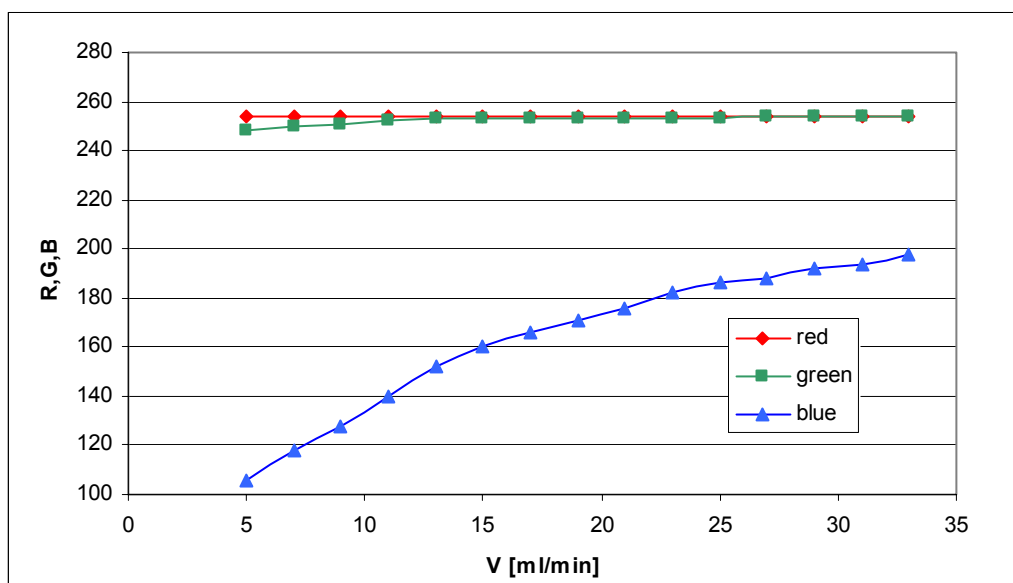
Dalším problémem bylo uchycení snímací kamery a osvětlení. Dříve byla kamera i osvětlení volně položeny v komoře, kde při nechtěném posunutí znemožňovaly měření. Byla tedy sestavena rampa pro uchycení kamery, která umožňuje nastavit vzdálenost od snímané plochy a výšku. Stávající osvětlení bylo nahrazeno bodovým osvětlením tvořeným osmi bílými LED diodami a reflektorem. Rampa, osvětlení i okénko z plexiskla byly přichyceny k měřicímu panelu a zvýšily tak reprodukovatelnost měření.



Obr.: 15 Měřicí panel

5.1 Volba systému pro ověření principů sledování změn barevných souřadnic

Pro ověření principu sledování změn barevných souřadnic bylo nutné zvolit dvě barevně odlišné látky, které jsou snadno mísitelné a u nichž po smíchání dochází ke změně barvy, nebo odstínu. Protože použité látky nemusí mít stejné chemické, či fyzikální vlastnosti, jako látka použitá v budoucí aplikaci, byla pro snadnou dostupnost zvolena voda a různé druhy barviv. Jako barviva byly vyzkoušeny různé koncentrace manganistanu draselného, červený a modrý inkoust. Při míchání barevných roztoků s čistou vodou docházelo ke změnám souřadnic RGB. V případě manganistanu draselného a modrého inkoustu byla nejvíce ovlivněna zelená složka, při použití červeného inkoustu byly největší změny u modré složky. Změny složek RGB jsou patrné ze statických charakteristik, naměřených při konstantním průtoku 25ml/min pro barevná roztok a měnicích se průtocích čiré vody. Manganistan draselný se bohužel v průběhu pokusu ukázal jako nevhodný z důvodu jeho oxidace, která v místě snímání vytvářela trvalé zabarvení a znemožňovala tak sledování barevné změny.



Obr.: 16 Statická charakteristika pro červený inkoust

5.2 Uživatelský software

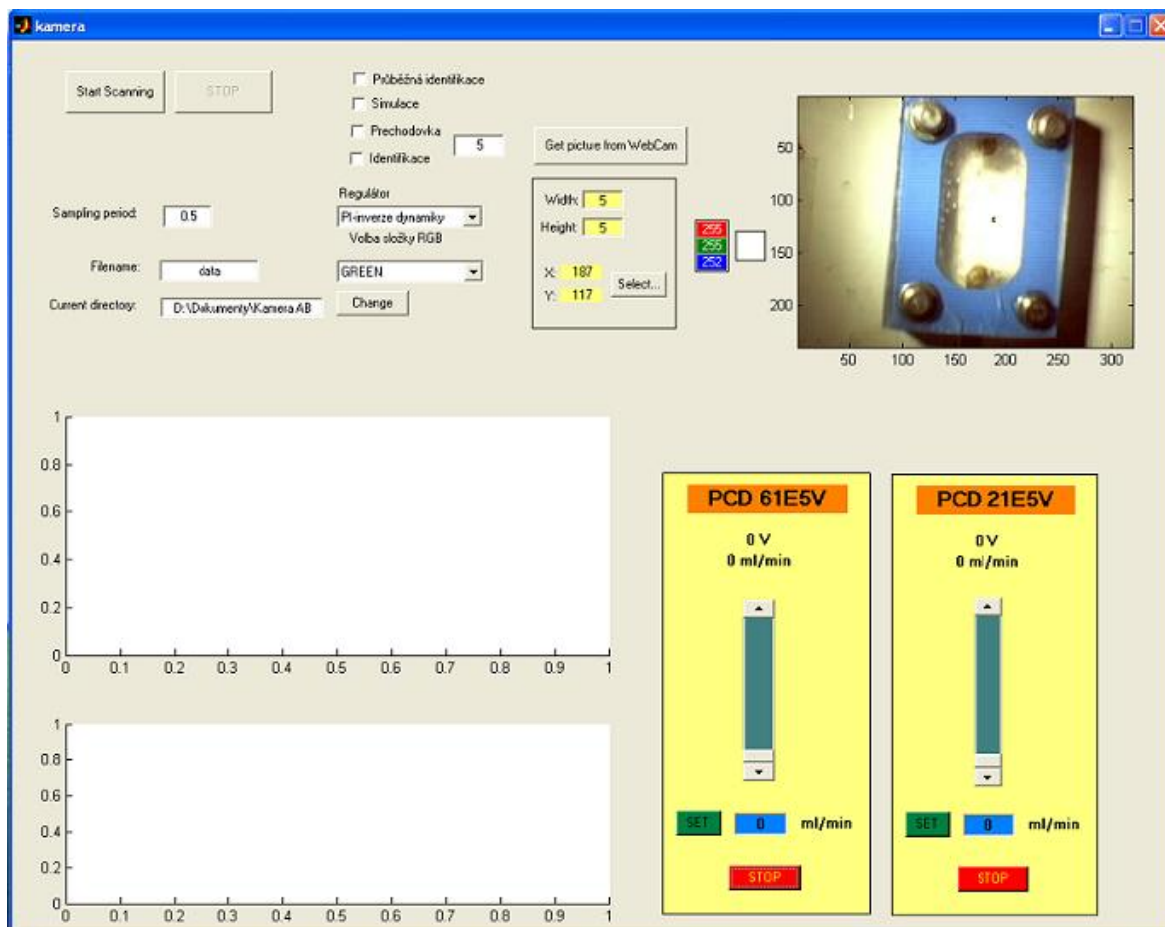
Pro měření a regulaci byl použit uživatelský software realizovaný pomocí prostředí GIDE (Graphical User Interface Development Environment), což je nástroj pro interaktivní tvorbu grafického rozhraní v systému Matlab. GUIDE umožňuje snadnou práci se

základními grafickými prvky jako jsou tlačítka posuvníky, textová pole atp. Přesto, že GUIDE usnadňuje tvorbu uživatelských programů, má také své nevýhody, zejména v podobě často neoptimálního kódu. Program vytvořený v prostředí GUIDE je reprezentován dvěma soubory první z nich má koncovku .fig a obsahuje grafický vzhled aplikace. Ve druhém souboru s koncovkou .m je zapsán samotný zdrojový kód s funkcemi, které jsou volány při definovaných událostech v grafickém prostředí (například při stlačení tlačítka).[12]

Za účelem ovládní peristaltických čerpadel a snímání barevných změn roztoku byl během předchozích diplomových prací sestaven software *kamera*. Tento program byl upraven tak, aby lépe vyhovoval pro daný účel. Byl doplněn možností volby regulované barevné složky, dále pak umožňuje explicitní identifikaci z naměřené přechodové charakteristiky a průběžnou identifikaci metodou nejmenších čtverců. Do programu byla přidána možnost regulace metodou požadovaného tvaru (inverze dynamiky).

