

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Měření barevného spektra displejů
Pavel Šimek

Bakalářská práce

2020

1

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Pavel Šimek**
Osobní číslo: **I16279**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**
Téma práce: **Měření barevného spektra displejů**
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky**

Zásady pro vypracování

Teoretická část bakalářské práce bude zaměřena na rozbor viditelné části světelného spektra a souvislost barevného spektra se způsobem skládání barev displejů s technologiemi, jako jsou např. IPS a TN. Vyhodnocování intenzity konkrétních vlnových délek bude analyzováno i z pohledu možných škodlivých účinků.

Praktická část bude věnována experimentálnímu měření složek barevného spektra displejů s pomocí laboratorního vybavení. Výsledky experimentálního měření budou porovnány s možnostmi určení vybraných složek spektra s pomocí fotodiod. Vyhodnocení měření bude provedeno v kontextu s možným použitím konkrétních hardwarových a softwarových ochranných před škodlivým zářením.

Rozsah pracovní zprávy: **40**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

RATNAYAKE, Kasun. *Blue light excited retinal intercepts cellular signaling*. Nature. 2018, 2018(8), 10. DOI: 10.1038/s41598-018-28254-8.

BILLAU, Christine. *UT chemists discover how blue light speeds blindness* [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: http://news.utoledo.edu/index.php/08_08_2018/ut-chemists-discover-how-blue-light-speeds-blindness

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.**
Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. listopadu 2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. května 2020**



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
děkan

Ing. Jan Pidanič, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 17. prosince 2019

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 11. 8. 2020

Pavel Šimek

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval Ing. Zdeňkovi Němcovi, Ph.D. za vedení této práce, pomoc a poskytnutí vybavení, díky kterému bylo možné uskutečnit tuto práci. Velký dík patří také mé rodině, díky níž mi bylo umožněno studovat na Fakultě elektrotechniky a informatiky.

ANOTACE

Bakalářská práce je zaměřena na rozbor viditelné části světelného spektra a souvislost barevného spektra se způsobem skládání barev displejů. Vyhodnocování intenzity konkrétních vlnových délek je analyzováno i z pohledu možných škodlivých účinků. Praktická část je věnována experimentálnímu měření složek barevného spektra displejů s pomocí laboratorního vybavení. Vyhodnocení měření je provedeno v kontextu s možným použitím konkrétních hardwarových a softwarových ochranných opatření před škodlivým zářením.

KLÍČOVÁ SLOVA

Barevné spektrum, měření, displej, vlnová délka, škodlivé záření

TITLE

Color spectrum measurement of displays

ANNOTATION

The bachelor thesis is focused on the analysis of the visible part of the light spectrum and the principle of composing colors of displays. The evaluation of the intensity of specific wavelengths is also analyzed in terms of possible harmful effects. The practical part is devoted to the experimental measurement of the components of the color spectrum of displays. The measurement results are performed in the context of the possible use of specific hardware and software protections against harmful radiation.

KEYWORDS

Color spectrum, measurement, display, wavelength, harmful radiation

OBSAH

Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	10
Seznam zkratk	11
Úvod	12
1 Viditelné spektrum	13
1.1 Energie spektra RGB	13
1.2 Vnímání barev.....	14
1.3 Spektrum denního světla a monitoru	15
2 Skládání barev obrazu monitoru.....	17
2.1 LCD	17
2.2 IPS.....	18
2.3 AMOLED	19
2.4 RETINA.....	20
2.5 E-ink.....	20
2.6 Zdroj modrého světla a použití ochran	21
3 Účinky záření na lidské tělo	21
3.1 Vliv na organismus	22
3.2 Fyzické poškozování oka.....	22
4 Ochrana před modrým světlem.....	23
4.1 Fyzická ochrana	23
4.1.1 Optické filtry	23
4.2 Softwarová ochrana	24
5 Princip funkce světelného spektrometru	25
5.1 Přístroj pro měření světelného spektra.....	26
6 Měření světelného spektra na počítači.....	27
7 Měření světelného spektra na displeji mObilního telefonu	32

8	Měření u zskhk	36
9	LED dioda a její využití jako detektoru světla.....	39
9.1	Princip funkce diod v displejích	40
9.2	Detekce světla pomocí LED	41
9.3	Měření světelného spektra diod	42
	Závěr	45
	Použitá literatura	48
	Přílohy.....	51

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Světelné spektrum [1].....	13
Obrázek 2: Světelné spektrum displejů [5]	15
Obrázek 3: Světelné spektrum denního svitu [6]	16
Obrázek 4: Průřez LCD displejem s jednotlivými částmi [11]	18
Obrázek 5: Průřez AMOLED displejem [9]	19
Obrázek 6: Struktura E-ink displeje [13]	21
Obrázek 7: Optický hranol	25
Obrázek 8: Blejzovaná optická mřížka [21].....	26
Obrázek 9: Xrite i1 Pro [23].....	27
Obrázek 10: Světelné spektrum červené barvy	29
Obrázek 11: Světelné spektrum modré barvy	30
Obrázek 12: Světelné spektrum bílé barvy	31
Obrázek 13: Světelné spektrum černé barvy.....	32
Obrázek 14: Světelné spektrum červené barvy	33
Obrázek 15: Světelné spektrum modré barvy	34
Obrázek 16: Světelné spektrum bílé barvy	35
Obrázek 17: Světelné spektrum černé barvy.....	36
Obrázek 18: Světelné spektrum červené barvy	37
Obrázek 19: Světelné spektrum modré barvy	38
Obrázek 20: Světelné spektrum bílé barvy	39
Obrázek 21: Světelné spektrum černé barvy.....	39
Obrázek 22: LED dioda [26].....	40
Obrázek 23: Světelné spektrum diody L3BLU1500.....	43
Obrázek 24: Světelné spektrum diody L5BLU3000.....	44
Obrázek 25: Světelné spektrum diody L5BLU-5VOLT	44
Obrázek 26: Světelné spektrum bílé barvy	46
Obrázek 27: Světelné spektrum denního svitu a noci	47

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Vlastní výpočet frekvence a energie	14
Tabulka 2: RGB kód nastavené barvy v počítači	28
Tabulka 3: Naměřený RGB kód bez použitých ochran	28
Tabulka 4: Přepočítání mezi číslem vzorku a vlnovou délkou	29
Tabulka 5: RGB kód nastavené barvy na mobilním telefonu	32
Tabulka 6: Naměřený RGB kód bez použitých ochran	33

SEZNAM ZKRATEK

A/D	Analog/Digital
Al	Aluminium
AMOLED	Active Matrix Organic Light Emitting Diode
As	Arsenicum
C	Carboneum
Cd/m ²	Candela per square metre
E-ink	Electronic Ink
Ga	Gallium
HW	Hardware
Hz	Hertz
IPS	In Plane Switching
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode
Mcđ	micro candela
Nm	Nano metr
OLED	Organic Light Emitting Diode
P	Phosphorus
PMOLED	Passive Matrix Organic Light Emitting Diode
PN	Polovodičový přechod
RGB	Red green blue
Se	Selenium
Si	Silicium
SW	Software
TFT	Thin film tranzistor
THz	Terra hertz
TV	Televize
Zn	Zincum
Zzskhk	Zdravotnická záchranná služba Královehradeckého kraje

ÚVOD

V dnešní době jsou počítače využívány ve všech odvětvích. Setkáváme se s nimi denně ať už v práci nebo doma. Využívání výpočetní techniky s sebou nese řadu výhod pro usnadnění a efektivnost práce. Práce s novými technologiemi má také svá rizika. Počítač nebo mobil má už v dnešní době každý a většinu času hledíme do monitorů či displejů.

Časté bolení hlavy, únava a bolest očí zná asi každý, málokdo si však uvědomuje, že to jsou následky modrého záření, které vstřebáváme přes náš zrak z obrazovek.

V této práci bych se rád věnoval analýze světelného spektra z obrazovek, účinkům modrého záření na lidský organismus, porovnání ochran proti tomuto záření a experimentálnímu měření, díky kterému lze odhalit toto záření.

V první kapitole se zabývám porovnáním viditelného světelného spektra denního svitu a obrazovek. Také je zde uveden popis skládání barev na monitoru.

V druhé kapitole jsou popsány účinky modrého záření na lidské oko, organismus a porovnání energií jednotlivých vlnových délek.

Další kapitola je věnována ochraně proti tomuto škodlivému vlivu. Uvedeny jsou jednotlivé typy ochran a jejich funkce – fyzická ochrana pomocí filtru ve formě ochranných brýlí, softwarová ochrana, jež je implementována do operačních systémů Windows 10 a Android, a ostatních softwarových ochran dostupných na internetu a v internetových obchodech.

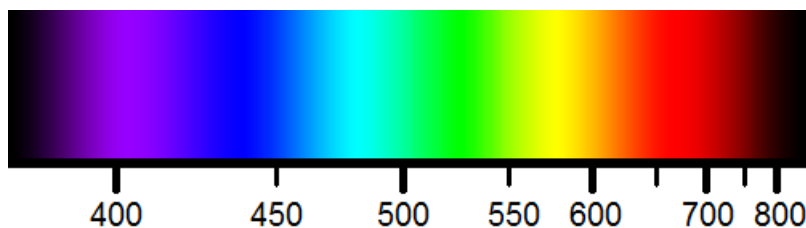
Praktická část je věnována možnostem analýzy vlastností LCD a IPS displejů pomocí světelného spektrometru. Měření je možné provádět bez použití ochrany a poté s použitím jednotlivých ochran na různé typy displejů. Výsledkem jsou spektra umožňující pozorování útlumu modrého světla. Z těchto naměřených spekter se určí referenční hodnoty pro fotodiody v rozsahu 400nm až 700nm. Následně je možné provádět experimentální měření pomocí 5 fotodiody, z nichž lze podle referenčních hodnot určit, zda dochází k potlačení modrého záření za použití jednotlivých ochran.

Cílem této práce je zjistit a porovnat efektivitu jednotlivých ochranných prvků, díky kterým lze zabránit fyzickému poškození zraku a poruchy spánku. Dalším cílem práce je možnost změřit útlum pomocí levné fotodiody díky experimentálnímu měření a stanovení referenčních hodnot v praxi.

1 VIDITELNÉ SPEKTRUM

Viditelným spektrem se rozumí takové spektrum, které je schopné vnímat lidské oko. Lidské oko je schopné vnímat frekvence od 350nm až po 750nm, toto spektrum je lidským zrakem vnímáno jako barvy, jež se liší frekvencemi. Červená barva má frekvenci 625nm až 740nm, oranžová má frekvenci 590nm až 625nm, žlutá má frekvenci 565nm až 590nm, zelená 520nm až 565nm, azurová 465nm až 500nm, modrá 430nm až 500nm a fialová 380nm až 430nm. Intenzita jednotlivých složek obsažených ve světelném spektru není vždy stejná pro různé případy záření, například při slunečném letním dni bude intenzita jednotlivých složek odlišná od zimního dne, kdy bude i snižena oblačnost. Lidské oko se těmto podmínkám umí přizpůsobit, a proto změny v intenzitě denního světla po krátké době nepocítíme. Obrázek 1 představuje světelné spektrum.

[1]



Obrázek 1: Světelné spektrum [1]

1.1 Energie spektra RGB

Viditelné spektrum je speciálním případem elektromagnetických vln o vysokých frekvencích v řádech [THz] Složení spektra je proměnlivé a závisí na světelných podmínkách, jak již bylo zmíněno. Energie jednotlivých složek na konkrétních frekvencích se vypočítá pomocí vzorce pro energii:

$$E = h * f; [J; J * s, Hz], \quad (1.1)$$

E ... energie [J]

h ... Planckova konstanta o hodnotě $6,62607015 \times 10^{-34}$ [J*s]

f ... frekvence [Hz].

Frekvenci lze vypočítat pomocí základního vzorce pro vlnovou délku:

$$\lambda = \frac{c}{f}; \left[m; \frac{m}{s}, Hz \right], \quad (1.2)$$

kde λ ... vlnová délka [m]

c ... rychlost šíření elektromagnetického signálu [m/s]

Z toho pak lze vyjádřit samostatnou frekvenci v jednotkách Hz:

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

Po dosazení do vzorce pro výpočet energie pak dostaneme finální vzorec:

$$E = h * \frac{c}{\lambda}$$

Pomocí tohoto vzorce lze vypočítat všechny hodnoty energie pro jednotlivé složky spektra, pokud známe vlnovou délku. Tabulka 1 obsahuje hodnoty frekvencí jednotlivých složek spektra, vypočítanou vlnovou délkou a energií.

Tabulka 1: Vlastní výpočet frekvence a energie

barva	vlnová délka[nm]	frekvence [THz]	energie [J]
červená	700	428	$2,839 * 10^{-19}$
oranžová	600	500	$3,313 * 10^{-19}$
žlutá	575	521	$3,457 * 10^{-19}$
zelená	525	571	$3,786 * 10^{-19}$
azurová	505	594	$3,936 * 10^{-19}$
modrá	430	697	$4,622 * 10^{-19}$
fialová	380	789	$5,231 * 10^{-19}$

Z tabulky vypočítaných hodnot pro energii a frekvenci lze s jistotou dojít k závěru, že se stoupající frekvencí, tedy s klesající vlnovou délkou, se zvyšuje energie světla.

[1] [2] [3]

1.2 Vnímání barev

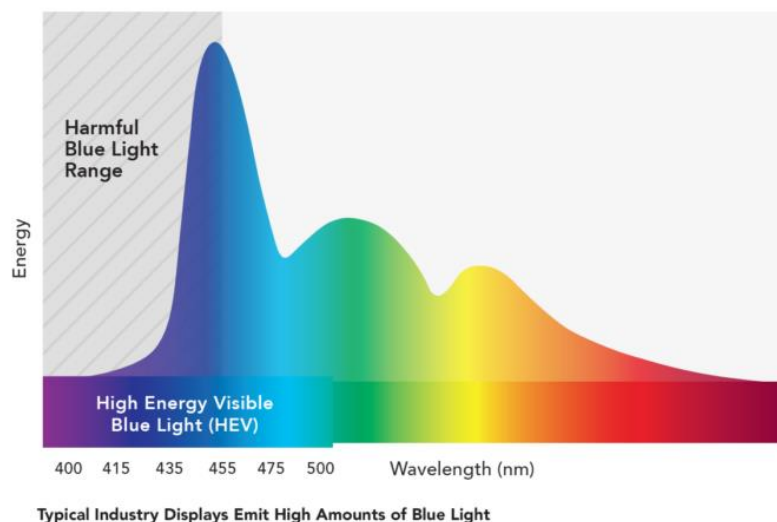
Vnímání barev pomocí našeho zraku je složitý proces. Naše fotoreceptory v oku reagují na vlnové délky od 350nm až po 750nm, což odpovídá rozmezí frekvencí 400THz až 860THz. Fotoreceptory na tento vjem reagují pomocí barviva, jenž je v nich obsažený. Tento vzruch poté

přechází na sítnici, kde je signál transformován na elektrický impuls, který putuje pomocí zra-
kového nervu do mozku. Zde se zpracovávají informace ze všech fotoreceptorů, jež reagovaly
na vjem. Po zpracování těchto informací v našem mozku můžeme teprve vidět předmět, na
který hledíme. Pokud jde o samotnou barvu předmětu, jsme schopni ji velmi rychle a snadno
identifikovat. Lze však spekulovat o tom, zda barva, jež vidíme je skutečná barva předmětu či
nikoliv. Například list rostliny, na který svítí slunce, se nám jeví jako jasně zelený, avšak fakt
toho, že má zelenou barvu, znamená, že tento list propustil pouze zelené světlo o frekvenci
570THz. To je důsledkem absorbování všech ostatních složek viditelného spektra. List tedy
absorboval barvu purpurovou, což znamená, že skutečná barva listu je tedy purpurová, ačkoliv
nám se jeví jako zelený.

