

Hodnotenie zmeny farebnosti telies pomocou snímačov CCD

Evaluation of colour change of
elements by CCD sensors.

Eliška Kvasnicová

Bakalárska práca
2005



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Vložiť oficiálne zadanie bakalárskej práce

Rada by som poďakovala vedúcemu bakalárskej práce pánovi Ing. Milanovi Navrátil za neoceniteľnú pomoc, odborné rady a vecné pripomienky pri práci na praktickej časti i pri korekcií výslednej formy bakalárskej práce.

Prehlasujem, že som na celej bakalárskej práci pracovala samostatne a použitou literatúru som citovala.

V Zlíne, 30. 05. 2005

.....

meno bakalára

Abstrakt

Táto bakalárska práca sa zaoberá možnosťou využitia CCD senzorov pre vyhodnocovanie zmien farieb u rôznych telies. Popisuje návrh koloristickej skrine a základné experimenty s meraním zmien hodnôt farebného modelu RGB pri rôznych svetelných podmienkach. Použitie tejto novej metódy by so sebou prinieslo nesporné výhody, akými sú napríklad bezdotykové meranie, vysoká prispôsobivosť pre rôzne priemyslové prostredia alebo odolnosť aj voči elektromagnetickému rušeniu.

This Bachelor thesis deals with potential use of CCD sensors for evaluation of colour change of elements. It describes a multilight box design and essential experiments corresponding with measuring of RGB values at different light conditions. Application of this new method brings the indisputable advantages, for example, contactless measurement, high adaptability for various surroundings or resistance from electromagnetic disturbance.

OBSAH

ÚVOD	9
1 ŠTUDIJNÁ A TEORETICKÁ ČASŤ	10
1.1 SVETLO	10
1.1.1 Žiarenie absolútne čierneho telesa	11
1.2 FARBA	13
1.2.1 Aditívne a subtraktívne miešanie farieb	16
1.2.2 Vnímanie farby ľudským okom	17
1.2.3 Vizualne hodnotenie farieb	22
1.2.4 Systém RGB	27
1.3 MATLAB	28
1.4 CCD A CMOS SNÍMAČE	30
2 EXPERIMENTÁLNA ČASŤ	32
2.1 STANOVENIE CIEĽOV A METODIKA PRÁCE	32
2.2 MERACIA ZOSTAVA	32
2.3 PROGRAMY PRE OBSLUHU ZOSTAVY	34
2.4 MERANIE	35
DISKUSIA VÝSLEDKOV	37
ZÁVER	46
ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	47
ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A ZKRATIEK	48
ZOZNAM OBRÁZKOV	49
SEZNAM TABULIEK	50
ZOZNAM GRAFOV	52
ZOZNAM PRÍLOH	54
PRÍLOHA 1	55
PRÍLOHA 2	57
PRÍLOHA 3	59
PRÍLOHA 4	61
PRÍLOHA 5	63
PRÍLOHA 6	65
PRÍLOHA 7	67
PRÍLOHA 8	69

PRÍLOHA 9	71
PRÍLOHA 10	73

ÚVOD

V priebehu posledných desiatich rokov došlo k prudkému rozvoju zariadení slúžiacich k digitálnemu záznamu obrazovej informácie, ktorého hlavnou príčinou je vyvinutie integrovaných obvodov, umožňujúcich uložiť obraz v digitálnej podobe prostredníctvom elektrických signálov. Princíp záznamu spočíva v konverzii svetelného žiarenia dopadajúceho na jednotlivé obrazové elementy (pixely) senzoru svetlo-citlivého na elektrický náboj. Počet lokálne generovaných elektrónov pritom zodpovedá intenzite dopadajúceho svetelného žiarenia.

V súčasnej dobe sa používajú k záznamu obrazu dve technológie, ktoré si navzájom konkurujú. Sú to CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductors) a CCD (Charge Coupled Devices), [1]. Postupom doby si tieto technológie našli svoju oblasť aplikácie, pre ktorú sa používajú.

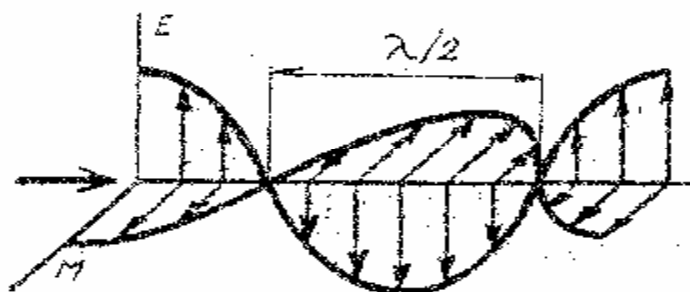
Praktické využitie CCD senzorov bolo realizované napr. pri detekcii cudzích materiálov v bavlně, a to použitím metódy osvetľovania materiálu pri rôznych vlnových dĺžkach [5].

V tejto bakalárskej práci sa zameriavame na elektronickú analýzu farieb, ktorá môže byť v praxi využiteľná v potravinárskom priemysle. Využitie tejto analýzy by mohlo viesť k sledovaniu starnutia potravín, u ktorých sa starnutie prejavuje zmenou sfarbenia (napr. mliečne výrobky, tuky, rôzne polotovary, určité cukrárske výrobky atď.). Ďalej by sa mohla využiť pri automatizácii niektorých technologických výrobných procesov.

1 TEORETICKÁ ČASŤ

1.1 Svetlo

Svetlo je základnou podmienkou ľudského videnia a je súčasťou veľa druhov žiarení, ktoré dohromady vytvárajú elektromagnetické spektrum. Svetlo sa vo vákuu šíri rýchlosťou $2,9979245 \cdot 10^8$ m.s⁻¹ [3]. Jednoduché alebo monochromatické svetlo (svetlo definované vlnovou dĺžkou) si môžeme predstaviť ako šírenie elektrickej a magnetickej intenzity svetla touto rýchlosťou. Oba vektory sú na seba kolmé, menia sa periodicky s časom a sú vzájomne vo fáze, viď Obrázok č. 1.



Obrázok č. 1 Znáznornenie elektrického a magnetického vektora svetla

Takéto monochromatické svetlo možno popísať vlnovou dĺžkou λ , frekvenciou ν , vlnčtom $\tilde{n}$ alebo energiou E . Tie spolu súvisia známymi vzťahmi [3]:

$$l \cdot n = c \quad (1)$$

$$\tilde{n} = \frac{n}{c} = \frac{1}{l} \quad (2)$$

$$E = h \cdot n \quad (3)$$

$$n = \tilde{n} \cdot c \quad (4)$$

kde $c = 2,9979245 \cdot 10^8$ m.s⁻¹, je už spomenutá rýchlosť svetla vo vákuu,

$h = 6,626176 \cdot 10^{-34}$ J.Hz⁻¹, je Plancková konštanta.

V modernej fyzike sú hmota a energia iba dve stránky popisu tej istej reality. Preto si možno každú elementárnu časticu predstaviť ako vlnenie a naopak. Rovnakým spôsobom je možné priradiť i určitú hmotnosť jednotlivým časticiam – fotónom. Ak vyjdeme z Einsteinovho vzťahu [3]:

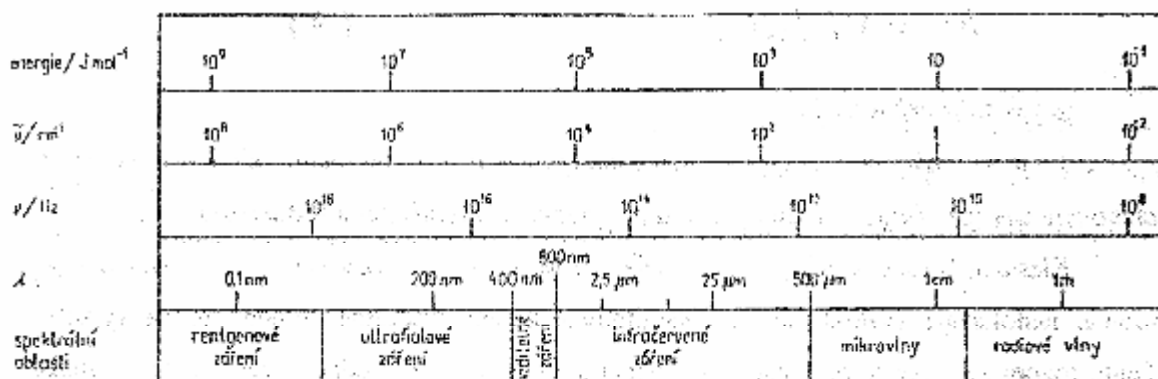
$$E = m \cdot c^2 \quad (5)$$

kde m je hmotnosť fotónu, ktorá prislúcha svetlu o určitej frekvencii. Ak dosadíme rovnicu (5) do rovnice (3), získame nasledujúci vzťah [3]:

$$m = \frac{h \cdot n}{c^2} = \frac{h}{l \cdot c} \quad (6)$$

Z toho vyplýva, že svetlo má tým vyššiu energiu, čím kratšie má vlnové dĺžky.

Ako v mnohých prípadoch nemožno stanoviť presné hranice, kde určitá oblasť elektromagnetického žiarenia začína a končí. Obecne je možné celý rozsah žiarenia približne rozdeliť tak, ako je možné vidieť na Obrázku č. 2.



Obrázok č. 2 Spektrum elektromagnetického žiarenia

Samotné viditeľné spektrum sa delí na svetlo červenej farby (720-627nm), oranžovej farby (627-589nm), žltej farby (589-566nm), zelenej farby (566-495nm), modrej farby (495-436nm) a fialovej farby (436-380nm).

1.1.1 Žiarenie absolútne čierneho telesa

Zohriate telesá sú zdrojom elektromagnetického žiarenia. Intenzita žiarenia a jej rozloženie podľa frekvencie obecné závisí na teplote žiariaceho telesa a materiálu, z ktorého sa teleso skladá. Absolútne čierne teleso je také teleso, ktoré pohlcuje všetko dopadajúce žiarenie. Charakter žiarenia absolútne čierneho telesa nezávisí na materiáli, ale iba na jeho teplote. Klasický Rayleighov-Jeansov zákon pre intenzitu monochromatického žiarenia absolútne čierneho telesa je [3]:

$$E_n^o = \frac{2 \cdot p \cdot n^2}{c^2} \cdot k \cdot T \quad (7)$$

kde $k = 1,380662 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ je Boltzmannová konštanta.

V oblasti vysokých frekvencií sa tento zákon odchyľuje od experimentálnych hodnôt. Intenzita monochromatického žiarenia monotónne stúpa s rastúcou frekvenciou a celková intenzita žiarenia, ktorá je definovaná ako [3]:

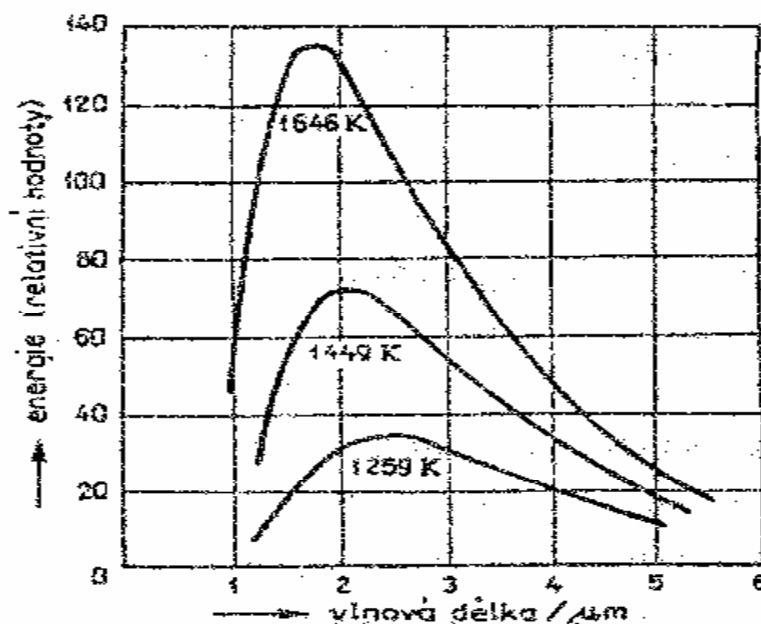
$$E^o = \int_0^{\infty} E_n^o dn \quad (8)$$

je potom nekonečne veľká.

To je samozrejme v rozpore nielen s experimentálnymi hodnotami, ale i so zákonom o zachovaní energie. Tento paradox je známy pod názvom „ultrafialová katastrofa“.

Klasická fyzika, ktorá predpokladala, že teleso môže vyžarovať a pohlcovať energiu spojito, nedokázala kvalitatívne ani kvantitatívne žiarenie absolútne čierneho telesa vyjadriť. Tento rozpor sa podarilo preklenúť M. Planckovi v roku 1900 predpokladom, že teleso môže vyžarovať a pohlcovať energiu iba v určitých diskretných hodnotách, ktoré sú celistvým násobkom elementárneho kvanta (viď. rovnicu (3)).

Na Obrázku č. 3 vidíme experimentálne zistené spektrálne priebehy žiarenia čierneho telesa pri troch rôznych teplotách. Z grafu je jasné, že zvyšovaním teploty prudko stúpa maximálna hodnota intenzity žiarenia a zároveň dochádza i k posunu tohto maxima k nižším vlnovým dĺžkam. Pri teplotách pod 1700 K žiarenie ešte nezasahuje viditeľnú oblasť, ale pohybuje sa v infračervenom pásme.



Obrázok č. 3 Závislosť vyžiarenej energie na vlnovej dĺžke absolútne čierneho telesa

1.2 Farba

Výraz „farba“ je pojmom veľmi mnohoznačným, takže nedokonalo špecifikovaný význam a nepresný výklad tohto slova môže viesť k nejasnostiam. Význam slova „farba“ je najčastejšie spojovaný s psychosenzorickým vnímaním, teda vnemom, ktorý sprostredkováva ľudské oko. V obecnom vyjadrovaní sa pojem „farba“ prenáša i na vlastnosť svetla (svetelného podnetu) a predmetu. Hovorí sa o „farbe“ svetla alebo „farbe“ predmetu, prípadne o farebnom svetle a farebnom predmete. Vedľa toho je pojem „farebný“ často spájaný iba s pestrými farbami a na neutrálne farby ako biela, šedá a čierna sa akosi pozabúda.

Vzhľadom k tejto mnohoznačnosti sa doporučuje používať pojem „farba“ iba ako vlastnosť zrkového vnímania.

K vyjadrovaniu vlastnosti svetla a predmetov je vhodné používať pojem „farba“ v spojeniach „farba svetla“ a „farba predmetu“, eventuálne v adekvátnych výrazoch týchto spojení.

Všetky farby je možné rozdeliť na achromatické a chromatické. K achromatickým patrí farba biela, šedá a čierna. Spektrálne zloženie achromatických farieb je charakterizované izoenergetickou priamkou, ktorá je rovnobežná s osou vlnových dĺžok a jednotlivé farby sa od seba líšia iba celkovou energetickou úrovňou. V prípade, že nejaký povrch absorbuje svetelné lúče vo všetkých vlnových dĺžkach rovnako, hovoríme o tzv. neselektívnej absorpcii. U ideálneho bieleho povrchu dochádza teda ku 100% odrazu svetla pri všetkých vlnových dĺžkach, u neutrálnej šedi je tento odraz 50% a u ideálne čierneho povrchu je teda 0%, a to opäť vo všetkých vlnových dĺžkach.

Chromatické farby sú podľa svojho spektrálneho zloženia buď jednoduché alebo zložené. K jednoduchým patria tzv. monochromatické farby, to sú také, ktoré sú charakterizované spektrálnym priebehom cez viac vlnových dĺžok. Od achromatických sa zložené farby líšia tým, že ich spektrálny priebeh nieje priamkový (priamka rovnobežná s osou vlnových dĺžok), ale je charakterizovaný krivkou s jedným alebo viac vrcholmi.

Spektrálnym záznamom, ktorý nám charakterizuje určitú farbu, môže byť v prípade sledovania odrazu žiarenia remisná krivka, v prípade sledovania absorpcie (pohlčovania žiarenia) absorpčná krivka. Remisná krivka ukazuje závislosť množstva odrazeného svetla

na vlnovej dĺžke. V oboch prípadoch sa jedná o relatívne vyjadrenie vzhľadom k celkovému množstvu dopadajúceho svetla vo viditeľnej oblasti. Špeciálnym prípadom sú remisné krivky fluorescenčných vyfarbení, kedy dochádza k absorpcii žiarenia v UV (ultrafialovej) oblasti spektra (väčšinou do modrofialovej oblasti).

Z hľadiska zrkového vnemu je chromatická farba trojrozmernou veličinou, ktorú možno charakterizovať týmito tromi hodnotami [3]:

- farebným tónom (odtieňom) – λ ,
- čistotou (sýtosťou) – P ,
- jasom – L .

Farebný tón

Farebný tón (odtieň) je vlastnosť chromatickej farby, podľa ktorej ju môžeme prirovnávať k niektorej zo spektrálnych farieb. Pojmom farebný tón môžeme charakterizovať i zloženie farby, aj napriek tomu, že v spektre obsahuje niekoľko druhov monochromatického žiarenia. Zloženú farbu vníma oko ako určitý a jednotný svetelný impulz, teda ako farbu červenú, zelenú atď. Preto je možné z hľadiska farebnosti porovnávať zložené farby s monochromatickými a presne ich definovať vlnovou dĺžkou.

Ak je monochromatická farba zmiešaná s bielou premietnutá na achromatickú plochu, zostáva vnem východzej monochromatickej farby. Rôznymi pomermi oboch zložiek je možné meniť iba intenzitu odtieňa.

V prípade, že farebné svetlo, monochromatické alebo zložené, premietneme na chromatickú plochu a výsledná farba bude súčtom farby svetla a farby plochy, dôjde ku zmene farebného tónu.

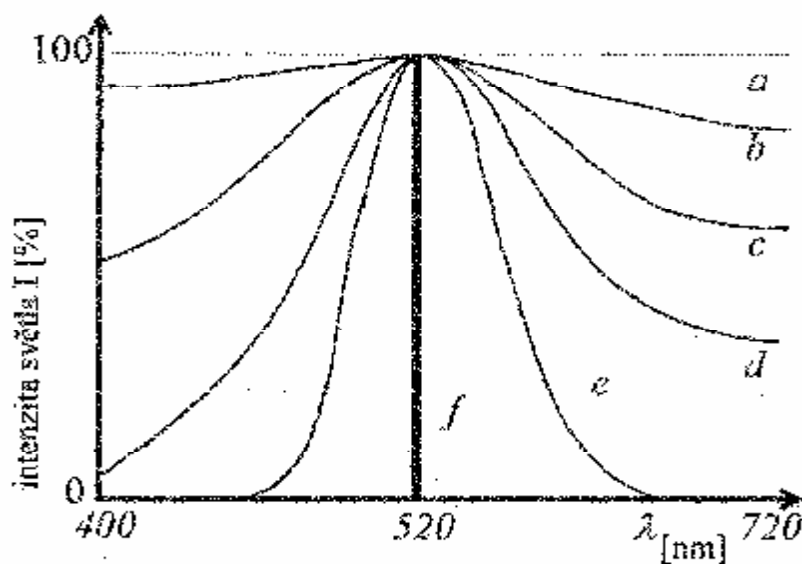
Farebný tón purpurových farieb, v ktorých v spektre chýbajú odpovedajúce monochromatické farby, sa vyjadruje vlnovou dĺžkou ich doplnkových farieb λ_{DK} . Doplnkové sú dve farby, z ktorých zmiešaním sa v určitých pomeroch vytvoria farby achromatické.

Čistota

Čistota (sýtost') vyjadruje relatívny podiel intenzity svetla v danej oblasti spektra proti celkovej intenzite. Ako je vidieť na Obrázku č. 4 najväčšiu čistotu majú spektrálne monochromatické farby, ktorých čistota sa považuje za 100%-nú.

Jas

Jas vyjadruje svietivosť plochy svetelného zdroja a priemetu tejto plochy do roviny kolmej k osi, na ktorej je jas meraný. Jednotkou je kandela na štvorcový meter. (Kandela je jednotka svietivosti, ktorá udáva svietivosť $1/600\,000\text{ m}^2$ povrchu absolútne čierneho telesa v smere kolmom k tomuto povrchu pri teplote tuhnutia platiny (2 042 K) za tlaku 101,325 kPa). V kolometrickej praxi sa však stretávame s relatívnym vyjadrovaním jasů od 0-100% [3].



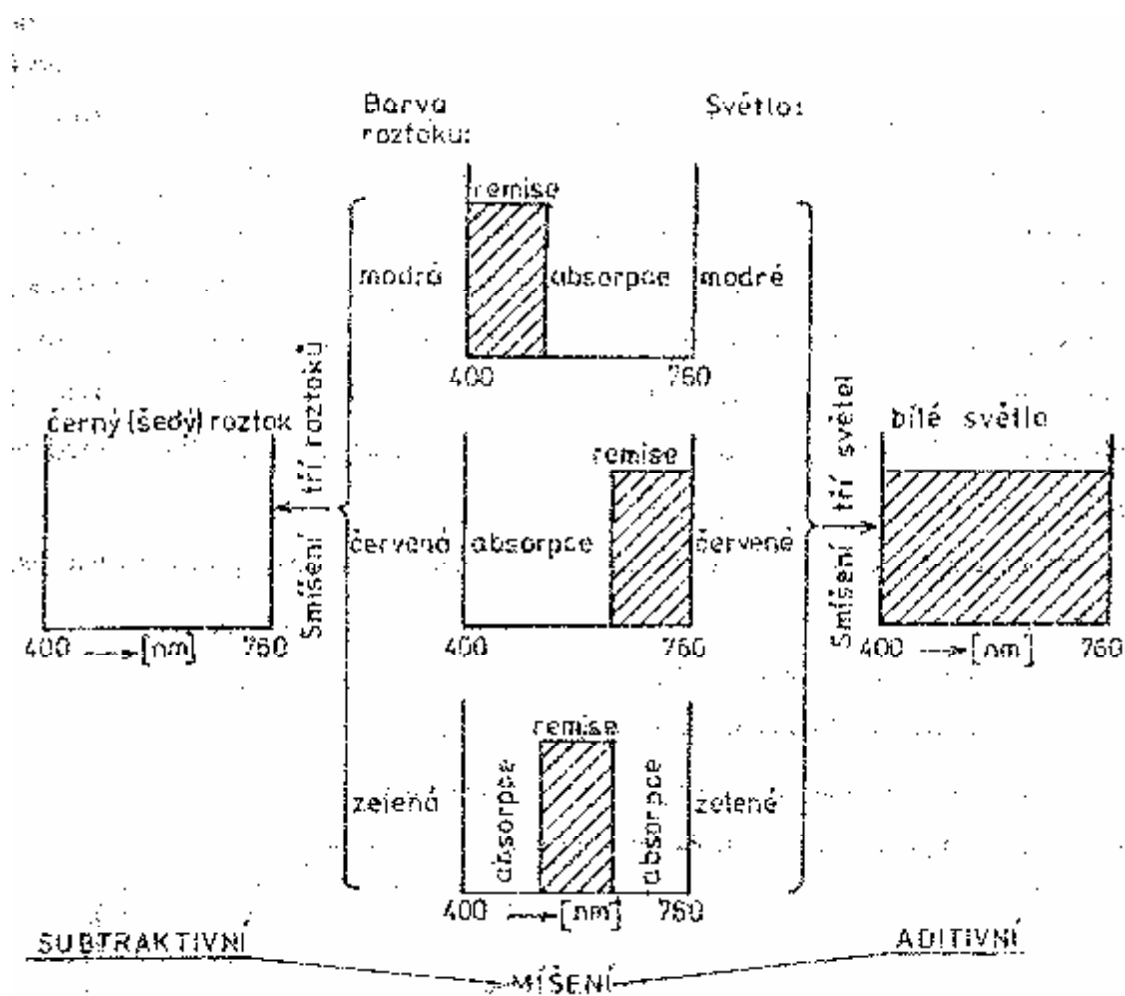
Obrázok č. 4 Grafické znázornenie rastu sýtosti zelenej farby

- Krivka (priamka) izoenergetického bieleho svetla.
- Ak sa zníži intenzita svetla u všetkých vlnových dĺžok okrem zelenej, bude mať výsledné svetlo zelenkavý odtieň.
- e) Ak pokles intenzity svetla v ostatných oblastiach svetla okrem zelenej ďalej pokračuje, zelená farba sa stáva výraznejšou – sýtejšou alebo čistejšou.
- Spektrálny záznam „čistej monochromatickej“ zelenej farby.

