

Měření vlastností zdrojů pro přísvit bezpečnostních kamer

Measuring of properties of illumination sources for security cameras

Lukáš Gajdušek

Bakalářská práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš GAJDUŠEK**
Osobní číslo: **A09153**
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Měření vlastnosti zdrojů pro přísvit bezpečnostních kamer.**

Zásady pro vypracování:

1. Vysvětlíte principy detekce v infračervené oblasti s využitím kamer.
2. Zhodnotíte vlastnosti současných kamer, využívající infračervený přísvit.
3. Provedte měření vlastnosti zdrojů záření, vyhodnoťte výsledky.
4. Stanovte postup pro definici vlastností zdrojů záření.
5. Naznačte další vývoj těchto systémů.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. KŘEČEK, S.: Ochrana majetku systémy průmyslové televize, Grada Publishing, Praha 1990, 1. vydání, ISBN 80-7169-402-9.
2. KŘEČEK, STANISLAV A KOL.: Příručka zabezpečovací techniky, Cricetus (BEN), Blatná 2002, 3. aktualizované vydání, ISBN 80-902938-2-4.
3. RANDA, M.: Kamerové systémy, Magazín Security, 2006, R.XIII., Č.73, S. 6-24, ISSN 1210-8723.
4. ČSN EN 50132: Poplachové systémy ? CCTV sledovací systémy pro použití v bezpečnostních aplikacích, Dostupné na WWW: < <http://www.cni.cz> >.
5. Wikipedie otevřená encyklopedie [online], 2012, Dostupné na WWW: .

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Rudolf Drga**
Ústav bezpečnostního inženýrství

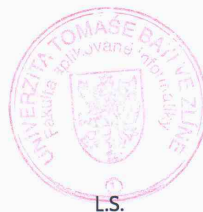
Datum zadání bakalářské práce: **24. února 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **25. května 2012**

Ve Zlíně dne 24. února 2012



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Abstrakt česky

Cílem této práce je čtenáře seznámit s přísivty bezpečnostních kamer, jejich funkcí, principem funkce apod. Celá práce je koncipována tak, aby i úplný laik mohl do této problematiky proniknout a od samotných fyzikálních základů pochopit, jak vzniká světlo, jak ho dnešní kamery snímají, jaké druhy přísvitů se dnes dají běžně koupit a jak navzájem s bezpečnostními kamerami fungují. V praktické práci je kladen důraz na stanovení postupu pro měření vlastností těchto přísvitů s co nejmenšími nároky na techniku.

Klíčová slova:

Měření, vlastnosti zdrojů, přísvit kamer, přísvit, bezpečnostní kamery, měření přísvitů

ABSTRACT

The aim of this paper is to acquaint readers with the illumination of security cameras, their features, functions, etc. The whole principle of the work is designed so that even a complete layman could penetrate into this issue and from the very foundations of physics understand how light arises, how today's cameras capture it, what types of illuminators are now common to buy and how they work with security cameras. In practical part of this work, emphasis is placed on the procedure of measuring these illuminators, with as low demands on the technology as possible.

Keywords:

Measuring, illumination sources properties, camera illumination, illumination source, security cameras, measuring of illumination sources

Poděkování, motto

Mé poděkování patří mému vedoucímu práce, panu ing. Rudolfu Drgovi, za pomoc, rady a ochotu s řešením technických problémů při vytváření této práce. Dále bych chtěl poděkovat své sestře, která mi při některých měřeních pomáhala a urychlila tak jejich průběh.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....

podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 SVĚTELNÉ ZÁŘENÍ	11
1.1 ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ	11
1.2 VIDITELNÉ SPEKTRUM ELEKTROMAGNETICKÉHO ZÁŘENÍ.....	11
1.2.1 Jas	14
1.2.2 Osvětlení	15
1.2.3 Světelný tok.....	16
1.2.4 Svítivost.....	16
1.3 ULTRAFIALOVÉ ZÁŘENÍ	17
1.3.1 Rozdělení ultrafialového záření	18
1.4 INFRAČERVENÉ ZÁŘENÍ	19
1.4.1 Rozdělení infračerveného záření.....	20
1.4.2 Využití infračerveného záření v zobrazovací technice.....	20
2 KAMEROVÁ TECHNIKA	25
2.1 ÚVOD DO KAMEROVÉ TECHNIKY	25
2.2 DĚLENÍ PODLE SNÍMACÍHO ČIPU	25
2.2.1 CCD čipy	26
2.2.2 CMOS čipy.....	29
Princip CMOS čipu	30
2.3 DĚLENÍ PODLE KONSTRUKČNÍHO PROVEDENÍ	31
2.3.1 Venkovní kamery	31
2.3.2 Vnitřní kamery	32
2.3.3 Vodotěsné kamery	32
2.3.4 Statické kamery	33
2.3.5 Otočné kamery	33
2.3.6 Dome kamery	33
2.3.7 Miniaturní kamery.....	34
2.3.8 Maskované kamery.....	34
2.3.9 Antivandal kamery	35
2.3.10 Atrapy kamer.....	35
2.4 DĚLENÍ PODLE DRUHU KAMER.....	36
2.4.1 CCTV analogové kamery	36
2.4.2 IP kamery	37
2.4.3 CCTV IP kamery.....	38
2.5 PRINCIP DETEKCE V INFRAČERVENÉ OBLASTI S VYUŽITÍM KAMER	38
3 PŘÍSVITY BEZPEČNOSTNÍCH KAMER	41
3.1 POPIS FUNKCE PŘÍSVITU.....	41
3.2 SVĚTELNÉ ZDROJE PRO PŘÍSVITY A JEJICH TECHNOLOGIE.....	42
3.2.1 Žárovkové přísvity	42

3.2.2	Halogenové žárovky.....	43
3.2.3	LED diody	45
3.2.4	Laserové přísvity	47
3.3	VYTYČENÍ KLÍČOVÝCH VLASTNOSTÍ PŘÍSVITŮ PRO BEZPEČNOSTNÍ KAMERY	49
3.3.1	Vlnová délka emitovaného světla	49
3.3.2	Dosah světla	49
3.3.3	Úhel vyzařování	50
3.3.4	Citlivost kamery na danou vlnovou délku.....	50
II	PRAKTICKÁ ČÁST	51
4	MĚŘENÍ CITLIVOSTI KAMERY NA VLNOVOU DÉLKU	52
4.1	NÁVRH A STAVBA OBVODU PRO MĚŘENÍ CITLIVOSTI KAMER V OBLASTI NIR	52
4.1.1	Výpočty prvků pro obvod.....	53
4.2	OVĚŘENÍ JMENOVITÝCH VYZAŘOVANÝCH VLNOVÝCH DÉLEK IR LED DIOD	56
4.3	MĚŘENÍ CITLIVOSTI KAMER NA VLNOVOU DÉLKU POMOCÍ SESTAVENÉHO OBVODU	60
5	MĚŘENÍ VLNOVÉ DÉLKY SVĚTLA EMITOVANÉHO PŘÍSVITY	64
6	MĚŘENÍ DOSAHU PŘÍSVITŮ	69
6.1	MĚŘENÍ DOSAHU PŘÍSVITU POMOCÍ LUXMETRU	69
6.2	MĚŘENÍ DOSAHU PŘÍSVITU POMOCÍ KAMER	72
7	MĚŘENÍ ÚHLU VYZAŘOVÁNÍ.....	75
8	STANOVENÍ POSTUPU PRO DEFINICI VLASTNOSTÍ ZDROJŮ ZÁŘENÍ	78
	ZÁVĚR	79
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ	81
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	83
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	87
	SEZNAM OBRÁZKŮ	88
	SEZNAM TABULEK.....	90
	SEZNAM PŘÍLOH.....	91

ÚVOD

V této práci se budeme zabývat možnostmi měření zdrojů pro přísvit bezpečnostních kamer. Účelem bude seznámit čtenáře s tím, co jsou to vlastně přísivy pro bezpečnostní kamery, jaké mají využití, na jakém fyzikálním principu pracují a jaké jsou jejich klíčové vlastnosti, které budeme při jejich případné koupi brát v potaz.