5.2.1 Popis uživatelského programu kamera

Program *kamera* umožňuje přímé řízení otáček čerpadel pomocí dvou posuvníků, nebo zapsáním požadovaných otáček. Dále je možné jednorázové snímání obrazu z kamery. Po spuštění regulace je podle zvoleného režimu buďto prováděna regulace vybrané barevné složky RGB jedním z regulátorů, nebo měřena a ukládána přechodová charakteristika. Pro nastavení regulátorů je možné parametry systému získat průběžnou identifikací, nebo explicitně z naměřené přechodové charakteristiky. V průběhu regulace jsou zobrazovány průběhy žádané a výstupní hodnoty, akčního zásahu a aktuální obraz ze snímací kamery.



Obr.: 17 Okno řídicího programu

5.2.2 Popis ovládacích prvků programu

Start scanning:

Start regulace, nebo měření přechodové charakteristiky

STOP:

Ukončí regulaci, nebo měření přechodové charakteristiky, zastaví čerpadla a uloží naměřená data do zvoleného souboru.

Sampling period:

Volba periody vzorkování.

Filename:

Název souboru pro ukládání dat.

Current directory:

Volba adresáře pro ukládání datového souboru.

Průběžná identifikace:

Volba průběžné identifikace. Pokud není aktivní regulátory jsou seřizeny na základě explicitní identifikace poslední naměřené přechodové charakteristiky.

Simulace:

Umožňuje zobrazit simulovaný průběh regulace.

Přechodovka:

Měření přechodové charakteristiky. Po spuštění regulace je nastaven akční zásah na zvolenou hodnotu.

Identifikace:

Pokud je aktivní, po skončení měření přechodové charakteristiky je provedena identifikace a parametry aproximovaného přenosu jsou uloženy do souboru *parametry.txt*

Regulátor:

Volba regulátoru.

RGB:

Volba regulované složky RGB systému.

Get Picture from WebCam:

Jednorázové sejmouti obrazu z kamery.

Select:

Nastavení souřadnic snímané oblasti.

5.2.3 Webcam2000

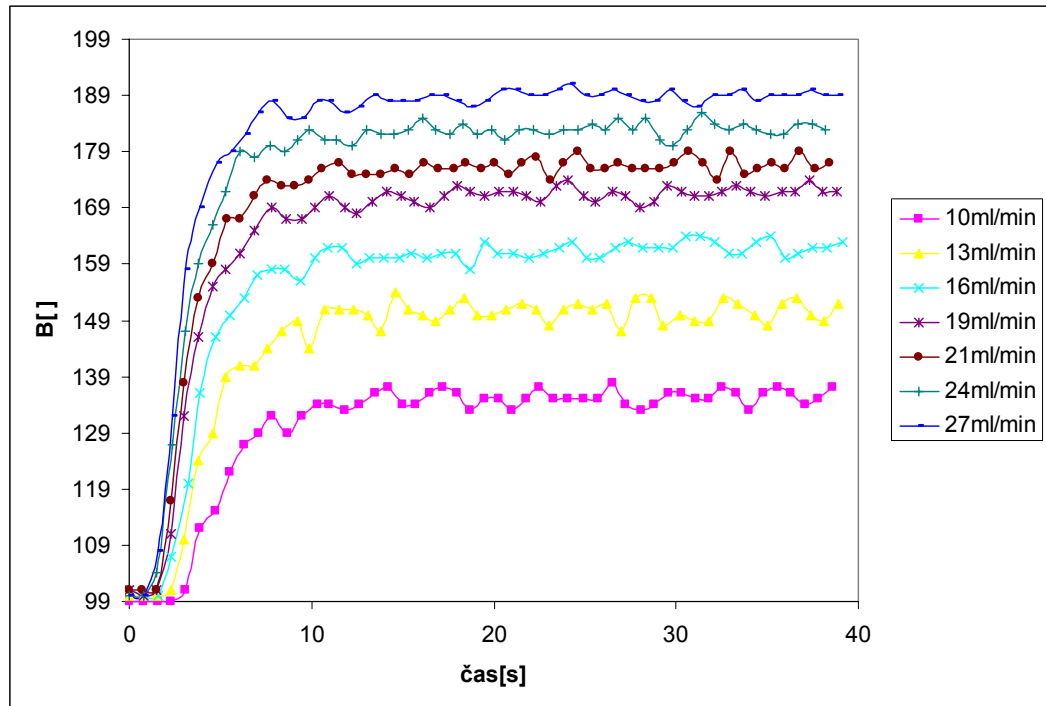
Řídící program *kamera* průběžně načítá snímky pořízené kamerou. Komunikace programu s kamerou probíhá prostřednictvím webového serveru. Tento server je tvořen freewarovým nástrojem Webcam2000, který slouží pro pořizování snímků z webové kamery v daném časovém intervalu. Umožňuje ukládat pořízené snímky ve formátu .bmp, .jpeg. V případě aktivace web serveru jsou snímky dostupné na lokální adrese <http://localhost:8080/>. Na tuto adresu přistupuje i program *kamera*.



Obr.: 18. WebCam2000

5.3 Identifikace

Pro účel identifikace byly pro jednotlivé barevné roztoky naměřeny přechodové charakteristiky při trvalém průtoku barevného roztoku 25ml/min a různé skokové změny průtoku čiré vody obr.: Pozn.:(přechodové charakteristiky statické charakteristiky, aproximace a průběhy regulace modrého inkoustu a manganistanu draselného jsou uvedeny v příloze)



Obr.: 19 Naměřené přechodové charakteristiky B složky pro červený inkoust a dané průtoky vody

Pro zpracování naměřených charakteristik byl použit střední pravděpodobný průběh charakteristiky. Pro stanovení pořadnic výsledné přechodové charakteristiky byl použit vztah:

$$f_i = \frac{\sum_{k=1}^N \text{sign}(\Delta u_k) y_{ik}}{\sum_{k=1}^N |\Delta u_k|}$$

Kde N je počet opakovaných měření přechodové charakteristiky při obecně nesterjých změnách výstupní veličiny objektu,

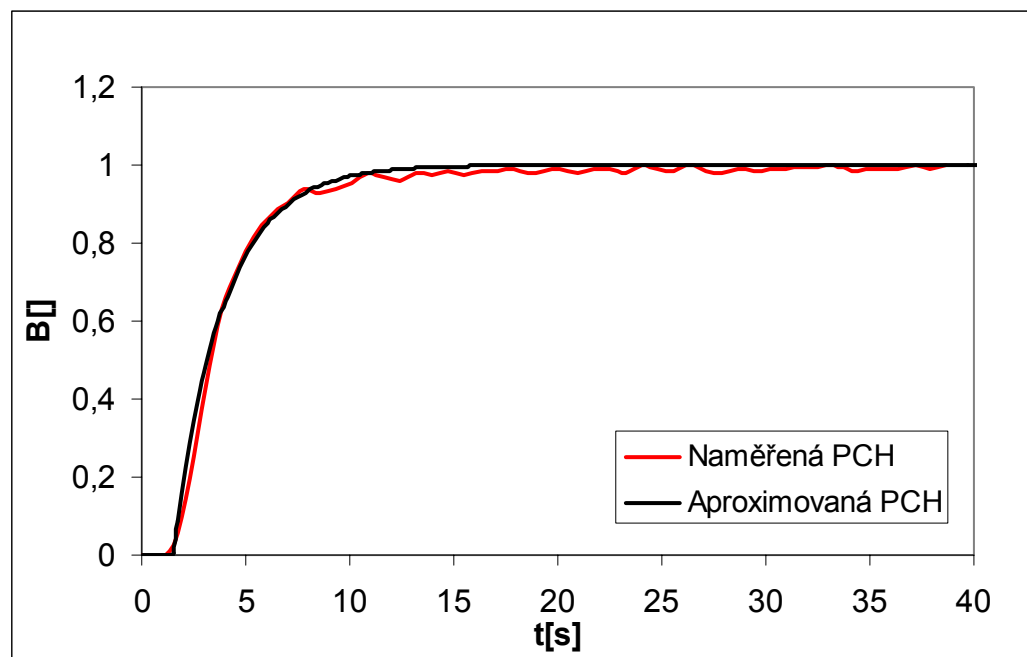
Δu_k – skoková změna vstupní veličiny při k -tém měření přechodové charakteristiky ,

f_i – pořadnice výsledné přechodové charakteristiky v čase $t = i \Delta t$, kde Δt je perioda vzorkování,

y_{ik} – hodnota odezvy výstupní veličiny soustavy v i -tém intervalu vzorkování při k -tém měření,

i – pořadí vzorkovacích bodů přechodové charakteristiky $i = 0, 1, \dots, m$ [2].