1.2.1 Aditívne a subtraktívne miešanie farieb

Pri aditívnom miešaní farieb ide o miešanie svetiel jednotlivých odtieňov (napr. pri osvetľovaní). Dochádza pri ňom ku sčítaniu remisných spektier jednotlivých farieb. Subtraktívne miešanie sa uplatňuje pri farbení textilu, pri miešaní farieb v prášku, prípadne v roztoku. Pri subtraktívnom miešaní sa sčítajú absorpčné spektrá farieb.

Pri subtraktívnom miešaní troch vhodne zvolených farieb (napr. červenej, zelenej a modrej) vznikne farba čierna, pri aditívnom biela. Na Obrázku č. 5 môžeme vidieť príklad takého miešania.



Obrázok č. 5 Grafické znázornenie aditívneho a subtraktívneho miešania farieb

Tri sklenené kyvety sú naplnené vhodnými roztokmi troch ideálnych farieb – červenej, zelenej a modrej. Pri presvietení týchto kyviat izoenergetickým bielym svetlom z nich vychádza červené, zelené a modré svetlo. Ako vyplýva z Obrázku č. 5, vznikne pri miešaní

červeného, zeleného a modrého svetla svetlo biele. Pri zmiešaní červeného, zeleného a modrého roztoku farbiva dostaneme roztok čierny (prípadne šedý).

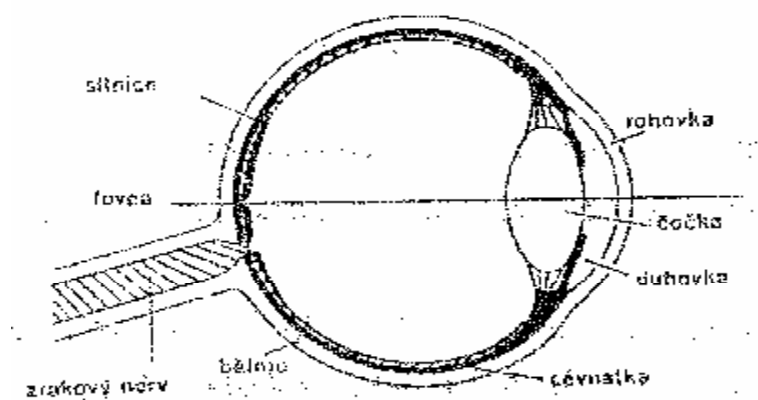
Remisné i absorpčné spektrum ideálnych farieb má charakteristický obdĺžnikový priebeh a nadobúda iba prahové hodnoty 0 alebo 1. (Prahové hodnoty pritom znamenajú, že remisia môže podľa spôsobu vyjadrenia nadobúdať 0 alebo 1, resp. 0 alebo 100% a absorpcia 0 alebo 2, pretože je definovaná ako záporný dekadický logaritmus transmitancie alebo pomeru I_p/I_o , kde I_p je intenzita prechádzajúceho žiarenia predmetom a I_o je intenzita dopadajúceho žiarenia.) [3].

1.2.2 Vnímanie farby ľudským okom

Ako bolo povedané, videnie sprostredkováva ľudské oko, ktoré je citlivé na svetlo z tzv. „viditeľnej“ oblasti spektra. Oko nerozlišuje iba charakter dopadajúceho svetla, to znamená intenzitu svetla a vnímanú farbu, ale rozoznáva i smer dopadajúcich svetelných lúčov, a tým si vytvára i vnem tvaru pozorovaných predmetov. Funkcia oka je prispôbená k vnímaniu kontrastu farby i tvaru. V ľudskom mozgu sa potom vytvára celkový vnem pozorovaného okolia, v ktorom je informácia sprostredkovaná zrakovým orgánom doplnená o predchádzajúce skúsenosti pozorovateľa a zároveň koordinovaná s informáciami získanými z ostatných zmyslových orgánov.

Farba je teda jedným z mnohých znakov, ktorými možno charakterizovať predmet a jej vnem je ovplyvnený [3]:

- fyzikálnou povahou svetla,
- fyziologickými dejmi na sietnici oka v mozgu,
- psychologickou interpretáciou fyziologickej reakcie,
- psychosomatickým stavom organizmu pozorovateľa.



Obrázok č. 6 Schéma horizontálneho rezu ľudským okom

Zrakový vnem vzniká dopadom svetla a následným podráždením svetlo-citlivých buniek tvoriacich sietnicu. Sietnica, ktorá je bohato pretkávaná rozvetvenými krvnými cievami, má tri odlišné tenké vrstvy nervových buniek. Najbližšie k šošovke je vrstva buniek gangliových, potom nasledujú bunky bipolárne a nakoniec vlastné fotoreceptorové bunky.

Práve fotoreceptory, teda svetlocitlivé bunky, spracovávajú jednotlivé kvanta svetelnej energie, teda fotóny, dopadajúce na sietnicu. Lúče svetla musia najskôr prejsť vrstvou gangliových a bipolárnych buniek, než sú spracované fotoreceptormi. Vonkajšie spojenie k vláknam zrakového nervu zabezpečuje vrstva gangliových buniek. Každá z nich je spojená s jednou či viac bunkami bipolárnymi v strednej vrstve, ktoré prenášajú informácie z fotoreceptorov.

Fotoreceptory tvoria dva odlišné typy buniek, líšiac sa svojím tvarom a citlivosťou – sú to tyčinky a čapíky.

Tyčinky sú citlivé na rozdiely v intenzite dopadajúceho svetla a nemôžu poskytnúť farebný vnem – skotopické alebo súmravné videnie. Reagujú už aj na veľmi malé množstvo svetelnej energie, a tým sprostredkovávajú videnie aj za veľmi slabého osvetlenia. Zrakový signál nieje prenášaný do mozgu jednotlivými tyčinkami, ale ich skupinami, a to je to, čo zapríčiňuje malú rozlišovaciu schopnosť za šera.

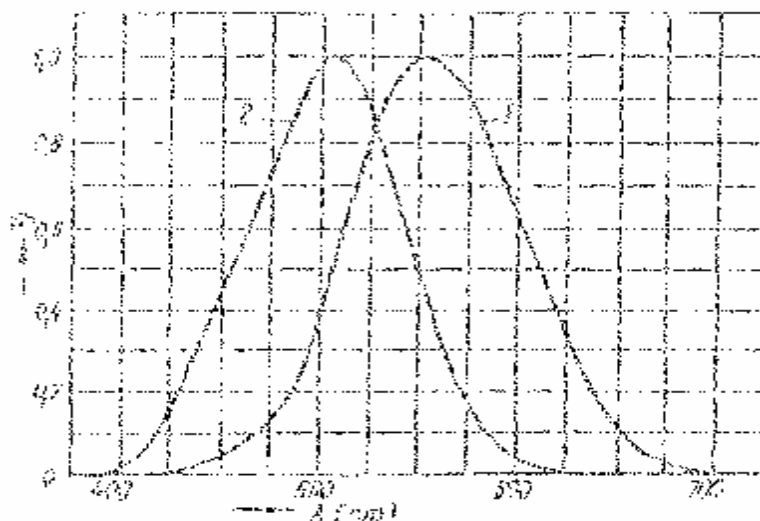
Čapíky pravdepodobne obsahujú 3 druhy fotosenzibilných substancií, z ktorých jedna absorbuje v červenej oblasti, druhá v zelenej a tretia v modrej oblasti spektra. Po absorpcii svetla nasleduje fotochemická reakcia, ktorá vedie k farebnému vnemu – fotopické videnie. Farebný vnem inej než červenej, zelenej a modrej vzniká kombináciou rôznych stupňov narušenia 3 fotosenzorických substancií. Najvyššia koncentrácia čapíkov je v oblasti žltej

škvřny, ktorej stred sa nazýva „fovea centralis“. Bežne je udávaná rozlišovacia schopnosť ľudského oka okolo 3,5-5 miliónov odtieňov, u skúsených koloristov 7 až 10 miliónov. Je však nutné zdôrazniť, že oko vníma veľmi citlivo i malé rozdiely v odtieňoch, ak robíme porovnanie napríklad dvoch vyfarbení (predlohy a vzorky). V okamihu, kedy máme definovať odtieň absolútne, resp. oddelene, táto citlivosť sa stráca a viac menej zostávame u povrchného hodnotenia.

Smerom od žltej škvřny na všetky strany počet čapíkov postupne klesá a na okrajoch sietnice už možno nájsť prakticky iba tyčinky. Vo vnútri ľudského oka je tyčiniek približne 18-krát viac než čapíkov. V tesnom susedstve žltej škvřny je tiež oblasť, v ktorej sa spájajú nervové vlákna oka. Tie vytvárajú zrkový nerv, ktorý vystupuje von z očnej buľvy. V miestach, kadiaľ prechádza sietnica, nie sú prítomné žiadne fotoreceptory, a preto sa tomuto miestu hovorí slepá škvřna. Za normálnych okolností však mozog pri rekonštrukcii obrazu chýbajúcu oblasť ľahko doplní, takže vo výslednom zobrazení žiadnu diery nenájdeme.

Pri dostatočnom osvetlení vníma teda ľudské oko farby, pri nízkom osvetlení iba jas, predmety „strácajú“ farbu a stávajú sa v rôznom stupni šedými, poprípade čiernymi. V oblasti medzi fotoptickým a skoptickým videním je tzv. Purkyňova oblasť. Je to vlastne prechodová oblasť pri takom osvetlení, kedy sú v činnosti tyčinky a viac alebo menej čapíky. Pri tom sa prejavuje zmena farieb proti normálnemu fotopickému videniu, ktorá je spôsobená tým, že v tejto oblasti je oko citlivejšie na modrú časť spektra.

Ako môžeme vidieť na Obrázku č. 7 nieje citlivosť pri skotopickom a fotopickom videní rovnaká. Pri dennom svetle je oko najcitlivejšie na svetlo o $\lambda=555$ nm, pri skotopickom videní sa citlivosť posunie k nižším vlnovým dĺžkam a jej maximum je pri $\lambda=507$ nm [3].



Obrázok č. 7 Citlivosť ľudského oka: 1 – pri fotopickom videní, 2 – pri skotopickom videní

Vedľa Purkyňovho javu sa na subjektivite vizuálneho vnímania farebnosti podieľajú i anomálie farebného videnia, ktoré sa môžu u jednotlivých pozorovateľov vyskytovať. V podstate môžu byť tri typy anomálií:

- trichromatické,
- dichromatické,
- monochromatické.

Úplná farbosleposť je typ monochromatického vnímania farieb – skotopické videnie. U anomálneho trichromatického videnia je možné rozlíšiť opäť tri skupiny, podľa toho, ktorý „typ“ čapíkov reaguje slabšie. Tomuto zoslabeniu činnosti hovoríme u „červených“ čapíkov protanomália, u „zelených“ čapíkov deuteranomália a u „modrých“ čapíkov tritanomália. Pritom sú všetky tri typy čapíkov v činnosti. Dichromatické anomálie je možné si predstaviť tak, ako by niektorý typ čapíkov nereagoval vôbec. V tom prípade podľa typu dichromatickej anomálie (nazývame obdobne protanopia, deuteranopia a tritanopia) vnikajú vo farebnom spektre miesta, ktoré taký anomálny pozorovateľ nevidí farebne, ale šedo. Všeobecne je udávané, že každý 20 človek trpí anomáliami, ďaleko viac muži (úplná farbosleposť je u oboch pohlaviach zastúpená približne rovnako).

Oko tiež ľahšie postrehne zmeny jasů než zmeny vo farbe. Pozorovateľná zmena jasů je úmerná celkovému jasů – zákon Weber-Fechnerov. Veľká prispôsobivosť ľudského oka jasů je veľmi charakteristickou vlastnosťou. Oko vníma a porovnáva predovšetkým

relatívne rozdiely, preto dochádza akoby k oddeleniu jasu od farebného vnímania. To je jeden z hlavných rozdielov pri fyzikálnom a fyziologickom posudzovaní odtieňov.

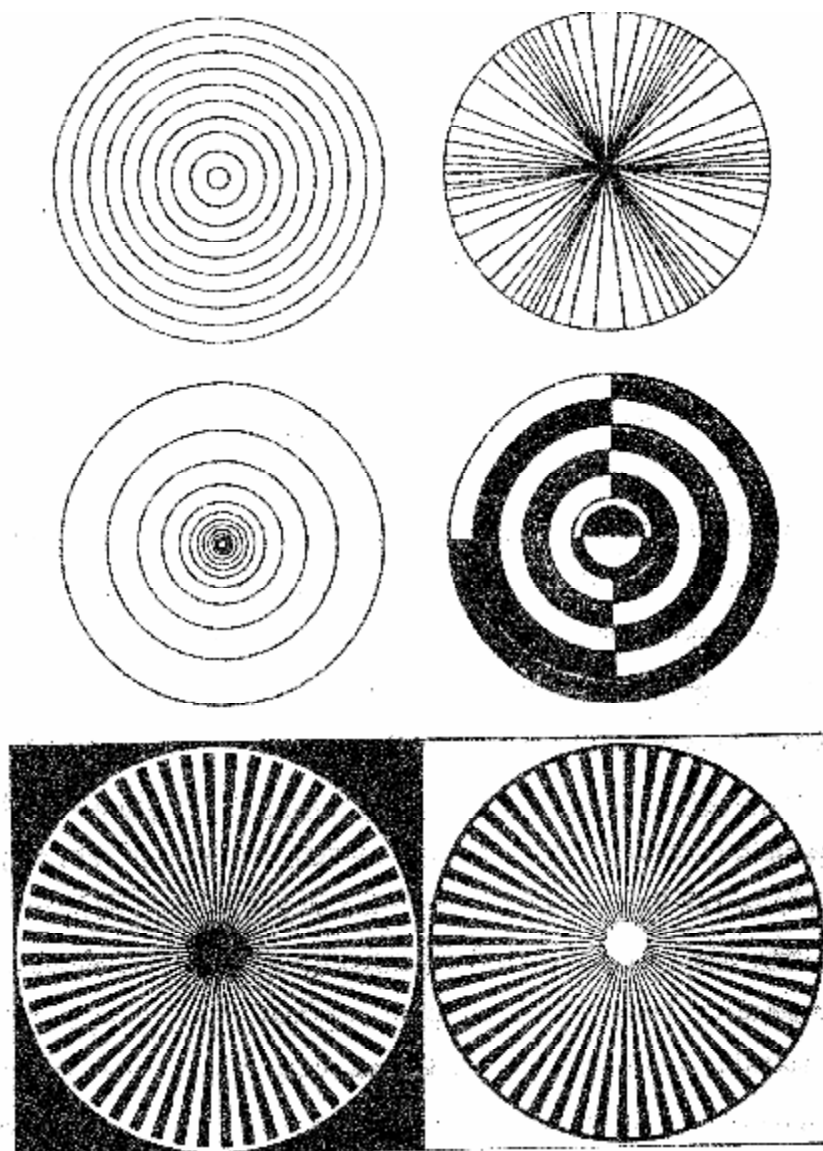
Ďalšou význačnou vlastnosťou ľudského oka je schopnosť syntetizovať farebné vnemy. Ak napríklad fyzikálne stanovíme, že svetlo dopadajúce na ľudské oko sa skladá z troch monochromatických svetiel o $\lambda_1 = 450 \text{ nm}$, $\lambda_2 = 520 \text{ nm}$ a $\lambda_3 = 650 \text{ nm}$ o rovnakých intenzitách, vníma oko toto svetlo ako zelené monochromatické svetlo o $\lambda = 550 \text{ nm}$ [3]. Pri rovnakých intenzitách svetla oko teda nerozlíši, či ide skutočne o monochromatické svetlo alebo o súčet troch svetiel – modrého, zeleného a červeného. Táto schopnosť syntézy umožňuje i vnemy purpurových odtieňov, ktoré sa medzi spektrálnymi farbami vôbec nevyskytujú.

A v neposlednej rade sa na subjektívite vizuálneho posudku podieľa i adaptačná schopnosť oka, ktorá je silno ovplyvnená únavou. Určite sa už každý stretol s tým, že ak sa díva dlhšiu dobu na nejaký farebný predmet, dochádza k „projekcií“ farby tohto predmetu pri odvrátení pohľadu na čiernu plochu a k „projekcií“ komplementárnej farby, ak zrak upriamime na bielu plochu.

S únavou oka, jeho neustálym pohybom, súvisí ďalší jav, nazývaný simultánny farebný kontrast, ktorý nastáva pri pozorovaní viacerých farieb naraz. Tieto farby sa potom javia ako rozdielne, ak napríklad pozorujeme rovnaký odtieň na rôznych pozadiach vedľa seba. K tomu môže dochádzať napríklad u pestro tkaného tovaru, či pri tlači väčších vzorov.

Ako ďalší efekt môže u jemných vzoroch, predovšetkým u prúžkoch, nastávať tzv. kinetizácia odrazu, kedy sa nám pri dlhšom pozorovaní zdá, že vzor tzv. „uteká“, prípadne, že dochádza k jeho deformáciám a pod. Ukážku tzv. kinetických obrazcov môžeme vidieť na Obrázku č. 8.

Všetky tieto vplyvy je nutné pri vizuálnom pozorovaní brať do úvahy a snažiť sa ich buď úplne potlačiť alebo aspoň štandardizovať tak, aby porovnateľnosť jednotlivých pozorovaní bola čo najväčšia.



Obrázok č. 8 Kinetické obrazce

1.2.3 Vizualne hodnotenie farieb

Najjednoduchšia a najpraktickejšia špecifikácia farby je daná farebnými štandardami. Ak takýto štandard položíme vedľa neznámeho vzorku, môžeme vizuálne určiť, ako sa zhoduje neznámy vzor so štandardom. Štandardom môže byť:

- predloha,
- štandardná rada,
- atlas farieb.

Predloha

Predloha je väčšinou jedna vzorka textilného materiálu odfarbená na zákazníkovo požadovaný odtieň.

Štandardná rada

Štandardná rada je väčšinou koncentračný, resp. silový sled vyfarbenia typového farbiva. Je väčšinou používaná k hodnoteniu sily odtieňa a čistoty vzoriek farbív (je samozrejme možné používanie štandardných rád i pri výstupných kontrolách v textilných závodoch). Inými typickými radami, ktoré sa používajú v koloristickej praxi, sú modré a šedé stupnice pre hodnotenie stálostí.

Atlas farieb

Atlas farieb je systematický súbor úzko odstupňovaných vzoriek farieb. Ideálny atlas farieb by bol systém, ktorý by zahrňoval cca 10 miliónov farieb. V praxi si však musíme vystačiť s menším množstvom farieb, väčšinou okolo tisíc.

Usporiadanie farieb do súboru môže byť rôzne. V praxi sa v podstate uplatnili štyri systémy:

- trojuholník farieb,
- Ostwaldov systém,
- Munsellov systém,
- systém DIN 6164.

Farebný trojuholník

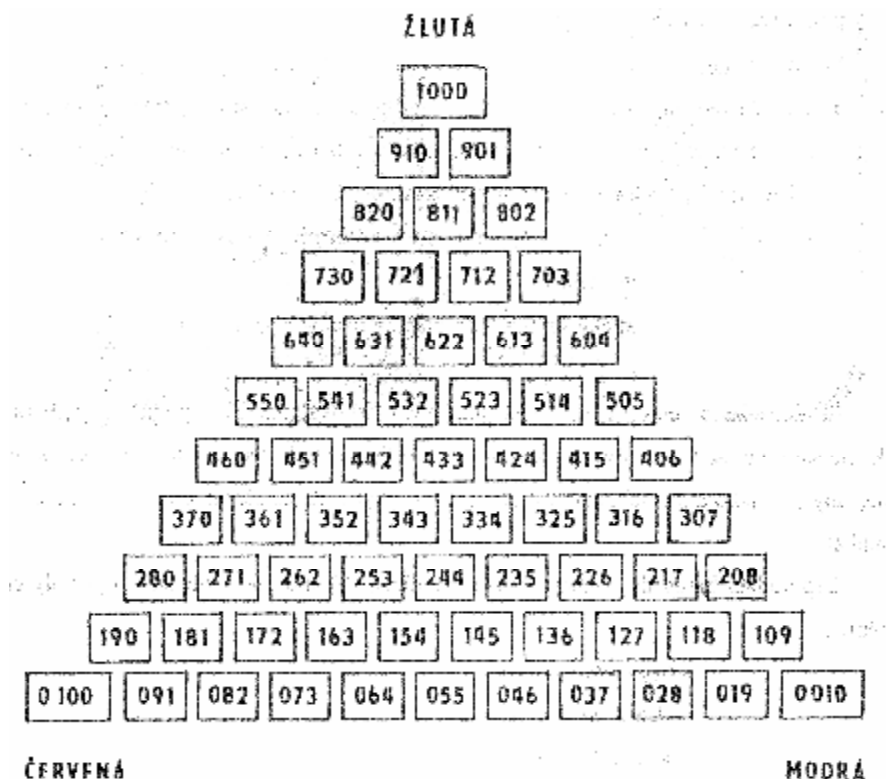
Farebný trojuholník, ako už jeho názov napovedá, je jednoduchý systém vzniknutý kombináciami troch základných farieb v rôznych pomeroch. Pri jeho zostavovaní postupujeme tak, že do vrcholov trojuholníka umiestnime tri základné farby. V praxi sú základnými farbami väčšinou vybrané „typové“ farbiva z príslušnej palety používané pre farbenie textilného materiálu. Ide teda o žltú, červenú a modrú. Žltú umiestnime do vrcholu, červenú do ľavého a modrú do pravého rohu trojuholníka. Jednotlivé odtiene sú vo farebnom trojuholníku určené tromi číslami, ktoré sú spravidla uvedené pod každou vzorkou. Prvé číslo udáva počet hmotnostných dielov žltej, druhé udáva počet

hmotnostných dielov červenej a tretie číslo počet hmotnostných dielov modrej. Súčet hmotnostných dielov všetkých troch farieb je rovný východzej navážke jednotlivých farieb, ktorá predstavuje určité percento vyfarbenia z hmotnosti textilného materiálu (ako je vidieť na Obrázku č. 9). Nevýhodou je nerovnomerné vizuálne odstupňovanie odtieňov. Tri vrcholové vyfarbenia majú súradnice:

Žltá: 10, 0, 0

Červená: 0, 10, 0

Modrá: 0, 0, 10

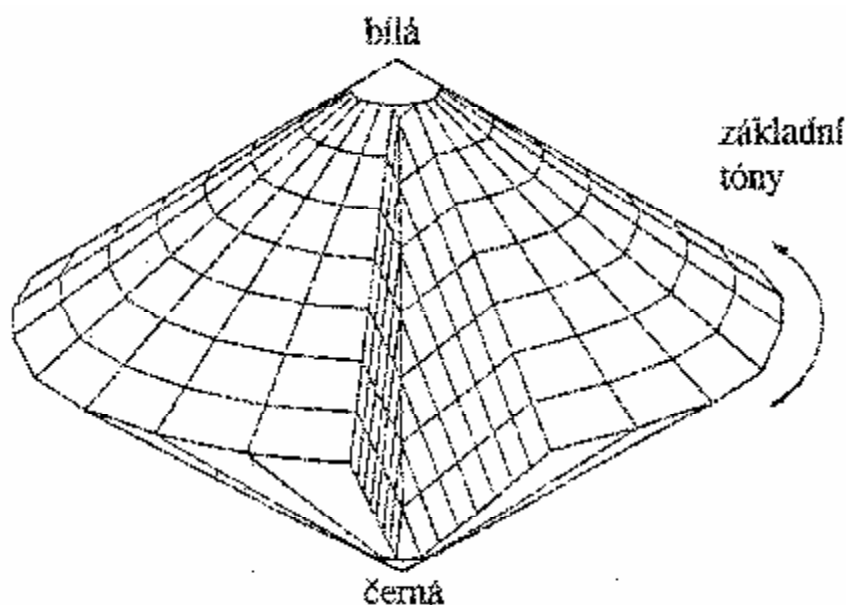


Obrázok č. 9 Trojuholník farieb

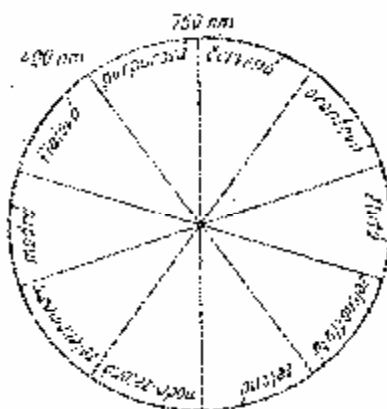
Ostwaldov systém

Ostwaldov systém je vytvorený z 12-tich kosoštvorcových máp a s 56-timi farebnými a 8-mimi čiernobielymi plochami, ktoré v priestore vytvárajú dvojkužel, ktorého jeden vrchol je čierny a druhý biely. Pokiaľ toto teleso rozdelíme zvislou rovinou na dve polovice, ľavý a pravý vrchol tvorí čisté (základné) tóny farieb, ktoré sú v jednej mape komplementárne – doplnkové. Farby sú označené číslicami základných tónov 1-28 a dvomi písmenami charakterizujúce obsah „základnej farby“ a „obsah čiernej alebo bielej“. Výhodou Ostwaldovho systému je, že vytvára symetrické teleso, ale nevýhodou je vizuálna interpretácia, tzn., že rovnako vnímané vizuálne rozdiely sú tu označené rôznymi

vzdialenosťami. Slúži napríklad pre usporiadanie odtieňov farebníc v textile. Celkové množstvo farieb v Ostwaldovom systéme je 680.