Kamery a přísivy jako jejich příslušenství dnes mají na trhu s elektronickými zabezpečovacími systémy své nezastupitelné místo. Díky své stále se zlepšující cenové dostupnosti se také stávají v praxi velmi používanými a záběr jejich využití je dnes skutečně velmi široký.

Kamerové systémy dnes můžeme najít na nejrůznějších místech. Již neplatí, že kamerové systémy se používaly zejména ke střežení významných objektů či cenného majetku. V dnešní době se můžeme běžně setkat s kamerovými systémy např. při monitorování provozu ve výrobě, na ulicích v centrech měst, v obchodech a obchodních centrech, v restauracích, v důležitých dopravních uzlech nebo díky nim můžeme sledovat dění ve městech na náměstích či sledovat provoz na lyžařských tratích. Kamerové systémy jsou tedy v současnosti skutečně na každém kroku a je tedy jasné, že toto způsobuje jejich cenová dostupnost, nízké náklady na provoz a také rozmanité příslušenství, které nám umožňuje záznam kameru uchovávat či jinak zpracovávat.

V této bakalářské práci se zaměříme na přísivy pro bezpečnostní kamery, protože tyto nám umožňují kameru využívat při širším spektru atmosférických a jiných podmínek díky tomu, že snímanou scénu přisvítí a kamera je pak schopna toto světlo zachytit. Pokud bychom porovnali stejnou scénu bez přísvitů a s přísvitěm, na výstupu by byl zřejmý výsledek. Osvětlená scéna nám poskytne mnohem lepší obraz než ta neosvětlená.

Hlavním bodem této práce je měření vlastností zdrojů pro přísvit bezpečnostních kamer. Po teoretickém úvodu do problematiky bude tedy naším hlavním cílem především měření klíčových vlastností těchto přísvitů, stanovení postupu pro jejich měření s běžnou technikou v laboratořích. K měření vlastností světelných zdrojů se totiž využívá celá řada dražších a ne zcela běžných přístrojů, ale v této práci budeme pracovat s poměrně běžnými přístroji.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 SVĚTELNÉ ZÁŘENÍ

Abychom mohli přesněji pochopit, na jakém fyzikálním principu vlastně světelné přisvity pracují, musíme si nejdříve vysvětlit, jak vlastně světlo vzniká a jaké druhy světla jsou známe. To jsou tedy body, které si v této kapitole objasníme.

1.1 Elektromagnetické záření

*„Světlo je elektromagnetické vlnění a jeho zdrojem jsou přeměny energie v atomech a molekulách svítícího tělesa. Získá-li atom větší energii (např. při vyšší teplotě), může tuto energii vyžářit v podobě elektromagnetického vlnění. Elektromagnetické vlnění je charakterizované vlnovou délkou, která určuje jeho fyzikální vlastnosti. Pro elektromagnetické vlnění se často používá také termín **elektromagnetické záření**.*

Podle vlnové délky (resp. frekvence) elektromagnetického vlnění lze rozlišit několik druhů elektromagnetického záření. Přehledně jsou všechny druhy vyznačeny ve spektru elektromagnetického záření (viz tab. 3). Hranice mezi jednotlivými druhy elektromagnetického záření není ostrá, přechody jsou plynulé nebo se oblasti jednotlivých druhů záření i překrývají.“ [1]

Elektromagnetické vlnění je tedy to, co známe jako světlo. Jedná se o část spektra elektromagnetického záření, které jsme schopni zrakem vnímat. Celé spektrum elektromagnetického záření je však mnohem širší, než jen viditelné světlo. Přehled všech elektromagnetických záření je znázorněn v Tabulce č.1.

Nás bude zajímat především viditelné spektrum světla a infračervené záření, protože právě tyto spektra využívají přisvity pro bezpečnostní kamery.

1.2 Viditelné spektrum elektromagnetického záření

Světlo, nebo také viditelné světlo, je elektromagnetická radiace viditelná pro lidské oko. Viditelné světlo má vlnovou délku v rozsahu od 380 nm do asi 740 nm a frekvenční rozsah se pohybuje od 405 THz do 790 THz. Ve spektru elektromagnetického záření se nachází mezi ultrafialovým a infračerveným zářením.

Rozsah vlnových délek	Druh záření	Zdroj v přírodě	Umělý zdroj
$\lambda < 10^{-12}$ m	záření gama	reakce elementárních částic	betatrony, cyklotrony, reaktory
		děje v jádře atomu	
$\lambda \in (10^{-12}; 10^{-11})$ m	rentgenové záření tvrdé	děje v elektronovém obalu atomu	výboj v plynu, elektrický oblouk, jiskra
$\lambda \in (10^{-11}; 10^{-10})$ m	rentgenové záření měkké		
$\lambda \in (10^{-10}; 10^{-9})$ m	rentgenové záření mezní		
$\lambda \in (10^{-9}; 10^{-8})$ m	ultrafialové záření vakuové		
$\lambda \in (10^{-8}; 10^{-7})$ m	ultrafialové záření blízké		
$\lambda \in (10^{-7}; 10^{-6})$ m	světlo		
$\lambda \in (10^{-6}; 10^{-5})$ m	infračervené záření mikrovlnné	kmity molekul	rozžhavená vlákna
$\lambda \in (10^{-5}; 10^{-4})$ m	infračervené záření vzdálené	reakce molekul	
$\lambda \in (10^{-4}; 10^{-1})$ m	mikrovlny	kmitavý pohyb elektronů	tepelné zdroje
$\lambda \in (10^{-1}; 10)$ m	televizní a rozhlasové vlny s frekvenční modulací (VKV)		elektronické oscilátory
$\lambda \in (10; 10^2)$ m	rozhlasové vlny s amplitudovou modulací (KV)	atmosférické výboje	
$\lambda \in (10^2; 10^3)$ m	rozhlasové vlny s amplitudovou modulací (SV)		elektrické obvody
$\lambda \in (10^3; 10^4)$ m	rozhlasové vlny s amplitudovou modulací (DV)		
$\lambda > 10^4$ m	nízkofrekvenční vlny; technické frekvence		

Tabulka 1- Přehled elektromagnetického záření [2]

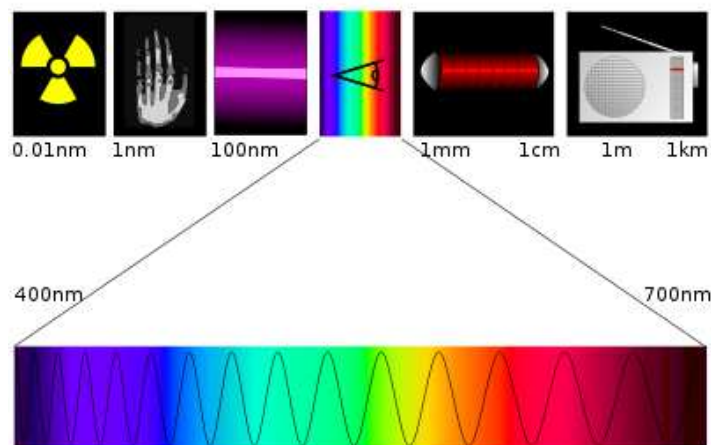
Světlo, které je emitováno a absorbováno v malých balíčcích zvaných fotony, vykazuje vlastnosti jak vln, tak i částic. Obor studování záření světla je znám jako optika a tvoří dnes významnou a obsáhlou oblast fyziky. Díky poznatkům z oblasti optiky dnes využíváme např. dalekohledy, mikroskopy nebo brýle.