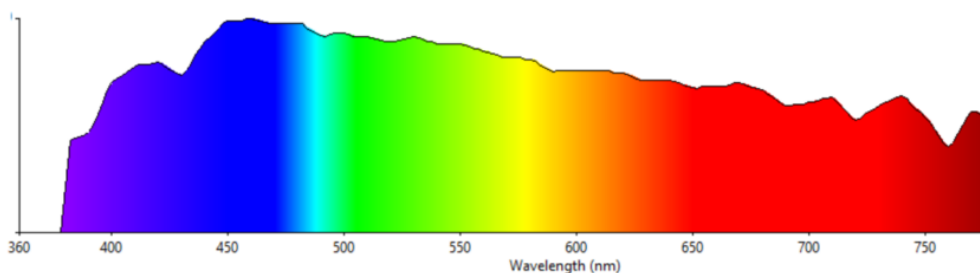
[3] [1]

1.3 Spektrum denního světla a monitoru

Máme dva zdroje světelného záření. Mezi přírodní zdroje patří Slunce. Sluneční svit je třeba
rozlišit před vstupem do atmosféry a denní svit, který přichází z oblohy. Spektrální složení
těchto dvou druhů světla je různé, jelikož atmosféře dochází k absorpci vybraných složek.
V této práci bude uvažováno spektrum slunečního svitu, které již prošlo atmosférou. Zástupce
z umělých zdrojů záření je počítačový monitor, televize, led dioda a jiné osvětlení. Z těchto
zdrojů bude bráno světelné spektrum displejů a obrazovek.



Obrázek 2: Světelné spektrum displejů [4]



Obrázek 3: Světelné spektrum denního svitu [6]

Tyto dva zdroje záření mají různé intenzity jednotlivých složek spektra. Spektrum denního svitu obsahuje modré záření. Zrak je na toto rozložení intenzit jednotlivých složek přizpůsoben evolucí, i když dochází k trvalému poškození zraku vlivem těchto světelných podmínek, což dáváme za vinu stáří, není v tak velké míře, jako u obrazovek. Na spektru z monitoru lze pozorovat převyšující intenzitu modré barvy o velké energii a nevyváženost jednotlivých barev oproti denním svitu. Převyšující modrá složka má původ v rozdílném zdroji světla. Monitory jsou umělým zdrojem světla a při tvoření obrazu je ve velké míře použito modré světlo, jenž má velkou intenzitu.

Modré záření u monitorů díky vysoké energii pronikne do oka ve velké intenzitě. Na tuto intenzitu je sice oko přizpůsobeno také vlivem evoluce, ale dochází k trvalému a předčasnému poškození sítnice, což je ve velké míře způsobeno časem stráveným před obrazovkou. Je zde poškožováno barvivo biologického původu, které je obsaženo ve fotoreceptorech.

Modré světlo působí nejen na náš zrak, ale také na hormonální stránku našeho těla. Účinky tohoto záření, které vstřebáváme přes fotoreceptory, můžeme přirovnat k účinkům kofeinu. Lepší soustředěnost a nepřicházející únavu můžeme brát jako kladné vlastnosti modrého záření. Na druhou stránku si již mnoho lidí neuvědomuje nedostatečnou tvorbu melatoninu. Melatonin je hormon, který, když je ho dostatek, vystřídáme jak hlubokou fázi spánku, tak tou více bdělou fází. Pokud je však tohoto hormonu nedostatek, dojde k vynechání hluboké fáze spánku z důvodu nedostatku hormonu, což má následky v podobě bolesti hlavy, migrény, bolesti očí a přetrvávající únavy. Účinky tohoto záření na lidské tělo budou popsány v kapitole s názvem Účinky záření na lidský organismus.

[1] [2] [5]

2 SKLÁDANÍ BAREV OBRAZU MONITORU

Nejdříve je nutné si rozdělit periférie sloužící k zobrazení výstupu z výpočetního zařízení. V této práci budou rozděleny na telefony, počítačové monitory a jako speciální typ budou uvedeny také elektronické čtečky. Dále si uvedeme nejčastěji používané technologie, které se používají k zobrazování obrazu či textu a se kterými přicházíme nejčastěji do styku. Jelikož jsou displeje umělým zdrojem světla, které vyzařují modré světlo ve velké míře, bude zde popsán také princip těchto technologií a důvod výskytu tohoto záření.

[6] [7] [8]

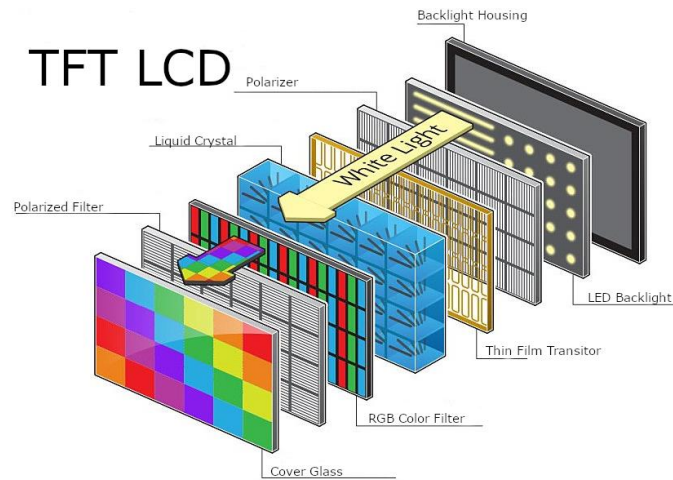
2.1 LCD

První částí je bílá led dioda, jenž je zde jako zdroj světla. Za ní následuje polarizační filtr. Tento filtr polarizuje světlo buď ve vertikální, nebo horizontální poloze. Další v pořadí je vrstva tranzistorů společně s tekutým krystalem, jenž je uzavřený v průhledném obalu. Tyto dvě vrstvy upravují intenzitu světla, které přechází na filtr RGB. Jako předposlední vrstva je opět polarizační filtr, za nímž následuje krycí sklo. V dnešní době umožňuje technologie přidávat mnoho dalších vrstev, čímž lze docílit různých nastavbových vlastností LCD displejů podle potřeb uživatele. V dnešní době se jedná nejčastěji o přidání dotykové vrstvy u tabletů, mobilů, notebooků a dalších přístrojů. Často se také přidávají různé filtry, jenž umožňují odfiltrovat či potlačit jednotlivé složky ze světelného spektra. O vlastnostech filtrů pojednává kapitola 4.1.1 Optické filtry.

LCD displeje využívají naklápění krystalů pomocí TFT vrstvy. Tyto krystaly jsou prosvěcovány bílou led diodou na RGB filtr, toto výsledné světlo, které má již jas a správný poměr jednotlivých barev, je nám přes polarizovaný filtr a krycí sklo zobrazováno a my díky poměrně vysokému rozlišení vidíme obraz. Z jednotlivých částí je také patrné, že jeden světelný bod čili jeden pixel je rozdělen RGB filtrem do dalších tří sub pixelů.

Tato technologie se používala na počítačové monitory a televize. Existují také její obměny v podobě jiných použitých částí ze složení této technologie. Abychom zvýšili pozorovací úhly, můžeme obměnit krystal s jinou strukturou. Nevýhody této technologie vyplývají z jejího složení. Pozorovací úhly jsou omezené a sytost barev není ze všech úhlů společně s jasnem stejná. Tekuté krystaly jsou konstruovány na pokojovou teplotu, což znamená, že u této konstrukce není zaručená funkce za každých teplotních podmínek provozu. Životnost těchto displejů je 30 000 až 50 000 hodin, mohou fungovat i po garantovaném čase, ale svítivost a sytost barev

již nebude stejná. Dochází časem k vypalování pixelů, které jsou také náchylné na fyzické poškození.



Obrázek 4: Průřez LCD displejem s jednotlivými částmi [11]

[9] [10]

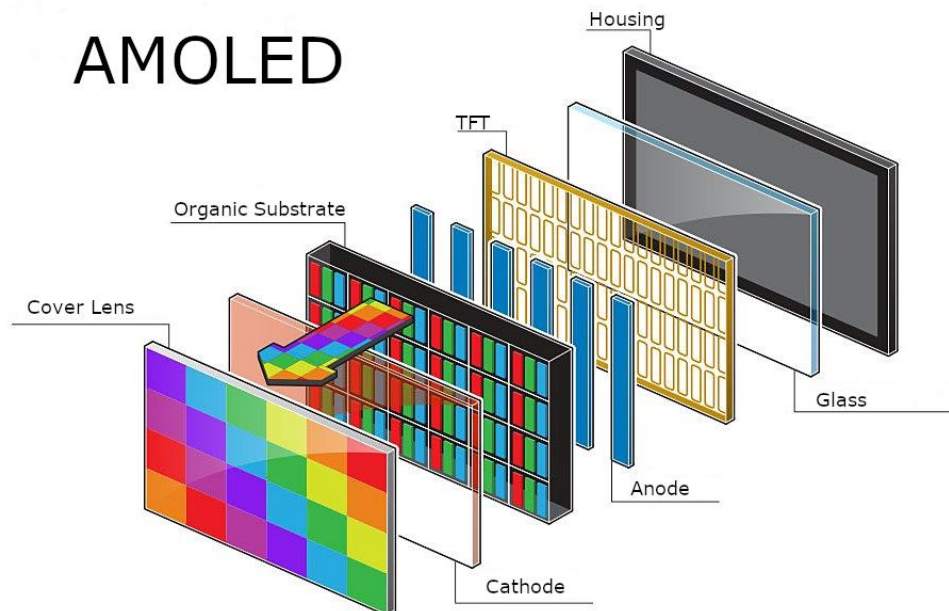
2.2 IPS

IPS displeje jsou typem LCD displejů. Jako první máme jako zdroj světla bílou diodu, za ní se nachází první polarizační filtr, který propustí světlo pouze v horizontálním směru. Třetí součástí jsou tekuté krystaly, které jsou polarizovány pomocí dvou transparentních elektrod. Pomocí těchto elektrod a tekutých krystalů mezi nimi dochází k natočení paprsků, které z prvního polarizačního filtru mají horizontální směr. Další v pořadí je vertikální polarizační filtr. Tento filtr propustí pouze světlo orientované vertikálně. Jako poslední část je RGB filtr, jenž je prosvěcován světlem z předchozích částí. Díky této struktuře jsme schopni kontrolovat intenzitu světla, která projde jednotlivými složkami RGB filtru. Pokud chceme zobrazit černou barvu na tomto pixelu, bílá dioda, jenž je zdrojem světla, bude svítit přes první filtr, a světlo bude orientováno horizontálně. Při zobrazení černé u tohoto typu panelu tedy nebudou polarizovány tekuté krystaly, jelikož potřebujeme, aby vertikální polarizační filtr nepropustil žádné světlo. Výsledný pixel se nám jeví jako černý, jelikož zde není propuštěno světlo přes horizontální filtr. Výhodou tohoto displeje je velké rozpětí pozorovacího displeje. Nevýhodou však zůstává samotné zobrazení černé barvy, jelikož tento druh panelu není schopný vypnout prosvěcovací diodu.

[2] [6] [9] [10]

2.3 AMOLED

Tento typ displeje používá technologii OLED. Tato technologie už nevyužívá prosvěcování tekutých krystalů, ale je založená na principu diody. AMOLED displej se skládá z pouzdra, TFT vrstvy, anody, organické vrstvy, katody a krycího skla. Nejmenší částí neboli jedním bodem na obrazovce je aktivní matricová světelná dioda. Tato dioda se liší od běžné led diody především velikostí a kvalitou barvy. Pokud se podíváme na konstrukci tohoto displeje, zjistíme, že obměnou různých vrstev můžeme docílit různých vlastností tohoto typu displeje. Můžeme docílit ohebnosti displeje pomocí obměny skleněné a zadní vrstvy za flexibilní materiál. Velkou výhodou od jeho sourozence PMOLED je především ostrost barev a rychlosti zobrazování jednotlivých pixelů. Pokud se budeme zajímat o použití těchto typů displeje, displej s pasivní maticí čili PMOLED je vhodný k zobrazování textu, je o něco málo složitější na výrobu než AMOLED. Pokud však budeme vyžadovat ostrost obrazu a schopnost rychlejšího zobrazování, pak je vhodnější displej s aktivní maticí. Displeje technologie OLED přináší především do světa techniky možnost tenčí konstrukce a přidání dalších vrstev, například dotykové vrstvy. Další výhodou této technologie je pak možnost úplného vypnutí jednotlivých zobrazovacích bodů, což umožňuje šetřit energii, a to nejen u menších přenosných zařízení, ale také lepší podání barev například skutečné černé. Nevýhodou je opotřebení displeje časem, což má za následek vadnutí intenzity barev.



Obrázek 5: Průřez AMOLED displejem [9]

[6] [7]

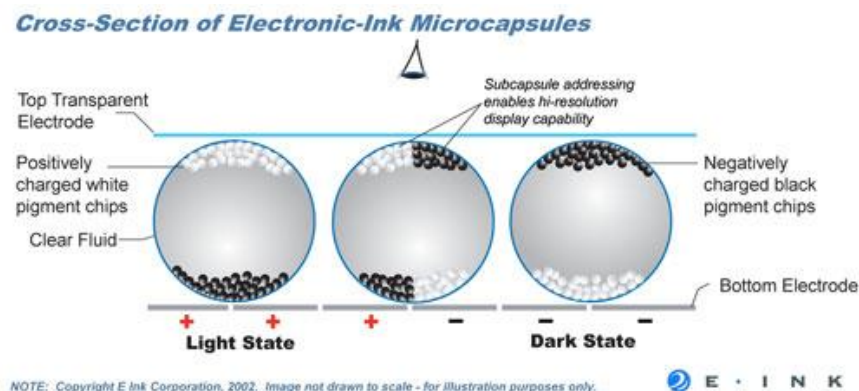
2.4 RETINA

Retina displej není nijak zvláštním druhem displeje, který by používal nové technologie. Slovíčko retina v překladu znamená sítnice. Toto pojmenování pochází z roku 2010, kdy představitel firmy Apple zveřejnil tvrzení, že lidské oko nedokáže rozlišit jednotlivé pixely při větší hustotě jak 300 ppi, přičemž nám toto číslo udává počet pixelů na palec. Proto lze říci, že výrobky od firmy Apple používají různé druhy displejů s tím, že si hlídají tuto hodnotu.