Takto získaná charakteristika byla normována a aproximována přenosem prvního řádu s dopravním zpožděním.



Obr.: 20 Normovaná a aproximovaná přechodová charakteristika při použití červeného inkoustu

Aproximací byly získány tyto přenosy:

Pro manganistan draselný v koncentraci 0,6g/l (přenos platí pro zelenou složku RGB)

$$G(s) = \frac{4,23}{2,38s + 1} e^{-1,43s}$$

Pro červený inkoust koncentraci 25g/l (přenos platí pro modrou složku RGB)

$$G(s) = \frac{3,62}{2,40s + 1} e^{-1,48s}$$

Pro modrý inkoust koncentraci 25g/l (přenos platí pro zelenou složku RGB)

$$G(s) = \frac{3,04}{1,97s + 1} e^{-1,48s}$$

5.4 Návrh řízení

Řízení bylo realizováno regulací průtoku čiré vody. Barevný roztok byl čerpán v objemu 25ml/min. Jednalo se tedy z hlediska řízení o systém s jedním vstupem – průtok čiré vody a jedním výstupem – zvolená složka RGB.

Pro řízení systému byly vyzkoušeny regulátory seřizené pomocí metod požadovaného modelu (inverze dynamiky), Ziegler-Nichols, Takahashi a přiřazení pólů. Uspokojivé výsledky však podávala pouze metoda požadovaného modelu. U ostatních regulátorů došlo navzdory příznivým průběhům simulací k rozkmitání systému, nebo velkým překmitům a časům ustálení.

5.4.1 Metoda požadovaného modelu

Metoda umožňuje snadné a rychlé seřízení standardních typů číslicových a analogových regulátorů pro základní druhy regulovaných soustav s dopravním zpožděním. Typ regulátoru je doporučen z hlediska vlastností regulované soustavy a požadavku na nulovou trvalou regulační odchylku způsobenou skokovou změnou polohy žádané veličiny, resp. poruchy působící na výstupu regulované soustavy.

Pro soustavu aproximovanou prvním řádem s dopravním zpožděním ve tvaru:

$$G_s(s) = \frac{k_1}{T_1s + 1} e^{-\tau s},$$

je doporučován PI regulátor. Jeho doporučené stavitelné parametry pak získáme podle vztahů:

$$T_I^* = T_1 - \frac{T}{2} \qquad k_p^* = \frac{aT_I^*}{k_1}$$

kde

$$a = \frac{1}{\alpha T + \beta T_d}$$

[3], [1]

Koeficienty α , β získáme na základě požadovaného maximálního překmitu k z tabulky:

κ	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
α	1,282	0,984	0,884	0,832	0,763	0,697	0,669	0,64	0,618	0,599	0,577
β	2,718	1,944	1,72	1,561	1,437	1,337	1,248	1,172	1,104	1,045	0,992

Tab. 2. Tabulka koeficientů α

[3], [1]

Samotný výpočet parametrů regulátoru je realizován funkcí „inverze_dynamiky“ volané z hlavní části programu.

V řídicím programu je diskrétní regulátor realizován pomocí přírůstkového (rychlostního) algoritmu, který počítá okamžitou hodnotu akční veličiny $u(k)$ z předcházející zapamatované hodnoty $u(k-1)$ a z korekčního přírůstku. Diskretizace integrační složky je realizována pomocí pravé obdélníkové metody. Derivace je nahrazena diferencí prvního řádu. Akční zásah je tedy počítán podle vztahu:

$$u(k) = u(k-1) + r_0 \left\{ e(k) - e(k-1) + \frac{T_v}{T_I} e(k-1) + \frac{T_D}{T_v} [e(k) - 2e(k-2) + e(k-2)] \right\}$$

[4]

5.4.2 Průběžná identifikace

Aby nebylo nutné při každé změně mísených látek měřit přechodové charakteristiky, byla do řídicího programu zahrnuta průběžná identifikace využívající algoritmus rekurzivní metody nejmenších čtverců se směrovým zapomínáním. V každém kroku jsou nově naměřené hodnoty využity pro opravu (korekci) původních odhadů.

Vektor odhadu parametru je popsán rovnicí:

$$\hat{\Theta}(k) = \hat{\Theta}(k-1) + \frac{C(k-1)\phi(k-1)}{1 + \xi(k-1)} \hat{e}(k-1)$$

kde

$$\xi(k-1) = \phi^T(k-1)C(k-1)\phi(k-1)$$

je pomocný skalár a

$$\hat{e}(k) = y(k) - \hat{\Theta}^T(k)\phi(k-1)$$

je chyba predikce. Jestliže $\xi(k-1) > 0$, potom čtvercová kovarianční matice rozměru $n \times n$ je aktualizována podle vztahu

$$C(k) = C(k-1) - \frac{C(k-1)\phi(k-1)\phi^T(k-1)C(k-1)}{\varepsilon(k)^{-1}(k) + \xi(k-1)}$$

kde

$$\varepsilon(k) = \varphi(k) - \frac{1 - \varphi(k)}{\xi(k-1)}$$

Jestliže $\xi(k-1) = 0$, potom

$$C(k) = C(k-1)$$

Hodnota adaptivního směrového zapominání $\varphi(k)$ je potom počítána v každé periodě vzorkování podle vztahu

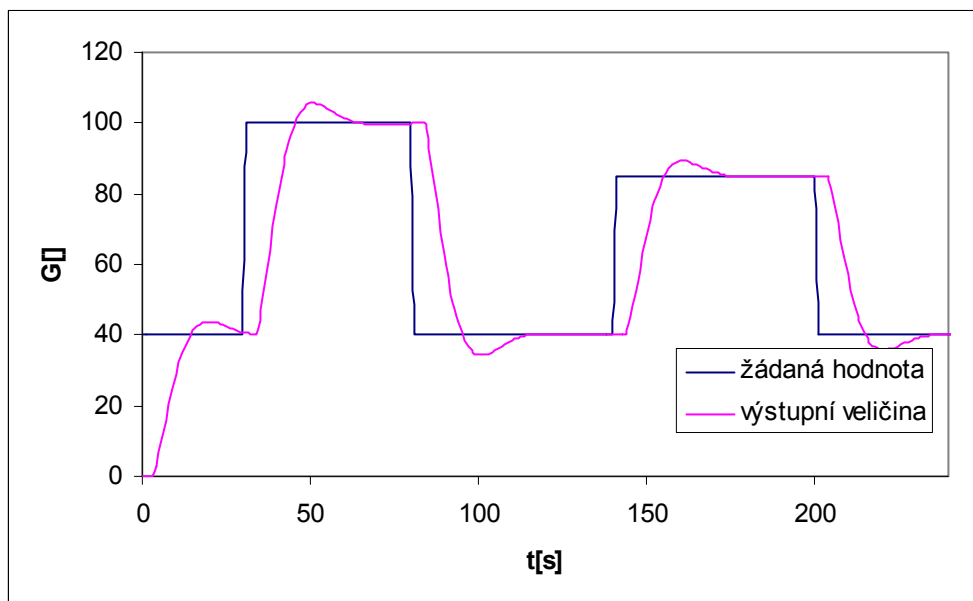
$$\varphi(k) = \left\{ 1 + (1 + \rho)[\ln(1 + \xi(k-1))] + \left[\frac{v(k-1)\eta(k-1)}{1 + \xi(k-1) + \eta(k-1)} - 1 \right] \frac{\xi(k-1)}{1 + \xi(k-1)} \right\}^{-1}$$