„Běžné lidské oko přivyklé na světlo vnímá maximální intenzitu světla kolem 555 nm (540 THz), v zelené oblasti barevného spektra. Barevné spektrum však neobsahuje všechny barvy, které je lidské oko a mozek schopen rozpoznat. Barvy jako například růžová, variace fialové jako např. magenta se v tomto spektru nevyskytují, protože se dají vytvořit pouze smícháním jiných vlnových délek.“ [2]

Jiné živočišné druhy mohou vidět světlo i s vlnovými délkami mimo viditelné spektrum. „Včely a ostatní druhy hmyzu mohou detekovat ultrafialové světlo, díky kterému mohou najít v rostlinách nektar. Také ptáci mohou vidět v ultrafialovém pásu záření na jejich peří můžeme najít rozdíly mezi samcem a samicí, které jsou viditelné pouze v ultrafialovém spektru.“ [2]

Na Obrázku 1 můžeme vidět obrázkové znázornění elektromagnetického spektra záření. Zleva to jsou gama záření, rentgenové záření, ultrafialové záření, viditelné spektrum světla, infračervené záření, rádiové vlny.

V části viditelného spektra vidíme, že u vlnové délky cca 400 nm začíná lidské oko vnímat (ultra) fialovou barvu. Se zvyšující se vlnovou délkou pak barva přechází v odstíny modré, azurové, zelené, žluté, oranžové, červené a kolem 700 nm již začíná oblast infrazáření.



Obrázek 1 – Obrázkové znázornění elektromagnetického spektra [3]

Viditelné světlo a světlo obecně se dá popsat níže uvedenými veličinami. Tyto se také označují jako fotometrické veličiny:

- „jas (nebo teplota)
- osvětlení (jednotka SI: lux)
- světelný tok (jednotka SI: lumen)
- svítivost (jednotka SI: kandela)

světlo můžeme také popsat pomocí těchto veličin:

- amplituda,
- barva (nebo frekvence – vlnová délka)
- polarizace“ [4]

Co přesně tyto veličiny vyjadřují, si řekneme v následujících bodech:

1.2.1 Jas

„Jas je jedna z fotometrických veličin, definovaná jako měrná veličina svítivosti. Označuje se L a udává se v cd/m^2 (kandelách na m^2).“ [5]

Jas se také označuje jako **luminance**, značka L je stejná. „Luminance L je definována jako podíl části světelného toku $\Delta\Phi$ dopadající na plochu ΔS v prostorovém úhlu $\Delta\Omega$ pod úhlem α a této plochy ΔS , tohoto prostorového úhlu $\Delta\Omega$ a kosinu úhlu α .

$$\text{Platí tedy vztah: } L = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S \cdot \Delta\Omega \cdot \cos \alpha}$$

$$\text{Nebo ekvivalentní tvar: } L = \frac{\Delta I}{\Delta S \cdot \cos \alpha}$$

$$\text{Jednotky: } [L] = \text{lm} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} = \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$$

Luminance je „síla“ - intenzita světla odraženého od plochého difúzního předmětu (papír, plátno apod.) nebo vyzářeného plochým zdrojem světla (televize, monitor, apod.). „Udává tedy svítivost uvedeného „zdroje“ světla (odrazná deska nebo plochý zdroj světla) s plochou o obsahu 1 m^2 . Zajímá nás tedy jen „hustota světelných paprsků“ (tj. svítivost) vztažená na obsah plochy a ne „počet světelných paprsků“ (tj. světelný tok).“ [6]

1.2.2 Osvětlení

Osvětlení je synonymem pro **intenzitu osvětlení** nebo také **osvětlenost** (dle normy ČSN EN 12665, bod 3.2.11). „Jedná se o fotometrickou veličinu, které je definována jako světelný tok dopadající na určitou plochu. Je tedy podílem světelného toku (v lumenech) a plochy (v metrech čtverečních). Značí se **E**.“ [7]. Její veličinou je Lux – lx. Tato fotometrická veličina je závislá na vzdálenosti osvětlené plochy od zdroje osvětlení.

Intenzita osvětlení je definována vztahem:

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S} = \frac{I}{r^2}; [E] = lx$$

Kde $\Delta\Phi$ je světelný tok, ΔS je plocha, I je svítivost a r je vzdálenost plochy od zdroje světla.

Světlo na osvětlenou plochu nemusí dopadat pouze kolmo (jako v případě vztahu nahoře), ale i pod různými úhly. Vztah je tedy nutno upravit následovně:

$$E = \frac{I \cdot \cos \alpha}{r^2}; \text{ kde } \alpha \text{ je úhel, pod kterým světlo dopadá na plochu.}$$

Osvětlení je tedy tím slabší, čím větší vzdálenost má plocha od světla a čím šikměji paprsky na plochu dopadají. V případě dopadání paprsků světla souběžně s plochou je osvětlení této plochy nulové.

V následující tabulce si můžeme vytvořit představu o tom, s jak velkým osvětlením se setkáváme:

Lidské oko je schopno rozlišit předměty	$3 \cdot 10^{-5}$ lx
Měsíc v úplňku	Do 0,5 lx
Svíčka ve vzdálenosti 30 cm	10 lx
Běžné osvětlení schodiště	15 lx
Běžné osvětlení interiérů	100 – 2000 lx
Osvětlení ke čtení	500 lx
Rýsování, drobná montáž	1500 lx
Slunce za jasného dne	Přes 70 000 lx

Tabulka 2 – Přehled intenzity osvětlení v běžném životě

Lidské oko je však schopno adaptovat se podle světelných podmínek. Vnímat některé světelné jevy je schopno ještě při osvětlení 10^{-9} lx, ale již není schopno předměty rozlišovat. „Člověk je schopen číst výrazný text při osvětlení zhruba 10^8 lx (pochopitelně za cenu výrazného nepohodlí).“ [7]

1.2.3 Světelný tok

„Světelný tok Φ vyjadřuje intenzitu zřakového vjemu normálního oka, vyvolaného energií světelného záření, které projde za jednotku času určitou plochou v prostoru, kterým se světlo šíří. $[\Phi]$ -lm (lumen).“ [6]

„Jinými slovy, světelný tok udávaný v lumenech odpovídá zářivému toku udávanému ve wattech s tím, že je zahrnuta do úvahy citlivost lidského oka na jednotlivá světla barevného spektra.“ [6]

Je nutné si uvědomit, že např. žárovka, která má výkon 100 W těchto 100 W vyzařuje a to ve formě elektromagnetického záření => vyzářený celkový výkon všech elektromagnetický záření z tohoto světelného zdroje je 100 W. Ovšem ve formě záření viditelného světla je to méně. Např. infračervený zdroj světla může mít světelný tok i 0 lm, ale přesto bude vyzařovat infračervené záření. Protože ale lidské oko na toto záření citlivé není, takové záření se do světelného toku nezahrnuje.

„Z definice svítivosti vyplývá, že světelný tok bodového zdroje svítivosti I do prostorového úhlu $d\Omega$ je definován vztahem: $\Delta\Phi = I \cdot \Delta\Omega$ “ ;

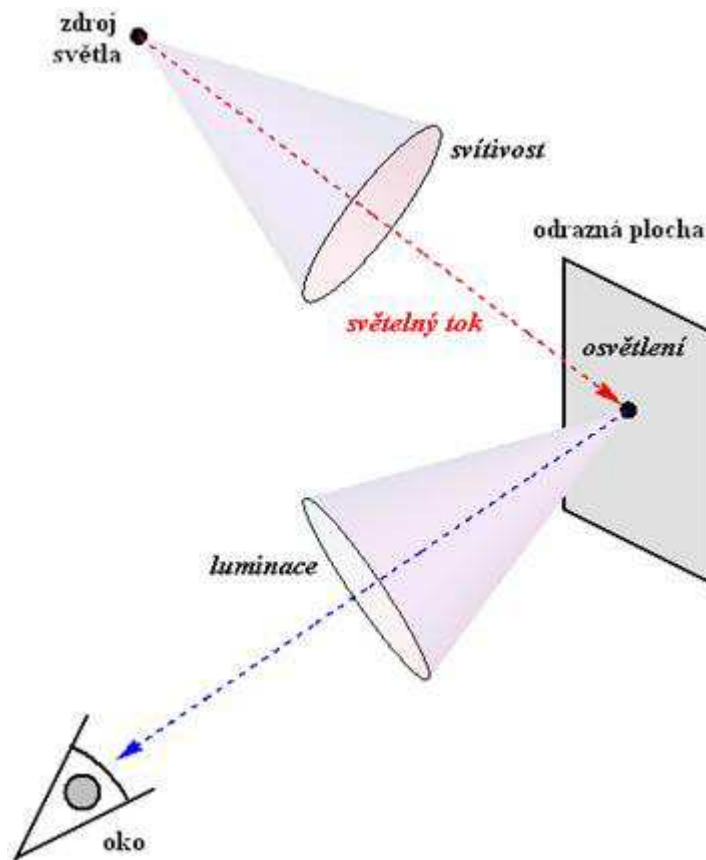
kde I je svítivost a $\Delta\Omega$ je prostorový úhel.