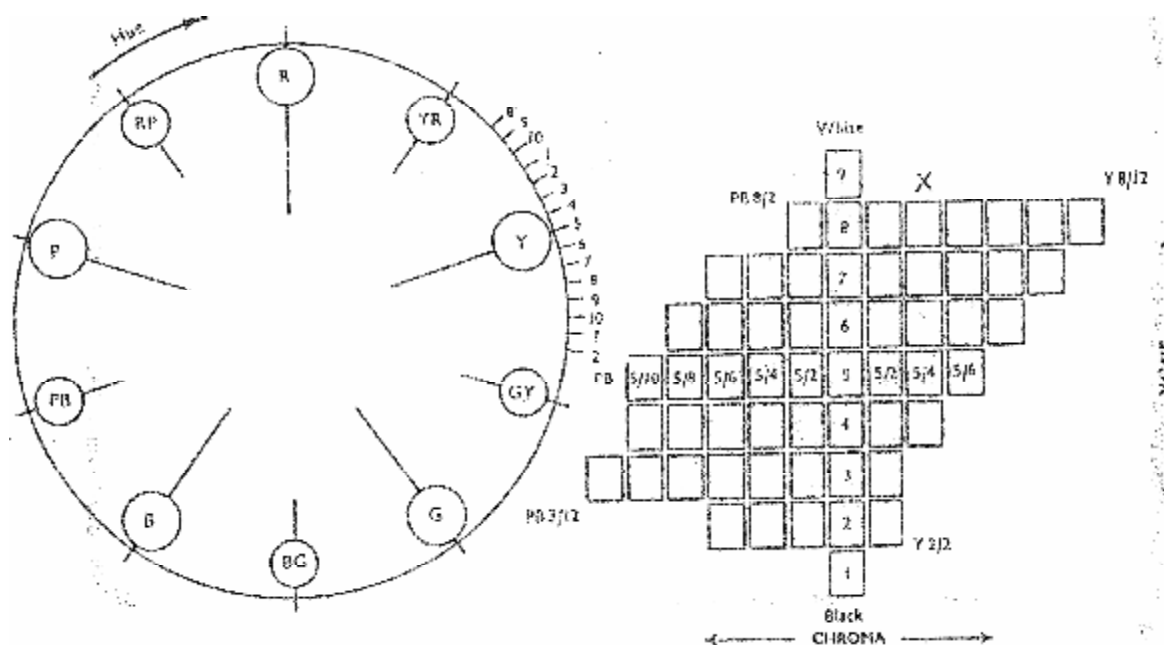
Obrázok č.10 Teleso Ostwaldovho systému farieb



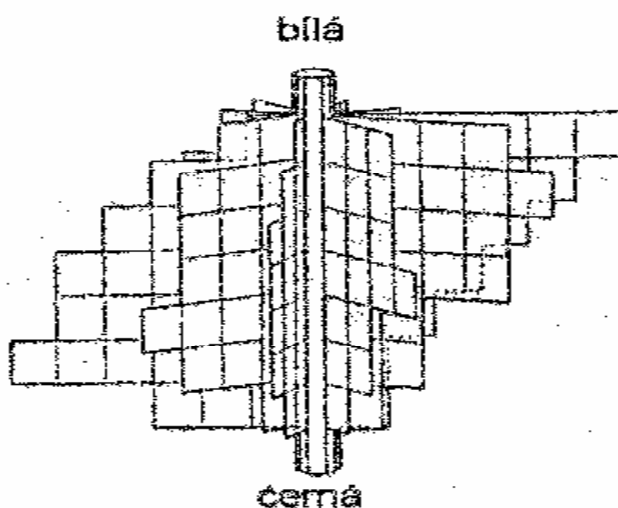
Obrázok č.11 Ostwaldov kruh

Munsellov systém

Munsellov systém obsahuje 960 farieb rozdelených na 40 farebných máp. Mapy sú umiestnené okolo zvislej osi, ktorá je zároveň osou jas (v Munsellovej technológii je jas označovaný ako „value“). Každá mapa znázorňuje jeden odtieň. Kolmá vzdialenosť od osi jas je miera sýtosti (chroma). Teleso, ktoré je vytvorené z týchto máp je nesymetrické, ale jednotlivé farby sú od seba rovnobežne vzdialené. Jas a sýtosť sú vyjadrované pomocou 10-člennej stupnice. Príklad značenia farby [3]: 5 BG 3/6, kde 5 znamená tón (hue), BG modrozelený (počiatočné písmená anglických názvov základných farieb), 3 je jas a 6 je sýtosť vid'. Obrázok č. 12.



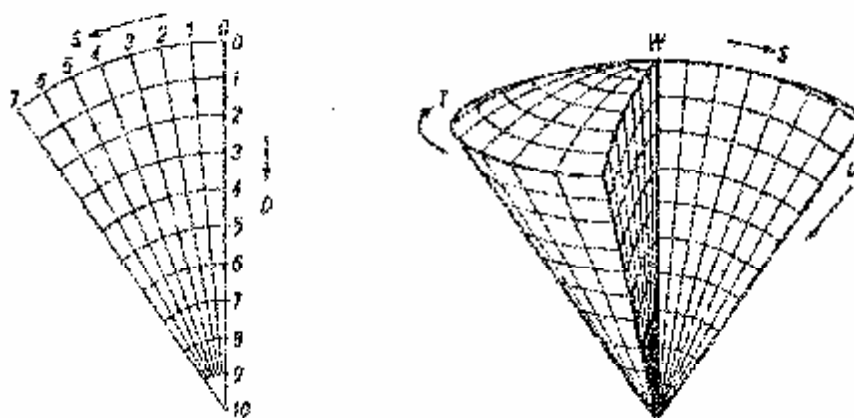
Obrázok č. 12 Usporiadanie farieb v Munsellovom atlase farieb



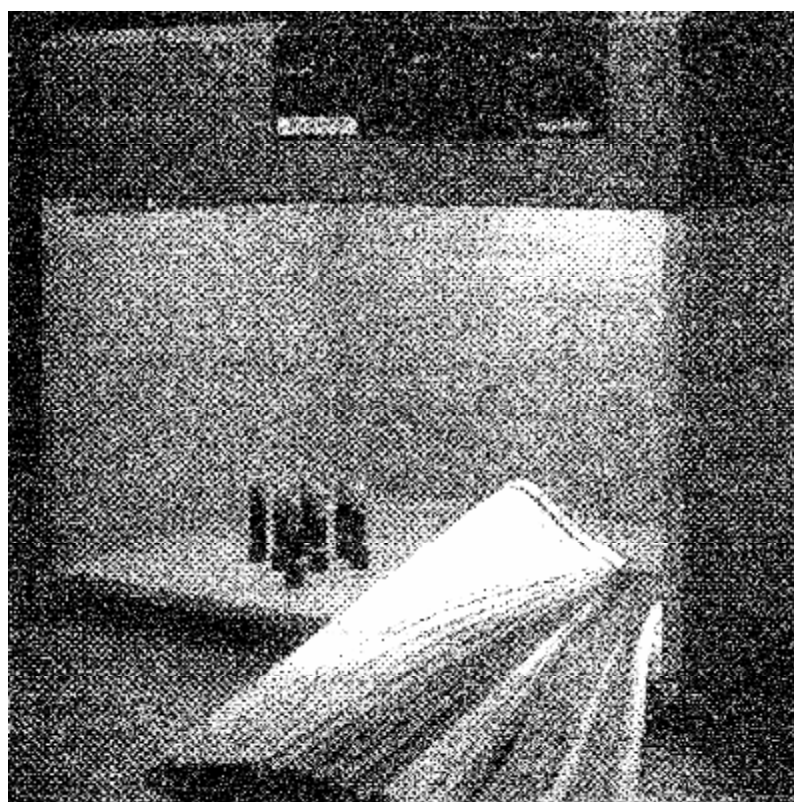
Obrázok č. 13 Teleso Munsellovho atlasu farieb

Systém DIN 6164

Systém DIN 6164 delí farebný tón na 24 častí o rovnakých vnímaných rozdieloch. Každému farebnému tónu prislúcha plocha vymedzená osou relatívneho jasu (Dunkelstufe – D) a medzná línia najvyššej sýtosti (Sättigung – S), vid'. Obrázok č. 14. Jednotlivé farby sú odstupňované podľa sýtosti i relatívneho jasu. Výhodou systému DIN 6164 je podobne ako u Ostwaldovho systému symetria telesu farieb, nevýhodou je vizuálna interpretácia.



Obrázok č. 14 Usporiadanie farieb v systéme DIN 6164



Obrázok č. 15 Ukážka koloristickej skrine Multilight

1.2.4 Systém RGB

V roku 1931 štandard CIE stanovil štandardného pozorovateľa, ktorý je definovaný pomocou trichromatických členov $\bar{x}(l)$, $\bar{y}(l)$, $\bar{z}(l)$. Za základ pre stanovenie trichromatických činiteľov sústavy CIE slúžil systém RGB. Merné svetlá tohto systému boli zvolené za monochromatické žiarenie o vlnovej dĺžke 700 nm pre červené svetlo R, 546,1 nm pre zelené svetlo G a 435,8 nm pre modré svetlo B [3]. Tento systém je vo svojej

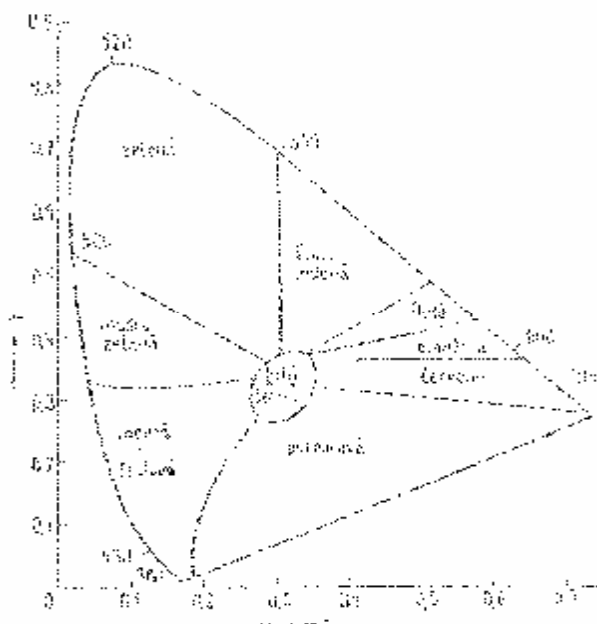
podstate založený na fakte, že pomocou troch vhodne zvolených svetiel, možno ich aditívnym miešaním vzbudiť vnem akejkoľvek farby alebo platnosť tzv. Grassmannových zákonov o optickom miešaní farieb [3]:

I. Grassmannov zákon: Všetky pomery miešania farieb sú spojité.

II. Grassmannov zákon: Pre určenie danej farby stačia tri nezávislé veličiny.

III. Grassmannov zákon: Farby, ktoré poskytujú rovnaký fyziologický vnem, nech vnikajú akoukoľvek kombináciou iných farieb, dávajú pri aditívnom miešaní rovnakú výslednú farbu.

Farebný systém RGB môžeme vidieť na Obrázku č 16.



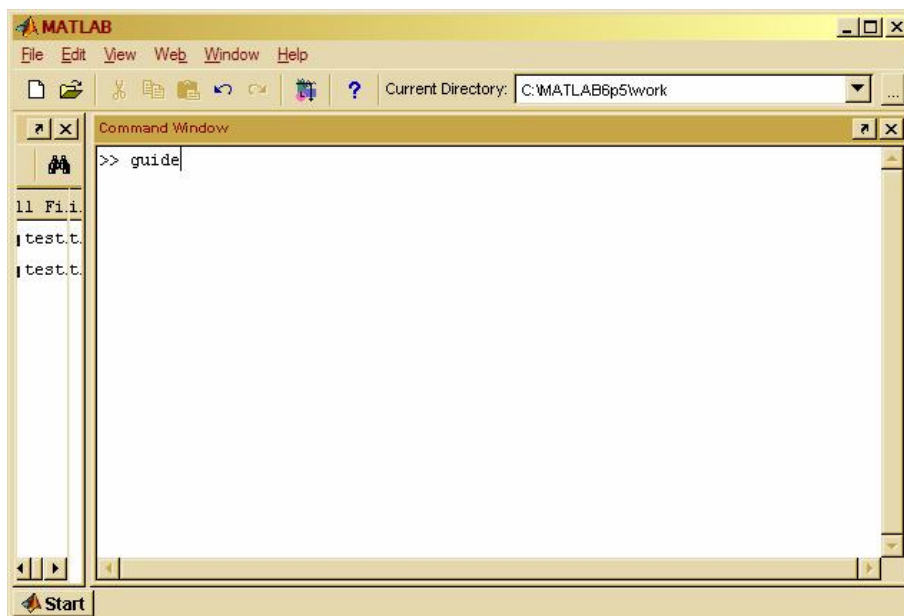
Obrázok č. 16 CIE x, y - diagram

1.3 Matlab

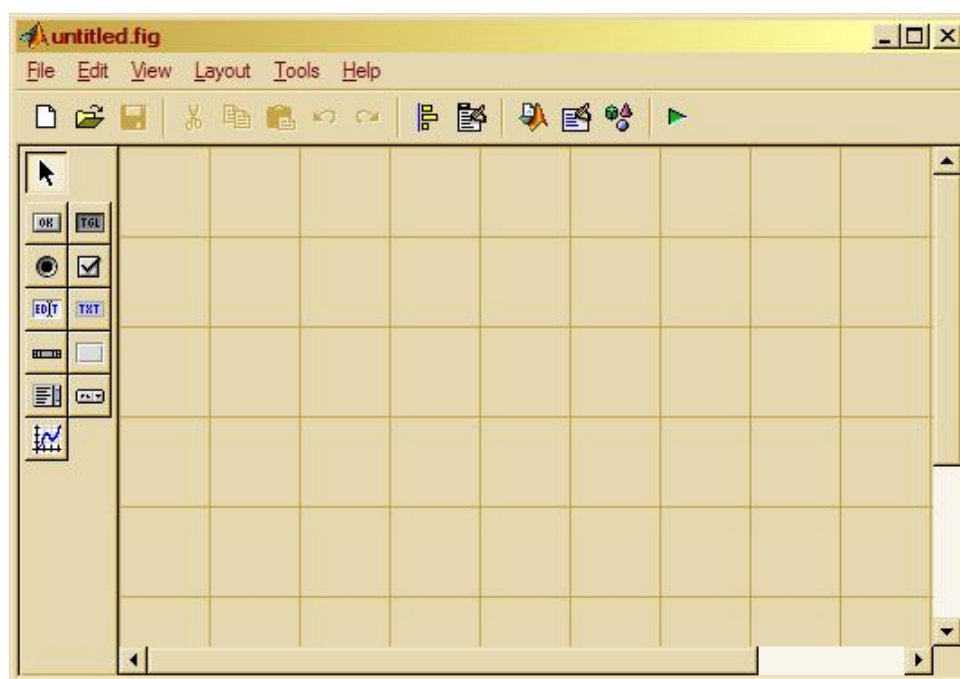
Matlab je špičkové integrované prostredie pre vedecko-technické výpočty, modelovanie, návrhy algoritmov, simulácie, analýzu a prezentáciu dát, meranie a spracovanie signálov, návrhy riadiacich a komunikačných systémov. Matlab je nástroj ako pre pohodlnú interaktívnu prácu, tak i pre vývoj širokého spektra aplikácií.

V tomto prostredí môžeme pracovať viacerými spôsobmi. Jedným zo spôsobov je tvorba v grafickom rozhraní GUI. Základnými požiadavkami sú jednoduchosť, previazanosť (musí byť vždy zaistený návrat) a komplexnosť (ošetrenie všetkých eventualít). Spustením

systemu Matlab a zapísaním príkazu GUIDE do príkazového riadku (vid'. Obrázok č. 17) sa spustí sprievodca tvorby grafického užívateľského rozhrania (vid'. Obrázok č. 18).



Obrázok č. 17 Vyvolanie vývojového prostredia GUI



Obrázok č. 18 Základný vzhľad sprievodcu tvorbou GUI po jeho spustení

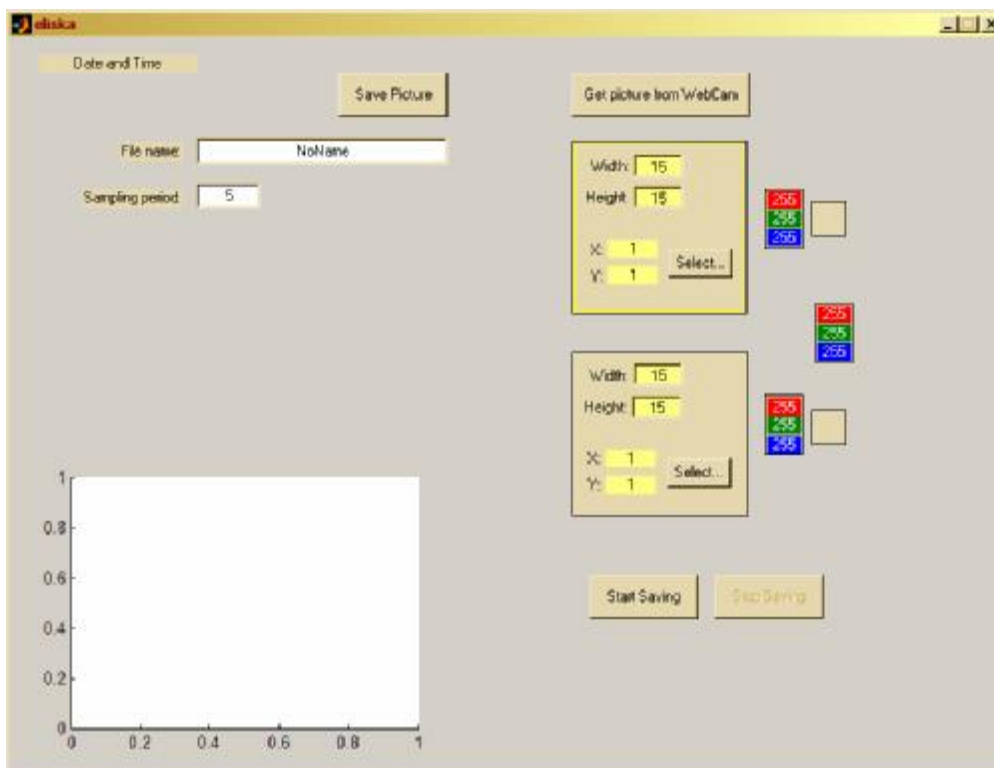
Sprievodca má podobu štandardného okna s radou rozbaľovacieho menu, z ktorého sú prístupné všetky možnosti a nastavenia funkcií, ktoré zastupujú niektoré dôležité a často používané povely. Prvé dve tlačítka vo vodorovnej sekcii (vid' Obrázok č. 18) sú štandardné a dobre známe. Ikona, v poradí deviata zľava, je nástroj pre zarovnávanie grafických objektov. Desiatym nástrojom je „menu editor“, ktorý vytvára ponuku. Ďalším nástrojom je

vytvorenie „m-file“, to znamená, že preloží vytvorený grafický návrh programu do zdrojového kódu. Dvanástou sekciou je „Property inspector“, ktorým sa nastavujú vlastnosti označeného objektu (ktorý bol vytvorený pomocou ľavej lišty (viď. Obrázok č. 19)).



Obrázok č. 19 Tlačítka v hornej časti otvoreného okna GUIDE

Predposlednou sekciou je „Object Browser“, ktorý slúži ako prehliadač vytvorených objektov. Posledná sekcia v podobe zelenej šípky má funkciu aktivácie vytvoreného návrhu. Pomocou uvedeného sprievodcu bola vytvorená užívateľská aplikácia, ktorá umožňuje snímanie obrázku z webovej kamery, jeho následné spracovanie a určenie výslednej RGB súradnice (viď Obrázok 20). Podrobnejší popis bude uvedený v experimentálnej časti.