[8]

2.5 E-ink

E-ink neboli elektrický papír je elektroforetický displej. Tento displej má buňky, které zde budou nazývány pixely. Tento pixel obsahuje bílé a černé částice, které jsou v roztoku s vysokou viskozitou. Bílé částice jsou nabitě kladně a černé jsou nabitě záporně. Na zadní straně tohoto pixelu se nachází elektroda. Polarizací této elektrody díky baterii dochází k zobrazování buď bílé, nebo černé složky uvnitř tohoto pixelu. Velikou výhodou je energetická nenáročnost na baterii, jelikož stačí krátký elektrický impuls k zobrazení obsahu, a díky vysoké viskozitě kapaliny zůstane obsah viditelný v řádech let. Nevýhodou tohoto displeje jsou pozorovací podmínky, jelikož tento displej nemá podsvícení ve formě bílé led diody, není možné čtení z displeje za tmy. Výhodou však zůstává dlouhá životnost, energetická nenáročnost a přirozenost pro náš zrak, jelikož u tohoto druhu displeje jsou nejméně namáhány fotoreceptory v našem oku. Nevýhodou je pak omezení teplotou. Pokud vystavíme tento druh panelu velmi nízké teplotě, dojde ke zvýšení viskozity kapaliny, která neumožní pohyb dvoubarevné složky uvnitř pixelů. Obrázek 5 popisuje funkci E-ink displeje.



[11]

2.6 Zdroj modrého světla a použití ochran

Nahlédnutím do struktur technologií OLED a LCD zjistíme, že mají stejný zdroj světelného záření ve formě bílé LED diody. Jelikož je LED dioda o bílé barvě zdrojem umělého záření, lze předpokládat, že tato dioda bude oním původcem modrého záření o vysoké energii. U displeje E-ink není žádné světelné podsvícení, a proto zde není předpoklad výskytu škodlivého modrého záření. Proto v typech měření budou uvažovány pouze technologie panelů OLED a LCD, nebo jejich druhy. Měření probíhá ve formě zobrazování předem přesně definovaných barev na jednotlivých panelech. Bude použito bílé pozadí, modré, červené a černé. U technologie LCD lze předpokládat vyšší hodnoty škodlivého záření z důvodu neschopnosti zcela vypnout jednotlivé světelné body při zobrazování černé barvy. Při zobrazování bílého pozadí bude naměřen vyšší poměr modré složky světelného spektra, což souvisí se zobrazováním barev a umělým zdrojem světla na panelech v podobě bílé LED diody.

[5] [9] [7]

Po aplikování jednotlivých ochran budou změny patrné nejen v teplejším odstínu barev na monitoru, ale také v naměřených hodnotách, kde bude rozhodně menší podíl modré složky světelného spektra. Jednotlivé typy ochran a princip jejich funkce je popsán podrobněji v kapitole 4 Ochrana před modrým světlem. Dále bude vidět rozdíl v efektivitě jednotlivých typů ochran a bude vyhodnocena nejefektivnější ochrana.

[7] [9] [11] [12]

3 ÚČINKY ZÁŘENÍ NA LIDSKÉ TĚLO

Zrak je jeden z nejvíce důležitých smyslů. Nejen že se díky němu dokážeme orientovat v prostoru, ale aniž si to uvědomuje, zrak nám s pomocí naší hormonální stránky v těle řídí správný denní cyklus, drží nás v pozoru, u dětí napomáhá k růstu a správnému vývoji. Díky bílému světlu, které přichází ze Slunce, se přirozeně budíme. Toto vše má za následek bílé světlo dne s velkou intenzitou modrého světla ve svém spektru. Modré záření, kterému jsme vystaveni

každý den v podobě denního svitu, ať už je oblačno či jasno, je pro nás přirozené a má na nás kladné účinky.

[5] [13] [14]

3.1 Vliv na organismus

V dnešní době je však tato rovnováha narušena. S příchodem výpočetní techniky přišlo i více modrého záření. Není ani tak problém nadmíra modrého světla pro náš organismus, ale čas a doba, po kterou se mu dobrovolně vystavujeme. Pokud se modrému světlu budeme vystavovat i v časech, kdy už není denní svit, náš organismus na to bude reagovat, jak je mu přirozené. Potlačěním tvorby hormonu melatonin dojde k jeho nedostatku, což má za následek absenci hluboké fáze spánku. Tato fáze spánku je důležitá pro regeneraci a odpočinek našeho těla. To má za následek únavu, bolesti hlavy a u dětí může napáchat mnohem větší škody.

[13] [5] [14]

3.2 Fyzické poškození oka

Pokud budeme pozorovat vliv modrého záření včetně vlivu na náš zrak, jednoznačně pocítíme oční únavu, vysušenost očí, po delším sledování obrazovky také neschopnost zaostřit na jednotlivé předměty. Na Univerzitě Toledo na výzkumu optické chemie zjistili, že dochází také k trvalému poškození oka vlivem modrého záření. Čočka, rohovka nebo sítnice nedokážou toto modré záření nijak zmírnit či úplně blokovat. Modré záření pronikne až na fotoreceptory, které jsou na sítnici. V sítnici dopad tohoto modrého záření způsobuje reakce, které mají za následek tvorbu toxinu ve fotoreceptorech v našem oku. Tento toxin fotoreceptory zabíjí. Bohužel fotoreceptory jsou v kombinaci se sítnicí nezbytné pro správné fungování zraku. Pokud tedy dojde k poškození fotoreceptorů, sítnice samotná nezastane funkci fotoreceptoru. Mezi další vlastnosti fotoreceptorů patří také to, že se nedokážou obnovit, stejně jako buňky nervové. Tudiž, pokud tyto buňky zaniknou, je to trvalé poškození. Tento výše popsany problém způsobuje nemoc zvanou makulární degenerace. Tato nemoc se projevuje neschopností rozeznávat barvy, viděním šedých stínů a ztrátou ostrosti obrazu či částečnému výpadku vidění.

[5] [13] [14]

4 OCHRANA PŘED MODRÝM SVĚTLEM

Ochranu proti modrému záření lze rozdělit na softwarovou a fyzickou ochranu. Každá ochrana má jiný princip funkce. Fyzická ochrana v podobě filtru chrání náš zrak přímo. V dnešní době jsou tyto filtry za příplatek dávány do optických brýlí. Filtr lze také aplikovat přímo na zobrazovací panel přidáním další vrstvy, bohužel tato vrstva nemůže potlačovat modré světlo ve větší míře, jelikož dochází ke zkreslování barev, což má negativní vliv v grafickém odvětví. Softwarová ochrana oproti ní chrání uživatele daného zařízení, do jehož systému je implementována v podobě programu. Výhodou tohoto druhu ochrany je její schopnost přizpůsobení se na míru svému uživateli či úplnému vypnutí. V dalších odstavcích budou popsány podrobněji jednotlivé typy ochrany, u kterých bude následně provedeno měření vlastností jednotlivých technologií panelů a výsledkem bude porovnání těchto ochrany.

[4] [5]

4.1 Fyzická ochrana

Fyzická ochrana zde bude zastoupena ve formě ochranných kancelářských brýlí. Tyto brýle byly zvoleny díky své schopnosti potlačit modrou složku ve viditelném spektru. Oproti nim brýle pro E-sport hráče nemají za úkol potlačit modré záření, i když mohou mít i tento účel, ale mají za úkol zvýšit kontrast barev a ostrost obrazu, tím hráči umožní rychleji rozpoznat pohyb na obrazovce. Z tohoto důvodu zde bude zastoupena fyzická ochrana ve formě kancelářských brýlí, a to konkrétně Xiaomi TS. Účel těchto brýlí je především potlačit modré záření z obrazovky a zároveň potlačit UV záření.

[15] [13] [4]

4.1.1 Optické filtry

Existují různé typy optických filtrů, které nemusí pracovat pouze ve viditelném spektru. Jejich využití je v moderním světě široké ať už se jedná o odvětví armády v podobě nočních vidění a termovizí, chlazení v průmyslovém odvětví, nebo v lékařském odvětví v podobě lékařského a laboratorního vybavení.

Optické filtry jsou konstruovány na specifickou vlnovou délku. Tento rozptyl se přizpůsobuje určení filtru. Pomocí nanášení jednotlivých vrstev kovu a různých barviv na skla či tenké fólie

se docílí vlastností filtrů, které hledáme. Šířku pásma, které jsme schopni pomocí dnešních technologií docílit, může být mezi 2 nm až 10 nm. Toto úzké pásmo konkrétně využívají Band-pass filtry. Druh tohoto filtru našel uplatnění především ve vědě a výzkumu v podobě fluorescenční mikroskopie a spektroskopie. Dalším typem filtru je Shortpass a Dichroické filtry. Tyto filtry se dají použít jako chladná zrcadla, jež pomohou odstranit nežádoucí infračervené záření.

Brýle, které slouží k ochraně proti modré části spektra, mohou obsahovat dva druhy filtrů. Absorpční filtr či reflexní filtr. Ochranná skla s reflexním filtrem obsahují vrstvy, jež aktivně odráží modré záření. Nevýhodou tohoto principu je však nutnost úzkého dopadajícího úhlu světla, jež chceme filtrovat. Absorpční filtr má schopnost absorpce složky a velký úhel filtrace, proto najdeme v ochranných brýlích převážně filtr absorpční.

[16] [17] [16]

4.2 Softwarová ochrana

Ochrana proti modrému záření nemusí být pouze ve formě reflexních či absorpčních filtrů. Ochranu lze zrealizovat na softwarové úrovni v používaném zařízení. Jedná se především o problém vyzařovaného bílého světla z monitoru, jež obsahuje velkou část modrého a UV záření. Dochází k posunutí studené čili modré části spektra do teplejší části spektra, tím získá obrazovka nádech teplejších barev. Tyto barvy, jak jsem již dokázal v tabulce 1, mají nižší energii než modrá část spektra, jež závisí na frekvenci elektromagnetického záření. Proto barvy s vyšší frekvencí nepronikají do oka v takové míře a nedochází k trvalému poškození fotoreceptorů na sítnici.

Tento druh ochrany je v dnešních letech nejrozšířenějším druhem. V mobilních telefonech nalezneme funkci přímo implementovanou do operačního systému ve formě komfortního čtení či nočního režimu, v počítačích pak nalezneme ve Windows 10 funkci noční režim. Oproti fyzickým filtrům není tento druh limitovaný úhlem pozorování, jelikož je zde upravováno přímo světlo vyzařované displejem. Nevýhodou je pak samotný teplý odstín barev. Dochází k velkému zkreslení barev nám zobrazovanému obrazu za účelem ochrany zraku, avšak tento druh ochrany lze vypnout, pokud je nutností zobrazovat nenarušené odstíny barev.

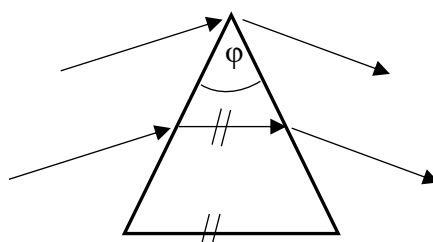
[18]

5 PRINCIP FUNKCE SVĚTELNÉHO SPEKTROMETRU

Světelným spektrometrem se rozumí přístroj, jenž dokáže rozložit vstupní světlo na jednotlivé složky a následně změřit jejich intenzitu. První částí tedy bude vstupní štěrba nebo otvor, díky němuž světlo pronikne do přístroje. Tento vstupní otvor lze modifikovat podle určení přístroje a potřeb uživatele. Pokud zde bude umístěn filtr, který odfiltruje světlo pouze na požadovanou vlnovou délku, do přístroje bude na dále pronikat pouze požadovaná část světelného spektra, která bude následně analyzována.

Další v pořadí je prvek, jenž dokáže rozložit bílé světlo na jeho jednotlivé složky. Tento prvek využívá různých frekvencí ve světelném spektru, čili s rostoucí frekvencí se zvětšuje index lomu. Pokud tedy na tento prvek dopadá bílé světlo, díky frekvenční závislosti světelného spektra a se zvětšujícím se indexem lomu dojde k rozkladu světla na jednotlivé složky. Tento jev se tedy projeví v zobrazení jednotlivých barev světelného spektra, a to v pořadí od nejmenšího indexu lomu po největší index lomu, tedy od červené barvy o frekvenci 428 THz až po fialovou barvu o frekvenci 789 THz.

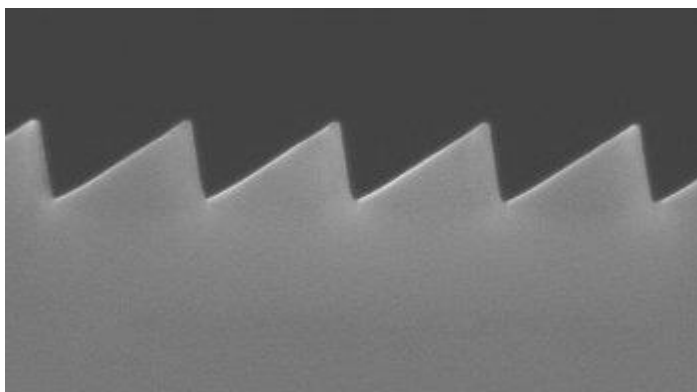
Nejnámějším prvkem s těmito vlastnostmi je optický hranol. Optický hranol je tedy možné použít v konstrukci tohoto přístroje a lze ho zhotovit ze skla či leštěného křemene. Pokud jde o tvar pro konstrukci tohoto přístroje, je vhodné použít tvar uvedený na obrázku 7 Optický hranol.



Obrázek 7: Optický hranol

Tento tvar optického hranolu je vhodný díky symetrickému průchodu světelných paprsků neboli paprsky prochází rovnoběžně s podstavou, jak je naznačeno na obrázku 7.

Druhým prvkem je optická mřížka, která také umožňuje rozklad bílého světla na jednotlivé prvky. Odrazové optické mřížky jsou nejčastěji vyráběny nanášením tenké reflexní vrstvy, kde jsou následně vyrývány hladké vrypy, které zde mají funkci odrazové plochy. Tento druh optických mřížek nemá omezenost průhledných optických materiálů, a proto je vhodnější pro použití ve světelných spektrálních analyzátoch.



Obrázek 8: Blejzovaná optická mřížka [21]

Druhým typem jsou mřížky, které dovolují průchod světla. Tento druh optických mřížek je vyráběn několika způsoby. Mezi první způsoby se řadí vyrývání jednotlivých částí mřížek na průhledný materiál, nejčastěji sklo, pomocí speciálních rycích destiček, kde jsou umístěny diamantové hroty. Pomocí strojů, jenž jsou na tuto výrobu určeny, je možné vyrývat několik tisíc vrypů na 1 mm, kde poškozený povrch rytím nedovoluje průchod světla. Další druh výroby je holografický, kde se na fotocitlivou vrstvu promítne daná mřížka. Tato technologie je v dnešní době nejlevnější a umožňuje vytvoření jak odrazové mřížky, tak propustné. Je také možné spojit tuto mřížku s čočkou, čímž lze docílit menších rozměrů přístroje.