1.2.4 Svítivost

„Svítivost I je základní fotometrická veličina, $[I]=cd$ (kandela). Jednotka svítivosti 1 kandela odpovídá přibližně svítivosti obyčejné svíčky. Žárovka o příkonu 100 W má svítivost asi 200 cd.“ [6]

Svítivost udává velikost vyzařovaného světelného toku bodového zdroje světla do prostorového úhlu 1 steradián.

Vzájemný vztah mezi fotometrickými veličinami výstižně znázorňuje tento obrázek:



Obrázek 2 – Znázornění vzájemného vztahu mezi fotometrickými veličinami [6]

1.3 Ultrafialové záření

„Z kosmického prostoru se k planetě Zemi dostává nejrůznější elektromagnetické záření od vlnových délek velmi dlouhých po velmi krátké. Dominantním zdrojem záření je samozřejmě blízké Slunce. Lidským okem vnímáme hlavně oblast viditelného záření od 400 do 750 nm. Tato oblast viditelného světla se nachází mezi vlnovými délkami záření infračerveného a ultrafialového. Zatímco infračervené záření je blíže k červenému konci spektra viditelného záření, ultrafialové je blíže k fialovému konci spektra.“

Ultrafialové záření bylo objeveno již v roce 1801 německým fyzikem a chemikem Johannem Wilhelmem Ritterem (16. 12. 1776 - 13. 1. 1810). Ten uskutečnil rozklad světla pomocí optického hranolu. Při tomto pokusu pokládal na různá místa dopadajícího spektra proužky papíru, které byly namočené do roztoku chloridu stříbrného (AgCl), což je

světlocitlivá chemická sloučenina. Při působení světla dochází k chemickému rozkladu, při němž se uvolňuje chlór a kovové stříbro. Proužky namočené do tohoto roztoku během pokusu ale nejvíce zčernaly až za fialovým koncem spektra. Z toho Ritter usoudil, že do tohoto místa dopadá neviditelné záření, které nazval jako "dezoxidační" světlo. Teprve později, až ke konci 19. století se ujal název ultrafialové záření.“ [8]

UV záření je zkratka z anglického názvu ultraviolet. Pro člověka je toto záření neviditelné. Avšak někteří živočichové jej vnímat mohou, např. ptáci, hmyz a plazi.

Jedná se tedy o elektromagnetické záření, které má vlnovou délku kratší než viditelné světlo ale delší než světlo v oblasti rentgenového záření. Rozpětí vlnových délek u ultrafialového záření se pohybuje od 400 nm do 1 nm.

1.3.1 Rozdělení ultrafialového záření

Ultrafialové záření se dělí na oblast **blízkého ultrafialového záření** ($\lambda=400-200$ nm) a na oblast **dalekého ultrafialového záření** ($\lambda=200-10$ nm).

Můžeme se také setkat s rozdělením UV na tzv. „spektrální oblasti“ či „typy“. V takovémto dělení rozlišujeme tři spektrální oblasti: **UVA**, **UVB**, **UVC** a **EUV**. Toto rozdělení se používá především kvůli hledisku biologických efektů UV záření.

„Označení „vzduchoprázdné ultrafialové“ záření (v anglické literatuře vacuum ultraviolet, VUV) naráží na skutečnost, že tento typ záření je při dopadu na zemský povrch pohlcován vzduchem.“ [9]

„Označení „hluboké ultrafialové“ záření (deep ultraviolet, DUV) je používáno ve fotolitografii a technologiích používající principu laseru.“ [9]

- **UVA** - jeho vlnová délka se pohybuje od 315 do 400 nm. Tvoří asi 99% dopadající na povrch Země
- **UVB** - jeho vlnová délka se pohybuje od 280 do 315 nm. Toto záření je z velké části absorbováno ve stratosféře ozónem. Ozónová vrstva a kyslík na zemský povrch propustí asi třetinu ultrafialového záření z vesmíru. „Záření UVB je zhoubné pro živé organizmy. Jeho energie je schopná rozkládat nebo narušovat bílkoviny či jiné životně důležité organické sloučeniny s vážnými následky pro metabolismus postihnutého jedince, nebo (je-li zasaženy DNA) vzniku rakoviny.“ [9]

- **UVC** – jeho vlnová délka je menší než 280 nm. „Zářením UVC je prokazatelně zhoubné (karcinogenní) pro živé organizmy.“ [9]
- **EUV** – „extrémní ultrafialové záření s vlnovými délkami nižšími než 31 nm se podílí na některých chemických procesech ionosféry, zejména její nesvrchnější vrstvy.“ [9]

1.4 Infračervené záření

Infračervené záření je elektromagnetické záření s vlnovou délkou větší než viditelné světlo, ale zároveň menší než radiové vlny. Rozsah infračerveného spektra je od 750 nm do 1 mm. „Infračervené záření je často známo jako „tepelné záření“, ale světlo a elektromagnetické vlny jakékoliv frekvence ohřívají povrch tělesa, na něhož dopadají.“

„Tepelné záření – infračervené záření je druh elektromagnetického vlnění, které závisí na teplotě tělesa. Nevyžaduje látkové prostředí, může se šířit i vakuem. Jeho podstatou je tepelný pohyb atomů a molekul tělesa. Při vysílání tepelného záření tělesem se jeho vnitřní energie zmenší o energii vyslaného tepelného záření. Vnitřní energie tělesa, na které dopadá tepelné záření, se přitom zvětší o energii pohlceného záření. Při dopadu tepelného záření na těleso mohou nastat v podstatě tři případy: tepelné záření látkou tělesa prochází, teplota tělesa se nezvýší; tepelné záření se od povrchu tělesa (např. od lesklé kovové plochy) převážně odráží a zvýšení teploty je malé; tepelné záření je povrchem tělesa (např. tmavou drsnou plochou) pohlcováno a těleso se zahřívá.“ [11]

Teplo je energie v přechodné formě, které proudí kvůli teplotním rozdílům mezi objekty. „Při pohlcování infračerveného záření probíhá tepelná výměna a ozářené těleso se zahřívá.“ [10] Tepelné záření je emitováno všemi objekty s teplotou vyšší než je 0° K.

Poznatků o infračerveném záření využívá velká řada odvětví, např. klimatologie, spektroskopie, komunikace zařízení (dálkové ovladače), biologické systémy atp. V této práci budou dále rozebrány IR přísvity, které se hojně využívají v průmyslu komerční bezpečnosti díky svým výhodným vlastnostem (neviditelné záření, možnost vidět v noci a za zhoršených podmínek).

1.4.1 Rozdělení infračerveného záření

Pásmo infračerveného záření se stejně jako u ultrafialového pásma dělí na podskupiny pásem. Neexistuje bohužel jednoznačné dělení. Jako příklad zde uvedu dvě dělení, my se však v této práci budeme držet dělení prvního a naším hlavním zájmem budou přívsvity v oblasti NIR, pohybovat se budeme v oblasti do 1000 nm.