Obrázok č. 20 Vytvorený program v Matlabe

1.4 CCD a CMOS snímače

CCD (charge coupled device) a CMOS (complementary metal oxide semiconductor) sú dva typy snímačov, s ktorými sa stretávame vo všetkých súčasných digitálnych fotoaparátach a kamerách. Obe technológie ponúkajú to isté, ale každá trochu iným

spôsobom. Oba čipy snímajú svetlo a prevádzajú ho na elektrické pulzy. Používajú k tomu fotocitlivé bunky umiestené po ploche čipu. Prvý rozdiel sa objavuje pri spracovaní dát z čipov. CCD nemá v okolí bunky žiadnu elektroniku a signály odchádzajú postupne z jednotlivých buniek do riadiacej elektroniky. CMOS disponuje u každej bunky jednoduchým obvodom, ktorý sa stará o zosilnenie a prenos signálu do procesoru pre každú bunku zvlášť. I preto je svetlo-citlivá plocha jednotlivých buniek na CMOS menšia než u CCD, ale na druhú stranu to umožňuje zmenšenie balíčku obvodov, ktoré musia signál spracovávať po odchode zo snímača. CMOS technológia je menej náročná na priestor i na odber elektrickej energie. Technológia výroby CCD patrí medzi náročnejšie a vie ich vyrábať iba málo svetových výrobcov.

2 EXPERIMENTÁLNÁ ČASŤ

2.1 Stanovenie cieľov a metodika práce

Cieľom bakalárskej práce bolo zostavenie meracieho systému na báze CCD snímacieho prvku s využitím programovacieho prostredia Matlab, ďalej navrhnutie algoritmu pre korekciu farebných súradníc obrazu za rôznych podmienok osvetlenia a navrhnutie možnej aplikácie pre skúmanie farebných zmien u vybraných produktov v potravinárskom priemysle.

Pre dosiahnutie tohto cieľa bola použitá metóda snímania farebných vzoriek prostredníctvom určitého snímacieho prvku a programovacieho prostredia Matlab. Ponúkalo sa snímanie pomocou CCD snímacieho prvku alebo CMOS snímacieho prvku. Ako snímací prvok bol vybraný CMOS, pretože je cenovo dostupnejší oproti CCD snímacieho prvku a bol dostupný v laboratóriách. Pomocou CMOS snímacieho prvku bol obraz meraných vzoriek snímaný a následne vyhodnocovaný užívateľskou aplikáciou v Matlabe ako zmena RGB súradníc. Namerané dáta z prostredia Matlab boli prevedené do textovej podoby s príponou *.txt a následne boli prevedené do tabuľkového editoru Excel. V tabuľkovom editore boli vyhodnotené RGB súradnice v závislosti na čase. Na základe porovnania výsledkov mal byť navrhnutý algoritmus pre korekciu farebných súradníc obrazu. Pre určenie tohto algoritmu bolo prevedené snímanie farebných vzoriek za rôznych podmienok osvetlenia. Behom merania nastali technické problémy, ktoré podstatne predĺžili meranie experimentov. Navyše sa ukázalo, že vyriešenie návrhu algoritmu pre korekciu farebných súradníc obrazu je natoľko náročná a obsiahla téma, že nebolo možné z časových dôvodov tento cieľ splniť.

2.2 Meracia zostava

Koloristická skriňa

Pri realizácii meracej aparatury, ktorá by snímala zmeny farebnosti pomocou CMOS snímacieho prvku, bolo treba uvažovať o vplyvoch svetla na meranú vzorku. Aby boli obmedzené vplyvy vonkajšieho prostredia a zaistená stabilita hodnotenia meraných vzoriek, bola navrhnutá koloristická skriňa. Parametre koloristickej skrine boli (50x40x30) cm. Najdôležitejším rozmerom bola výška 30 cm. Táto výška predstavuje štandard CIE pre

postup najpresnejšieho stanovenia hodnôt trichromatických činiteľov. Koloristická skriňa bola navrhnutá tak, aby bolo možné meniť osvetlenie. Pretože u ideálne bieleho povrchu dochádza k 100% odrazu svetla pri všetkých vlnových dĺžkach, bola natretá štandardnou bielou matnou farbou (viď. Obrázok č. 21).



Obrázok č. 21 Realizovaná koloristická skriňa

Osvetlenie

Ľudské oko veľmi citlivo vníma zmenu osvetlenia, inak vidí farby pri dennom svetle a inak pri umelom osvetlení. Preto bolo meranie prevedené ako pri dennom svetle, tak i pri umelom osvetlení. Boli použité tieto umelé osvetlenia:

- 60 Wattová žiarovka,
- 40 Wattová bodová žiarovka so striebornou clonou,
- 11 Wattová žiarivka.

Snímacia aparatúra

Snímačom obrazu bola webová kamera typu Logitech Quickcam Messenger, ktorá bola pre toto meranie vhodná a navyše dostupná v laboratóriách. Obsahovala snímací prvok CMOS a bola napojená USB káblom na počítač (Celeron 800 MHz, 256 MB).

Vzorky

Vybranými skúmanými vzorkami boli farebné papiere formátu A4. Merané boli tieto farby:

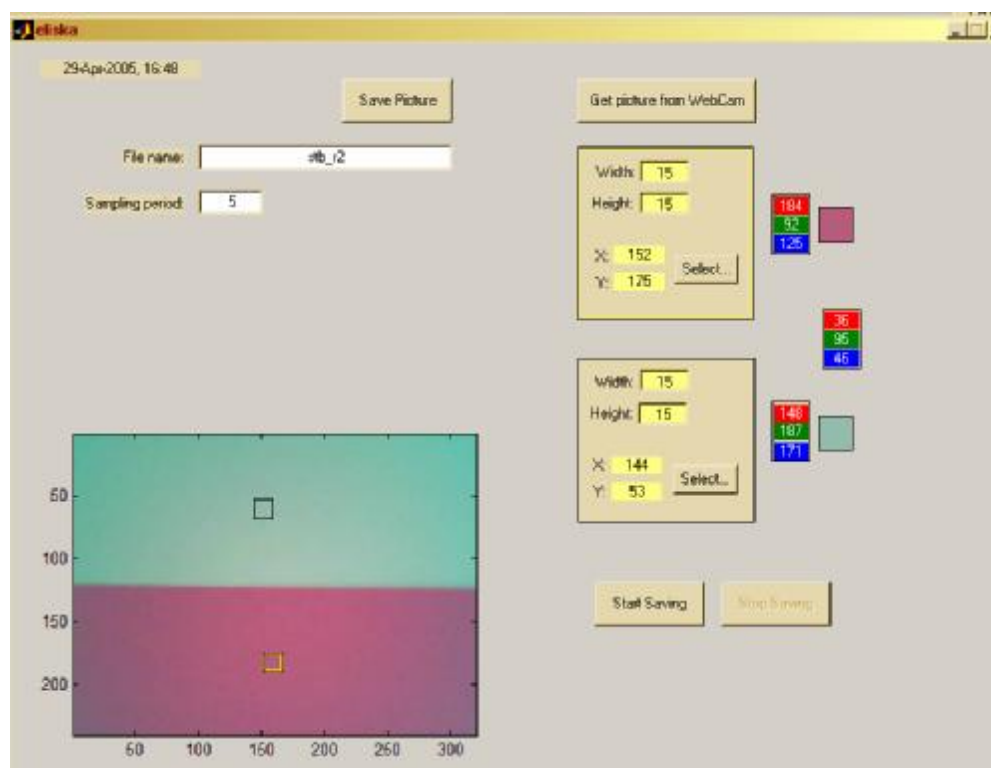
biela, bledožltá, žltá, oranžová, červená, ružová, modrá, tmavomodrá, zelená, hnedá, čierna.

2.3 Programy pre obsluhu zostavy

Užívateľská aplikácia v Matlab

Program pre obsluhu aparatury bol naprogramovaný systémom Matlab (viď Obrázok č. 21). Tento program spĺňal tieto požiadavky:

- zobrazenie snímaného obrazu,
- RGB súradnice snímanej vzorky,
- RGB súradnice snímanej štandardnej bielej farby,
- reálny dátum a čas merania,
- tlačítka na identifikáciu skúmanej farby,
- tlačítka na uloženie snímaného obrázku,
- tlačítka na uloženie snímanej vzorky,
- tlačítka na manuálnu aktualizáciu obrázku z web kamery,
- tlačítka pre automatické snímanie obrazu s voliteľnou periódou snímania.



Obrázok č. 22 Program pre obsluhu snímacej aparatury

Webcam2000

Je to „freeware“ nástroj pre obstarávanie snímok z webovej kamery v danom časovom intervale. Program umožňuje buď vytvorenie webovského serveru, kde možno snímky ukladať ako súbor BMP alebo JPG. V našom prípade boli využité možnosti založenia webovského serveru, pričom snímaný obrázok bol odoslaný na lokálnu adresu `http://localhost:8080` a obrázok sa načítal do prostredia matlab cez funkciu **imread** práve z uvedenej adresy.

2.4 Meranie

Vplyv okolitého prostredia, ako je teplota a vlhkosť vzduchu, pri vzdialenosti 30 cm vzorku od kamery je zanedbateľný.

Meracia zostava bola zložená podľa Obrázku č. 22, 23.



Obrázok č. 23 Meracia zostava - pohľad z hora



Obrázok č. 24 Meracia zostava

Do koloristickej skrine sa postupne vkladali jednotlivé vzorky tak, aby sa na kamere zároveň zobrazoval obraz vzorku a obraz štandardnej bielej farby podkladu skrine. Každá vzorka bola meraná 3-krát po dobu najmenej 1 minúty. Frekvencia snímania kamery bola 5 sekúnd. Pri prvých meraniach sa zistilo, že pri vysokej intenzite svetla dochádza k vlneniu obrazu snímaného kamerou. Príčinou tohto vlnenia obrazu bola pravdepodobne absencia mechanickej clony v kamere. Preto sa previedli také opatrenia, aby intenzita umelého osvetlenia klesla na intenzitu cca 500 Lx (intenzita bola meraná pomocou luxmetra typu Voltcraft LM 30). Z obrázku sa získali priemerné hodnoty RGB vybraného výrezu, a tie sa uložili do počítača. Priebeh každého merania bol automaticky uložený programom Matlab do formátu *.txt a *.fig. Do textového súboru sa ukladali merané dáta a do súboru typu *.fig sa ukladal obrázok okna programu, ktorý zachytával základne údaje: rozloženie a veľkosť vybraného výrezu, dátum a čas merania a získaný obraz z webkamery.

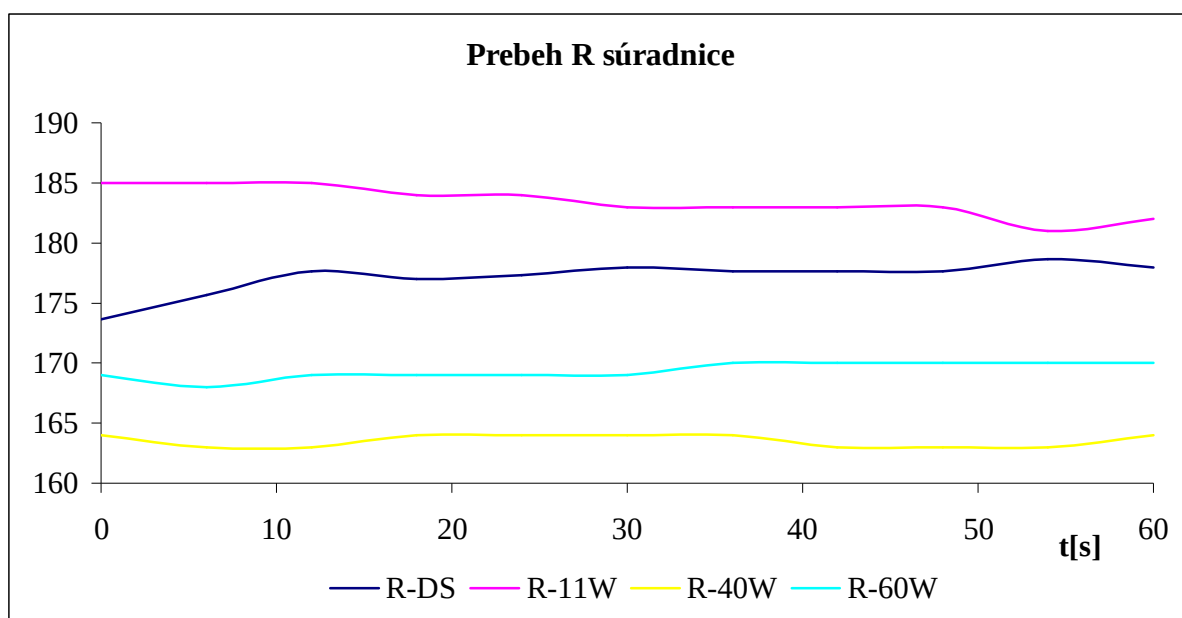
DISKUSIA VÝSLEDKOV

Výsledky sú zoradené podľa meraných farieb. Toto usporiadanie je zvolené tak, aby sa dali porovnať rozdiely nameraných hodnôt medzi jednotlivými osvetleniami. Z troch meraní bol vytvorený aritmetický priemer jednotlivých položiek a zhrnutý do jednej tabuľky pre každú farbu. Z tejto tabuľky bol vytvorený graf, kde sú zobrazené priebehy pri rôznych osvetleniach R, G a B súradníc. Na ukážku bola vybraná biela farba a na porovnanie sú uvedené ostatné farby v prílohe.

Biela farba

Tabuľka I: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

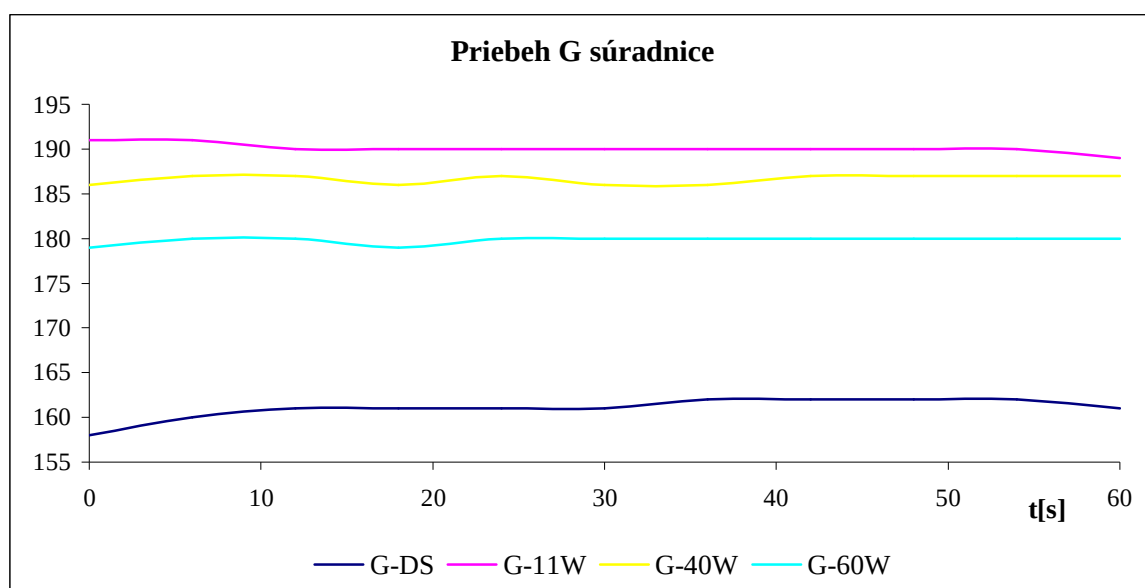
t[s]	R-DS	R-11W	R-40W	R-60W
0	174	185	164	169
6	176	185	163	168
12	178	185	163	169
18	177	184	164	169
24	177	184	164	169
30	178	183	164	169
36	178	183	164	170
42	178	183	163	170
48	178	183	163	170
54	179	181	163	170
60	178	182	164	170



Graf 1: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

Tabuľka II: Závislosť G v čase, pri rôznych osvetleniach.

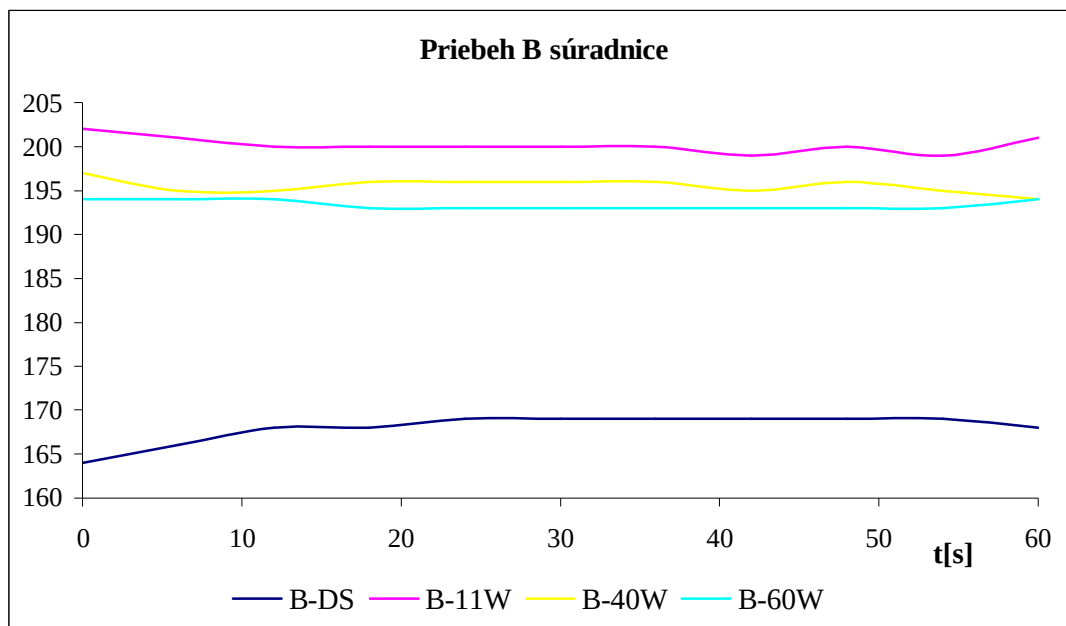
t[s]	G-DS	G-11W	G-40W	G-60W
0	158	191	186	179
6	160	191	187	180
12	161	190	187	180
18	161	190	186	179
24	161	190	187	180
30	161	190	186	180
36	162	190	186	180
42	162	190	187	180
48	162	190	187	180
54	162	190	187	180
60	161	189	187	180



Graf 2: Závislosť G súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

Tabuľka III: Závislosť R v čase, pri rôznych osvetleniach.

t[s]	B-DS	B-11W	B-40W	B-60W
0	164	202	197	194
6	166	201	195	194
12	168	200	195	194
18	168	200	196	193
24	169	200	196	193
30	169	200	196	193
36	169	200	196	193
42	169	199	195	193
48	169	200	196	193
54	169	199	195	193
60	168	201	194	194



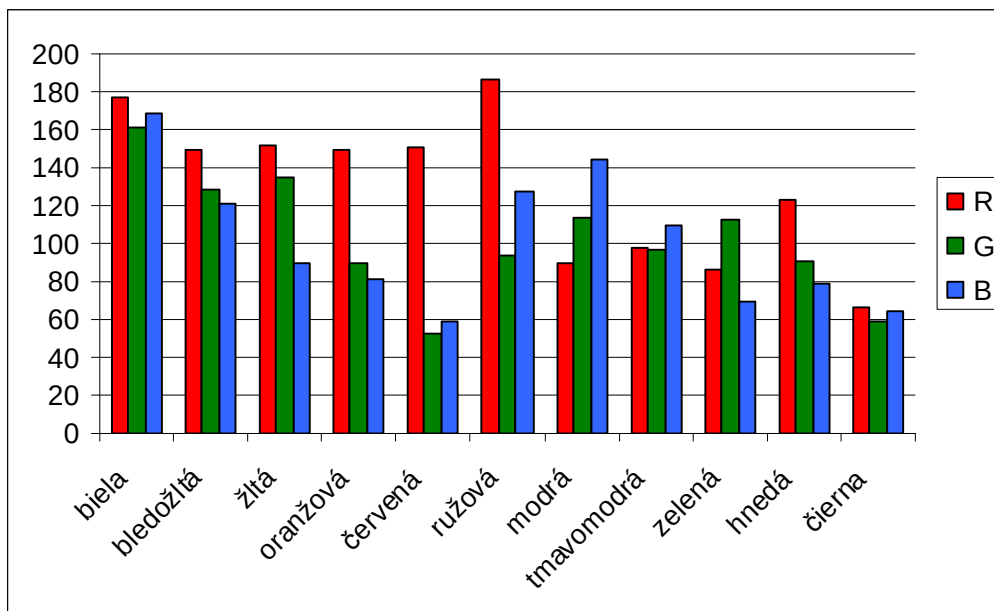
Graf 3: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

Na grafoch je vidieť, že pri rôznom type osvetlení má daná farba iné súradnice R, G a B. To je dané závislosťou intenzity svetla na farbe. Pri dennom svetle sa intenzita veľmi mení, preto sa doporučuje merať pri umelom osvetlení, kde je intenzita relatívne stabilná.

Pre každú farbu bol urobený priemer hodnôt R, G a B súradníc a tieto jednotlivé hodnoty boli vykreslené do grafov pre každé osvetlenie (viď Graf 4-7). Hľadala sa korelácia medzi jednotlivými RGB zložkami pri rôznom osvetlení.

Tabuľka IV: Závislosť meraných vzoriek na RGB súradniciach, pri dennom svetle.

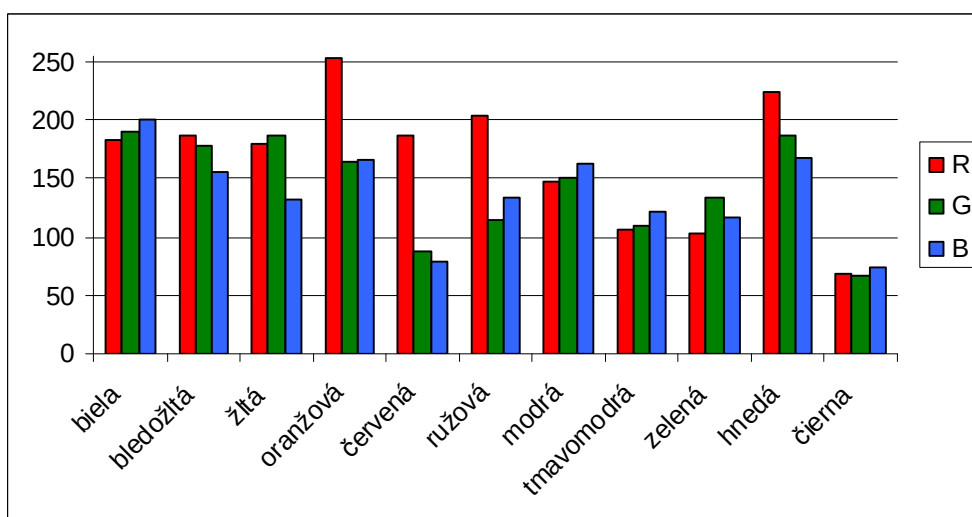
DS	R	G	B
biela	177	161	168
bledožltá	150	128	121
žltá	152	135	89
oranžová	150	89	81
červená	151	53	59
ružová	186	94	127
modrá	89	114	144
tmavomodrá	98	97	109
zelená	86	113	69
hnedá	123	91	79
čierna	66	59	64



Graf 4: Závislosť meraných vzoriek na RGB súradniciach, pri dennom svetle.

Tabuľka V: Závislosť meraných vzoriek na RGB súradniciach, pri 11 W žiarivke.