Poslední částí spektrometru je prvek, kde se již rozložené světelné spektrum promítne na detektor světla. Díky různému indexu lomu je jasně daná poloha jednotlivých složek spektra. Pokud tedy známe polohu jednotlivých složek rozloženého světelného spektra, lze na detektoru jasně analyzovat intenzitu jednotlivých složek vstupního záření.

[2] [19]

5.1 Přístroj pro měření světelného spektra

Pro měření světelného spektra je možné využít přístroj Xrite i1 Pro. Tento přístroj slouží primárně pro spektrální měření barev a kalibraci monitorů pro správné zobrazení barev na monitoru pro následující tisk. Kalibrace barev na monitoru se provádí pomocí softwaru iProfile. Tento přístroj s dodávaným softwarem neumožňuje přístup k samotnému barevnému spektru vyzařovaného zobrazovacím panelem, přesto tento přístroj pracuje s hodnotami světelného spektra. Pomocí programu vytvořeného pod vedením Katedry polygrafie a fyziky na Univerzitě Pardubicích, jenž mi byl zapůjčen pro tuto práci, lze zobrazit z přístroje světelné spektrum.

Xrite i1 Pro se přikládá v těsné blízkosti k monitoru, kde je zobrazena analyzovaná barva, což je pro toto měření ideální z důvodu měření světelného spektra na přesně definovaných barvách. Nejprve bude provedeno měření bez použití mnou vybraných ochran dostupných na našem trhu.



Obrázek 9: Xrite i1 Pro [20]

[21]

6 MĚŘENÍ SVĚTELNÉHO SPEKTRA NA POČÍTAČI

Měření světelného spektra na počítači probíhalo s pomocí světelného spektrometru Xrite i1. Pro měření bylo použito několik přesně definovaných barev, které se nastavují pomocí RGB kódu, aby bylo možné měření vždy přesně zopakovat. Nejdříve je promítnuta červená barva. Na spektru, po promítnutí této barvy, je možné vidět intenzitu červeného světla bez ochrany. Poté jsou aplikovány jednotlivé ochrany, kde můžeme porovnat jednak útlum intenzity červeného světla, ale také vidět část modré části spektra, což je způsobeno postupem ve výrobě zobrazovacích panelů. Další pořadí barev bude modrá, bílá a černá. U všech barev budou použité jednotlivé ochrany při stejných podmínkách. Vzdálenost brýlí od obrazovky je vždy 1 cm při maximálním jasu a vzdálenost spektrálního analyzátoru 1,5 cm společně brýlemi. Aby nedošlo k ovlivnění měřeného světelného spektra, je použita černá molitanová izolace, díky které je světelný spektrální analyzátor izolován od okolního svitu. Pro softwarovou ochranu bude použita jiná sestava molitanové izolace, aby bylo docíleno stejné vzdálenosti měřicího přístroje. U bílé barvy se očekává, oproti dennímu svitu, zvýšená intenzita modrého světla. U modré barvy se objevuje velká intenzita modrého záření bez ochrany, kde po použití brýlí a softwaru bude znatelný útlum. U černé barvy dochází k prosvítání modré složky spektra, což je způsobeno

technologií LCD, jež je popsána v kapitole 2. Neschopnost zobrazit správně černou barvu, u této technologie zobrazovacích panelů, bude také možné pozorovat z naměřeného RGB kódu pomocí přístroje.

Tabulka 2: RGB kód nastavené barvy v počítači

Zobrazovaná barva	Modrá	Zelená	Červená
Červená	0	0	255
Modrá	255	0	0
Bílá	255	255	255
Černá	0	0	0

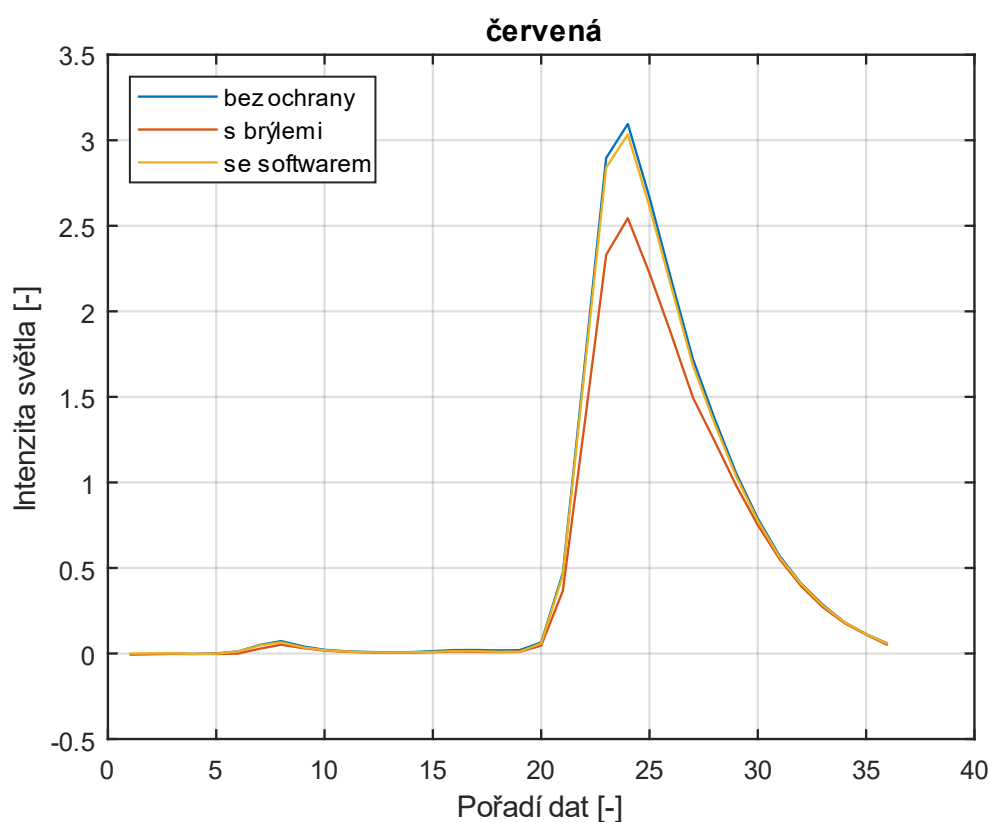
Tabulka 3: Naměřený RGB kód bez použitých ochran

Zobrazovaná barva	Modrá	Zelená	Červená
Červená	0	68	255
Modrá	255	0	50
Bílá	255	255	255
Černá	22	18	0

Z každého provedeného měření byly vytvořeny grafy se závislostí intenzity světla na konkrétní vlnové délce. Přístroj Xrite i1 s použitým softwarem poskytuje jako výsledky měření tabulkový výpis hodnot intenzit světla, ke kterým je nutné dopočítat konkrétní vlnovou délku. Vlnová délka se při měření spektra posunuje s krokem přibližně 11,11 nm, z toho důvodu jsou v grafech pro přehlednost uvedena čísla měření, ke kterým je možné dosadit konkrétní vlnovou délku podle přepočtové tabulky (viz Tabulka 3).

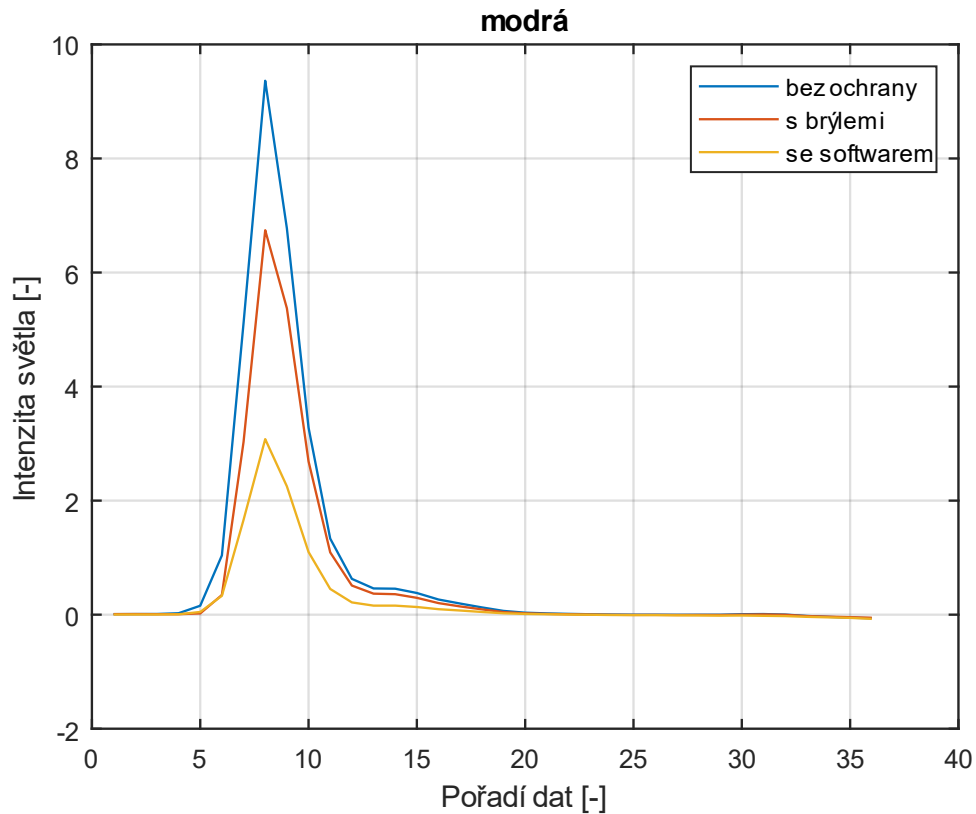
Tabulka 4: Přepočítání mezi číslem vzorku a vlnovou délkou

Číslo vzorku [-]	0	1	5	10	15
Vlnová délka [nm]	350	361,1111	405,556	461,111	516,667
Číslo vzorku [-]	20	25	30	35	36
Vlnová délka [nm]	572,222	627,778	683,333	738,889	750



Obrázek 10: Světelné spektrum červené barvy

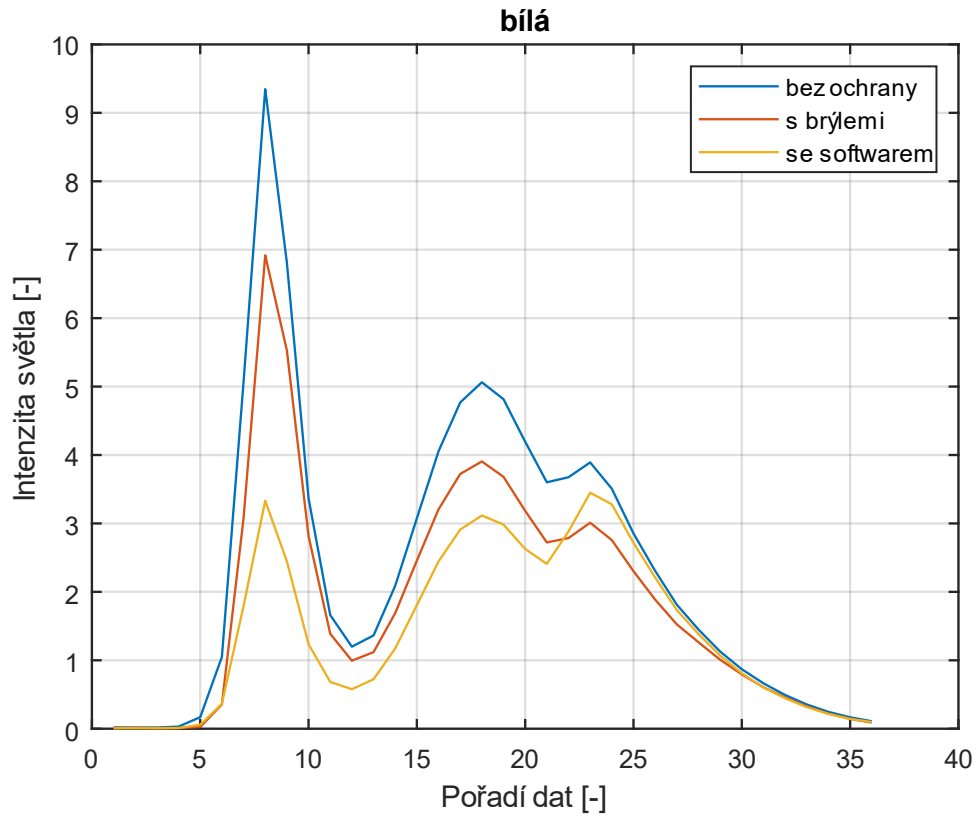
Na Obrázku 10 lze pozorovat naměřené světelné spektrum zobrazené červené barvy na zobrazovacím panelu. Je zde vidět útlum složek spektra s využitím jednotlivých použitých dostupných ochran, kde v tomto případě brýle vycházejí nejlépe. Je také vidět přítomnost modré složky spektra o délce 350nm, což je způsobeno přítomností modré diody se žlutým luminoforem, jenž je použita jako zdroj světla na tomto typu zobrazovacího panelu.



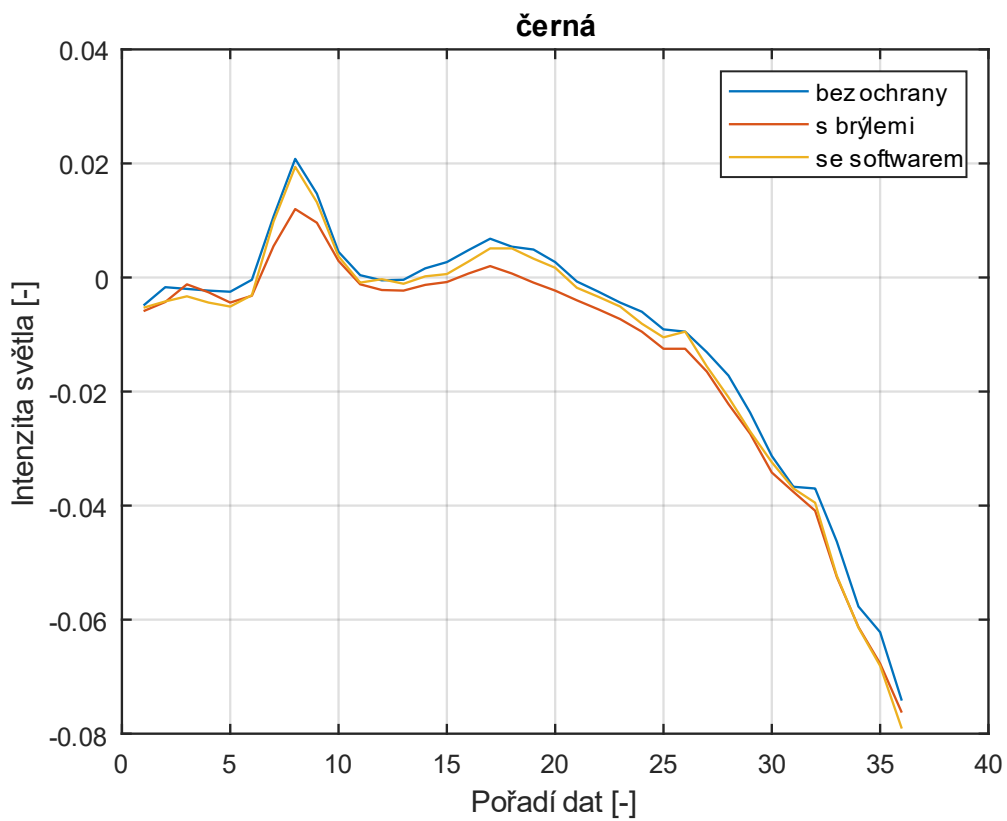
Obrázek 11: Světelné spektrum modré barvy

Na Obrázku 11 je naměřené světelné spektrum modré barvy, jež byla zobrazena na stejném zobrazovacím panelu. Je vidět útlum po aplikování jednotlivých ochran. Největší útlum modré složky má softwarová ochrana, jež je součástí operačního systému ve Windows 10. Tento velký útlum je především způsoben změnou jasu při zapnutí tohoto režimu, kde je pokles intenzity jasu o 11 %.