1. První typ dělení:

- *„blízké (near) infračervené záření neboli NIR*
IR-A podle normy DIN, vlnová délka 0,76–1,4 μm , definováno podle vodní absorpce; často používané v telekomunikacích optických vláken
- *IR krátké vlnové délky (short wave) neboli SWIR*
IR-B podle DIN, vlnová délka 1,4–3 μm , při 1450 nm značně roste vodní absorpce
- *IR střední vlnové délky (medium wave) neboli MWIR*
IR-C podle DIN, též prostřední (intermediate-IR neboli IIR), 3–8 μm
- *IR dlouhé vlnové délky (long wave) neboli LWIR*
IR-C podle DIN, 8–15 μm
- *dlouhé (far) infračervené záření neboli FIR*
15–1000 μm “ [12]

2. Druhý typ dělení:

- *„blízké (0,76–5 μm)*
- *střední (5–30 μm)*
- *dlouhé (30–1000 μm)“ [12]*

1.4.2 Využití infračerveného záření v zobrazovací technice

Infračervené záření je v dnešní době hojně využíváno v různých oblastech techniky, např. infračervená spektroskopie, termovize, termografie atd. Všechny tyto metody využívají stejného principu, tento si vysvětlíme na případu infračervené fotografie.

„Infračervená fotografie je specializovaný obor fotografie, který využívá film nebo obrazový senzor citlivý na infračervené záření. Vlnové délky použité pro fotografii jsou v

rozsahu od zhruba 700 nm do 900 nm. Obvykle se používá "infráčervený filtr". Ten umožňuje infračervenému světlu projít do fotoaparátu, ale blokuje veškeré anebo většinu viditelného světelného spektra (filtr proto vypadá černě nebo velmi tmavě).“ [13]

„Filmy pro speciální účely jsou citlivé na vlnové délky za hranicemi viditelného spektra. Infráčervený film reaguje na část mimo viditelné světlo, na infračervenou část spektra. Se speciálními barvotvornými složkami mohou být vyrobeny fotografické emulze citlivé na světlo v dané části spektra. Infráčervené světlo dokáže proniknout atmosférickou mlhou a poskytuje čisté fotografie snímání z velkých vzdáleností nebo vysokých nadmořských výšek. Protože každý předmět vyzařuje v infračervené části spektra, může se fotografovat i v úplné tmě. Techniky infračervené fotografie se používají, kdykoli mají být rozpoznány malé rozdíly v teplotě nebo schopnostech pohlcovat nebo odrážet infračervené světlo. Některé substance, zvláště pak organické jako například vegetace, odrážejí infračervené světlo mnohem silněji než jiné substance. Infráčervené filmy pak mají tendenci reprodukovat tóny zelených listů a rostlin bílé, obzvláště v kombinaci s temně rudým filtrem. Infráčervený film má mnoho technických a vojenských využití, včetně detekce maskování, které se na infračervené fotografii objeví tmavší než okolní prostředí. Infráčervená fotografie se též používá u lékařské diagnózy, odhalování falzifikátů u ručně psaných textů stejně jako výtvarných děl, a při studiu poškozených dokumentů.“ [13]

Výše je popsáno zachytávání IR spektra na speciální infračervený film. V dnešní době jsou však již více rozšířeny CCTV, IP kamery a digitální fotoaparáty. Ty stojí na principu CMOS nebo CCD čipů, které jsou schopny zachytit nejen viditelné světlo, ale i právě část oblasti NIR, která se nejčastěji pohybuje přibližně do 1 μm .

Cílem této práce je ověřit vlastnosti přísvitů, ať už zabudovaných nebo externích, využívaných hlavně v průmyslu komerční bezpečnosti. Tyto přísvity se využívají zejména u kamer a proto si ukážeme, jaké výhody nesou IR přísvity pro snímání dané scény.

Na Obrázku 3 vidíme, jaký je rozdíl snímku stejné scény s vypnutým nebo zapnutým IR přísvitem. Obrázek vpravo (s vypnutým infrapřísvitem) je z větší části tmavý, osvětlená je pouze osoba s baterkou a vidíme i světlo baterky, které ale bohužel osvětlené místo přepaluje a není možno rozeznat, co vlastně osvětluje. Obrázek vlevo (se zapnutým infrapřísvitem) už má o poznání lepší obrazové kvality. Celá scéna je osvětlena, můžeme rozeznat i další předměty na scéně, osobu vidíme jasně a celou, světlo baterky osvětlené

místo nepřepaluje a je tedy vidět, co se na něm nachází. Výhoda obrazových vlastností při použití IR přísvitu je tedy jasná. Další výhodou je, že i když je celá scéna osvětlena, pachatel – osoba na obrázku, toto osvětlení nevidí a tedy neví, že je snímán. IR záření, které vychází z přísvitu, se pohybuje nečastěji kolem $\lambda=850$ nm, což je oblast, kterou člověk pouhým okem spolehlivě nevidí. Pouze při přímém pohledu zblízka na zdroj IR záření je schopen vidět, že zdroj rudě „žhne“, ale z větší vzdálenosti toto není možno poznat.



Obrázek 3 – Rozdíl snímku se zapnutým a s vypnutím IR přísvitem [14]

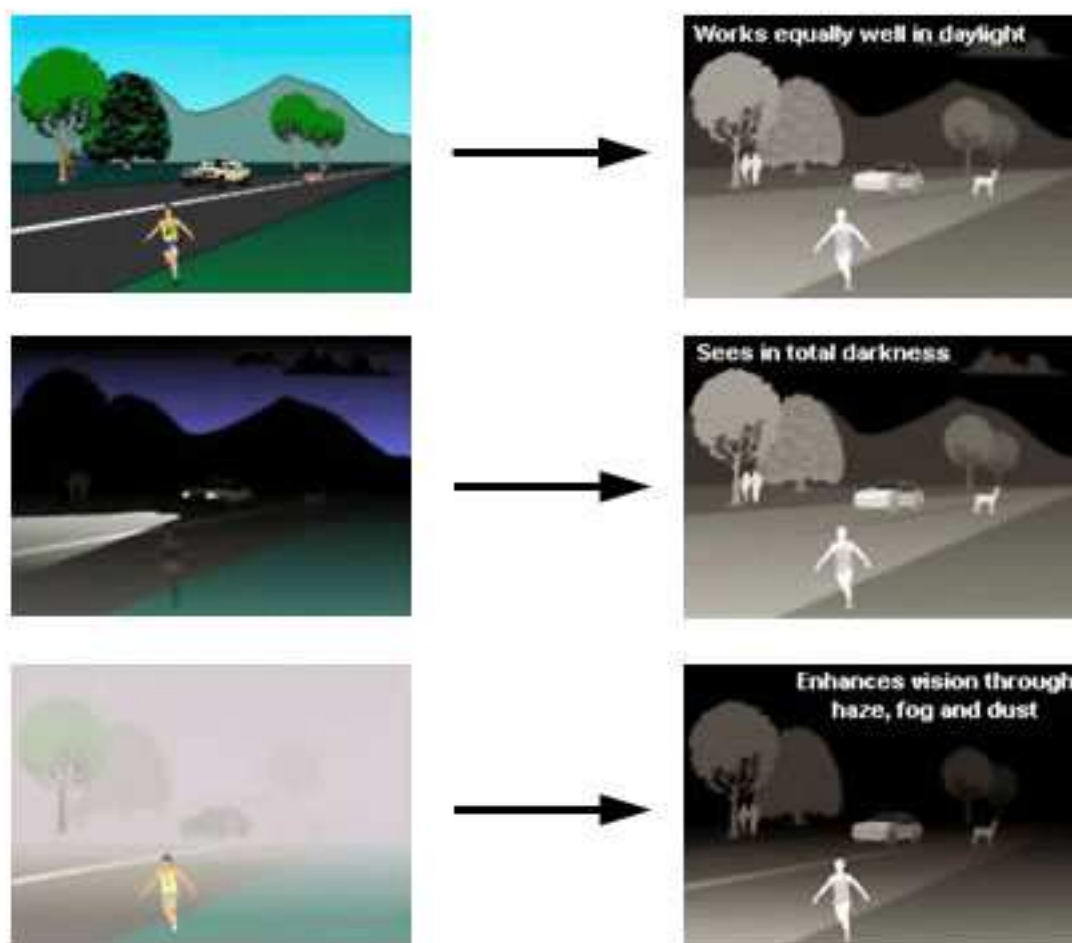
Na Obrázku 4 vidíme rozdíly mezi čtyřmi různými obrazy snímání scény – obraz z běžné CCTV kamery bez přísvitu, obraz viditelného světla, obraz scény s využitím noktovize a obraz s termální snímáním. Rozdíly mezi obrazovými kvalitami jednotlivých snímků jsou hned patrné. CCTV obraz a obraz viditelného světla nedává žádnou informaci o tom, že se na dané scéně něco děje. Není vidět ani auto, ani osoba, ani parkoviště, pouze vzdálenější světelné body. Obraz z noktovize (Image Intensification) je už o poznání lepší. Na dané scéně je vidět auto, parkoviště a i osoba u auta. Obraz je ale zkreslený a výrazně zašuměný. Je to kvůli tomu, že noktovize vychází velkého zesilování zbytkového světla na dané scéně a pochopitelně kromě užitečné informace zesiluje i šum, který pak zesílený obraz výrazně ruší. Termální snímání má také dobré obrazové vlastnosti. Na obraze opět vidíme celou scénu, parkoviště, auto i osobu. Výsledný obraz má však jiné vlastnosti, než by měla stejná scéna s IR přísvitem právě kvůli tomu, že je využito termálního snímání. To sice také využívá IR záření, ale trochu jiným způsobem, protože scéna není aktivně osvětlena. Kamera zde tedy snímá IR záření vyzařované objekty na scéně. Protože každé těleso, které má teplotu vyšší než 0° K vyzařuje elektromagnetické vlnění (viz. kapitola