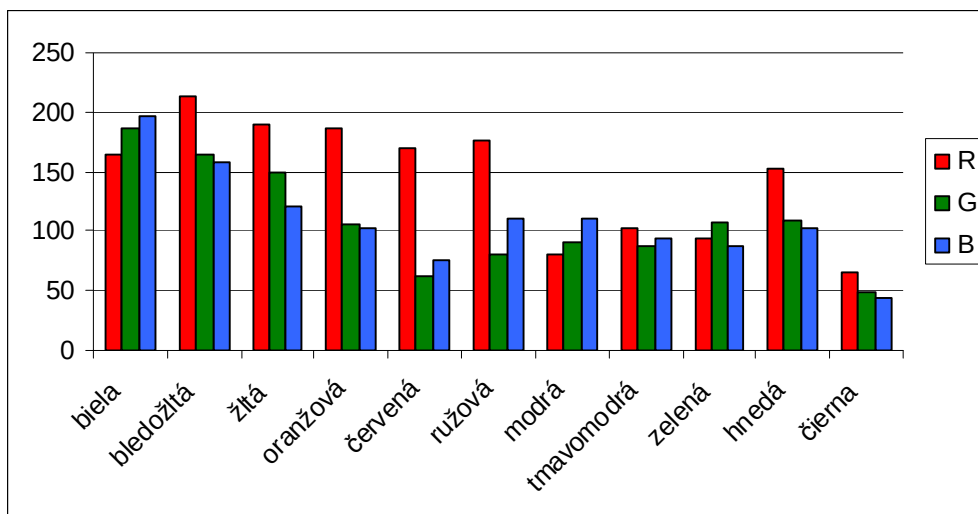
11W	R	G	B
biela	183	190	200
bledožltá	187	178	156
žltá	179	187	131
oranžová	254	164	166
červená	186	88	79
ružová	203	115	134
modrá	148	151	162
tmavomodrá	106	110	122
zelená	102	133	117
hnedá	224	187	168
čierna	68	67	74



Graf 5: Závislosť meraných vzoriek na RGB súradniciach, pri 11W žiarivke.

Tabuľka VI: Závislosť meraných vzoriek na RGB súradniciach, pri 40 W žiarovke so striebornou clonou.

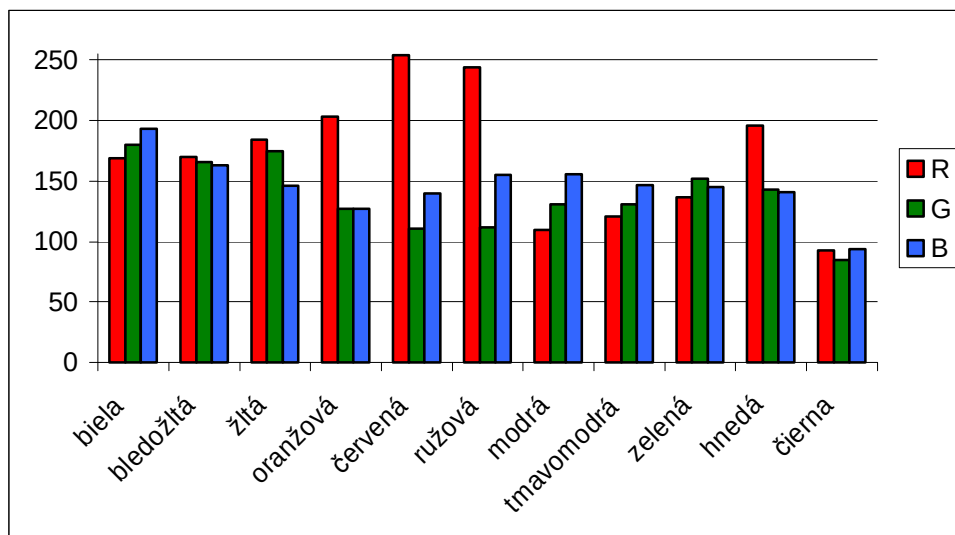
40W	R	G	B
biela	164	187	196
bledožltá	213	164	158
žltá	189	149	121
oranžová	187	106	102
červená	170	62	76
ružová	177	81	111
modrá	80	91	110
tmavomodrá	102	87	94
zelená	94	107	87
hnedá	152	109	102
čierna	66	48	43



Graf 6: Závislosť meraných vzoriek na RGB súradniciach, pri 40 W žiarovke so striebornou clonou.

Tabuľka VII: Závislosť meraných vzoriek na RGB súradniciach, pri 60 W žiarovke.

60W	R	G	B
biela	169	180	193
bledožltá	170	166	163
žltá	184	175	146
oranžová	203	127	127
červená	254	111	140
ružová	244	112	155
modrá	110	131	156
tmavomodrá	121	131	147
zelená	137	152	145
hnedá	196	143	141
čierna	93	85	94

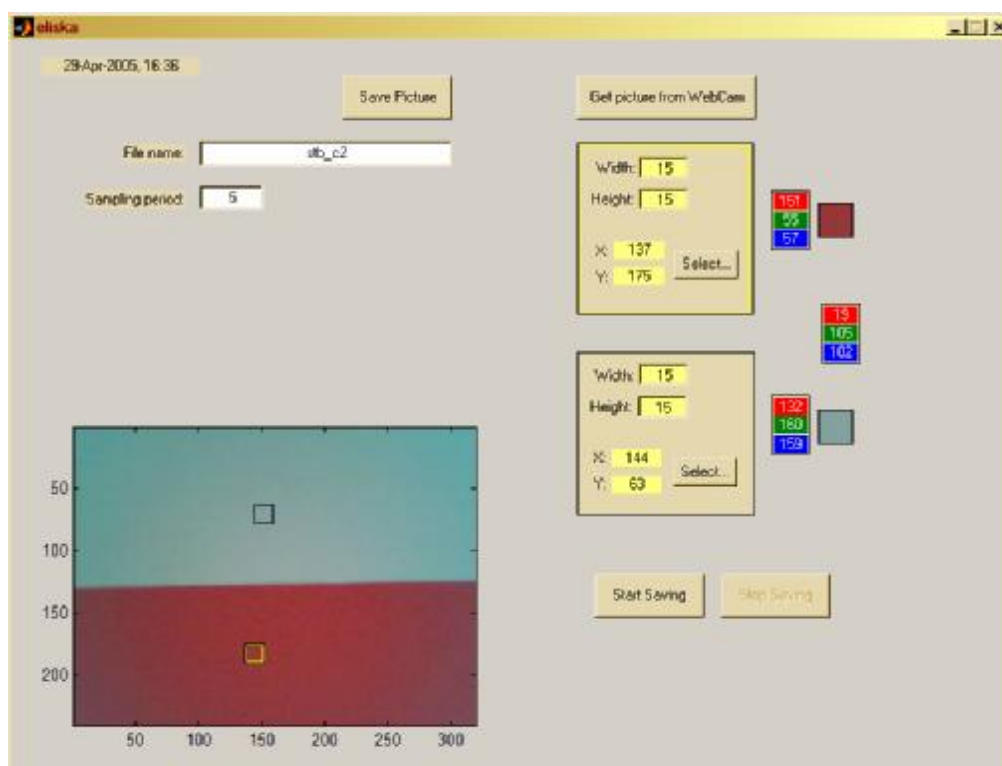


Graf 7: Zavislost' meraných vzoriek na RGB súradniciach, pri 60 W žiarovke.

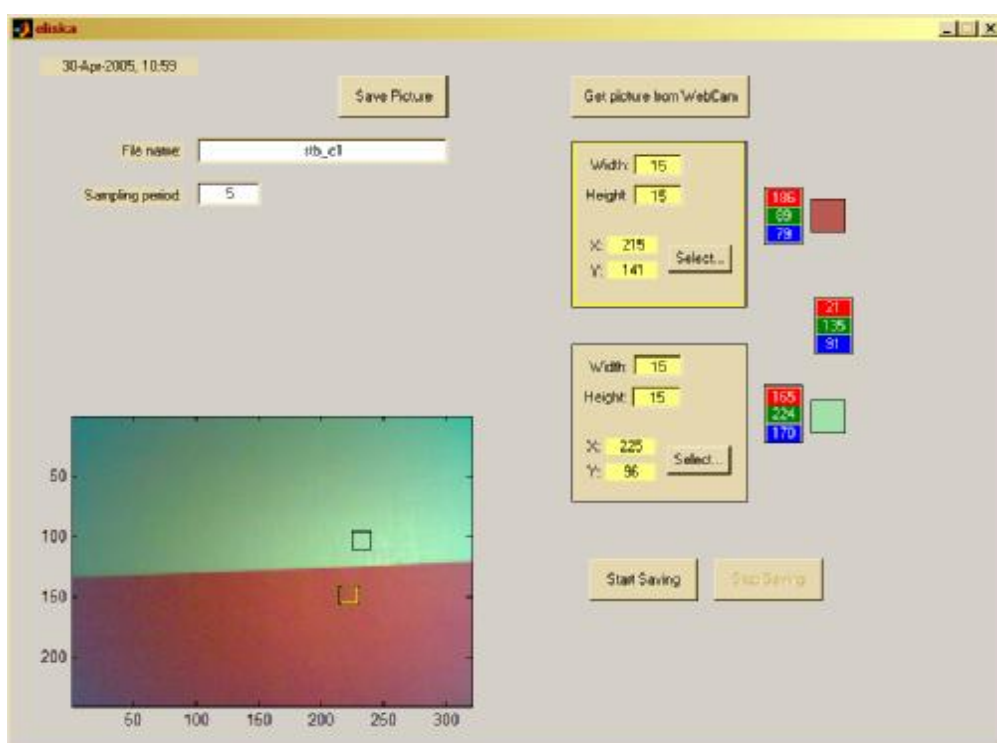
Bolo predpokladané, že zobrazovací videosystém pracuje v rozsahu žiarivých tokov v lineárnej oblasti. Meraním sa zistilo, že použitá kamera nie je vhodná pre toto meranie (vid'. Obrázok č. 25-30). Na základe nameraných hodnôt RGB môžeme vysloviť predpoklad, že pokiaľ kamera sníma obraz lineárne, bolo by možné charakterizovať farbu vzorky na základe rozdielu RGB súradnice konštantného podkladu a vzorky i za rozdielnych typov osvetlenia. Vyplýva to z rozdielov nameraných hodnôt RGB súradníc napr. u červenej farby (vid' Obrázok č. 25-28). Na týchto obrázkoch je porovnávaná biela a červená farba. Pri snímaní našou webkamerou dochádzalo ku skresleniu obrazu (biela farba sa nejavila ako biela). Je tu predpoklad, že to bolo spôsobené webkamerou, pretože nemá mechanickú clonu. Bolo navrhnuté urobiť ďalšie merania pomocou inej kamery, ktorá by ju obsahovala. Ďalej táto webkamera bola obsluhovaná programom webcam2000, ktorý samostatne nastavoval hodnoty expozície a zosilenia. To mohlo spôsobiť, že pri opakovanom meraní mohli byť vytvorené iné podmienky.

Tabuľka č. VIII: Rozdiely RGB hodnôt pri rôznych osvetleniach u červenej farby.

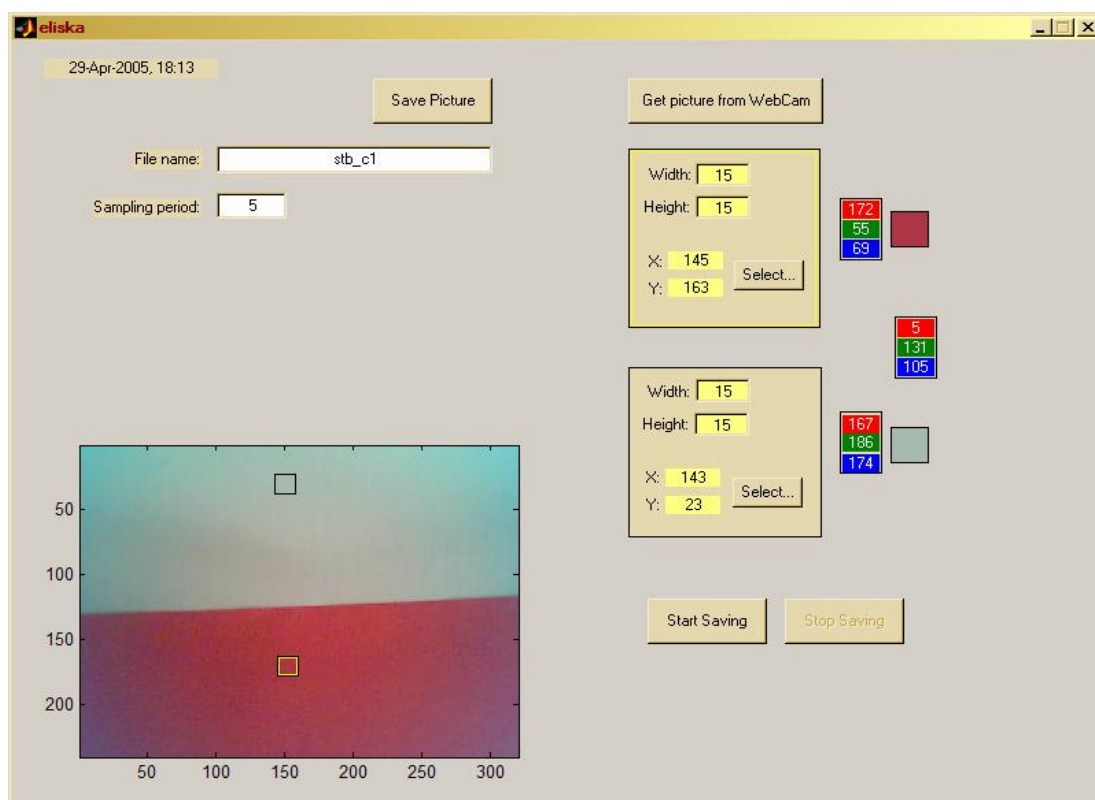
	DS	11W	40W	60W
R	3	5	20	19
G	137	131	135	105
B	102	105	91	102



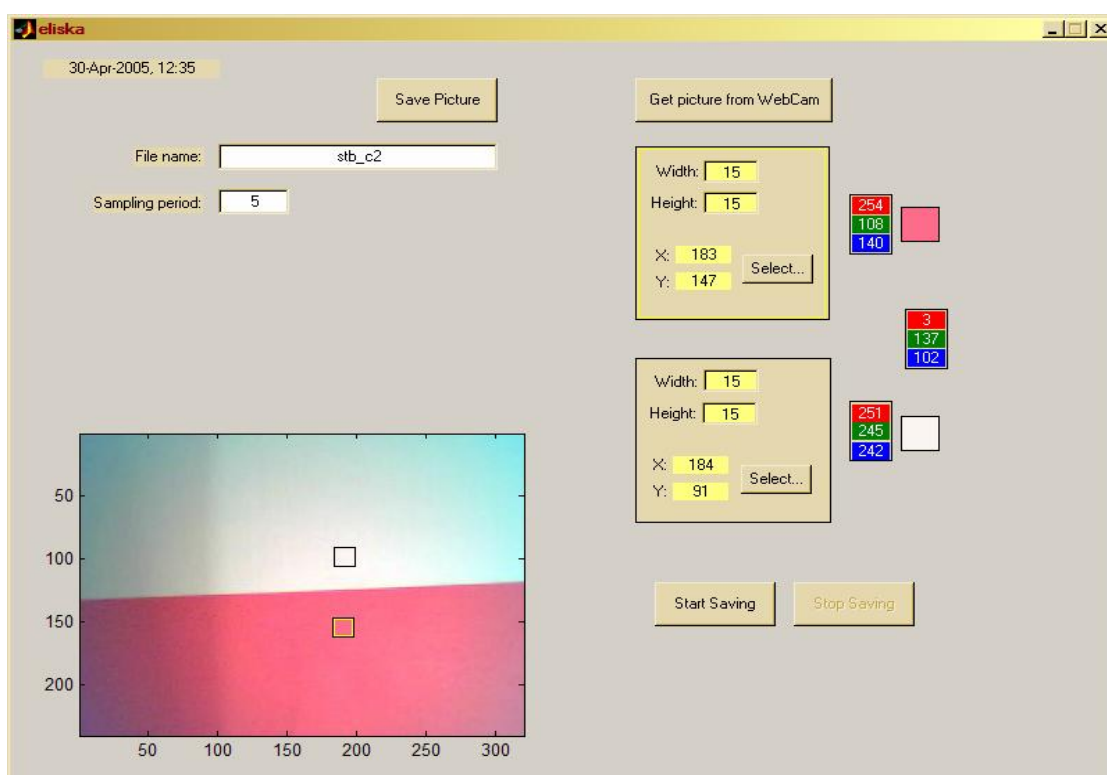
Obrázok č. 25 Snímok meraného vzorku v aplikácii Matlab pri dennom svetle



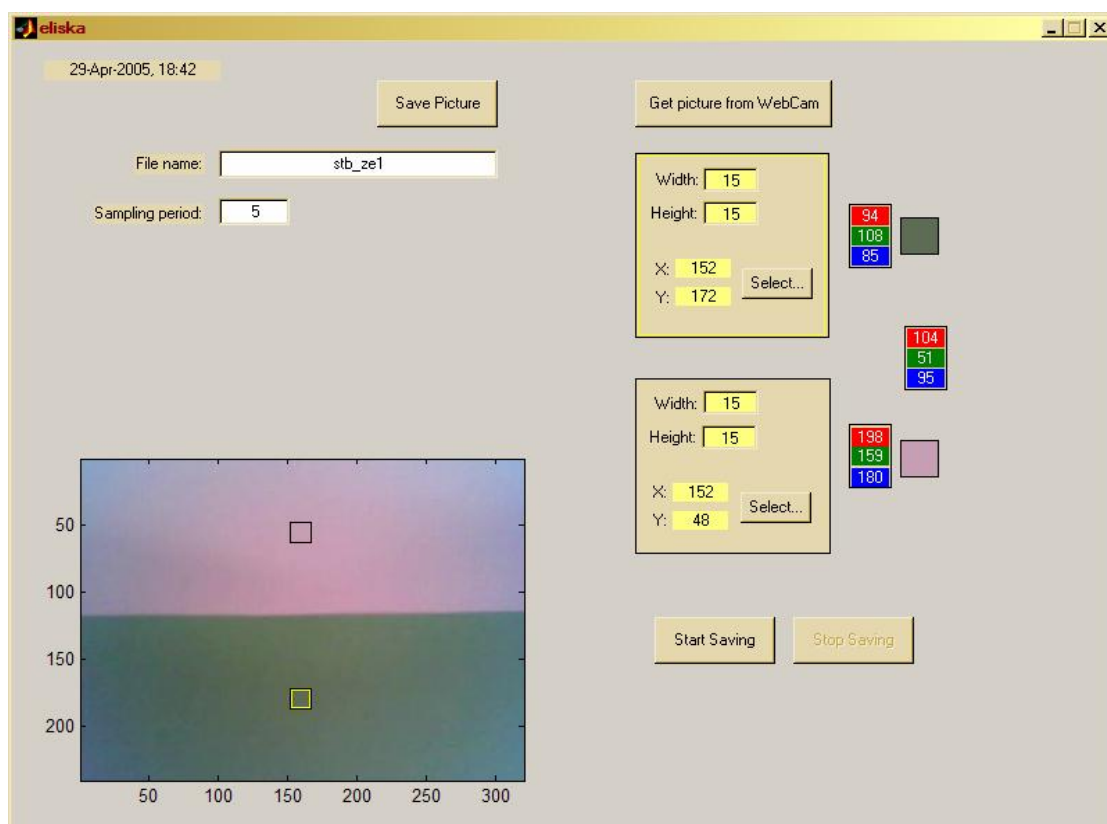
Obrázok č. 26 Snímok meraného vzorku v aplikácii Matlab pri 11 W žiarivke



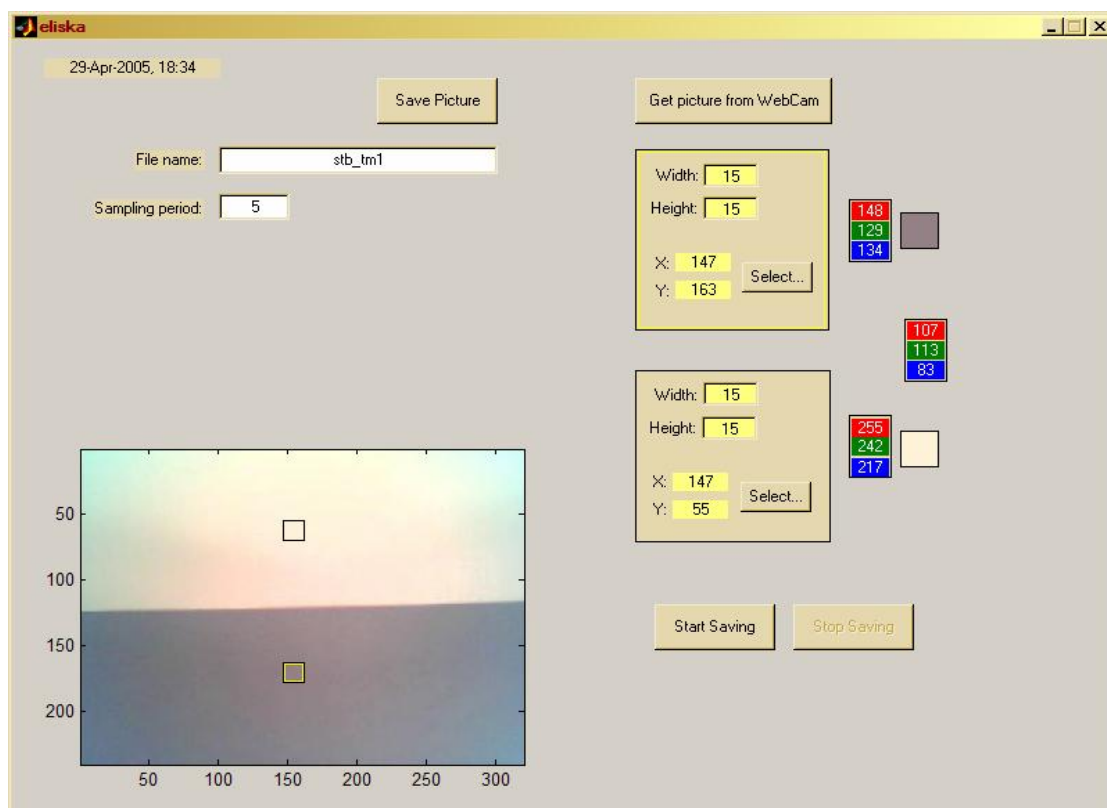
Obrázok č. 27 Snímok meraného vzorku v aplikácii Matlab při 40 W žiarivke so striebornou clonou



Obrázok č. 28 Snímok meraného vzorku v aplikácii Matlab pri 60 W žiarovke.



Obrázok č. 29 Snímok meraného vzorku v aplikácii Matlab



Obrázok č. 30 Snímok meraného vzorku v aplikácii Matlab

ZÁVER

Bola navrhnutá a vyrobená kolorimetrická skriňa, zostavený merací systém obsahujúci CMOS senzor. Ďalej bol vytvorený užívateľský program v prostredí Matlab, ktorý umožňoval zaznamenávať a spracovávať obraz snímaný kamerou. Bola prevedená séria merania vzoriek farebného papiera pri rôznom osvetlení za účelom navrhnutia algoritmu pre korekciu na bielu farbu. Získané dáta boli vyhodnocované a spracovávané v tabuľkovom editore Excel. Vzhľadom k časovej náročnosti priebehu merania a spomenutým technickým problémom, nebolo možné zrealizovať korekčný algoritmus.