Na dalším obrázku je možné pozorovat naměřené světelné spektrum bílé barvy opět na stejném panelu. Z těchto výsledků je patrné, že monitory mají nadměru modré složky světelného spektra. Je zde také vidět znatelný útlum jednotlivých složek spektra po aplikování jednotlivých ochran.



Obrázek 12: Světelné spektrum bílé barvy



Obrázek 13: Světelné spektrum černé barvy

Poslední naměřené spektrum, jež bylo pořízeno promítnutím černé barvy na zobrazovacím panelu, také dokazuje přítomnost modré složky spektra. Přítomnost této složky spektra při promítání černé barvy je způsobena technologií LCD.

7 MĚŘENÍ SVĚTELNÉHO SPEKTRA NA DISPLEJI MOBILNÍHO TELEFONU

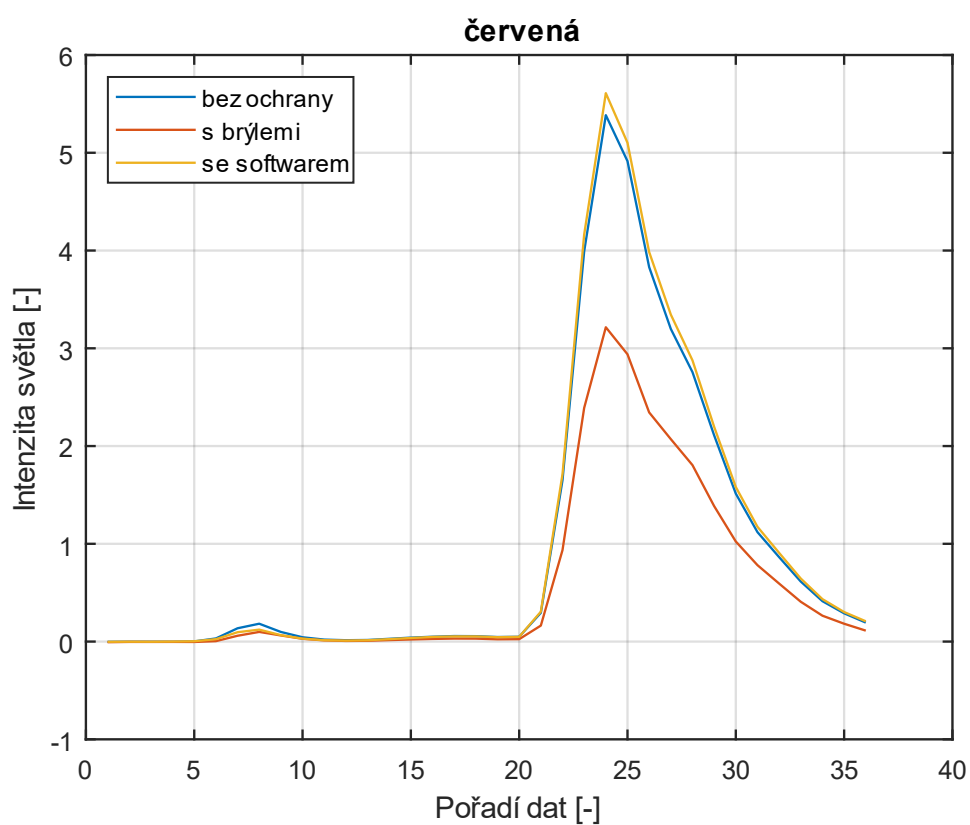
Pro měření barev na mobilním telefonu je použit zcela stejný postup jako u počítače s rozdílem softwarové ochrany, kde u mobilního telefonu je nabízená funkce komfortní čtení. Bude se měřit intenzita jednotlivých složek spektra při zobrazování červené, modré, bílé a černé barvy. U červené barvy očekáváme opět modrou složku kvůli použité technologii. U modré barvy bude znatelný útlum po použití jednotlivých ochran. Spektrum bílé barvy bude opět vykazovat nadbytek modré složky ze světelného spektra a u černé bude opět možné naměřit znatelnou část modré části spektra. Vzdálenost brýlí od mobilního telefonu bude 1 cm, kde měřicí přístroj bude opět 1,5 cm od obrazovky ve všech případech. Odstínění přístroje se provede opět díky černému molitanu, jenž byl použit pro měření na počítači. Barvy pro měření budou opět nastaveny pomocí RGB kódu, aby nedošlo ke zkreslení výsledků kvůli špatnému nastavení odstínu. U mobilního telefonu je očekávaná lepší kvalita černé barvy, ale také větší intenzita modrého světla.

Tabulka 5: RGB kód nastavené barvy na mobilním telefonu

Zobrazovaná barva	Modrá	Zelená	Červená
Červená	0	0	255
Modrá	255	0	0
Bílá	255	255	255
Černá	0	0	0

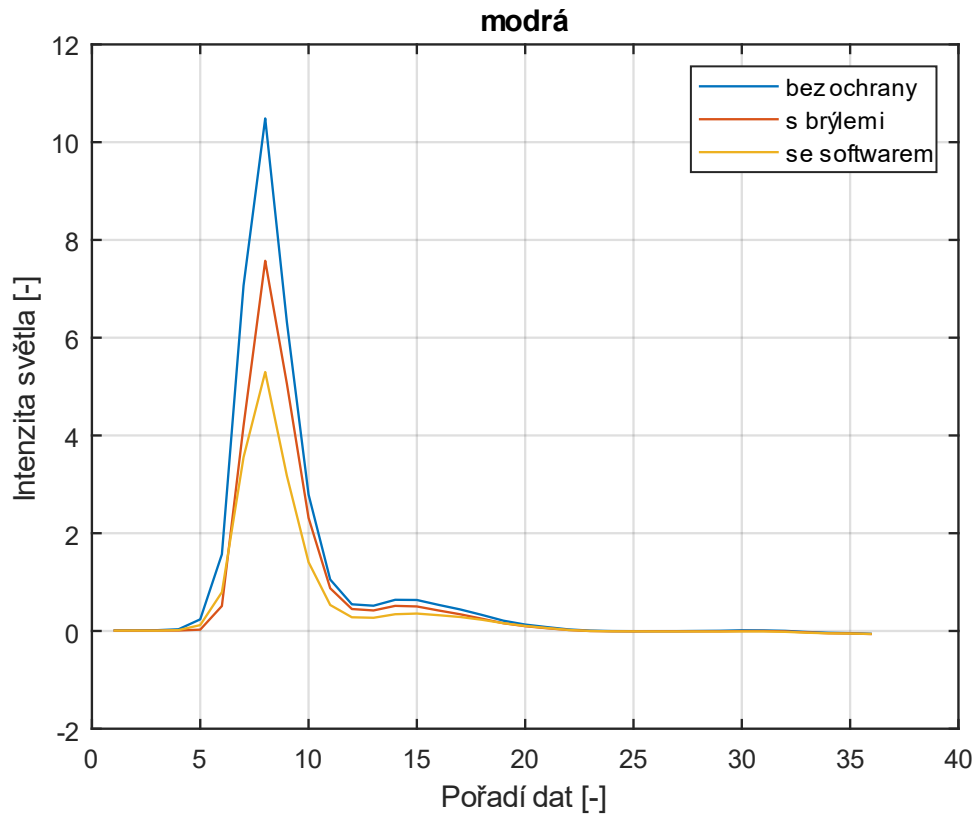
Tabulka 6: Naměřený RGB kód bez použitých ochran

Zobrazovaná barva	Modrá	Zelená	Červená
Červená	0	20	255
Modrá	255	51	84
Bílá	255	255	255
Černá	27	17	0



Obrázek 14: Světelné spektrum červené barvy

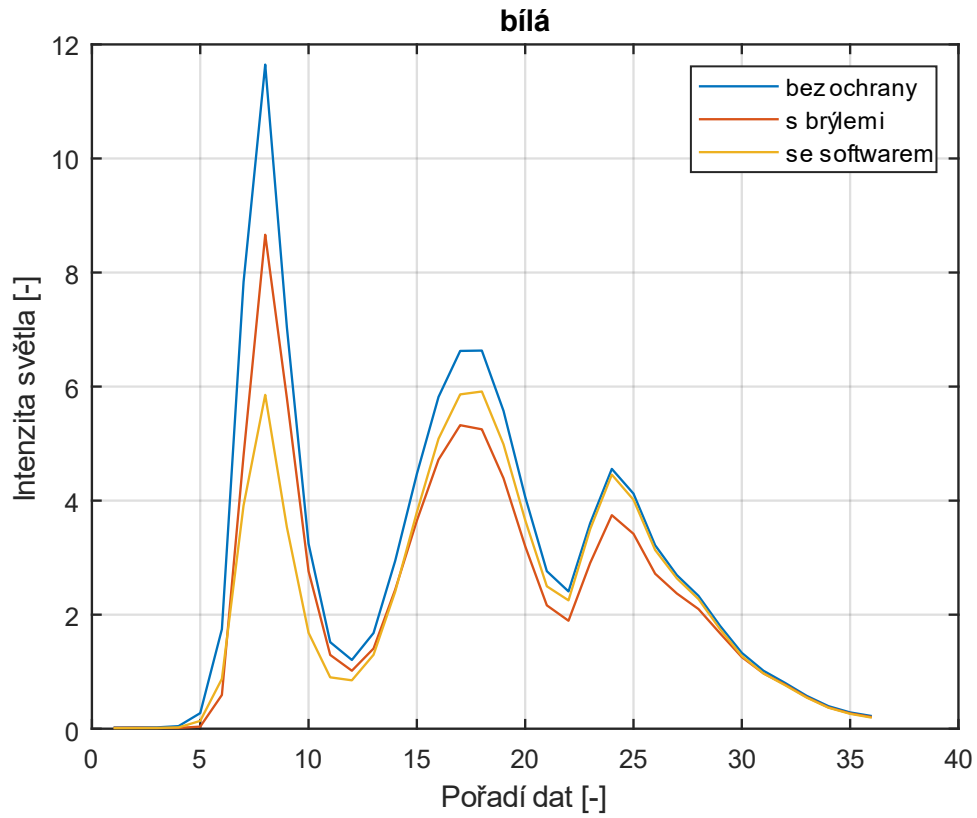
Na uvedeném naměřeném světelném spektru je možné pozorovat útlum intenzity jednotlivých složek spektra po promítnutí červené barvy na mobilním telefonu. Opět je zde možné pozorovat přítomnost modré složky světelného spektra.



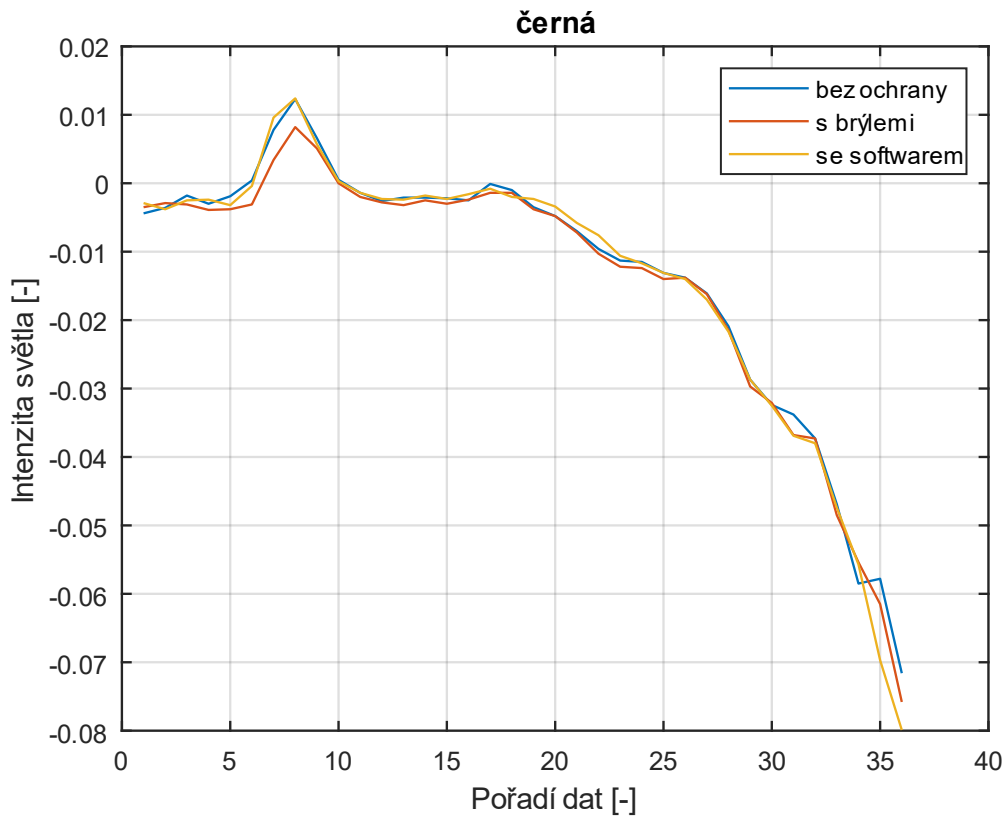
Obrázek 15: Světelné spektrum modré barvy

Na světelném spektru po promítnutí modré barvy lze pozorovat útlum modré složky spektra pro jednotlivé použité ochrany. Pokud porovnáme spektrum modré barvy promítnuté na zobrazovacím panelu pro mobil a počítač, lze pozorovat větší efektivitu u softwarové ochrany počítače, což je u počítače způsobeno změnou intenzity jasu po zapnutí tohoto softwaru.

Na dalším světelném spektru lze pozorovat útlum a intenzitu jednotlivých složek spektra po zobrazení bílé barvy. Po porovnání spekter při zobrazování bílé barvy na počítači a mobilním telefonu lze vidět vyšší modrou složku viditelného spektra u mobilního telefonu.