1.4), nejčastěji v infračerveném spektru – studené a vlažné předměty, tedy předměty na dané scéně v tomto spektru vyzařují a je možno je snímat. Teplotu tělesa můžeme z obrazu poznat tak, že teplejší objekty září jasněji a jsou světlejší. Těchto principů využívá i termovize, která se využívá např. pro hledání osob.



Obrázek 4 – Rozdíly mezi běžným CCTV obrazem, viditelným světlem, použitím noktovize a termálním snímáním [15]

Na Obrázku 5 pak vidíme výhody IR přívsvitu při různých atmosférických podmínkách. Vlevo máme vždy obraz snímané scény tak, jak ho vidíme běžným okem. V prvním řádku vidíme, že přívsvit se dá využít i za dne a poskytuje nám jasnější informaci o tom, co se na dané scéně nachází. Takováto informace může v barevném obrazu např. u kamer s nižším rozlišením zaniknout. Ve druhém řádku máme noční scénu. IR přívsvit opět osvětluje scénu tak, že dostáváme stejný obraz snímané scény jako s IR přívsvitem za dne, opět s jasnou informací o tom, jaké objekty se na scéně nacházejí. Ve třetím řádku pak máme mlhu. Obraz s IR přívsvitem už sice není tolik jasný jako v předchozích případech, ale přesto stále jasně vidíme, jaké objekty se na scéně nacházejí. IR přívsvit tedy dokáže i za nepříznivých atmosférických podmínek (tma, déšť, mlha apod.) podat lepší informaci o tom, co se na dané scéně nachází než v případě bez přívsvitu.



Obrázek 5 – Obraz s a bez IR přívsvitu při různých atmosférických podmínkách [15]

Z výše uvedených důvodů tedy jasně vyplývají výhody použití IR přívsvitů u bezpečnostních kamer a systémů. Lepší obrazové vlastnosti při různých atmosférických vlivech jsou jednoznačně velkým plusem pro snímací techniku a svědčí o tom také fakt, že se v dnešní době do bezpečnostních kamer IR přívsvity hromadně implementují už jako základní výbava nebo se dají dokoupit externě. IR přívsvity jistě převládají, ale dají se koupit i kamery, které využívají např. halogenových přívsvitů, bílých LED přívsvitů apod. Tyto přívsvity jsou univerzálnější, co se týče rozsahu použití, ale neposkytují tak dobré vlastnosti jako IR přívsvity. O těchto přívsvitech se také zmíním v kapitole 3.

2 KAMEROVÁ TECHNIKA

V této části bakalářské práce se zaměříme na kamerovou techniku. Dozvíme se, na jakém fyzikálním principu kamery pracují, jaké druhy kamer existují, jak se dělí, a vysvětlíme si princip detekce záření s využitím kamer.

2.1 Úvod do kamerové techniky

Kamery jsou zařízení sloužící k snímání a archivaci obrazu. Stejnou funkci mají i fotoaparáty, ale ty vždy zachytí pouze jeden snímek. Kamery dokáží plynule a rychle zachycovat snímanou scénu a výsledný záznam je proto pohyblivý obraz, jako bychom snímanou scénu sledovali během daného dění. Obě zařízení však fungují na stejném principu.

Kamery a fotoaparáty mají velmi široké uplatnění a dnes jsou již naprosto běžnou součástí průmyslu komerční bezpečnosti. Díky neustále se vyvíjejícím novým technologiím se kamery a fotoaparáty stávají velmi levnými, univerzálními, disponují velkým množstvím doplňkových funkcí a příslušenství.

Existuje velké množství různých dělení dostupných videokamer. Tato dělení se vždy odvíjejí od určitého klíčového prvku kamer. Mezi tyto prvky např. typ přenosové cesty kamery, konstrukční provedení, umístění kamery, snímací čip, barva obrazu atd. Níže popíšeme nejčastější rozdělování kamer a dále dané kamery či vlastnosti stručně rozeberu

2.2 Dělení podle snímacího čipu

Podle snímacího čipu se kamery rozdělují do dvou kategorií:

- CCD čipy
 - Přesnější popis se nachází v bodě 2.2.1 a jeho podbodech
- CMOS čipy
 - Přesnější popis se nachází v bodě 2.2.2 a jeho podbodech

Se snímacím čipem souvisí i to, zda je kamera barevná nebo černobílá. Snímací čip je stejný u obou typů kamer, ale před tímto čipem bývají u barevné kamery předřazené barevné filtry, které odfiltrují nežádoucí nadbytečné záření (např. infračervené záření).

Černobílé kamery nemívají žádné barevné filtry a tím dosahují vyšší světelné citlivosti, která se často uplatňuje při horších světelných podmínkách. Barevné kamery mají kvůli přítomnosti barevných filtrů světelnou citlivost nižší, ale dnešní kamery pro snímání ve dne i v noci bývají konstruovány tak, že přes den poskytují barevný obraz a při horších světelných podmínkách se barevné filtry odklopí a z kamery se stává černobílá kamera, která v těchto podmínkách disponuje lepšími snímacími vlastnostmi. Barevné snímání zase na druhou stranu umožňuje lepší orientaci ve snímku.

2.2.1 CCD čipy

„Zkratka CCD pochází z anglického Charge-Coupled Device, což v překladu znamená zařízení s vázanými náboji.“ [16]

„CCD vynalezli pánové Willard Boyle a George E. Smith v Bellových laboratořích v roce 1969. V roce 2009 za tento vynález dostali Nobelovu cenu. Vynález se váže k vývoji určitého typu paměťového registru, který v podstatě funguje jako CCD bez přístupu světla, respektive CCD není nic jiného než posuvný registr vystavený působení světla. Když v únoru 2006 získali Boyle a Smith za tento svůj převratný vynález ocenění Americké národní akademie ve výši \$500 000 (po několika předchozích oceněních v rámci celého světa), Boyle vzpomněl, že práce na vynálezu CCD fakticky trvala zhruba pouhou hodinu, kdy nejprve se Smithem načrtli na tabuli několik obrázků, a pak prostě šli do laboratoře první jednoduché CCD zrealizovat. V roce 2009 dostali oba vynálezci Nobelovu cenu za fyziku.“ [14]

Rok po vynálezu CCD čipu pak spatřila světlo světa první kamera využívající polovodičový obrazový snímač. [16]

Princip CCD čipu

„CCD (Charge-coupled device, zařízení citlivé na elektrický náboj) je zařízení, které přeměňuje energii dopadajícího světla na energii elektrického signálu.“ [17]

CCD čip se řadí mezi fotosoučástky a ty využívají jevu jménem fotoefekt. Ten spočívá v tom, že pokud foton narazí do atomu, některému z jeho elektronů se předá energie srážky a ten pak přejde do tzv excitovaného stavu. Jedná se o stav s větším množstvím energie, než je běžné v základním stavu.