Meraním sa zistilo, že použitá webkamera nebola vhodná na snímanie meranej vzorky. Pri intenzite svetla nad 500 Lx dochádzalo k vlneniu obrazu a veľmi často bol obraz aj farebne skreslený. Predpokladá sa, že to bolo spôsobené absenciou mechanickej clony vo webkamere.

Navrhujem, aby sa v práci pokračovalo s použitím lepšie vybaveného senzora. Bolo by vhodné, aby sa meranie zopakovalo a z nameraných výsledkov bol navrhnutý korekčný algoritmus, ktorý by bol využiteľný v praxi pri rôznych podmienkach osvetlenia.

Veľký záujem o toto meranie prejavila Fakulta technologická, odbor Chémia a technológia potravín, ktorá sa zaujíma aj o sledovanie starnutia potravín a táto metóda sa pre nich javí ako použiteľná.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] CES 2005: CMOS vs. CCD snímače - změny na obzoru [online]. [cit. 2005-05-08]. Dostupný z URL: < <http://www.w3.org/TR/html4/loose.dtd>>.
- [2] VIK M.: Základy měření barevnosti I.díl. Liberec: Ediční středisko Vysokoškolského podniku s.r.o., ISBN 80-7083-162-6.
- [3] ZAPLATÍLEK, DOŇAR: Matlab – tvorba uživatelských aplikací. Praha: BEN, 2004. 1. vydání, ISBN 80-7300-133-0.
- [4] WebCam2000 Instructions: WebCam2000 [online]. [cit. 2005-05-09]. Dostupný z URL: <<http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd>>.
- [5] JIA D Y, DING T H: Detection of foreign materials in cotton using a multi-wavelength imaging method, Measurements Science and Technology, 16 (2005) 1355-1362.

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A ZKRATIEK

R-DS - súradnica R pri dennom osvetlení

G-DS - súradnica G pri dennom osvetlení

B-DS - súradnica B pri dennom osvetlení

R-11W - súradnica R pri umelom osvetlení – 11 W žiarivka

G-11W - súradnica G pri umelom osvetlení – 11 W žiarivka

B-11W - súradnica B pri umelom osvetlení – 11 W žiarivka

R-40W - súradnica R pri umelom osvetlení – 40 W bodová žiarovka so striebornou clonou

G-40W - súradnica G pri umelom osvetlení – 40 W bodová žiarovka so striebornou clonou

B-40W - súradnica B pri umelom osvetlení – 40 W bodová žiarovka so striebornou clonou

R-60W - súradnica R pri umelom osvetlení – 60 W žiarovka

G-60W - súradnica G pri umelom osvetlení – 60 W žiarovka

B-60W - súradnica B pri umelom osvetlení – 60 W žiarovka

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok č. 1 Znáznornenie elektrického a magnetického vektora svetla	10
Obrázok č. 2 Spektrum elektromagnetického žiarenia	11
Obrázok č. 3 Závislosť vyžiarenej energie na vlnovej dĺžke absolútne čierneho telesa	12
Obrázok č. 4 Grafické znázornenie rastu sýtosti zelenej farby	15
Obrázok č. 5 Grafické znázornenie aditívneho a subtraktívneho miešania farieb.....	16
Obrázok č. 6 Schéma horizontálneho rezu ľudským okom.....	18
Obrázok č. 7 Citlivosť ľudského oka	20
Obrázok č. 8 Kinetické obrazce	22
Obrázok č. 9 Trojuholník farieb	24
Obrázok č.10 Teleso Ostwaldovho systému farieb	25
Obrázok č.11 Ostwaldov kruh.....	25
Obrázok č. 12 Usporiadanie farieb v Munsellovom atlase farieb.....	26
Obrázok č. 13 Teleso Munsellovho atlasu farieb	26
Obrázok č. 14 Usporiadanie farieb v systéme DIN 6164.....	27
Obrázok č. 15 Ukážka koloristickej skrine Multilight.....	27
Obrázok č. 16 CIE x, y - diagram.....	28
Obrázok č. 17 Vyvolanie vývojového prostredia GUI	29
Obrázok č. 18 Základný vzhľad sprievodcu tvorbou GUI po jeho spustení.....	29
Obrázok č. 19 Tlačítka v hornej časti otvoreného okna GUIDE.....	30
Obrázok č. 21 Realizovaná koloristická skriňa	33
Obrázok č. 22 Program pre obsluhu snímacej aparatury.....	34
Obrázok č. 23 Meracia zostava - pohľad z hora	35
Obrázok č. 24 Meracia zostava	35
Obrázok č. 25 Snímok meraného vzorku v aplikácii Matlab pri dennom svetle	43
Obrázok č. 26 Snímok meraného vzorku v aplikácii Matlab pri 11 W žiarivke	43

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka I: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	37
Tabuľka II: Závislosť G v čase, pri rôznych osvetleniach.....	38
Tabuľka III: Závislosť R v čase, pri rôznych osvetleniach.....	38
Tabuľka IV: Závislosť meraných vzoriek na RGB súradniciach, pri dennom svetle.	39
Tabuľka V: Závislosť meraných vzoriek na RGB súradniciach, pri 11 W žiarivke.	40
Tabuľka VI: Závislosť meraných vzoriek na RGB súradniciach, pri 40 W žiarovke so striebornou clonou.	41
Tabuľka VII: Závislosť meraných vzoriek na RGB súradniciach, pri 60 W žiarovke.	41
Tabuľka č. VIII: Rozdiely RGB hodnôt pri rôznych osvetleniach u červenej farby.	42
Tabuľka IX: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.	55
Tabuľka X: Závislosť G v čase, pri rôznych osvetleniach.....	55
Tabuľka XI: Závislosť B v čase, pri rôznych osvetleniach.....	56
Tabuľka XII: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	57
Tabuľka XIII: Závislosť G v čase, pri rôznych osvetleniach.....	57
Tabuľka XIV: Závislosť B v čase, pri rôznych osvetleniach.....	58
Tabuľka XV: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	59
Tabuľka XVI: Závislosť G v čase, pri rôznych osvetleniach.....	59
Tabuľka XVII: Závislosť B v čase, pri rôznych osvetleniach.....	60
Tabuľka XVIII: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	61
Tabuľka XIX: Závislosť G v čase, pri rôznych osvetleniach.....	61
Tabuľka XX: Závislosť B v čase, pri rôznych osvetleniach.	62
Tabuľka XXI: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.	63
Tabuľka XXII: Závislosť G v čase, pri rôznych osvetleniach.	63
Tabuľka XXIII: Závislosť B v čase, pri rôznych osvetleniach.	64
Tabuľka XXIV: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.	65
Tabuľka XXV: Závislosť G v čase, pri rôznych osvetleniach.	65

Tabuľka XXVI: Závislosť B v čase, pri rôznych osvetleniach.	66
Tabuľka XXVII: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.	67
Tabuľka XXVIII: Závislosť G v čase, pri rôznych osvetleniach.	67
Tabuľka XXIX: Závislosť B v čase, pri rôznych osvetleniach.	68
Tabuľka XXX: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.	69
Tabuľka XXXI: Závislosť G v čase, pri rôznych osvetleniach.	69
Tabuľka XXXII: Závislosť B v čase, pri rôznych osvetleniach.	70
Tabuľka XXXIII: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.	71
Tabuľka XXXIV: Závislosť G v čase, pri rôznych osvetleniach.	71
Tabuľka XXXV: Závislosť B v čase, pri rôznych osvetleniach.	72
Tabuľka XXXVI: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.	73
Tabuľka XXXVII: Závislosť G v čase, pri rôznych osvetleniach.	73
Tabuľka XXXVIII: Závislosť B v čase, pri rôznych osvetleniach.	74

ZOZNAM GRAFOV

Graf 1: Závislost' G súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	34
Graf 2: Závislost' G súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	38
Graf 3: Závislost' R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	39
Graf 4: Závislost' meraných vzoriek na RGB súradniciach, pri dennom svetle.....	40
Graf 5: Závislost' meraných vzoriek na RGB súradniciach, pri 11W žiarivke.....	40
Graf 6: Závislost' meraných vzoriek na RGB súradniciach, pri 40 W žiarovke so striebornou clonou.....	41
Graf 7: Závislost' meraných vzoriek na RGB súradniciach, pri 60 W žiarovke.....	42
Graf 8: Závislost' R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	55
Graf 9: Závislost' G súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	56
Graf 10: Závislost' B súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	56
Graf 11: Závislost' R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	57
Graf 12: Závislost' G súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	58
Graf 13: Závislost' B súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	58
Graf 14: Závislost' R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	59
Graf 15: Závislost' G súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	60
Graf 16: Závislost' B súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	60
Graf 17: Závislost' R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	61
Graf 18: Závislost' G súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	62
Graf 19: Závislost' B súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	62
Graf 20: Závislost' R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	63
Graf 21: Závislost' G súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	64
Graf 22: Závislost' B súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	64
Graf 23: Závislost' R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	65
Graf 24: Závislost' G súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	66
Graf 25: Závislost' B súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	66

Graf 26: Závislost' R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	67
Graf 27: Závislost' G súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	68
Graf 28: Závislost' B súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	68
Graf 29: Závislost' R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	69
Graf 30: Závislost' G súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	70
Graf 31: Závislost' B súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	70
Graf 32: Závislost' R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	71
Graf 33: Závislost' G súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	72
Graf 34: Závislost' B súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	72
Graf 35: Závislost' R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	73
Graf 36: Závislost' G súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	74
Graf 37: Závislost' B súradnice v čase pri rôznom osvetlení.....	74

ZOZNAM PRÍLOH

P 1 : Bledožltá farba

P 2 : Červená farba

P 3 : Čierna farba

P 4 : Hnedá farba

P 5 : Modrá farba

P 6 : Oranžová farba

P 7 : Ružová farba

P 8 : Tmavomodrá farba

P 9 : Zelená farba

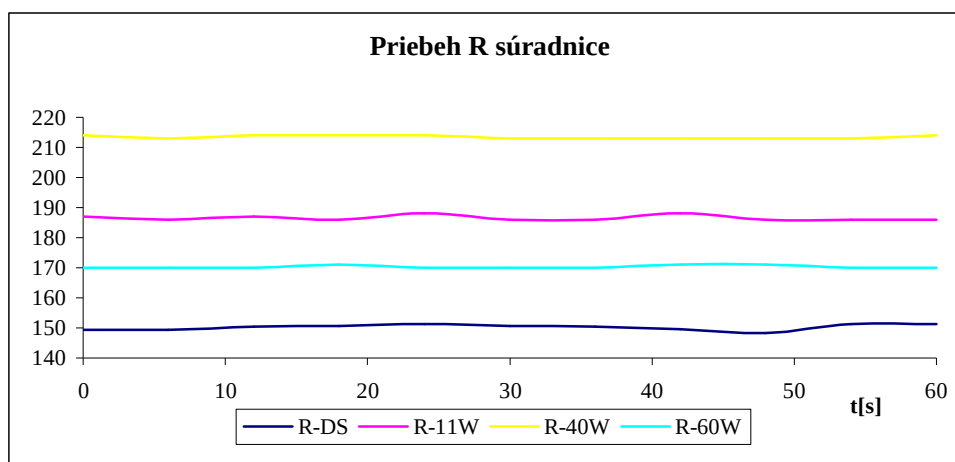
P 10 : Žltá farba

PRÍLOHA 1

Bledožltá farba

Tabuľka IX: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

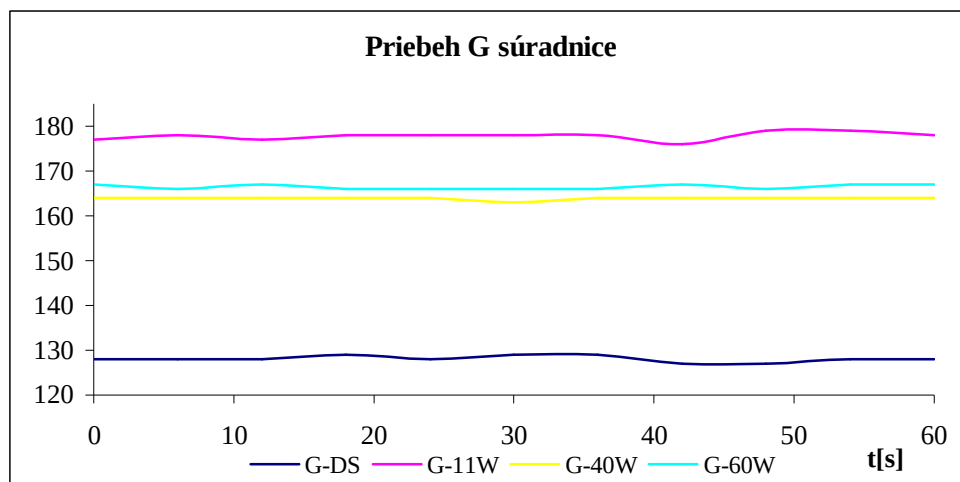
T[s]	R-DS	R-11W	R-40W	R-60W
0	149	187	214	170
6	149	186	213	170
12	150	187	214	170
18	151	186	214	171
24	151	188	214	170
30	151	186	213	170
36	150	186	213	170
42	150	188	213	171
48	148	186	213	171
54	151	186	213	170
60	151	186	214	170



Graf 8: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

Tabuľka X: Závislosť G v čase, pri rôznych osvetleniach.

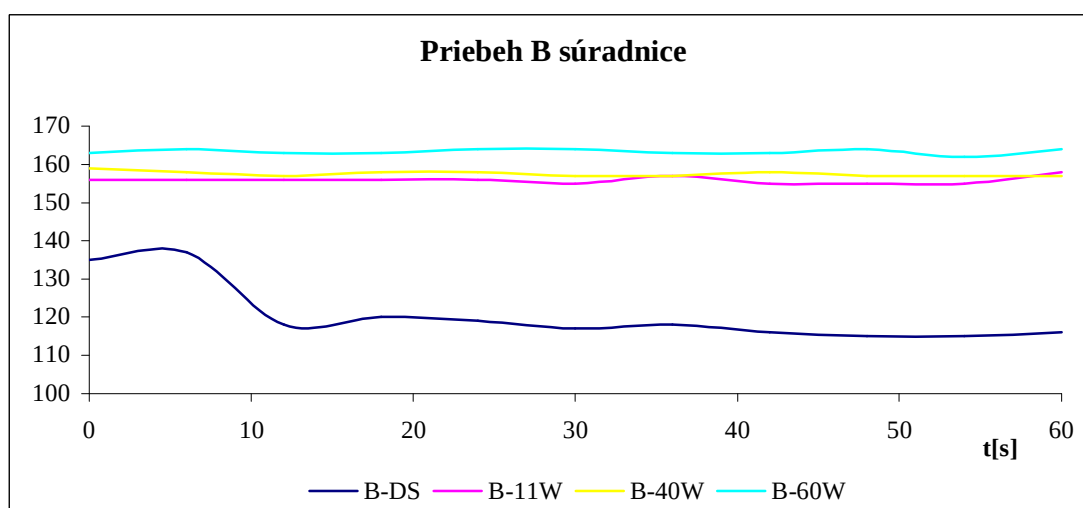
T[s]	G-DS	G-11W	G-40W	G-60W
0	128	177	164	167
6	128	178	164	166
12	128	177	164	167
18	129	178	164	166
24	128	178	164	166
30	129	178	163	166
36	129	178	164	166
42	127	176	164	167
48	127	179	164	166
54	128	179	164	167
60	128	178	164	167



Graf 9: Závislosť G súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

Tabuľka XI: Závislosť B v čase, pri rôznych osvetleniach.

T[s]	B-DS	B-11W	B-40W	B-60W
0	135	156	159	163
6	137	156	158	164
12	118	156	157	163
18	120	156	158	163
24	119	156	158	164
30	117	155	157	164
36	118	157	157	163
42	116	155	158	163
48	115	155	157	164
54	115	155	157	162
60	116	158	157	164



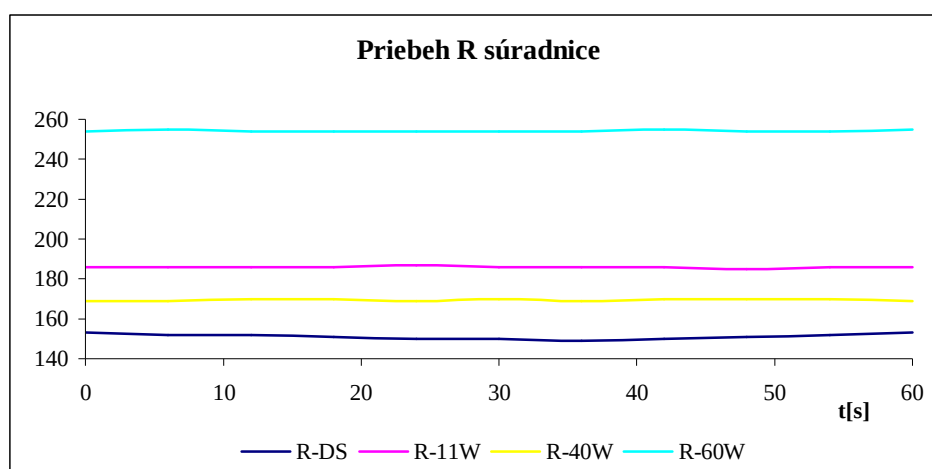
Graf 10: Závislosť B súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

PRÍLOHA 2

Červená farba

Tabuľka XII: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

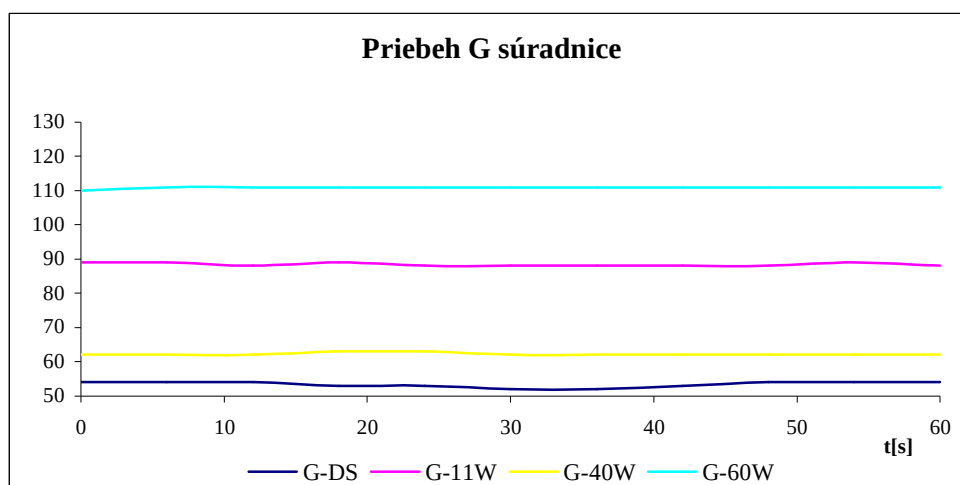
T[s]	R-DS	R-11W	R-40W	R-60W
0	153	186	169	254
6	152	186	169	255
12	152	186	170	254
18	151	186	170	254
24	150	187	169	254
30	150	186	170	254
36	149	186	169	254
42	150	186	170	255
48	151	185	170	254
54	152	186	170	254
60	153	186	169	255



Graf 11: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

Tabuľka XIII: Závislosť G v čase, pri rôznych osvetleniach.

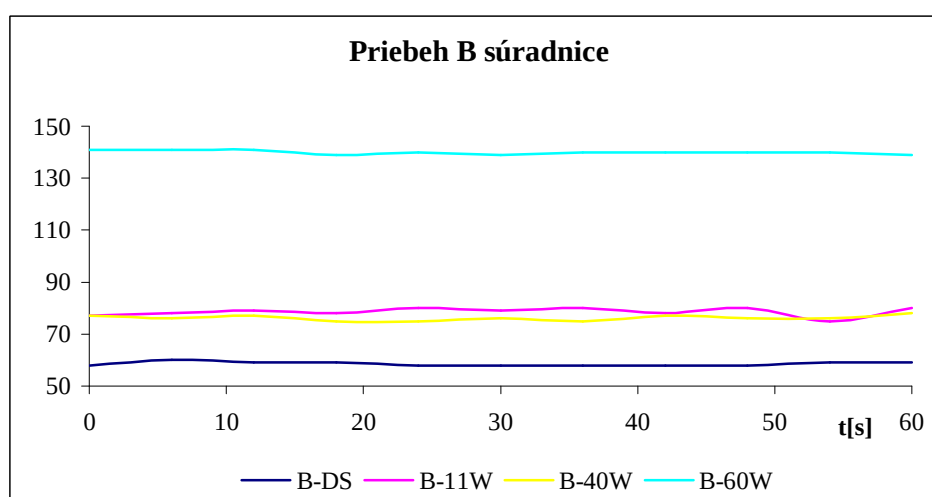
T[s]	G-DS	G-11W	G-40W	G-60W
0	54	89	62	110
6	54	89	62	111
12	54	88	62	111
18	53	89	63	111
24	53	88	63	111
30	52	88	62	111
36	52	88	62	111
42	53	88	62	111
48	54	88	62	111
54	54	89	62	111
60	54	88	62	111



Graf 12: Závislosť G súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

Tabuľka XIV: Závislosť B v čase, pri rôznych osvetleniach.