kde

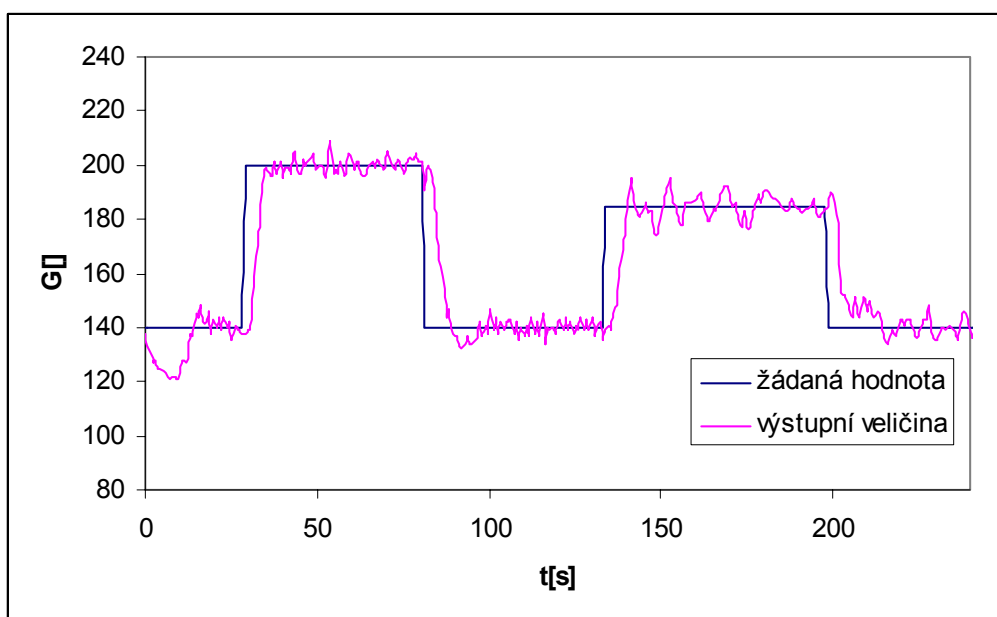
$$\begin{aligned} \eta(k) &= \frac{\hat{e}^2(k)}{\lambda(k)} \\ v(k) &= \varphi(k)[v(k-1) + 1] \\ \lambda(k) &= \varphi(k) \left[\lambda(k-1) + \frac{\hat{e}^2(k-1)}{1 + \xi(k-1)} \right] \end{aligned}$$

jsou pomocné proměnné.

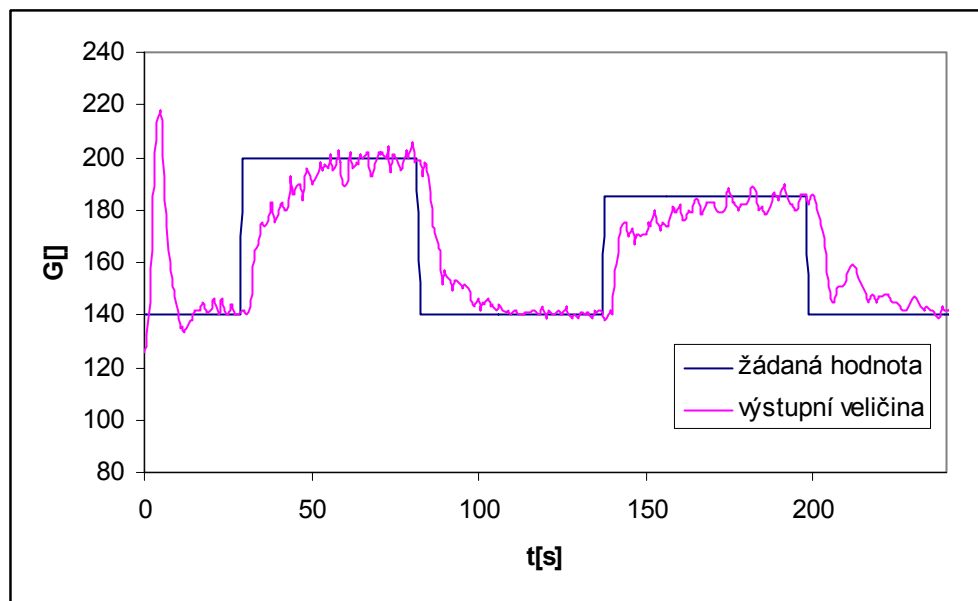
Funkce navrženého regulátoru byla nejprve ověřena simulací v prostřední Matlab. Následně byl pak regulátor aplikován na reálnou soustavu. Výsledné průběhy jsou patrné z grafů.



Obr.: 21 Simulovaný průběh regulace červeného inkoustu pomocí PI regulátoru



Obr.: 22 Průběh regulace při použití pevně daných parametrů soustavy



Obr.: 23 Průběh regulace při použití průběžné identifikace soustavy

6 NÁVRH KONCEPCE LABORATORNÍ ÚLOHY DO PŘEDMĚTU „ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLŮ“

Byl vypracován návrh laboratorní úlohy na sestavené aparatuře s následujícím zadáním:

1. Ve snímaném okně označte oblast, která bude vyhodnocována. Nastavte pomocí posuvníku výkon čerpadla s obarveným roztokem na hodnotu 25ml/min. Sestavte statické charakteristiky, jejichž vstupem bude průtok vody a výstupem jednotlivé složky RGB. Vyhodnoťte, u které ze složek dochází k největším změnám.
2. Pro RGB složku vykazující největší změny změřte tři přechodové charakteristiky s různými amplitudami skoku v rozmezí 10-30ml/min. Naměřené charakteristiky průměrujte podle vztahu

$$f_i = \frac{\sum_{i=1}^N \text{sign}(\Delta u_k) y_{ik}}{\sum_{i=1}^N |\Delta u_k|}$$

Kde N je počet opakovaných měření přechodové charakteristiky při obecně nesterjých změnách výstupní veličiny objektu,

Δu_k – skoková změna vstupní veličiny při k-tém měření přechodové charakteristiky ,

f_i – pořadnice výsledné přechodové charakteristiky v čase $t = i \Delta t$, kde Δt je perioda vzorkování,

y_{ik} – hodnota odezvy výstupní veličiny soustavy v i-tém intervalu vzorkování při k-tém měření,

i – pořadí vzorkovacích bodů přechodové charakteristiky $i = 0, 1, \dots, m$ [2].

Takto získanou charakteristiku aproximujte soustavou 1.řádu s dopravním zpožděním ve tvaru:

$$G_s(s) = \frac{k_1}{T_1 s + 1} e^{-T_d s},$$

3. Získaný přenos převedte do diskretního tvaru (funkcí *c2d* v Matlabu). Navrhněte diskretní PI regulátor metodou Požadovaného modelu (inverze dynamiky). Maximální překmit volte 5%. Přenos regulátoru je ve tvaru:

$$G_R(z) = kp \left(1 + \frac{T}{T_i} \frac{z}{z-1} \right)$$

Kde T je perioda vzorkování. Doporučené parametry regulátoru získáme podle vztahů:

$$T_i^* = T_1 - \frac{T}{2} \qquad k_p^* = \frac{aT_i^*}{k_1}$$

kde

$$a = \frac{1}{\alpha T + \beta T_d} \qquad [3], [1]$$

Koeficienty α , β získáme na základě požadovaného maximálního překmitu k z tabulky:

κ	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
α	1,282	0,984	0,884	0,832	0,763	0,697	0,669	0,64	0,618	0,599	0,577
β	2,718	1,944	1,72	1,561	1,437	1,337	1,248	1,172	1,104	1,045	0,992

4. V prostředí Matlab Simulink sestavte regulační obvod a proveďte simulaci na základě získaných parametrů soustavy a regulátoru.
5. Do souboru *parametry.txt* v adresáři *kamera* zapište identifikované parametry v pořadí T , T_d , k_p , jednotlivé parametry oddělujte mezerou. Ověřte reálný průběh regulace a porovnejte se simulací.