Energie odevzdaná při dopadu fotonu na atom je vyjádřena tímto vztahem:

„ $E = \nu \cdot h$; kde ν je frekvence fotonu (u viditelného světla v řádu stovek THz) a h je tzv. Planckova konstanta.“ [16]

„V polovodiči se takto uvolněný elektron může podílet na elektrické vodivosti respektive je možno ho z polovodiče odvést pomocí přiložených elektrod, tak, jak se to děje například u běžné fotodiody. Ta proto po dopadu světla vyrábí elektrický proud. Stejně fungují i fotočlánky, které se používají jako zdroj elektrické energie. U CCD je ovšem elektroda od polovodiče izolována tenoučkou vrstvičkou oxidu křemičitého SiO_2 , který se chová jako dokonalý elektrický izolant, takže fotoefektem uvolněné elektrony nemohou být odvedeny pryč.“ [16]

Základním principem celého zařízení je opakování základních kroků 25krát za sekundu a tyto jsou tři: [17]

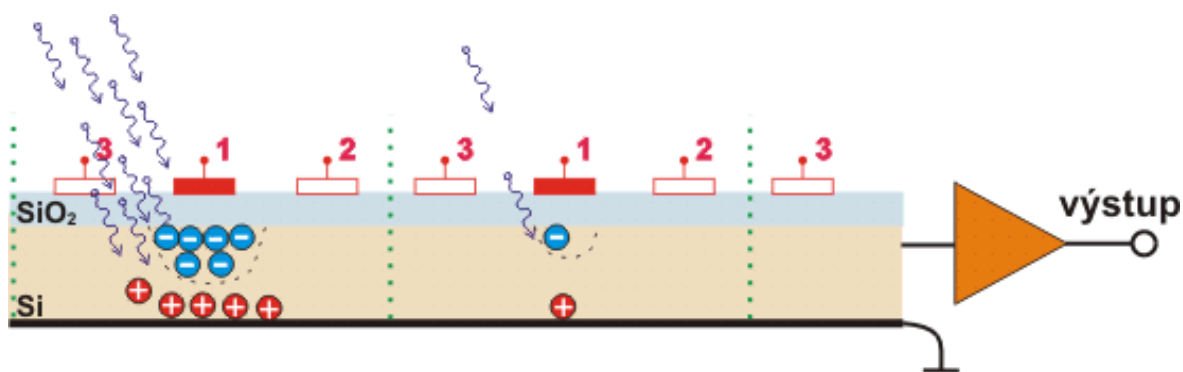
Příprava CCD

V této části na CCD čip nedopadá žádné světlo a jsou z něj odvedeny zbývající volné elektrony. Dojde tedy ke smazání-vyčištění čipu od zbytků předešlých nasnímaných obrazů. [16]

Expozice obrazu

V další části se na elektrody, které jsou v Obrázku 6 označeny číslem 1, přivede kladné napětí a pak se na čip nechá dopadat světlo. Dopadající fotony pak v polovodiči vybudí elektrony a ty jsou přitaženy ke kladně nabitým elektrodám. Po elektronech pak zůstanou v polovodiči tzv. díry, které mají ve vztahu k okolí kladný náboj. Tyto díry jsou pak přitaženy elektrodou nacházející se na spodu CCD čipu. [16]

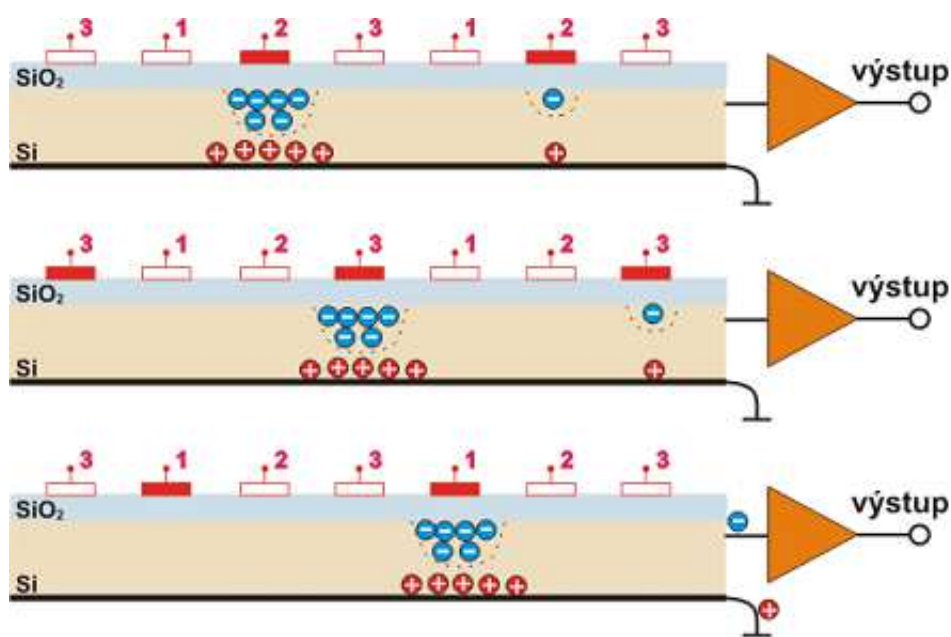
„Hranice pixelů jsou na obrázku znázorněny svislými tečkovanými čarami. Protože na pixel vlevo dopadlo více fotonů, je u jeho elektrody shromážděno více elektronů než u pixelu vpravo.“ [16]



Obrázek 6 - Expozice CCD čipu [16]

Snímání obrazu

V poslední třetí fázi na CCD již nedopadá světlo a na elektrody označené v obrázcích 1,2,3 se přivádí trojfázový hodinový signál (jsou ale i CCD se čtyřfázovým nebo dvoufázovým čtením). V praxi to znamená, že dochází k souběžnému snižování napětí na elektrodách 1 a na elektrodách 2 se napětí zvyšuje. Stejným principem se pak posouvají shluky elektronů mezi elektrodami 2 a 3, 3 a 1 a tak stále dokola. Z jednotlivých pixelů se pak shluky elektronů přes sousední pixely přesouvají k výstupnímu zesilovači (na Obrázku 7 vpravo). Výstupní zesilovač zesiluje malý proud odpovídající počtu elektronů zachycených v jednotlivých axelech na takové úrovni napětí, které jsou vhodné pro další zpracování obrazu. [16]



Obrázek 7 – Posouvání elektronů k výstupnímu zesilovači [16]

2.2.2 CMOS čipy

CMOS čipy vznikly jako alternativa k CCD čipům.