T[s]	B-DS	B-11W	B-40W	B-60W
0	58	77	77	141
6	60	78	76	141
12	59	79	77	141
18	59	78	75	139
24	58	80	75	140
30	58	79	76	139
36	58	80	75	140
42	58	78	77	140
48	58	80	76	140
54	59	75	76	140
60	59	80	78	139



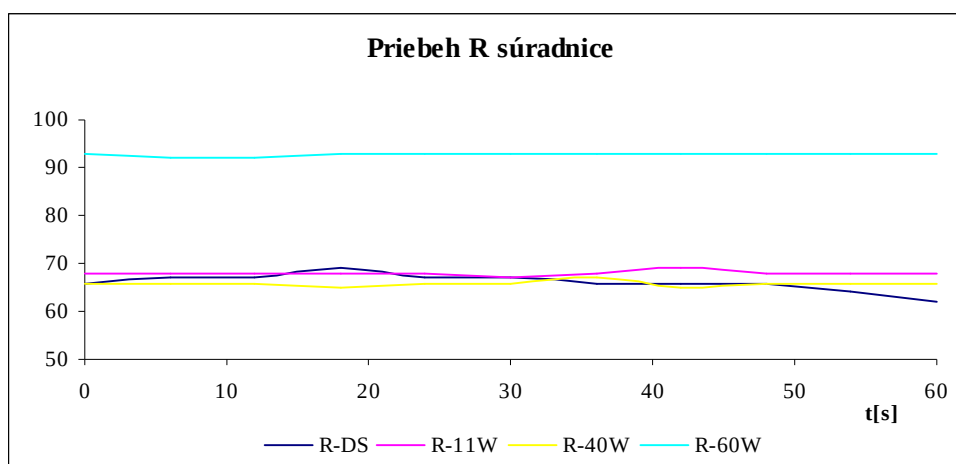
Graf 13: Závislosť B súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

PRÍLOHA 3

Čierna farba

Tabuľka XV: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

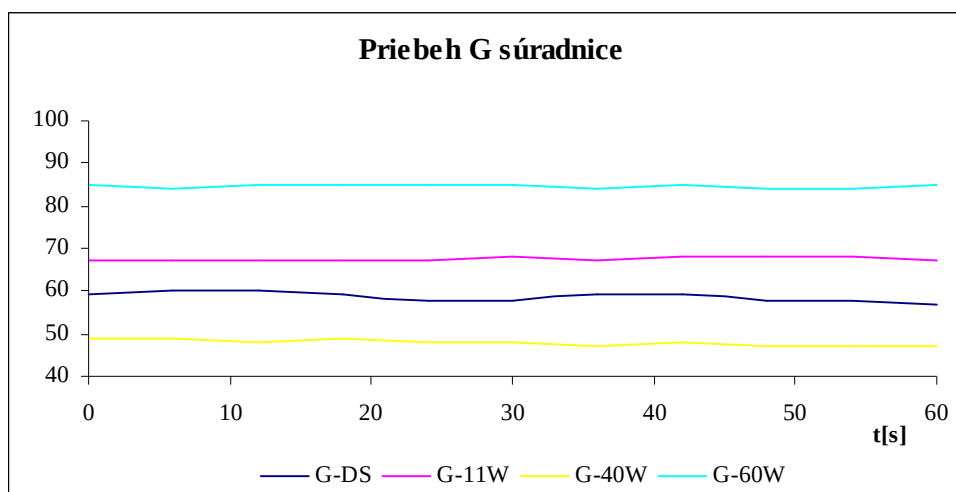
T[s]	B-DS	B-11W	B-40W	B-60W
0	66	68	66	93
6	67	68	66	92
12	67	68	66	92
18	69	68	65	93
24	67	68	66	93
30	67	67	66	93
36	66	68	67	93
42	66	69	65	93
48	66	68	66	93
54	64	68	66	93
60	62	68	66	93



Graf 14: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

Tabuľka XVI: Závislosť G v čase, pri rôznych osvetleniach.

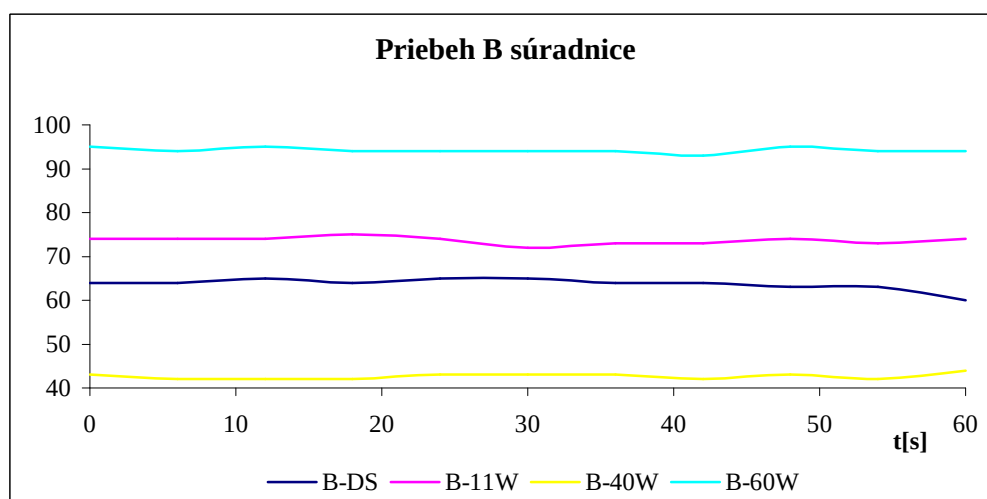
T[s]	G-DS	G-11W	G-40W	G-60W
0	59	67	49	85
6	60	67	49	84
12	60	67	48	85
18	59	67	49	85
24	58	67	48	85
30	58	68	48	85
36	59	67	47	84
42	59	68	48	85
48	58	68	47	84
54	58	68	47	84
60	57	67	47	85



Graf 15: Závislosť G súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

Tabuľka XVII: Závislosť B v čase, pri rôznych osvetleniach.

T[s]	B-DS	B-11W	B-40W	B-60W
0	64	74	43	95
6	64	74	42	94
12	65	74	42	95
18	64	75	42	94
24	65	74	43	94
30	65	72	43	94
36	64	73	43	94
42	64	73	42	93
48	63	74	43	95
54	63	73	42	94
60	60	74	44	94



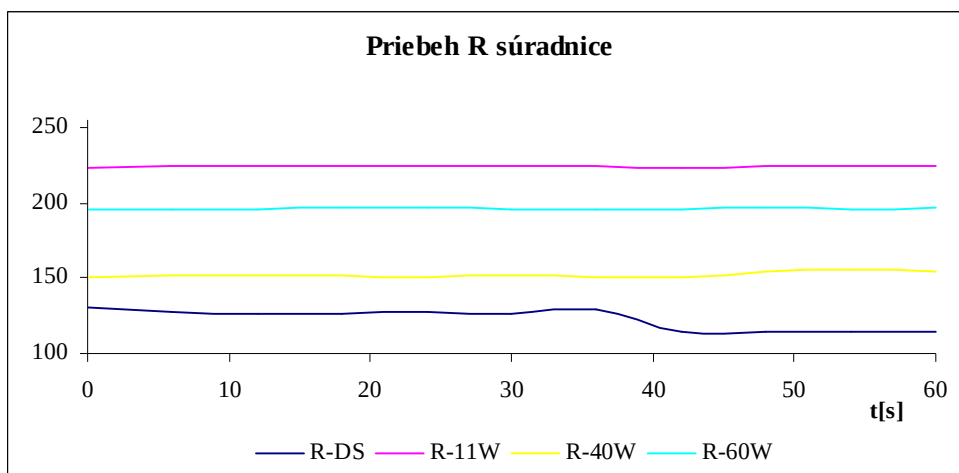
Graf 16: Závislosť B súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

PRÍLOHA 4

Hnedá farba

Tabuľka XVIII: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

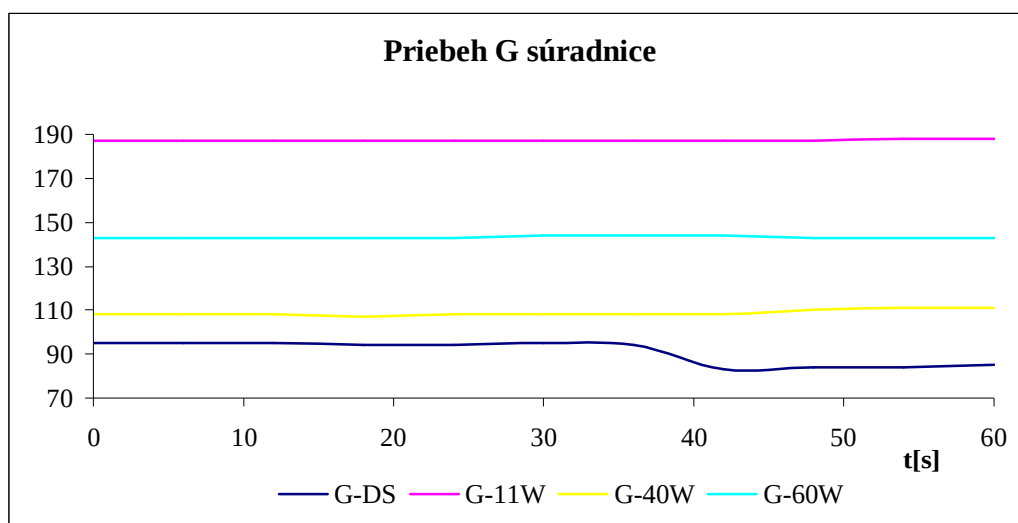
T[s]	R-DS	R-11W	R-40W	R-60W
0	130	223	151	196
6	128	224	152	196
12	127	224	152	196
18	126	224	152	197
24	128	224	151	197
30	127	224	152	196
36	129	224	151	196
42	115	223	151	196
48	115	224	154	197
54	115	224	155	196
60	115	224	154	197



Graf 17: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

Tabuľka XIX: Závislosť G v čase, pri rôznych osvetleniach.

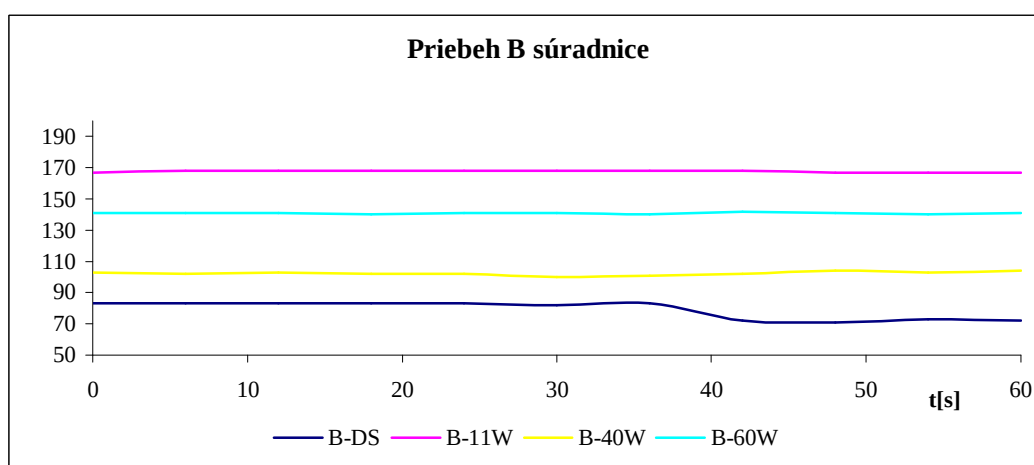
T[s]	G-DS	G-11W	G-40W	G-60W
0	95	187	108	143
6	95	187	108	143
12	95	187	108	143
18	94	187	107	143
24	94	187	108	143
30	95	187	108	144
36	94	187	108	144
42	83	187	108	144
48	84	187	110	143
54	84	188	111	143
60	85	188	111	143



Graf 18: Závislosť G súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

Tabuľka XX: Závislosť B v čase, pri rôznych osvetleniach.

T[s]	B-DS	B-11W	B-40W	B-60W
0	83	167	103	141
6	83	168	102	141
12	83	168	103	141
18	83	168	102	140
24	83	168	102	141
30	82	168	100	141
36	83	168	101	140
42	72	168	102	142
48	71	167	104	141
54	73	167	103	140
60	72	167	104	141



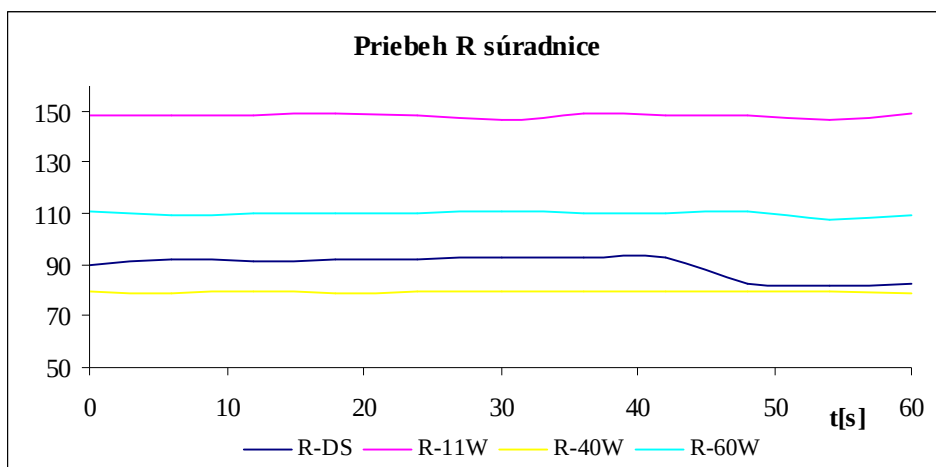
Graf 19: Závislosť B súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

PRÍLOHA 5

Modrá farba

Tabuľka XXI: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

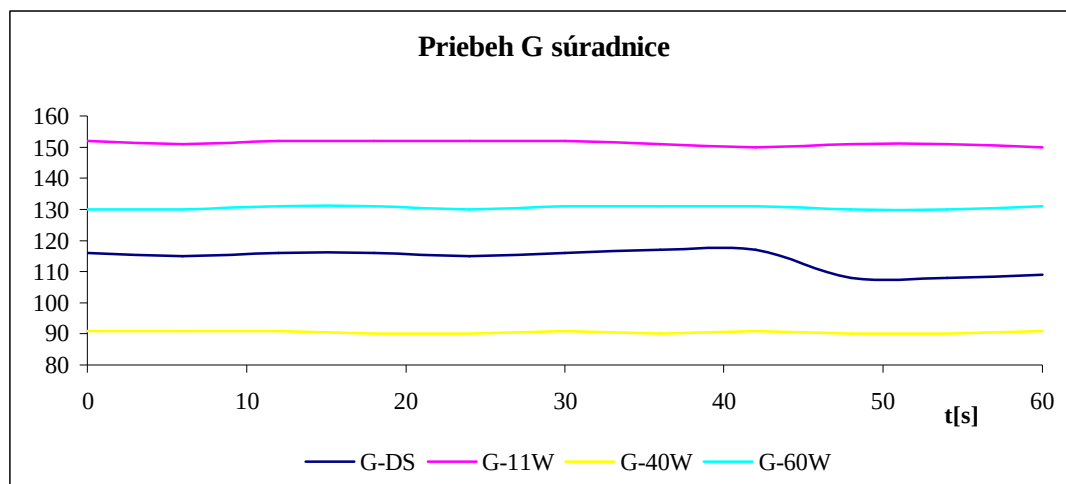
T[s]	R-DS	R-11W	R-40W	R-60W
0	90	148	80	111
6	92	148	79	109
12	91	148	80	110
18	92	149	79	110
24	92	148	80	110
30	93	147	80	111
36	93	149	80	110
42	93	148	80	110
48	83	148	80	111
54	82	147	80	108
60	83	149	79	109



Graf 20: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

Tabuľka XXII: Závislosť G v čase, pri rôznych osvetleniach.

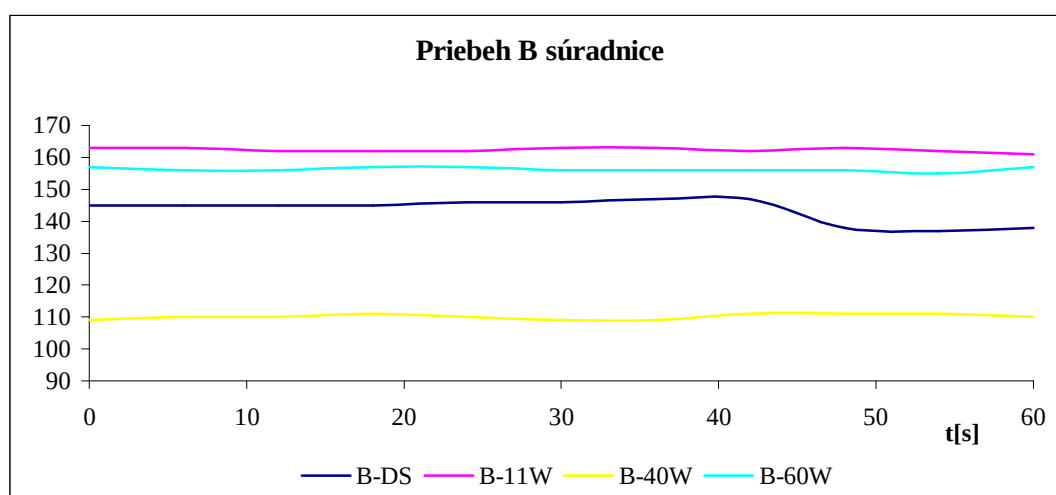
T[s]	G-DS	G-11W	G-40W	G-60W
0	116	152	91	130
6	115	151	91	130
12	116	152	91	131
18	116	152	90	131
24	115	152	90	130
30	116	152	91	131
36	117	151	90	131
42	117	150	91	131
48	108	151	90	130
54	108	151	90	130
60	109	150	91	131



Graf 21: Závislosť G súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

Tabuľka XXIII: Závislosť B v čase, pri rôznych osvetleniach.

T[s]	B-DS	B-11W	B-40W	B-60W
0	145	163	109	157
6	145	163	110	156
12	145	162	110	156
18	145	162	111	157
24	146	162	110	157
30	146	163	109	156
36	147	163	109	156
42	147	162	111	156
48	138	163	111	156
54	137	162	111	155
60	138	161	110	157



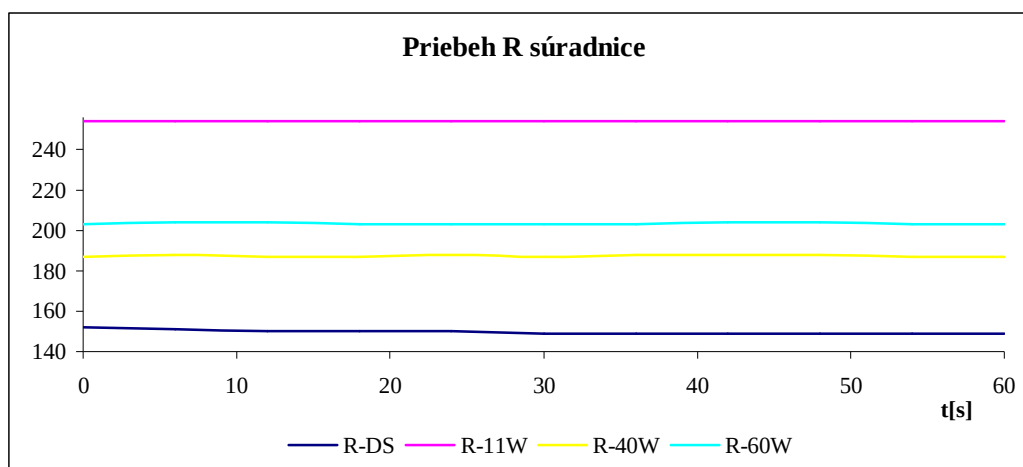
Graf 22: Závislosť B súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

PRÍLOHA 6

Oranžová farba

Tabuľka XXIV: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

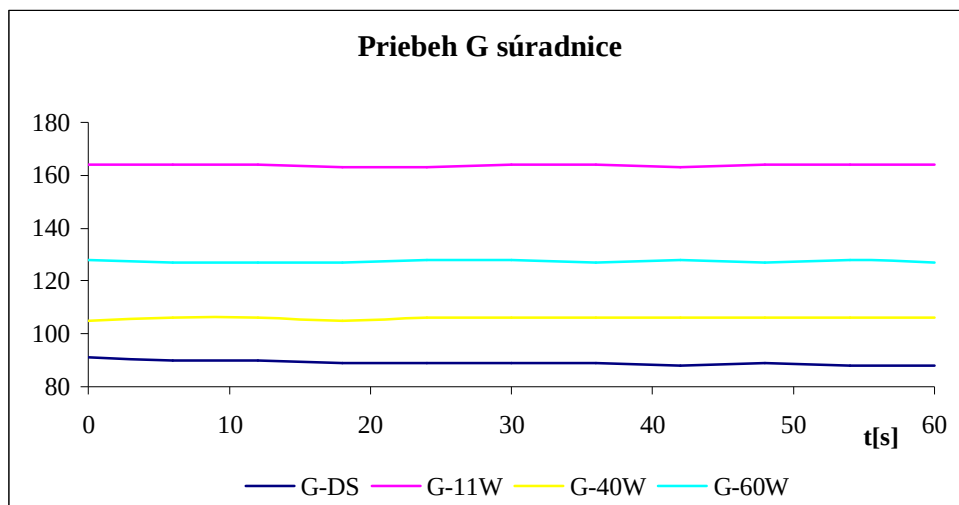
T[s]	R-DS	R-11W	R-40W	R-60W
0	152	254	187	203
6	151	254	188	204
12	150	254	187	204
18	150	254	187	203
24	150	254	188	203
30	149	254	187	203
36	149	254	188	203
42	149	254	188	204
48	149	254	188	204
54	149	254	187	203
60	149	254	187	203



Graf 23: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

Tabuľka XXV: Závislosť G v čase, pri rôznych osvetleniach.

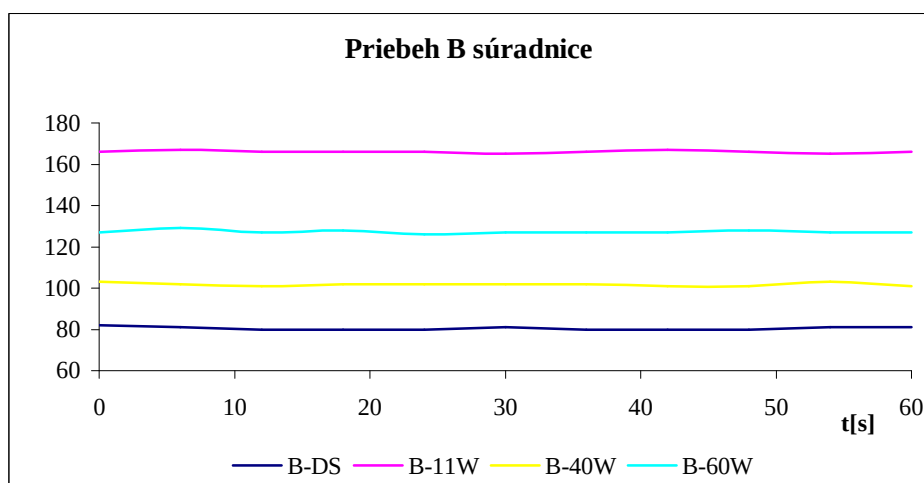
T[s]	G-DS	G-11W	G-40W	G-60W
0	91	164	105	128
6	90	164	106	127
12	90	164	106	127
18	89	163	105	127
24	89	163	106	128
30	89	164	106	128
36	89	164	106	127
42	88	163	106	128
48	89	164	106	127
54	88	164	106	128
60	88	164	106	127



Graf 24: Zavislost' G súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

Tabuľka XXVI: Zavislost' B v čase, pri rôznych osvetleniach.