7 DISKUSE VÝSLEDKŮ

Jedním z úkolů této práce bylo posoudit a případně zdokonalit dosavadní měřící aparaturu. Po provedení několika měření byly ihned patrné nedostatky. Velkým problémem bylo nedořešené upevnění snímací kamery a osvětlení. Z toho důvodu bylo prakticky nemožné dosáhnout reprodukovatelného výsledku, protože každý nechtěný pohyb kamery, nebo osvětlení zkresloval výsledky. Tyto problémy byly odstraněny výrobou přípravku pro uchycení kamery, který umožňuje nastavit vzdálenost od měřicího panelu a výšku kamery. Podobným způsobem bylo vyřešeno i upevnění osvětlení. Stávající zdroj světla byl nahrazen bodovým osvětlením z bílých LED diod a připevněn k měřicímu panelu.

Dalším problémem se ukázaly být odlesky způsobené na snímané hadičce umělým osvětlením. Tyto odlesky se projevovaly na obraze pořízeném kamerou jako bílý pruh uprostřed hadičky, který omezoval již tak velmi malou plochu, ze které bylo možné snímat barvu. Z těchto důvodů bylo vyrobeno jakési okénko tvořené dvěma plexiskly, mezi které byla vložena umělohmotná fólie s výřezem vymezujícím tok tekutiny. Průřez takto vzniklé mezery byl volen tak, aby odpovídal průřezu hadičky a minimalizovalo se tak kumulování tekutiny. Snímatelná plocha se tak podstatně zvětšila a odstranil se problém s odlesky.

Na takto modifikované aparatuře byla provedena základní měření. Pro ověření principu snímání barvy byla použita voda a tři druhy barviv – manganistan draselný, červený a modrý inkoust. S těmito roztoky byly naměřeny statické a přechodové charakteristiky. Manganistan draselný se však ukázal být nevhodný, protože oxidací vytvářel neodstranitelné zbarvení snímacího okénka a zkresloval tak výsledky měření.

Při opakovaném měření charakteristik se ukázalo, že naměřené hodnoty barev v ustáleném stavu vykazují odchylky. Toto bylo způsobeno automatikou kamery, která nastavovala vyvážení bílé barvy, expozici a zesílení v závislosti na počátečních podmínkách pokusu. Vliv automatiky se nepodařilo odstranit ani manuálním nastavením všech parametrů. Proto, aby bylo možné dosáhnout reprodukovatelných výsledků, bylo nutné před každým pokusem kameru „kalibrovat“ (například vypnutím a zapnutím osvětlení) na stejné počáteční podmínky (snímací okénko zaplněné pouze čistou vodou).

Získané přechodové charakteristiky při různých průtocích vody byly průměrovány, aby se výsledný průběh vyhladil a vyloučil se tak vliv náhodných chyb měření. Nejlepší aproximace bylo dosaženo přenosem prvního řádu s dopravním zpožděním. Do řídicího

programu byla navíc přidána průběžná identifikace založená na rekurzivní metodě nejmenších čtverců.

Původní program *kamera* byl upraven tak, aby umožňoval větší variabilitu měření. Byla doplněna možnost volby sledované RGB složky, možnost průběžné identifikace, nebo identifikace z naměřené přechodové charakteristiky. Mezi regulátory byla přidána metoda požadovaného modelu.

Po identifikaci systému následoval návrh regulátoru. Byly ověřeny metody požadovaného modelu, Ziegler-Nichols, Takahashi a přiřazení pólů. Všechny metody byly nejprve simulačně ověřeny a poté aplikovány na reálný model. Přesto, že simulačně bylo dosaženo dobrých výsledků, situace na reálném modelu byla zcela odlišná. Použitelných výsledků bylo dosaženo pouze metodou požadovaného modelu. Při použití průběžné identifikace se regulace ještě zhoršila. Tyto problémy mohly být způsobeny dlouhou periodou vzorkování. Při zpracování snímku z kamery a vyhodnocení barvy totiž docházelo k prodlevě. Nejkratší perioda vzorkování tedy byla 0,5s a i toto nastavení způsobovalo nestabilitu řídicího programu a po delším měření jej nebylo možno korektně ukončit. Další z věcí, která mohla ovlivnit regulaci a kvalitu průběžné identifikace, byla neustálá oscilace výstupní hodnoty způsobená peristaltickými čerpadly a vlastním principem čerpání. Frekvence oscilací je závislá na otáčkách čerpadel.

Pro pokračování experimentů by bylo vhodné:

- výměna snímáčí kamery za typ umožňující manuální nastavení všech parametrů,
- pokusit se optimalizovat funkci pro zpracování obrazu tak, aby bylo možné nastavit kratší periodu vzorkování,
- pokusit se minimalizovat oscilace výstupní hodnoty, například použitím čerpadla s vyššími otáčkami.

Při použití této metody pro oblast zkoumání kinetiky síťovací reakce hydrolyzovaného kolagenu by dále musel být vyřešen problém pravidelné kalibrace kamery, protože při provozu zařízení dochází k zabarvování snímáčího okénka a tedy i k vzrůstající odchylce měření.

ZÁVĚR

Úkolem této práce bylo ověření principu řízení dvou peristaltických čerpadel v technologickém procesu mísení dvou tekutin. První, teoretická část je věnována teorii barev a barevným modelům RGB a CMYK. Dále je zde popsán princip CCD snímače, který je na měřicí aparatuře použit pro snímání barvy. Zmíněny jsou také moderní způsoby využití těchto senzorů v automatizaci. V závěru je uvedena možnost využití CCD snímače při řízení síťovací reakce hydrolyzovaného kolagenu.

V praktické části je popsána měřicí aparatura a její úpravy, řídicí program, způsoby identifikace a návrhu regulátoru. V poslední části je pak sestaven návrh zadání laboratorní úlohy do předmětu „Zpracování signálů“.

Díky úpravám měřicí aparatury se podařilo zvýšit reprodukovatelnost výsledku a přesnost měření.

Stávající program pro řízení čerpadel byl upraven a doplněn o nové funkce tak, aby umožňoval větší variabilitu a komfort měření.

Jako vhodný chemický systém pro ověření principu měření byl zvolen roztok vody a inkoustu, který je cenově dostupný, neagresivní a vykazuje dobře pozorovatelnou barevnou změnu při mísení s vodou.

Při identifikaci byl systém nejlépe aproximován přenosem prvního řádu s dopravním zpožděním. Pro regulaci byl použit diskretní PI regulátor seřízený metodou požadovaného tvaru, se kterým bylo dosaženo nejlepších výsledků.

V samostatné kapitole jsou popsány problémy, které se vyskytly během měření, jejich řešení a návrh na další vylepšení.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BALÁTĚ, J. *Automatické řízení*, BEN- technická literatura, Praha 2003
- [2] BOBÁL, V. *Identifikace systémů*, VUT, Brno 1989.
- [3] Metoda požadovaného modelu [online]. [cit. 2007-05-12]. Dostupný z WWW:
< http://www.352.vsb.cz/uc_texty/synteza/text0304.htm >
- [4] BOBÁL, V. *Teorie automatického řízení III*, VUT, Brno 1990.
- [5] NOVOTNÁ, H. *Informatika*, VUT, Brno 2004.
- [6] KNOTEK, P., NOVÁK, O., a kol. *Velká kniha – Skenování, úprava obrázků a tisk*, 2. vyd. Brno: UNIS Publishing s.r.o. 2000
- [7] Principy a málo známé vlastnosti CCD snímačů obrazu [online]. [cit. 2007-05-12]. Dostupný z WWW:
<<http://automatizace.hw.cz/view.php?cislocclanku=2006041001>>
- [8] NAVRATIL, M. KŘESÁLEK, V. *Využití digitálního fotoaparátu pro sledování stavu síťovací reakce biopolymerů*, Institut informačních technologií, Fakulta technologická, UTB ve Zlíně
- [9] Detektory barvy [online]. [cit. 2007-05-12] Dostupný z WWW:
<<http://automatizace.hw.cz/view.php?cislocclanku=2006012001>>
- [10] HRUŠKA, F. *Technické prostředky automatizace III.*, UTB ve Zlíně, Zlín 2002
- [11] LAPČÍK, L., RAAB, M. *Nauka o materiálech II*, UTB ve Zlíně, Zlín 2000
- [12] ZAPLATÍLEK, K., DOŇAR, B.: *MATLAB - tvorba uživatelských aplikací*. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2004.
- [13] FRASER, B., MURPHY, CH., BUNTING, F. *Správa barev*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2003.
- [14] ZDRÁHAL, T. *Návrh aparatury pro řízení procesu síťovací reakce hydrolyzovaného kolagenu*. Diplomová práce, UTB ve Zlíně, Fakulta technologická, 2005.