Obrázek 16: Světelné spektrum bílé barvy

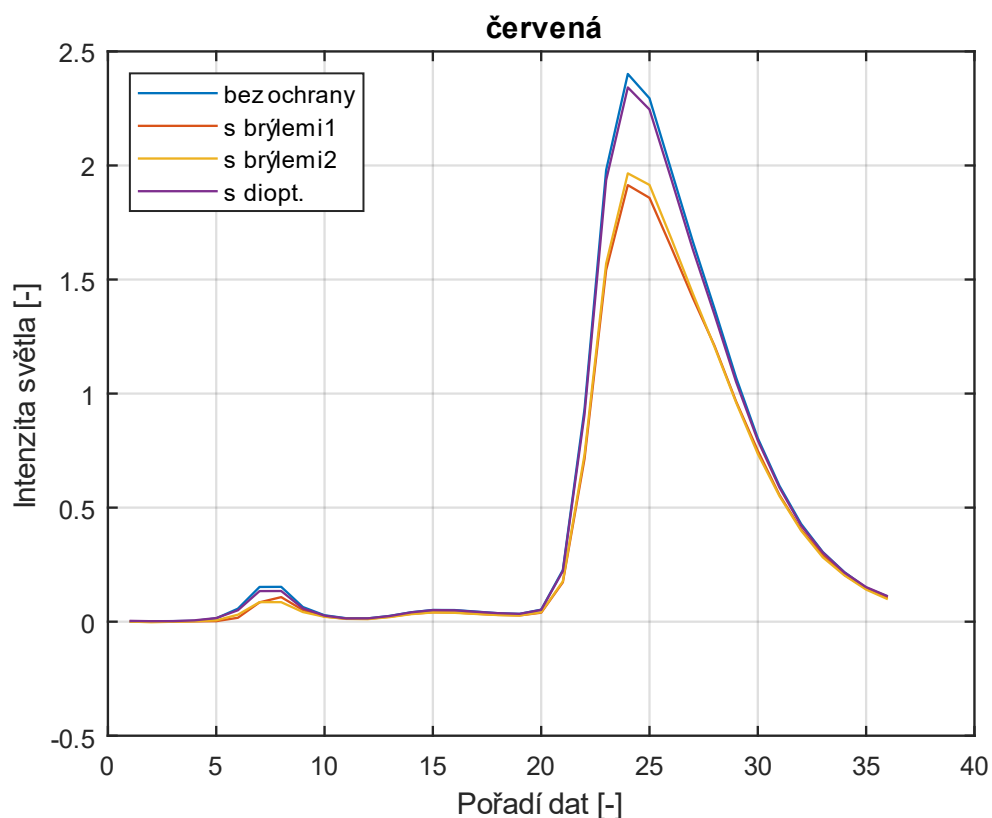


Obrázek 17: Světelné spektrum černé barvy

Naměřené spektrum černé barvy dokazuje opět nízkou hodnotu modré složky viditelného spektra. Lze také pozorovat útlum modré složky spektra za použití jednotlivých ochran.

8 MĚŘENÍ U ZZSKHK

Další měření probíhalo na displejích pracoviště Zdravotnické záchranné služby Královéhradeckého kraje (ZZS KHK). U tohoto měření bude opět stejný postup měření jako u předchozích dvou. Přístroj bude vždy 1,5 cm od obrazovky, kde brýle budou 1 cm od obrazovky při promítání jednotlivých barev. U tohoto měření nelze zvažovat ochranou softwarovou z důvodu přítomnosti operačního systému Windows 7, který nemá implementovaný noční režim obrazovky, a stažení dodatečného ochranného softwaru není možný kvůli bezpečnosti a správnému fungování operačního střediska zdravotnické záchranné služby. Také při tomto měření budou použity nově dioptrické brýle, jež obsahují ochranu proti modrému záření a také starší typ brýlí od firmy Xiaomi. Tyto dvě nové ochrany byly přiřazeny na základě žádosti vedoucího operačního střediska. U monitorů se očekává ztelná degradace panelů, což by se mělo projevit především ve velkém prosvítání modré složky spektra při zobrazování všech barev. Od dioptrických brýlí se dají očekávat horší výsledky potlačování modré části spektra, a to především díky menší míře reflexního filtru, který by jinak mohl narušit vnímání barev uživatelem či zkreslování obrazu na delší vzdálenosti, například při řízení. Na světelném spektru černé barvy bude možné pozorovat míru opotřebení monitorů, které svítí 24 hodin denně pod dobu 7 dní v týdnu v porovnání s prvním měření pro displeje běžných počítačů.

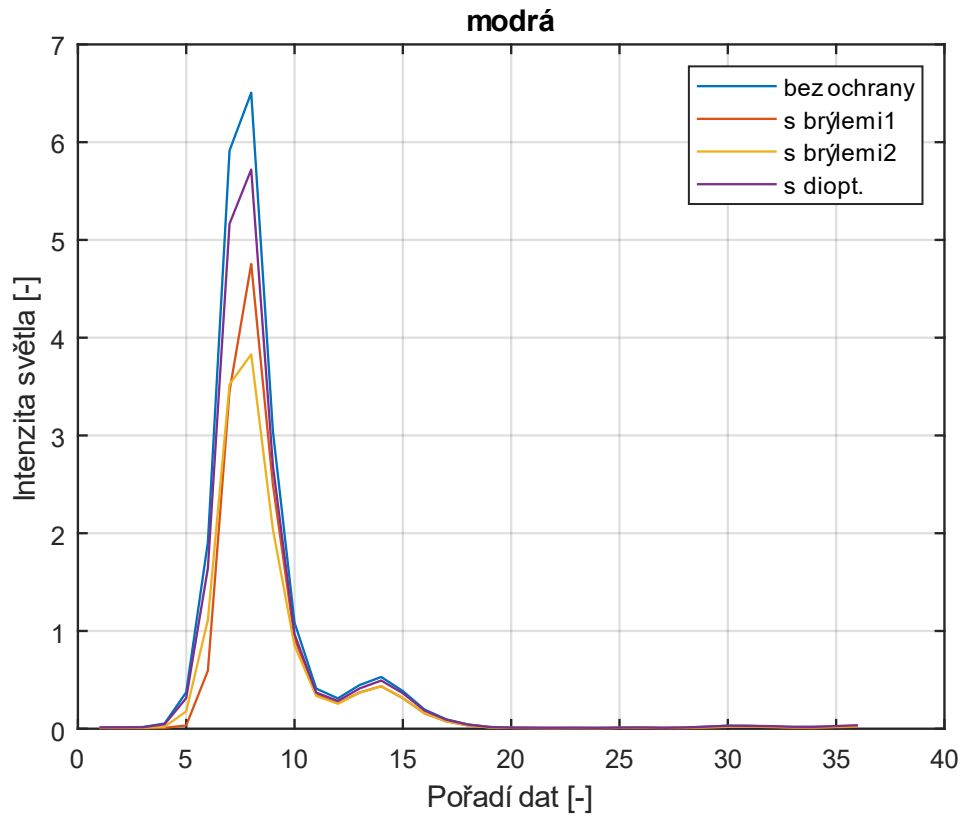


Obrázek 18: Světelné spektrum červené barvy

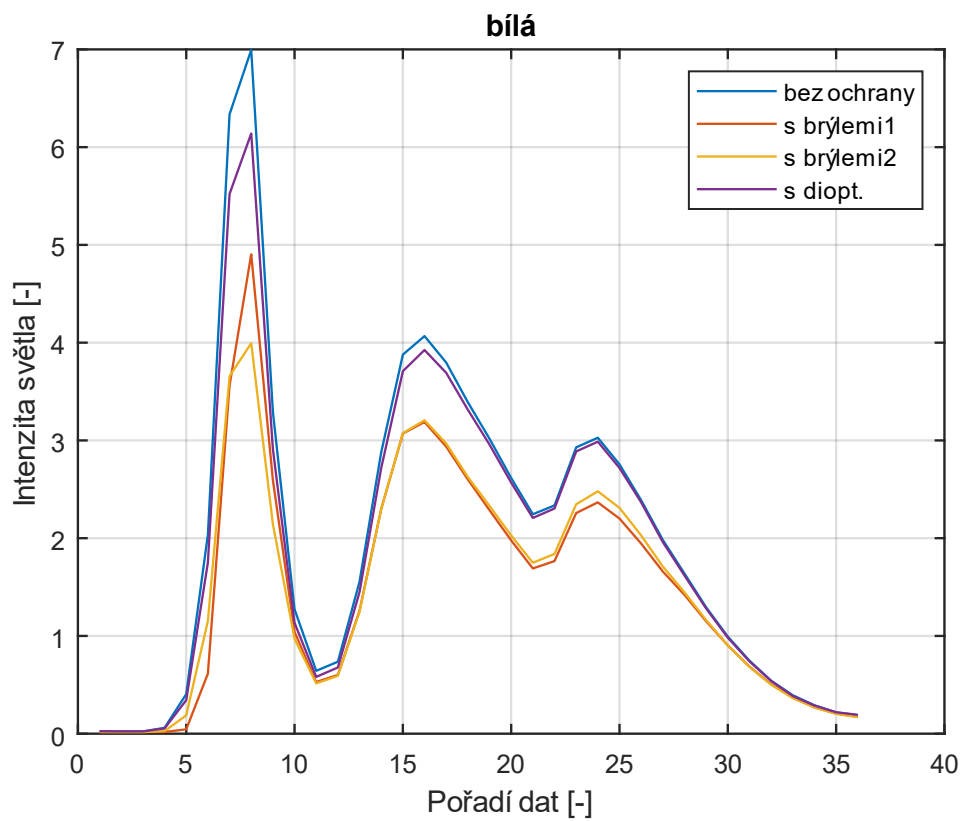
Na naměřeném světelném spektru na Obrázku 18 lze pozorovat, po zobrazení červené barvy na zobrazovacím panelu, vliv jednotlivých použitých ochran. Zde jsou navíc použité druhé brýle od Xiaomi a také dioptrické brýle s filtrem proti modrému záření.

Na naměřeném světelném spektru na Obrázku 19, po promítnutí modré barvy na zobrazovacím panelu, je znatelný útlum modré složky spektra po aplikování jednotlivých fyzických ochran proti škodlivému záření.

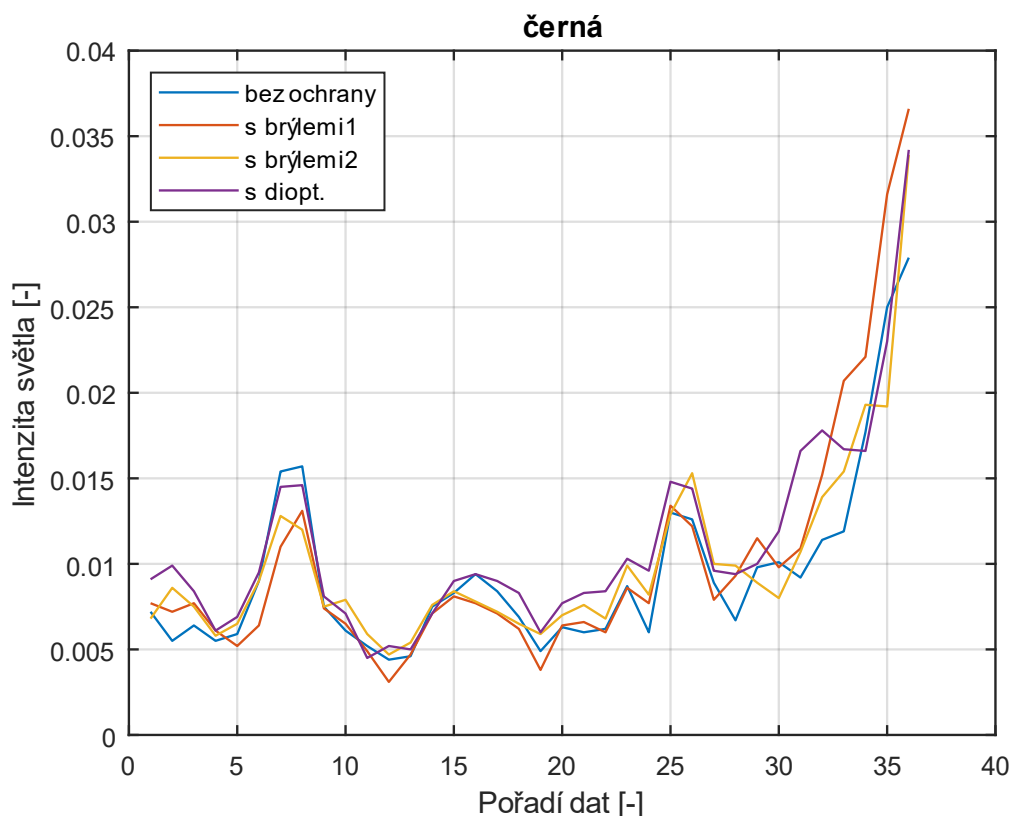
Na dalším naměřeném spektru pro bílou barvu, lze pozorovat, kromě intenzity jednotlivých složek spektra, také útlum těchto složek spektra po aplikování různých ochran. Zde vyšly z použitých ochran nejhůře dioptrické brýle a nejlépe druhé brýle požívané zaměstnancem zdravotnické záchrané služby královehradeckého kraje.



Obrázek 19: Světelné spektrum modré barvy



Obrázek 20: Světelné spektrum bílé barvy



Obrázek 21: Světelné spektrum černé barvy

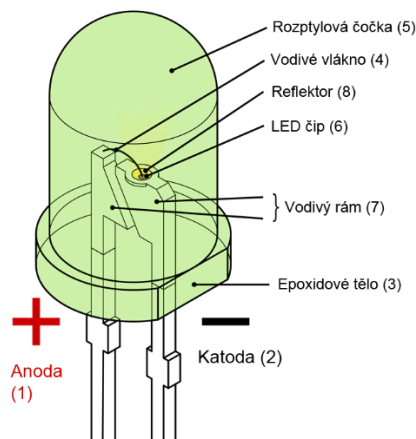
Na posledním naměřeném světelném spektru černé barvy je také patrné, že monitory, jež svítí 24 hodin denně po dobu 7 dní v týdnu na operačním středisku, vykazují značné opotřebení monitorů. Prokazatelné je ovlivnění světelného spektra při zobrazování černé barvy prosvítáním většího množství barev v porovnání s mobilním telefonem či displejem u počítače.

9 LED DIODA A JEJÍ VYUŽITÍ JAKO DETEKTORU SVĚTLA

Dioda je v dnešní době nejvíce rozšířeným světelným zdrojem. Její hlavní výhodou je dostupnost a cena. Její největší zastoupení najdeme u většiny druhů zobrazovacích panelů, jenž jsou v dnešní době používány pro TV, monitory a další typy zobrazovačů. Nejvíce jsou využívány u panelů IPS a LCD, jimž se věnuje kapitola 2 zaměřená na skládání barev obrazu monitoru s popisem jednotlivých vrstev a principů funkce. V kombinaci s nízkou cenou a její konstrukcí dovoluje výrobu displejů s přijatelnou cenou a velkým rozlišením.