T[s]	B-DS	B-11W	B-40W	B-60W
0	82	166	103	127
6	81	167	102	129
12	80	166	101	127
18	80	166	102	128
24	80	166	102	126
30	81	165	102	127
36	80	166	102	127
42	80	167	101	127
48	80	166	101	128
54	81	165	103	127
60	81	166	101	127



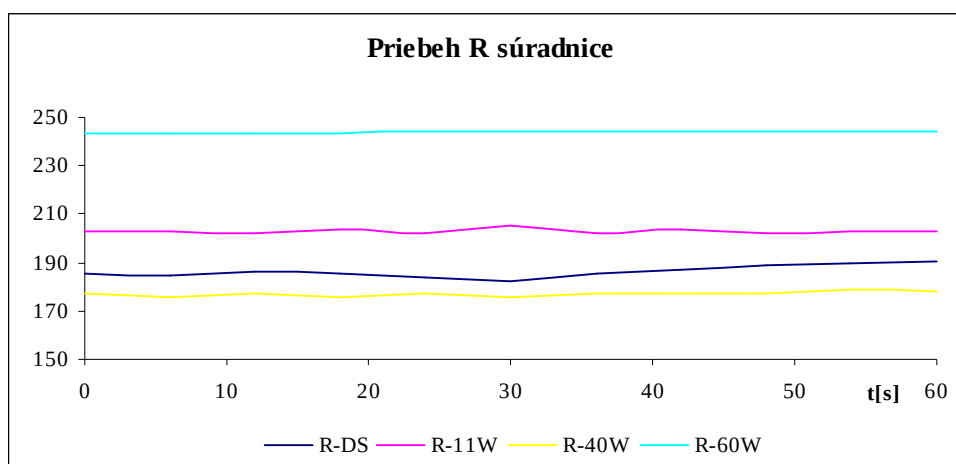
Graf 25: Zavislost' B súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

PRÍLOHA 7

Ružová farba

Tabuľka XXVII: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

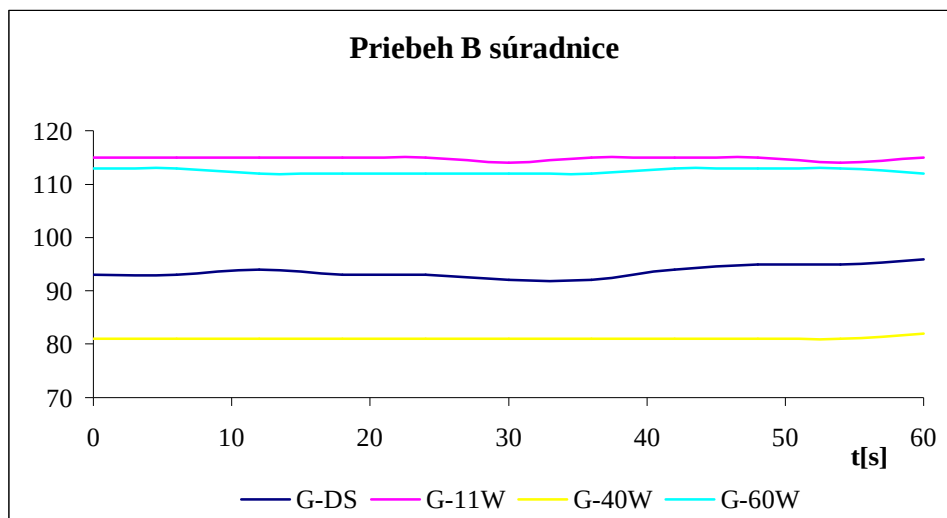
T[s]	R-DS	R-11W	R-40W	R-60W
0	185	203	177	243
6	185	203	176	243
12	186	202	177	243
18	185	204	176	243
24	184	202	177	244
30	182	205	176	244
36	186	202	177	244
42	187	204	177	244
48	189	202	177	244
54	190	203	179	244
60	191	203	178	244



Graf 26: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

Tabuľka XXVIII: Závislosť G v čase, pri rôznych osvetleniach.

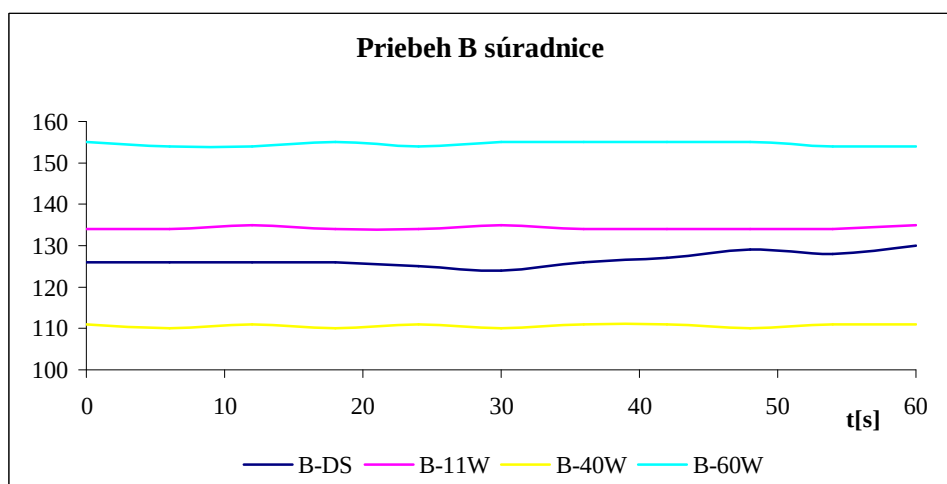
T[s]	G-DS	G-11W	G-40W	G-60W
0	93	115	81	113
6	93	115	81	113
12	94	115	81	112
18	93	115	81	112
24	93	115	81	112
30	92	114	81	112
36	92	115	81	112
42	94	115	81	113
48	95	115	81	113
54	95	114	81	113
60	96	115	82	112



Graf 27: Zavislost' G súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

Tabuľka XXIX: Zavislost' B v čase, pri rôznych osvetleniach.

T[s]	B-DS	B-11W	B-40W	B-60W
0	126	134	111	155
6	126	134	110	154
12	126	135	111	154
18	126	134	110	155
24	125	134	111	154
30	124	135	110	155
36	126	134	111	155
42	127	134	111	155
48	129	134	110	155
54	128	134	111	154
60	130	135	111	154



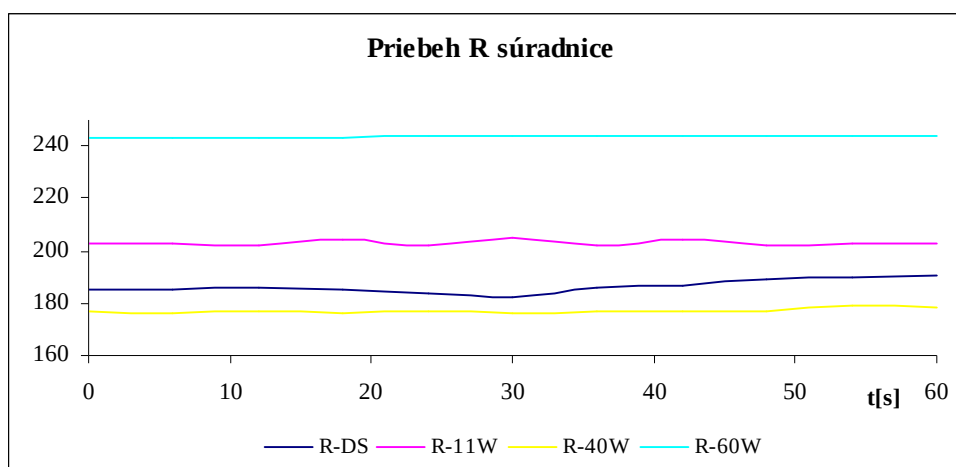
Graf 28: Zavislost' B súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

PRÍLOHA 8

Tmavomodrá farba

Tabuľka XXX: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

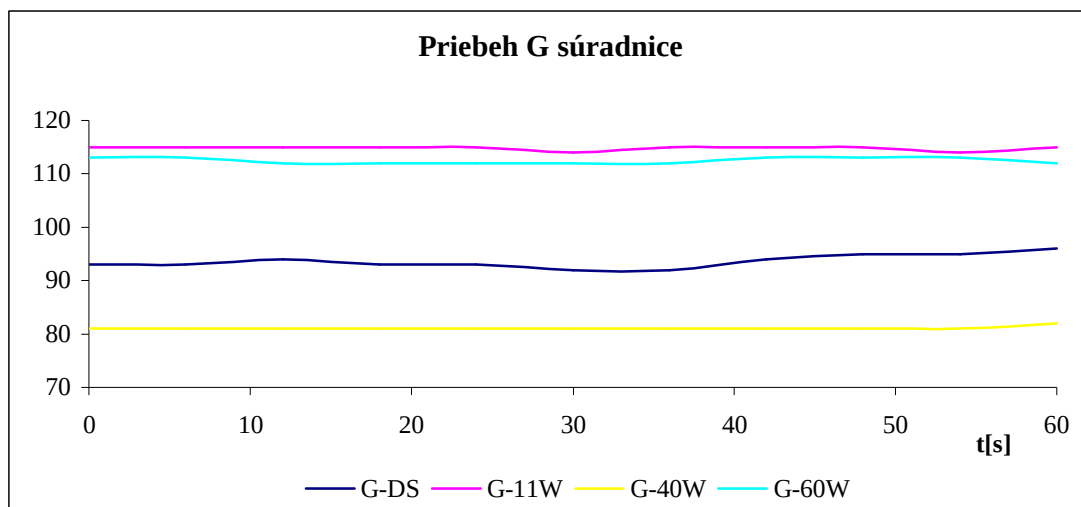
T[s]	R-DS	R-11W	R-40W	R-60W
0	185	203	177	243
6	185	203	176	243
12	186	202	177	243
18	185	204	176	243
24	184	202	177	244
30	182	205	176	244
36	186	202	177	244
42	187	204	177	244
48	189	202	177	244
54	190	203	179	244
60	191	203	178	244



Graf 29: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

Tabuľka XXXI: Závislosť G v čase, pri rôznych osvetleniach

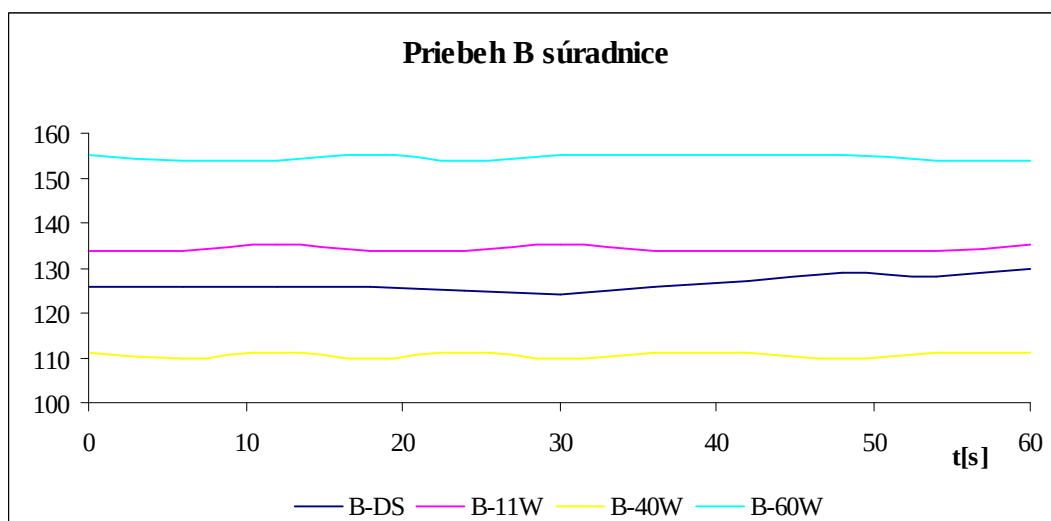
T[s]	G-DS	G-11W	G-40W	G-60W
0	93	115	81	113
6	93	115	81	113
12	94	115	81	112
18	93	115	81	112
24	93	115	81	112
30	92	114	81	112
36	92	115	81	112
42	94	115	81	113
48	95	115	81	113
54	95	114	81	113
60	96	115	82	112



Graf 30: Závislosť G súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

Tabuľka XXXII: Závislosť B v čase, pri rôznych osvetleniach.

T[s]	B-DS	B-11W	B-40W	B-60W
0	126	134	111	155
6	126	134	110	154
12	126	135	111	154
18	126	134	110	155
24	125	134	111	154
30	124	135	110	155
36	126	134	111	155
42	127	134	111	155
48	129	134	110	155
54	128	134	111	154
60	130	135	111	154



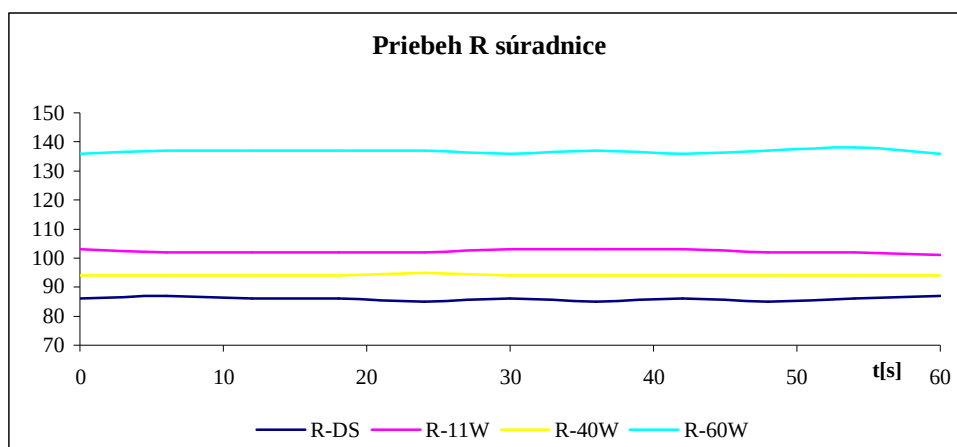
Graf 31: Závislosť B súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

PRÍLOHA 9

Zelená farba

Tabuľka XXXIII: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

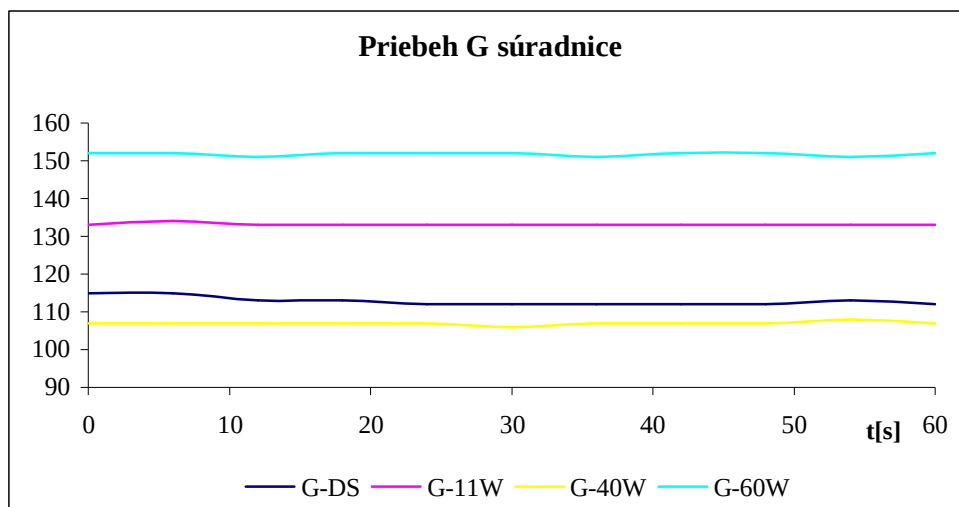
T[s]	R-DS	R-11W	R-40W	R-60W
0	86	103	94	136
6	87	102	94	137
12	86	102	94	137
18	86	102	94	137
24	85	102	95	137
30	86	103	94	136
36	85	103	94	137
42	86	103	94	136
48	85	102	94	137
54	86	102	94	138
60	87	101	94	136



Graf 32: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

Tabuľka XXXIV: Závislosť G v čase, pri rôznych osvetleniach.

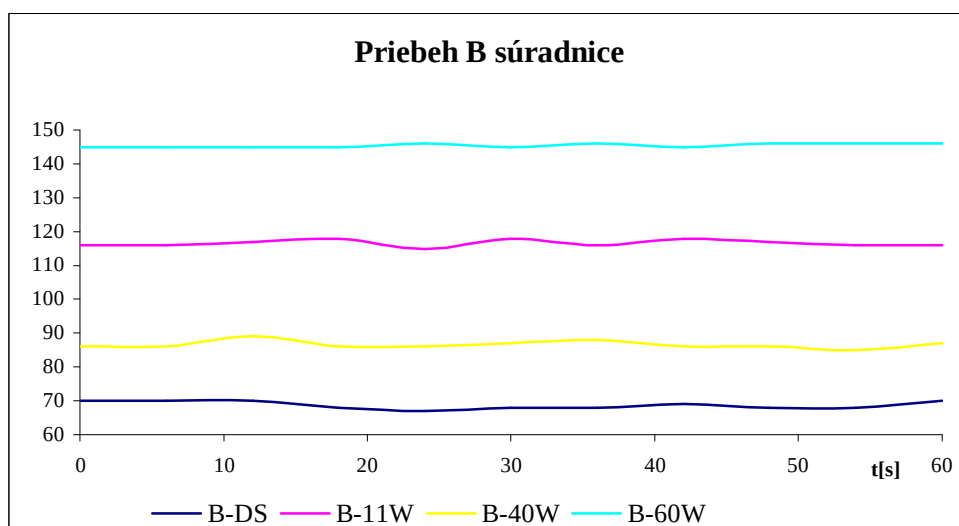
T[s]	G-DS	G-11W	G-40W	G-60W
0	115	133	107	152
6	115	134	107	152
12	113	133	107	151
18	113	133	107	152
24	112	133	107	152
30	112	133	106	152
36	112	133	107	151
42	112	133	107	152
48	112	133	107	152
54	113	133	108	151
60	112	133	107	152



Graf 33: Závislosť G súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

Tabuľka XXXV: Závislosť B v čase, pri rôznych osvetleniach.

T[s]	B-DS	B-11W	B-40W	B-60W
0	70	116	86	145
6	70	116	86	145
12	70	117	89	145
18	68	118	86	145
24	67	115	86	146
30	68	118	87	145
36	68	116	88	146
42	69	118	86	145
48	68	117	86	146
54	68	116	85	146
60	70	116	87	146



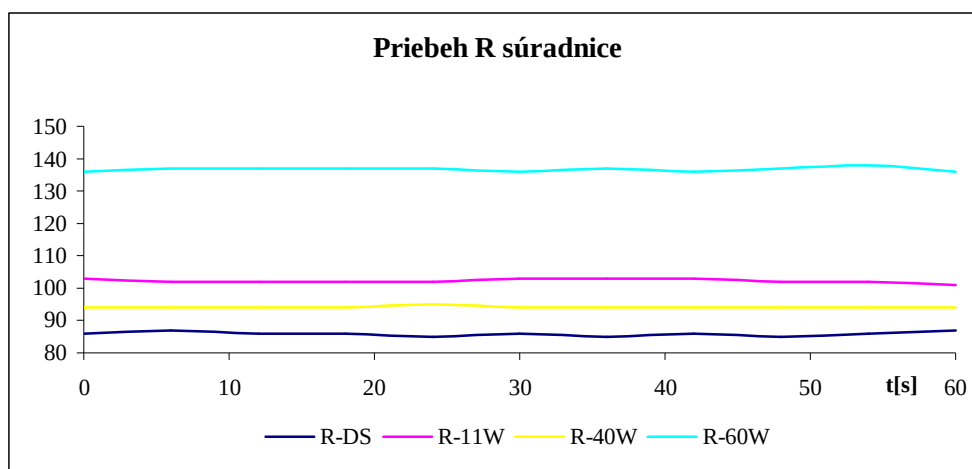
Graf 34: Závislosť B súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

PRÍLOHA 10

Žltá farba

Tabuľka XXXVI: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

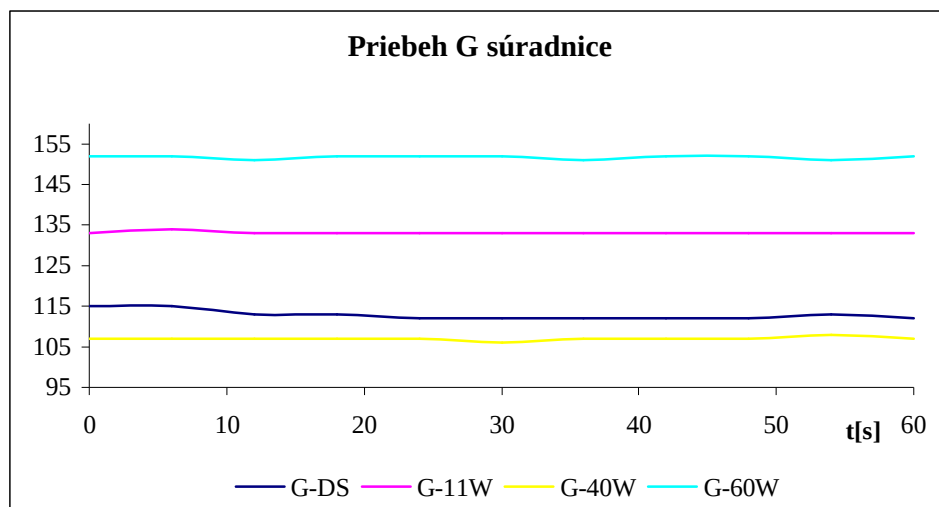
T[s]	R-DS	R-11W	R-40W	R-60W
0	86	103	94	136
6	87	102	94	137
12	86	102	94	137
18	86	102	94	137
24	85	102	95	137
30	86	103	94	136
36	85	103	94	137
42	86	103	94	136
48	85	102	94	137
54	86	102	94	138
60	87	101	94	136



Graf 35: Závislosť R súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

Tabuľka XXXVII: Závislosť G v čase, pri rôznych osvetleniach

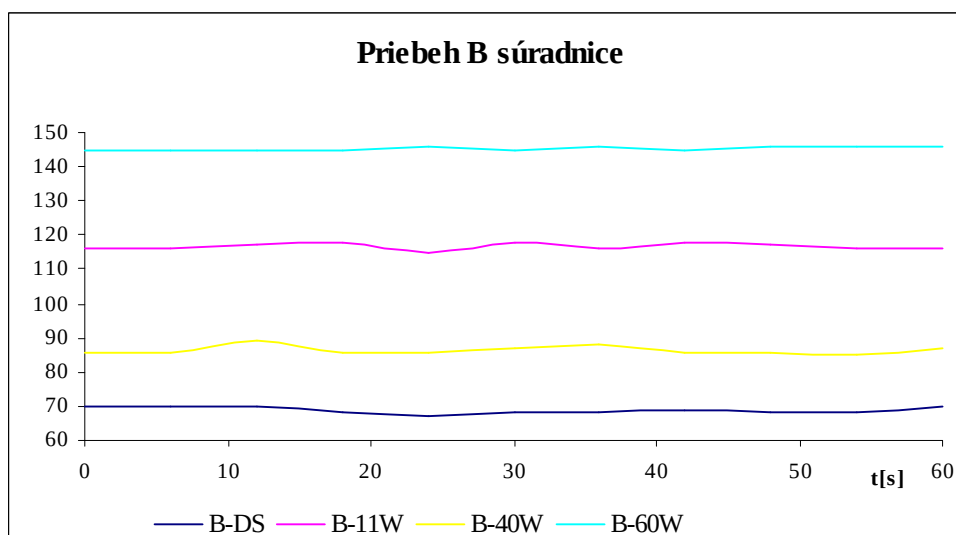
T[s]	G-DS	G-11W	G-40W	G-60W
0	115	133	107	152
6	115	134	107	152
12	113	133	107	151
18	113	133	107	152
24	112	133	107	152
30	112	133	106	152
36	112	133	107	151
42	112	133	107	152
48	112	133	107	152
54	113	133	108	151
60	112	133	107	152



Graf 36: Závislosť G súradnice v čase pri rôznom osvetlení.

Tabuľka XXXVIII: Závislosť B v čase, pri rôznych osvetleniach.

T[s]	B-DS	B-11W	B-40W	B-60W
0	70	116	86	145
6	70	116	86	145
12	70	117	89	145
18	68	118	86	145
24	67	115	86	146
30	68	118	87	145
36	68	116	88	146
42	69	118	86	145
48	68	117	86	146
54	68	116	85	146
60	70	116	87	146



Graf 37: Závislosť B súradnice v čase pri rôznom osvetlení.