- [15] ZMEŠKAL, O., BUCHNÍČEK, M. SEDLÁK, O. *Principy digitálního záznamu obrazu*. [online]. [cit. 2007-05-16] Dostupný z WWW:
http://www.fch.vutbr.cz/lectures/imagesci/download/stud02_hrakra01.pdf
- [16] Kompaktní kamerové senzory pro automatické řízení a regulaci [online]. [cit. 2007-05-12] Dostupný z WWW:
<<http://automatizace.hw.cz/view.php?cislocclanku=2007022501>>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CCD	Charge coupled device
GLU	Glutaldehyd
CMOS	Complementary metal oxidesemiconductor
RGB	Red/červená, green/zelená, blue/modrá
CMYK	Cyan/tyrkysová, magenta/purpurová, yellow/žlutá, black/černá
GUI	Graphical user interface
T	Perioda vzorkování
T _d	Dopravní zpoždění
T _i	Integrační časová konstanta
T ₁	Časová konstanta soustavy
G(s)	Přenos soustavy
G _R (z)	Diskrétní přenos regulátoru
u(t)	Akční zásah
w(t)	Žádaná hodnota
y(t)	Výstupní veličina
e(t)	Regulační odchylka
LED	Light-emitting diode
PC	Personál computer
A/D	Analog/digital
FIFO	First in first out
$\hat{\Theta}(k)$	Vektor odhadu parametrů
e(k)	Pomocný spalár
$\xi(k-1)$	Chyba predikce
$\varphi(k)$	Hodnota adaptivního zapomínání
C(k)	Kovarianční matice

$\eta(k)$, $v(k)$, Pomocné proměnné
 $\lambda(k)$

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.: 1 míchání barev RGB a CMY	11
Obr.: 2 Princip přesouvání náboje v CCD snímači.....	14
Obr.: 3 IT režim převodu náboje na napětí signál	15
Obr.: 4 Implantované čočky na povrchu CCD snímače	15
Obr.: 5 Rozložení barevného filtru na barevném CCD snímači obrazu dle Bayerovi masky.....	16
Obr.: 6 Průmyslový snímač barev.....	17
Obr.: 7 Kamerový senzor.....	19
Obr.: 8 Změna červené barvy během reakce síťování	21
Obr.: 9 Změna zelené barvy během reakce síťování	21
Obr.: 10 Změna modré barvy během reakce síťování	22
Obr.: 11 Technologická karta Adventech.....	24
Obr.: 12 Peristaltická čerpadla.....	25
Obr.: 13 Webová kamera ClickSmart 310.....	26
Obr.: 14 Snímací okénko	27
Obr.: 15 Měřicí panel.....	28
Obr.: 16 Statická charakteristika pro červený inkoust.....	29
Obr.: 17 Okno řídicího programu	31
Obr.: 18. WebCam2000	33
Obr.: 19 Naměřené přechodové charakteristiky B složky pro červený inkoust a dané průtoky vody.....	34
Obr.: 20 Normovaná a aproximovaná přechodová charakteristika při použití červeného inkoustu.....	35
Obr.: 21 Simulovaný průběh regulace červeného inkoustu pomocí PI regulátoru.....	39
Obr.: 22 Průběh regulace při použití pevně daných parametrů soustavy	39
Obr.: 23 Průběh regulace při použití průběžné identifikace soustavy	40

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Parametry čerpadel	25
Tab. 2. Tabulka koeficientů a	37

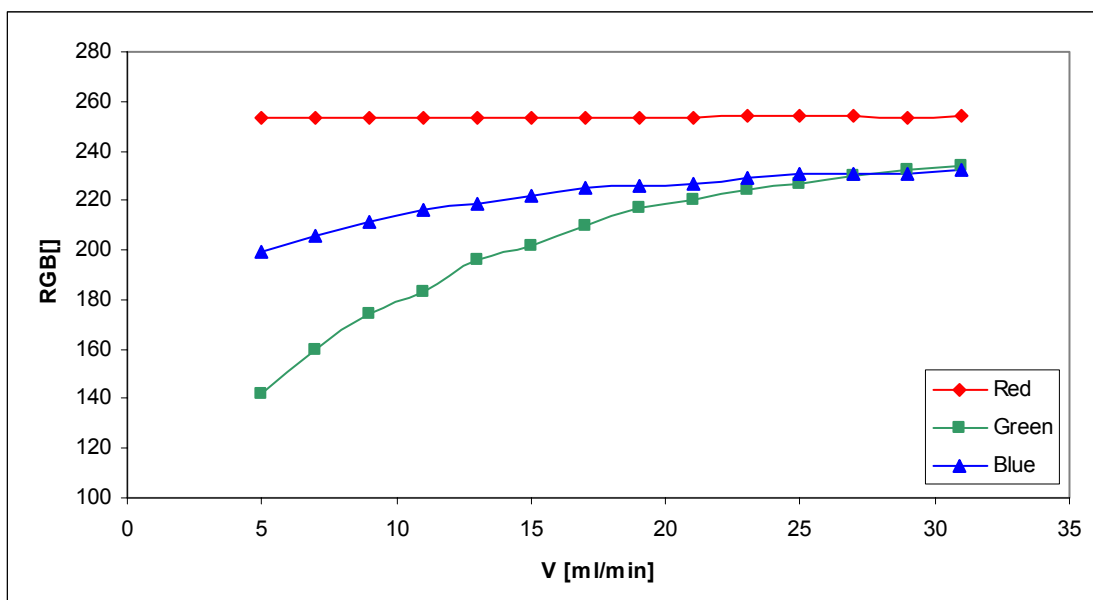
SEZNAM PŘÍLOH

- P I** Statické charakteristiky
- P II** Přechodové charakteristiky
- P III** Průběh regulace při požití modrého inkoustu