9.1 Princip funkce diod v displejích

LED dioda se skládá se z PN přechodu a epoxidového obalu. Epoxidový obal má v této konstrukci hned několik funkcí. Jeho hlavní funkcí je ochrana před poškozením a vibracemi z okolí, jenž zaručuje odolnost a funkčnost. Epoxidový obal zde také plní funkci čočky. Tvar kopule pomáhá světlo směřovat do její vrchní části. Díky tomuto tvaru lze tedy u diody dosáhnout větší svítivosti. Světlo je zde emitováno na samotném PN přechodu, kde se elektrony z polovodičového pásma kombinují s dírami z valenčního pásma. Tento přechod elektronů uvolňuje dostatečnou energii k produkci fotonů, a pokud jich je dostatečné množství, můžeme pozorovat vyzařené světlo či detekovat záření o vlnové délce, jenž není ve světelném spektru. Vlnovou délku je možné ovlivnit obměnou materiálů použitých v PN přechodu. Pro modré světlo se používá kombinace SiC či ZnSe, červená má kombinaci GaAsP a zelená AlGaP. Pro použití diody, jenž vyzařuje infračervené záření o vlnové délce 930nm, se používá kombinace GaAs. Diody ve viditelném spektru mají využití především v zobrazovacích panelech a u světelných indikátorů. Diody v infračerveném spektru se pak používají např. pro dálkové ovladače.



Obrázek 22: LED dioda [26]

Elektroluminiscenční dioda tedy dokáže vyzařovat pouze světlo o omezené vlnové délce, pokud tedy chceme zdroj bílého světla, jenž je složen z více barev ze světelného spektra, musíme spojit více světelných diod, které se nám budou jevit jako jeden výsledný světelný zdroj bílé barvy. Toto řešení je však náročné na výrobu, a proto se využívá kombinace vyzařujícího modrého světla, kde jeho část je luminoforem transformována na žluté. Výsledná kombinace těchto dvou barev se nám pak jeví jako zdroj bílého světla.

[22] [23] [24]

9.2 Detekce světla pomocí LED

Pokud se podíváme na konstrukci světlo vyzařující diody, je zřejmé, že tyto diody jsou navrženy na vyzařování světla s velmi malým rozsahem vlnových délek. Pokud se elektron z polovodičového pásma kombinuje s dírami z valenčního pásma, dochází k produkci fotonů. K tomuto jevu je zapotřebí zdroje elektrického proudu. Ze způsobu vyzařování světla z LED diody lze dojít k myšlence, že při dopadu světla o přesné vlnové délce na tuto součástku je možné předat energii elektronu potřebnou k opuštění valenčního pásu. Tímto způsobem elektron opustí svůj atom a na jeho místě vzniká tedy díra a elektron je nosičem elektrického náboje. Elektroluminescenční diody jsou tedy schopné detekovat pouze světlo, které samy vyzařují. Tento fakt je dán především složením prvků na jejich PN přechodu, příklady těchto kombinací pro různé barvy jsou uvedeny výše. V této práci jsou proto použity diody modré barvy. S touto diodou v experimentálním zapojení, je možné detekovat modrou složku spektra, kde se nám pokles či nárůst vyzářené barvy ze zobrazovacího panelu projeví úbytkem napětí či proudu na diodě.

[22] [23] [24] [25] [26]

Podle uvedené teorie tedy mohou polovodičové diody najít své využití i jako detektory podobné fotodiodám. Podle své konstrukce jsou citlivé na vybrané složky světelného spektra, některé lze použít i jako detektory širšího pásma světla. Stejně tak LED diody, které se samozřejmě primárně používají ke svícení, lze použít jako fotodiody. Při ozáření LED diody konkrétní vlnovou délkou lze pozorovat různé proudy a prahová napětí, která lze pozorovat při překročení určité meze svítivosti.

V souvislosti s tématem této práce byly pro laboratorní experimenty vybrány diody vyzařující modré světlo, které se jeví jako nejvíce škodlivé při jeho zobrazování na displejích notebooků nebo telefonů. Katalogové hodnoty testovaných diod mají vyzařovat světlo s vlnovou délkou 470 nm, čemuž odpovídají i naměřené hodnoty v grafech na obrázcích 23 až 25. Naměřená spektra nemají svá maxima čistě na jedné vlnové délce, to je ale dáno měřeními na pouze některých vybraných frekvencích a také možným vlivem čirého pouzdra LED diody.

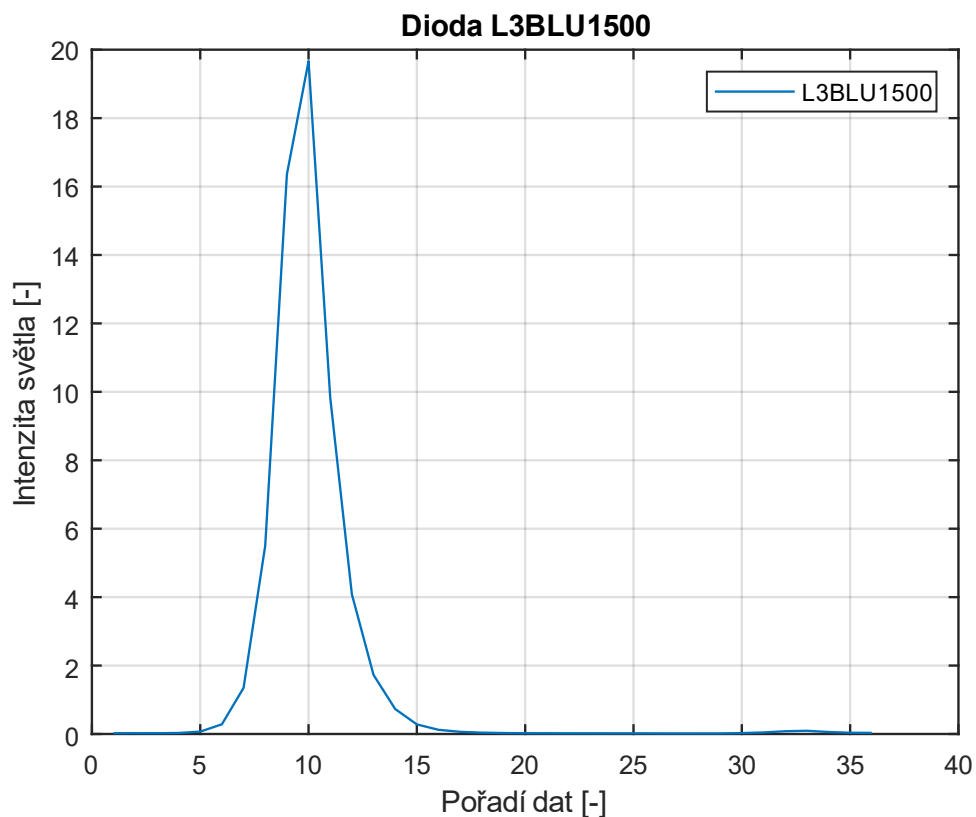
Pro ověření možnosti detekce vyzařovaného světla byly použity pár stejných diod, které mohou fungovat jako optočlen. Výhodou je, že použité LED diody mají velkou svítivost až 3 000 mcd a zároveň úzký svazek vyzařování. Ve srovnání s běžně nastaveným jasnem LCD monitorů se u

LED jedná o nesrovnatelně vyšší hodnoty, protože přepočtený jas správně nastavených monitorů je obvykle 100 Cd/m². Při detekci vyzařování modrého světla s využitím páru stejných LED generuje dioda napětí větší než 2 V. Při detekci světla z diody s vlnovou délkou odpovídající červené barvě nedochází k téměř žádnému detekovatelnému napětí, výsledek by se dal zlepšit měřením proudu se zesilovačem a případně i A/D převodníkem. Také displeje počítačů nedokážou generovat tak vysoké hodnoty záření, aby byly detekovatelné jednoduchou diodou, a to ani po přesném přepočtu vlnové délky na barvy RGB zobrazované na monitorech.

[22] [23] [24] [25] [26]

9.3 Měření světelného spektra diod

Pro ověření správné funkce spektrálního analyzátoru byla provedena měření tří modrých LED diod s vlnovou délkou 470 nm. Diody se lišily maximální intenzitou vyzařování. Následně byly diody použity jako detektory světla na konkrétní vlnové délce. K diodám byly k dispozici pouze základní katalogové údaje, protože byly vybrány ze sady pro laboratorní testy. Proto i označení diod není typické.

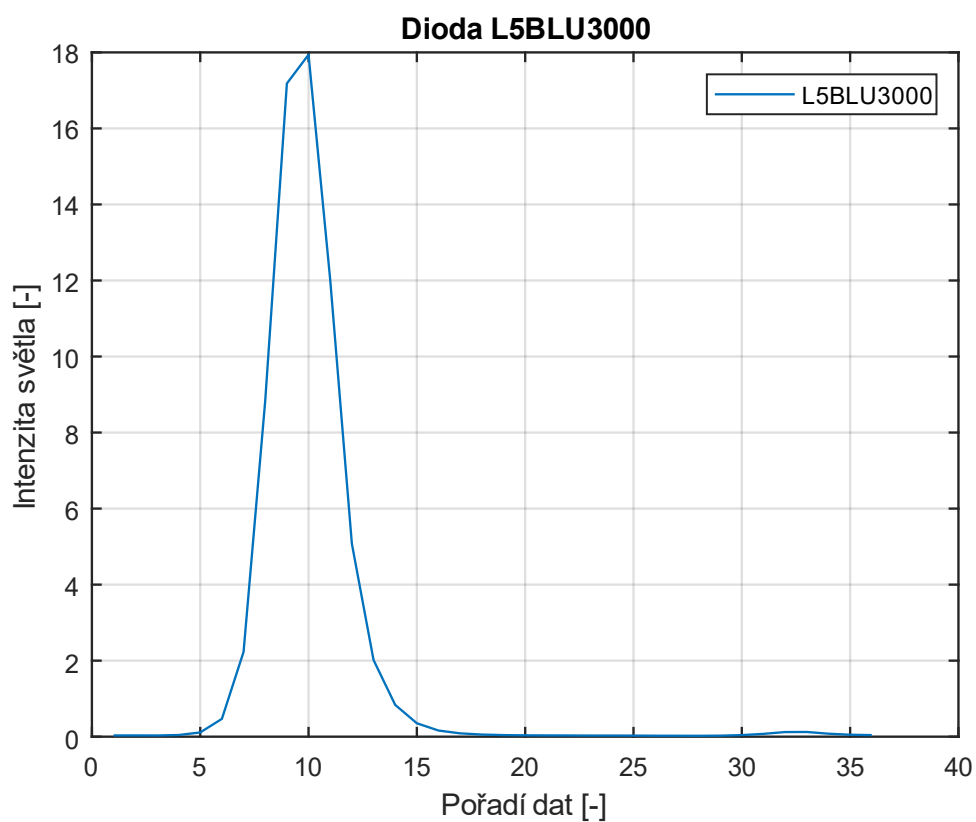


Obrázek 23: Světelné spektrum diody L3BLU1500

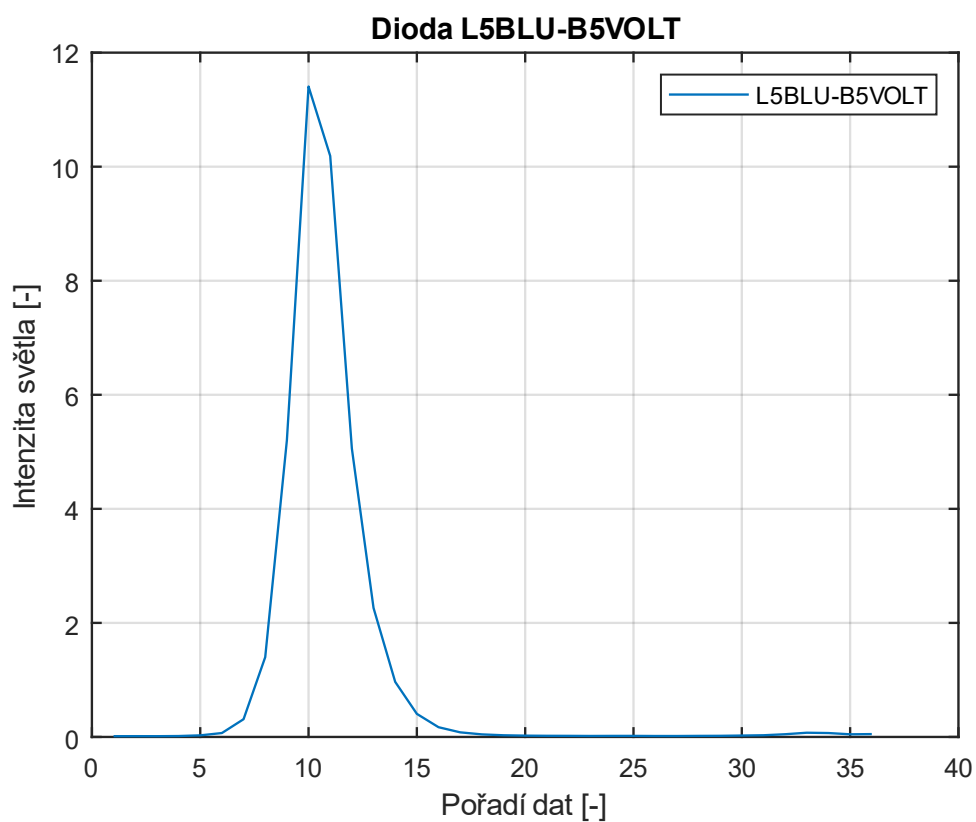
Na grafu na Obrázku 23 lze pozorovat intenzitu modrého vyzářeného světla diody L3BLU1500.

Na dalším naměřeném světelném spektru lze pozorovat intenzitu modrého světla vyzářovaného diodou L5BLU300 a na posledním pro diodu L5BLU-5VOLT, která má modulovaný výstup a vykazuje tak nižší maximální intenzitu záření.

U všech tří diod je vidět jejich úzké pásmo vyzářovaného světla. Toto úzké pásmo je velmi podobné modrému světlu vyzářovaného zobrazovacími panely, na nichž bylo provedeno měření.



Obrázek 24: Světelné spektrum diody L5BLU3000



Obrázek 25: Světelné spektrum diody L5BLU-5VOLT

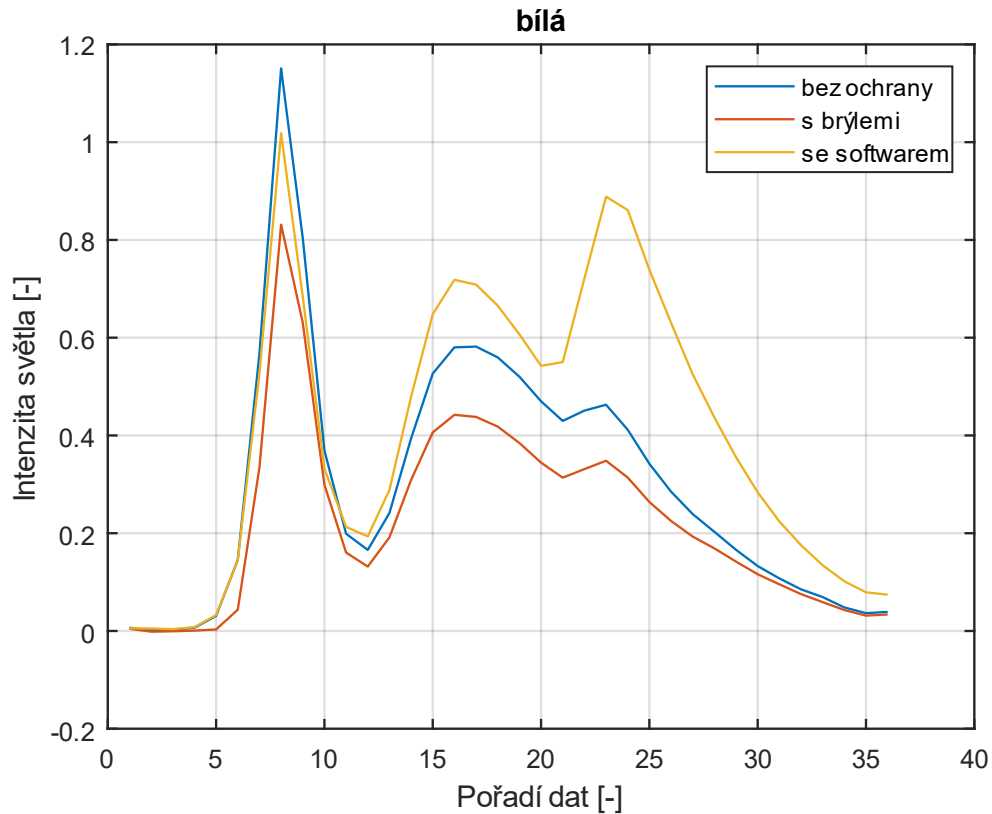
ZÁVĚR

Tématem práce bylo měření a vyhodnocování složek viditelného spektra světla a dále testování účinnosti dostupných HW a SW ochran proti modré složce světla, která působí škodlivě při dlouhodobém pozorování displejů. Pro uvedení do problematiky měření světelného spektra se bakalářská práce v úvodních kapitolách věnuje analýze viditelné části světelného spektra a popisu technologií pro výrobu displejů, jako jsou např. IPS a TN. Technologie pro výrobu displejů v kombinaci s různými typy ochran by měly mít vliv na výsledné zmírnění dopadů škodlivého záření. Z jednotlivých částí práce je pak možné usuzovat, jaký typ ochrany je vhodný pro využívání zobrazovačů nebo pro konkrétního uživatele, který musí např. na pracovištích operačních středisek sledovat displeje mnoho hodin.

V praktické části práce je popsán princip měření s využitím spektrálního analyzátoru, který byl následně použitý pro otestování vlastností více typů displejů, včetně displeje mobilního telefonu. Zvláštní dík patří také ZZS Královéhradeckého kraje za umožnění provedení testů na pracovišti, kde mohou pracovníci přicházet do kontaktu s většími intenzitami škodlivých složek záření i z důvodu, že vybavení je využíváno prakticky kontinuálně a nelze ho obměňovat jen z důvodu dostupnosti modernějších technologií.

Spektrální analyzátor je nákladným a složitým přístrojem pro běžného uživatele, který by si chtěl ověřit vlastnosti svého displeje. Proto byly otestovány i vlastnosti LED diody pro použití detekce konkrétní složky záření. Zapojení obvodů pro práci s LED diodami není složité, problémem je citlivost diod na konkrétní vlnové délky. Provedené testy pak vedly k závěrům, že použité diody s modrou barvou, ale s vlnovou délkou posunutou o několik desítek nm od skutečné modré barvy, nejsou pro detekci použitelné. Důležitý je proto výběr konkrétní diody s vhodnou vlnovou délkou a zároveň s čirým obalem, který minimálně zkresluje barevné spektrum.

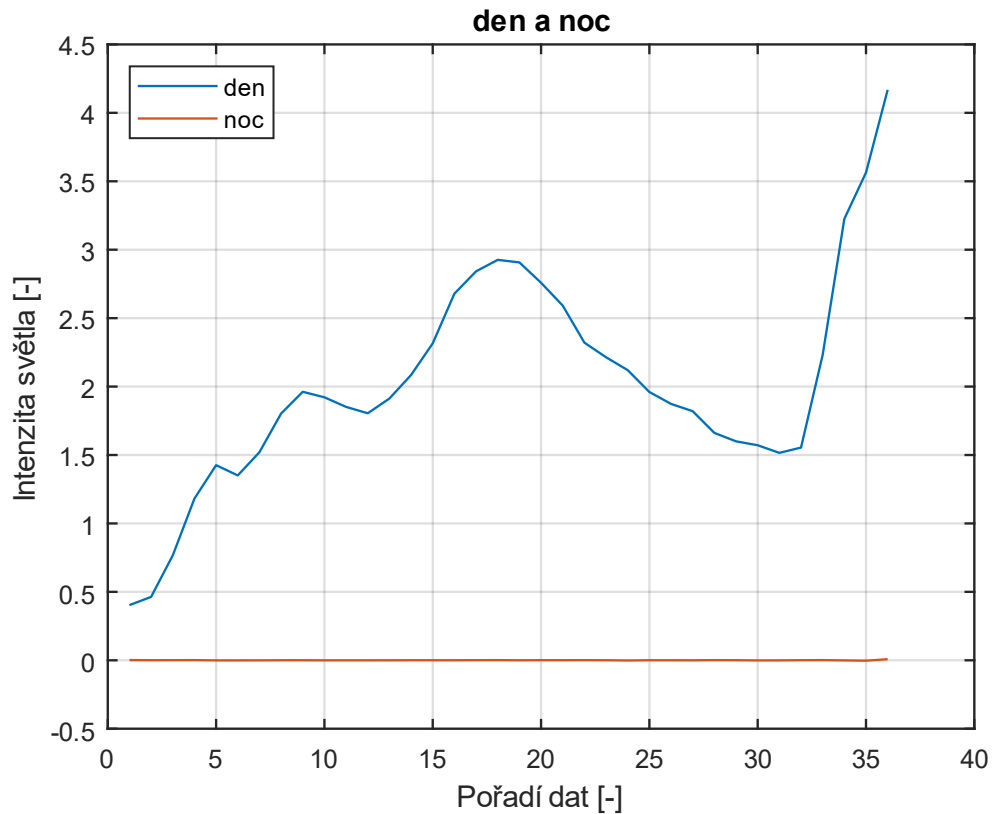
Výsledky experimentů ukazují v grafech vliv různých ochran proti škodlivému záření, které vzniká z důvodu nevhodných technologií pro výrobu displejů. Na druhou stranu použití těchto technologií umožňuje cenovou dostupnost displejů i pro běžného uživatele. Jako ochrany byly použity různé typy brýlí a také SW ochrany, které dosahují výsledků díky snížení jasů displejů.



Obrázek 26: Světelné spektrum bílé barvy

Na obrázku 26 je vidět světelné spektrum bílé barvy. Byl ponížen jas na 50 %, kde bylo provedeno měření bez ochrany a s brýlemi. Pro měření se softwarovou ochranou byl jas zvýšen na 61 %, aby byl vykompenzován snížený jas. Z výsledků je zřejmé, že softwarová ochrana pouze přidá teplejší odstíny barev, ale nepotlačí modré záření tolik, jako fyzická ochrana očí.

Jako nejúčinnější ochrana se v případě displeje notebooku pro bílé světlo z obrázku 26 ukázaly brýle, které vedou ke snížení modré složky spektra o 38 procent. Oproti tomu použití SW ochrany mělo jen 13-tiprocentní účinek. Displej mobilního telefonu pro bílé světlo z obrázku 16 v kombinaci s brýlemi dokázal snížit modrou složku o přibližně 26 procent, se SW ochranou o 49 procent. Měření na pracovišti ZZS ukazovalo výsledky pro bílé světlo z obrázku 20, kde dioptrické brýle snížily modrou složku o 12 procent. Brýle od Xiaomi snížily modrou složku o 30 procent a starší model těchto kancelářských brýlí snížil modré záření až o 43 procent. SW ochrana zde nemohla být z bezpečnostních důvodů aplikována.



Obrázek 27: Světelné spektrum denního svitu a noci

Obrázek 27 ukazuje viditelné spektrum dne a noci. Spektrum denního svitu obsahuje méně škodlivého záření než displej počítače z obrázku 20 a 12.

Jako limit, kdy je modré záření z počítače škodlivé pro náš zrak, bych stanovil úroveň modré ze světelného spektra denního svitu a noci na obrázku 27. Porovnáním hodnot z obrázků 20, 16 a 12 s obrázkem 27 je zřejmé, že hodnoty modrého záření jsou mnohem vyšší od hodnot denního svitu, tudíž škodlivé. Pro viditelné spektrum noci z obrázku 27 bude modré záření škodlivé za použití jakékoliv ochrany, proto je nejlepší prevence proti trvalému poškození zraku nepoužívat počítač vůbec. Pokud není možnost se tomuto záření vyvarovat, jako například na operačním středisku ZZS Královehradeckého kraje, je nejlepší ochrana v podobě brýlí, jež dokazuje obrázek 26.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] MOJR, Viktor. Barva, energie a světlo: Pohled na svět očima fotochemika. *Www.vscht.cz* [online]. VŠCHT Praha: VŠCHT, 2016 [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://www.vscht.cz/popularizace/doktorandi-pisou/mojr>
- [2] *Optika*. První. Praha: Karolinum, 2008. ISBN 978-80-246-1324-0.
- [3] The photon energy. *Www.astronoo.com* [online]. 2013 [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <http://www.astronoo.com/en/articles/light-and-energy.html>
- [4] *Www.eyesafe.com* [online]. [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://eyesafe.com/bluelight/>
- [5] BILLAU, Christine. *Www.utoledo.edu* [online]. 2018 [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: http://news.utoledo.edu/index.php/08_08_2018/ut-chemists-discover-how-blue-light-speeds-blindness
- [6] DOHNAL, Miroslav. *Fyzikální základy reprodukce obrazu*. První. Univerzita Pardubice: Katedra Polygrafie a fotofyziky, 2003. ISBN 80-7194-567-6.
- [7] *Www.aoi-display.com* [online]. [cit. 2020-02-25]. Dostupné z: <https://aoi-display.com/AOI/products/oled/>
- [8] *Www.macworld.co.uk* [online]. 2018 [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: <https://www.macworld.co.uk/feature/apple/retina-display-3466732/>
- [9] TFT technology. *Www.aoi-display.com* [online]. 2019 [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: <https://aoi-display.com/AOI/tft-technology/>
- [10] [online]. 2014 [cit. 2020-02-25]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=0B79dGR19Tg>
- [11] *Www.aoi-display.com* [online]. [cit. 2020-02-25]. Dostupné z: <https://aoi-display.com/AOI/products/electronic-paper/>
- [12] SOMMER, Daniel. Monitor calibration with the X-Rite i1 Display Pro. *Www.youtube.com* [online]. 2016 [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=5EEwXhTwdJU>
- [13] *Www.nature.com* [online]. 2018 [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-28254-8>

- [14] *Www.jahonline.org* [online]. [cit. 2020-02-25]. Dostupné z: [https://www.jahonline.org/article/S1054-139X\(14\)00324-3/fulltext](https://www.jahonline.org/article/S1054-139X(14)00324-3/fulltext)
- [15] *Www.xiaomi-store.cz* [online]. [cit. 2020-03-04]. Dostupné z: <https://xiaomi-store.cz/cs/doplanky/603-xiaomi-ts-bryle-k-pocitaci-6970740901049.html#/30-barva-erna>
- [16] CHOUDHURY, Asim. Optical Filter. *Www.sciencedirect.com* [online]. 2014 [cit. 2020-03-04]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/optical-filter>
- [17] *Www.edmundoptics.com* [online]. [cit. 2020-03-04]. Dostupné z: <https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/optics/optical-filters/>
- [18] *Www.care-eyes.com* [online]. 2020 [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: <https://care-eyes.com/blue-light-filter-for-laptop/>
- [19] How Does a Spectrometer Work?. *Www.youtube.com* [online]. 2017 [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=OI3pIvLhVcc>
- [20] *Https://www.tftcentral.co.uk* [online]. [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: https://www.tftcentral.co.uk/reviews/i1_pro.htm#:~:text=Above:%20X-rite%20i1%20Pro%20Device
- [21] *Www.dtpobchod.cz* [online]. Thámová 32, Praha 8 [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: https://www.dtpobchod.cz/x-rite-i1basic-pro-2_d33185.html
- [22] How does a Light Emitting Diode or LED work?. *Www.youtube.com* [online]. 2018 [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=2_YS3DZQIBI
- [23] Jak LED diody fungují. *Www.eshop.ledsolution.cz* [online]. [cit. 2020-04-16].
- [24] The Light Emitting Diode. *Www.electronics-tutorials.ws* [online]. [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: https://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_8.html
- [25] ROBENEK, Jan. Fotodiodou může být každá, i LED. Naopak to nezkoušíme. *Https://vyvoj.hw.cz/analogove-systemy* [online]. Česká republika, 2014 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/analogove-systemy/i-led-muze-byt-fotodiodou-naopak-to-nezkousime.html>

- [26] Fotovoltaický jev u diod LED. *Https://vyvoj.hw.cz* [online]. Česká republika: Redakce HW serveru, 2004 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz//teorie-a-praxe/dokumentace/fotovoltaicky-jev-u-diod-led.html>

PŘÍLOHY

Příloha 1: Žádost o povolení kvalitativního výzkumu v rámci závěrečné práce	52
---	----

ŽÁDOST O POVOLENÍ KVALITATIVNÍHO VÝZKUMU V RÁMCI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Jméno a příjmení: Pavel Šimek

Email: st52915upce.cz/pavel.simek96@mail.com

Název práce: Měření barevného spektra
displejů

Telefon: 775 370 816

Jméno vedoucího práce: Ing. Zdeněk Němec,
Ph.D

Vysoká škola, fakulta: Univerzita Pardubice,
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Cíl práce: analýza světelného spektra z
obrazovek, porovnání ochrany proti tomuto
záření a experimentální měření, díky kterému
lze odhalit toto záření.

Obor studia: Komunikační a mikroprocesorová
technika

Ročník: čtvrtý

Typ práce: Bc práce

**MUDr. Marek
Dvořák** Digitálně podepsal
MUDr. Marek Dvořák
Datum: 2020.08.08
07:32:43 +02'00'

Schválil: MUDr. Marek Dvořák, MBA, vedoucí lékaře Odbor vzdělávání a řízení kvality

Příloha 1: Žádost o povolení kvalitativního výzkumu v rámci závěrečné práce