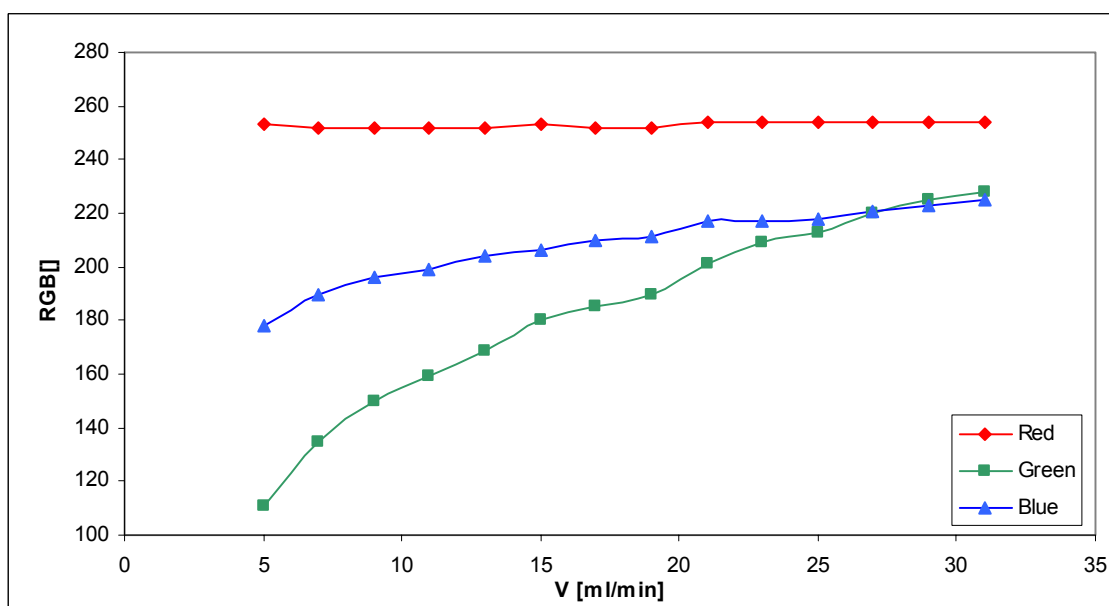
PŘÍLOHA P I: STATICKÉ CHARAKTERISTIKY

Průtok vody 5-31 ml/min, průtok barevného roztoku 25ml/min

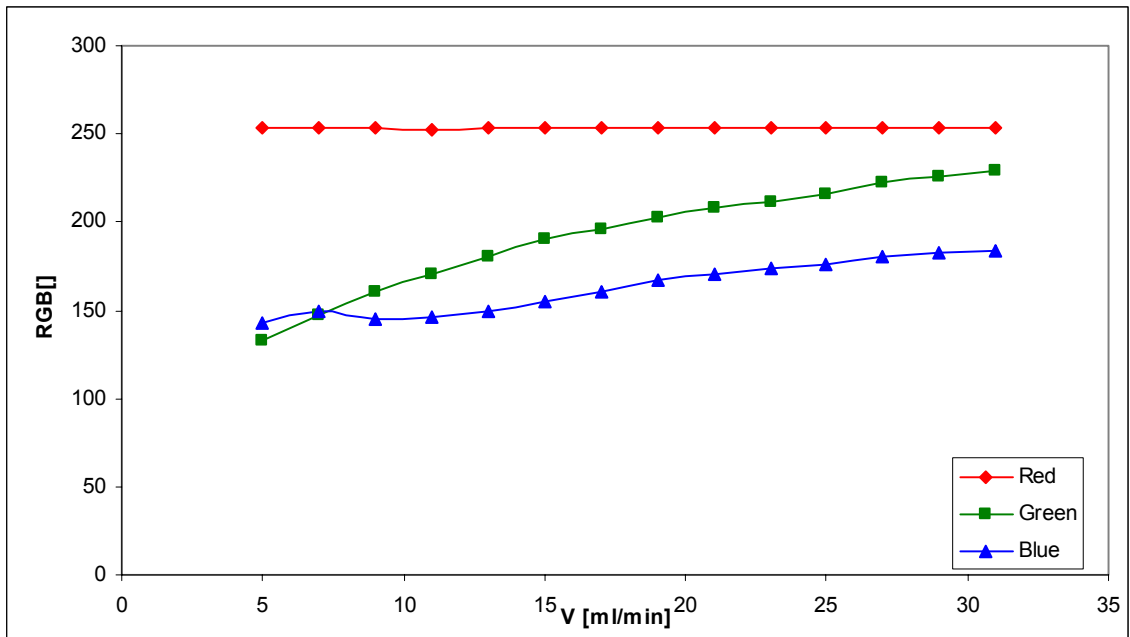
1. Manganistan draselný 0,4g/l



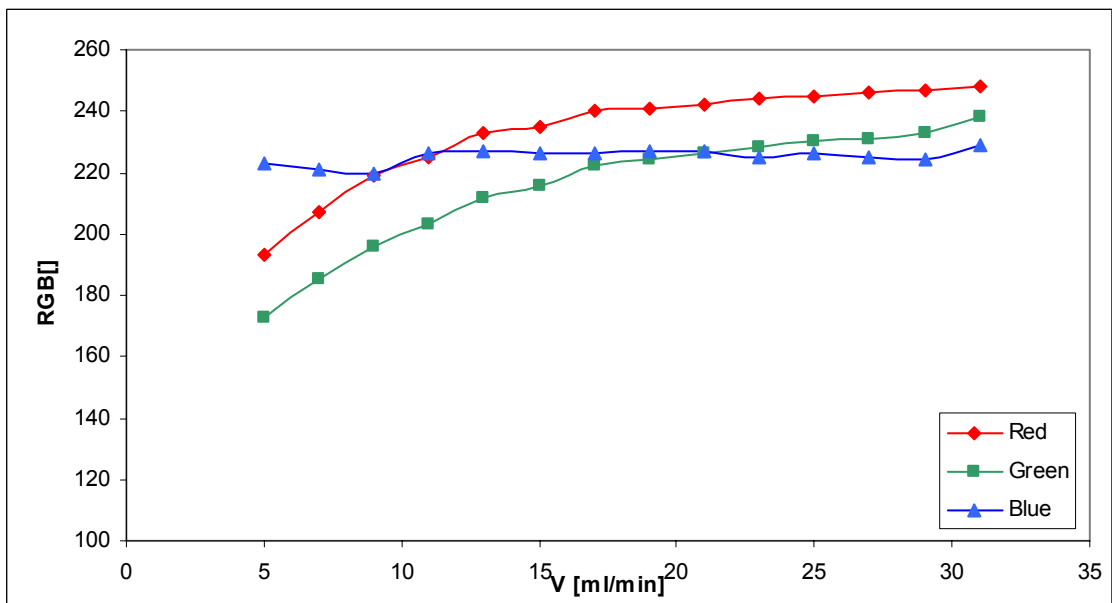
2. Manganistan draselný 0,5g/l



3. Manganistan draselný 0,6g/l



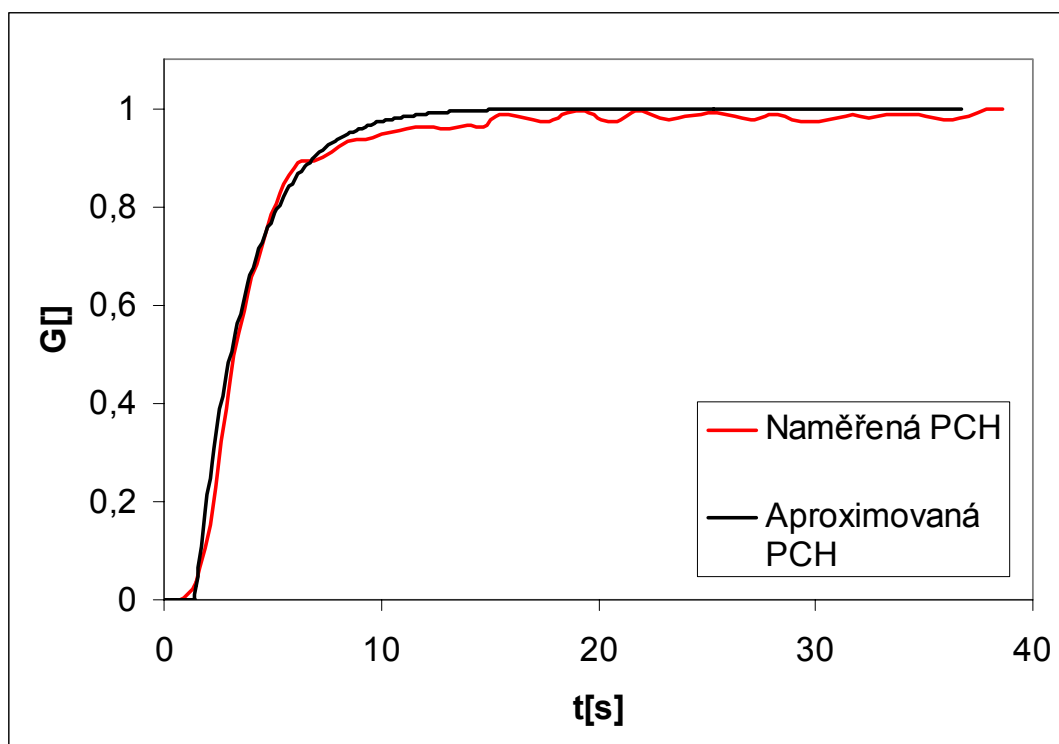
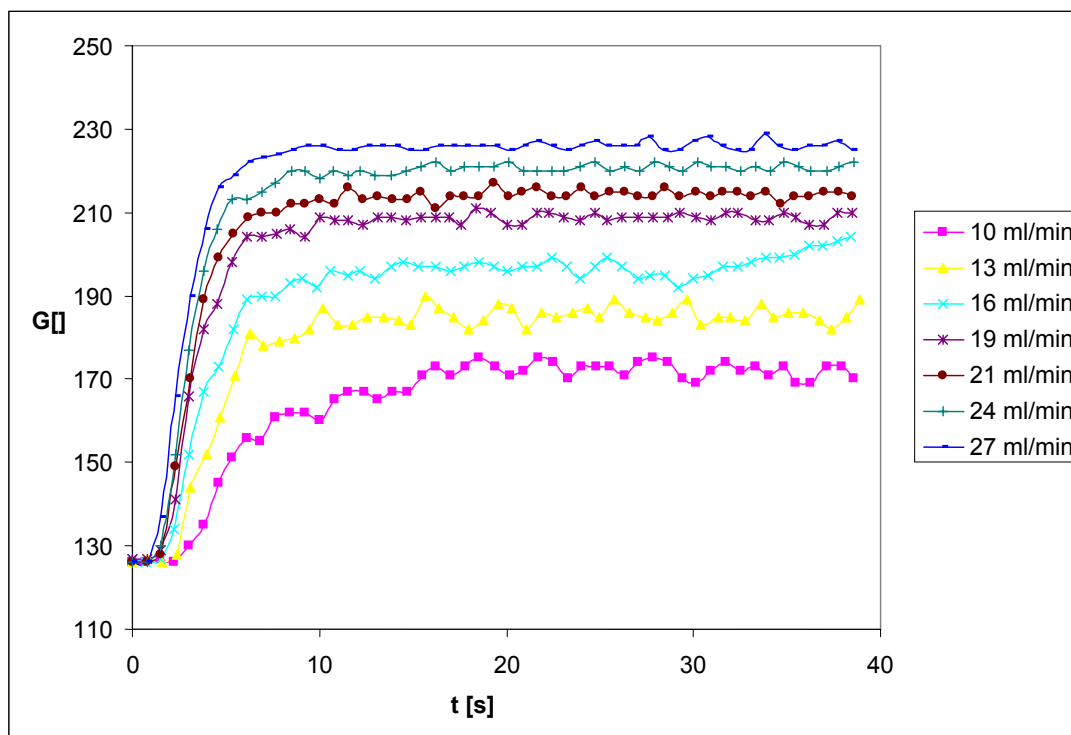
4. Modrý inkoust 25g/l



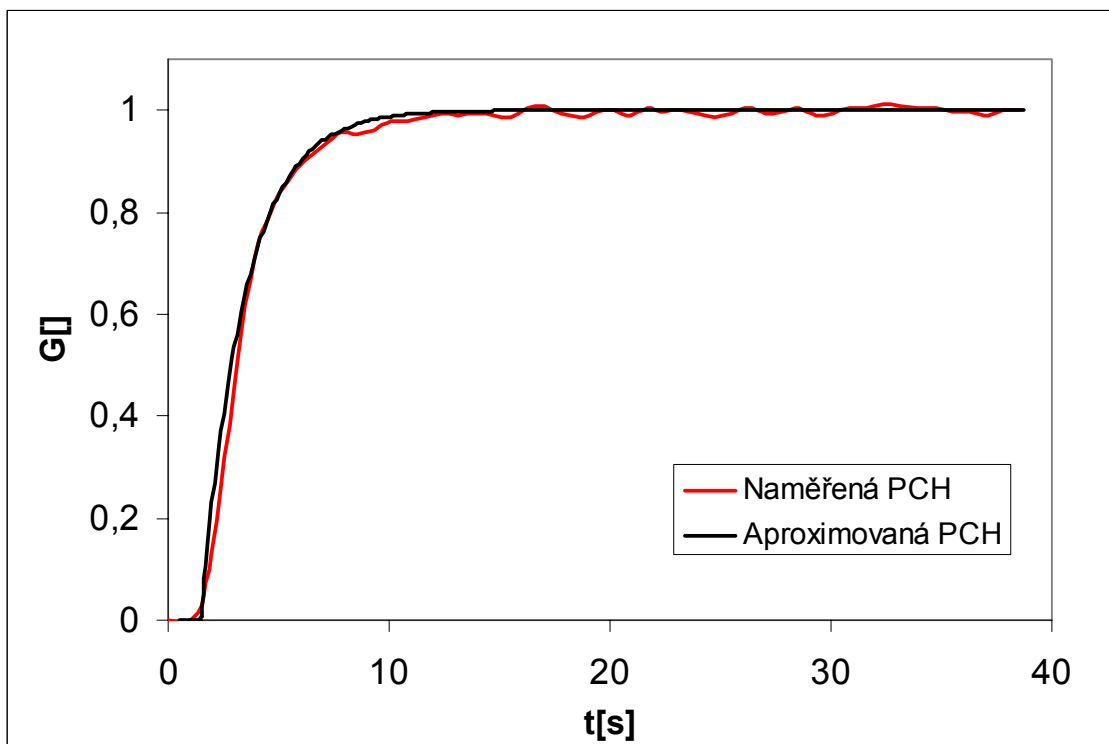
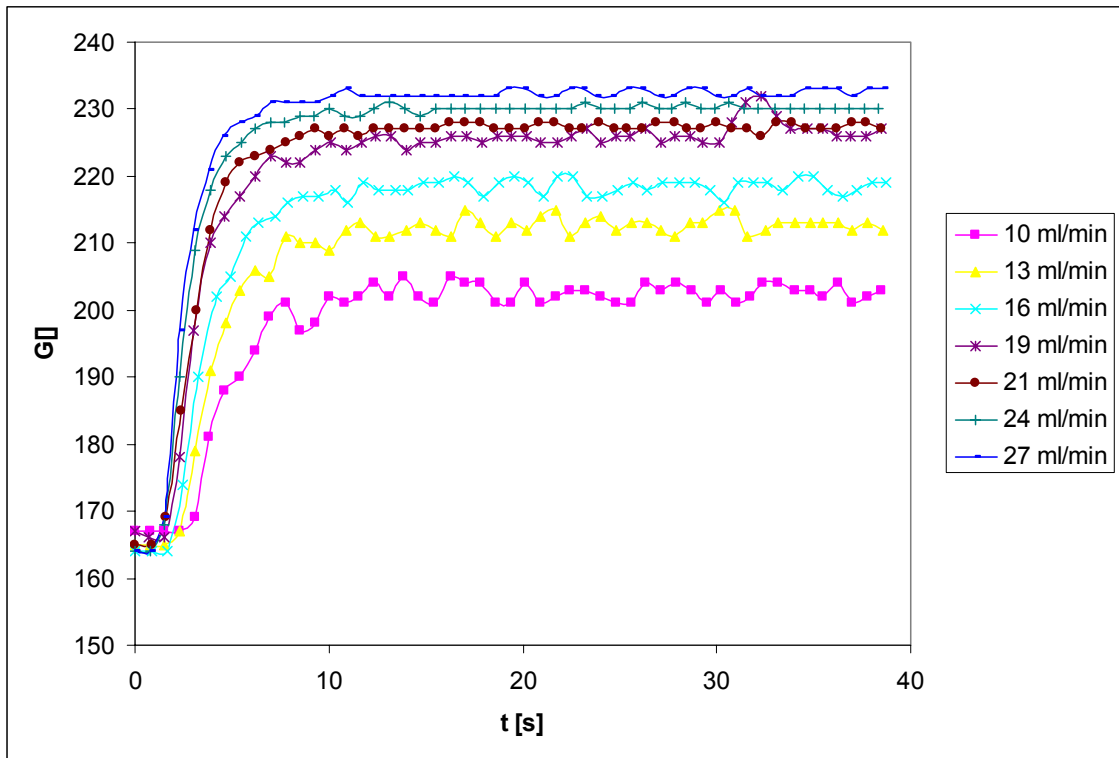
PŘÍLOHA P II PŘECHODOVÉ CHARAKTERISTIKY

Skokové změny průtoku vody 10 – 27 ml/min průtok barevného roztoku 25ml/min

1. Manganistan draselný 0,6g/l



2. Modrý inkoust 25g/l



PŘÍLOHA P III: PRŮBĚH REGULACE PŘI POUŽITÍ MODRÉHO INKOSTU