Začátky CMOS technologie se datují do dob výzkumů pasivních pixelových snímačů jako alternativy k vakuovým zobrazovacím zařízením. MOS (Metal-Oxide Semiconductor, kov-oxid-polovodič) pasivní pixelové snímače používaly jednoduchý spínač přímo v pixelu, aby mohly číst náboj z fotodiody. Pixely pak byly seřazeny ve 2D struktuře. Řádky byly propojeny vodičem umožňujícím přístup čtení a výstupní vodič byl sdílen sloupci. Na konci každého sloupce byl zesilovač. Tyto pasivní pixelové snímače však měly mnoho nedostatků, jako vysoká úroveň šumu, pomalé čtení a nedostatek škálovatelnosti. Přidání zesilovače ke každému pixelu tyto problémy vyřešilo a vedlo tak k vytvoření aktivního pixelového snímače. Bylo pak vytvořeno pole snímačů s aktivními MOS čtecími zesilovači přímo na pixelu. V podstatě se jedná o moderní konfiguraci tří tranzistorů. Výhodou CMOS čipů oproti CCD čipům je schopnost místa, kde je obraz přesevětlen, upravit snížením zesílení u odpovídajících pixelů. Tato výhoda vychází z architektury CMOS čipů. [18]

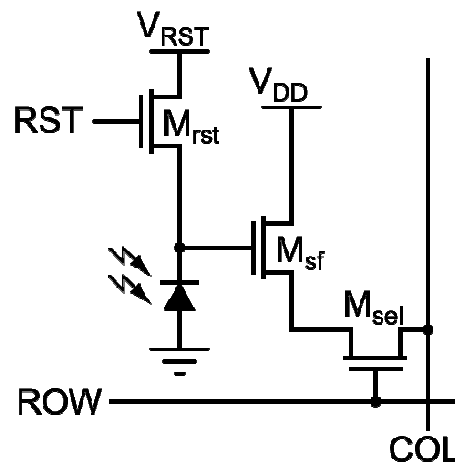
MOS technologie byla velmi variabilní a procházela mnohými změnami. Ke konci 80. let se CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor, komplementární kov-oxid-polovodič) technologie stala natolik zavedenou a dobře zvládnutou, že se stala v podstatě základním stavebním kamenem pro většinu logických obvodů a mikroprocesorů. CCD čipy však stále měly lepší vlastnosti (zejména nižší přechodný šum) a představovaly na poli spotřebních aplikací dominantní technologii. [18]

V průběhu 90. let pan Eric Fossum vynalezl snímač obrazu, který využíval vnitřního přenosu náboje pixelu společně se zesilovačem v pixelu. Dosáhl korelovaného dvojitého vzorkování (Correlated Double Sampling – CDS), nízkého přechodového šumu a minimalizoval i další nevýhodné vlastnosti, které dosud CMOS technologie měla. CMOS technologie na poli snímací techniky se pomalu stávala podobně úspěšnou jako CCD. Byl podnícen i další vývoj CMOS technologie a CMOS čipy se začaly využívat například ve webkamerách, vysokorychlostních kamerách, v mobilních fotoaparátech atd. [18]

Princip CMOS čipu

Dnešní CMOS čipy se dnes skládají z fotodetektoru (fotodiody), plovoucí difuze, přenosové brány, resetové brány, výběrové brány a čtecího tranzistoru. Této struktuře se říká struktura 4T. Fotodiody se původně používaly v meziřádkovém přenosu u CCD, kvůli nízkému temnému proudu (konstantní reakce receptoru záření v době, kdy není vystaven světlu) a dobré odezvě modré. Pokud se fotodiody spáruje s přenosovou bránou, umožňuje kompletní přenos náboje z fotodiody do plovoucí difuze (která je pak připojena k bráně čtecího tranzistoru), což vede k potlačení zpoždění přenosu. Pokud využijeme korelovaného dvojitého vzorkování (CDS), nabízí využití přenosu náboje uvnitř pixelu nižší šum. [18]

Stále se ještě hojně využívá architektura 3T (viz. Obrázek 5), neboť je snadná na výrobu. Pixel 3T obsahuje stejné prvky jako pixel 4T kromě přenosové brány a fotodiody. Resetovací tranzistor se chová jako spínač a resetuje plovoucí difuzi, která je v tomto případě fotodiody. Pokud je tranzistor sepnutý, fotodiody je připojena ke zdroji napětí V_{RST} a tím mizí nasbíraný náboj. Čtecí tranzistor M_{sf} se chová jako buffer - zesilovač, který umožňuje monitorovat napětí na pixelu bez toho, aby byl odebrán nashromážděný náboj. Zdroj energie (V_{DD}) je obvykle spojen se zdrojem energie resetovacího tranzistoru. Výběrový tranzistor (M_{sel}) umožňuje čtení jedné řádky pole pixelů čtecí elektronikou. V Obrázku 8 značka COL značí sloupec, značka ROW je řádek, RST je resetovací vstup, V_{RST} je napětí pro reset, M_{RST} je resetovací tranzistor, V_{DD} značí napětí pro čtecí tranzistor, M_{sf} je čtecí tranzistor a M_{sel} je výběrový tranzistor. Existují také další architektury jako 5T, 6T apod., které přidávají další tranzistory do obvodu. Tyto tranzistory pak plní např. funkci globální závěrky. [18]



Obrázek 8 – Architektura 3T aktivního pixelového snímače [18]

2.3 Dělení podle konstrukčního provedení

V tomto způsobu dělení se nachází již více různých dělení a vychází z uzpůsobení konstrukce dané kamery pro určitou aplikaci. Tyto jednotlivé třídy se však u běžně dostupných kamer často kombinují a doplňují. Kamery dále bývají často modifikovatelné, tzn., že k nim lze dokoupit jiný objektiv, přísvit apod.

2.3.1 Venkovní kamery

Tyto kamery jsou svou konstrukcí uzpůsobeny pro umístění ve venkovním prostředí, kde mohou čelit různým klimatickým podmínkám, ať již různým teplotám, dešti, sněhu a dalším vlivům. Pokud bychom chtěli do takového prostředí umístit kameru pro vnitřní prostředí, je nutno ji opatřit speciálním krytem pro venkovní použití. Dále jsou tyto kamery vybaveny obvykle pevně zabudovaným objektivem, držákem na kloubu a v případě, že jsou bezdrátové, tak i vlastním zdrojem a vysílačem. Pro noční režim mohou být vybaveny vlastním přísvitem, ať již ve viditelném spektru, nebo v IR spektru. Mohou se samozřejmě dokoupit různé objektivy a kameru modifikovat tak, jak požadujeme v konkrétní aplikaci. Na Obrázku 9 vidíme příklad barevné venkovní kamery s IR přísvitem, konkrétně se jedná o kameru EN-CI20B-82.



Obrázek 9 – Venkovní barevná kamera s IR přísvitem EN-CI20B-82 [19]

2.3.2 Vnitřní kamery

Vnitřní kamery jsou svou konstrukcí určeny pro vnitřní prostředí budov, kde nemusí čelit větru, vlhkosti, prachu a velkému rozpětí teplot. Opět obvykle disponují zabudovaným objektivem, kloubovým držákem, dnes již běžně zabudovaným přísvitem a v případě bezdrátových kamer vlastním zdrojem a vysílačem. Volitelně lze opět dokoupit různé komponenty pro její modifikaci.

Jako příklad vnitřní kamery jsem vybral vnitřní statickou barevnou IP kameru Axis M 1011.



Obrázek 10 – Barevná vnitřní statická IP kamera Axis M 1011 [20]

2.3.3 Vodotěsné kamery

Vodotěsné kamery jsou primárně určeny pro použití ve vodním prostředí, např. pro potápění, použity však mohou být i pro monitorování stavů nádrží apod. U vodotěsných kamer je důležitou vlastností i hloubka, do které je lze použít (ta se pohybuje až do 100

metrů). Vyrábějí se černobílé i barevné, ve vodním prostředí také často využijí přisvícení (IR LED, bílé LED). Mohou být také použity jako venkovní kamery.

2.3.4 Statické kamery

Statické kamery se vyznačují tím, že snímají pouze takovou plochu, kam byly nasměrovány a nedokážou se natáčet do požadovaného směru. Změnu snímané plochy musíme proto vždy provést ručně. Jako ukázka může sloužit kamera na Obrázku 10.

2.3.5 Otočné kamery

Otočné kamery jsou obvykle vybaveny určitým systémem pro otáčení (krokový motorek apod.) proto, abychom nemuseli vždy ručně provádět změnu snímané plochy. Pomocí tohoto systému můžeme dálkově kameru ovládat a dívat se s ní do okolí, kam nám to jen otáčení kamery dovolí. Jsou kamery, které se mohou otáčet pouze v malém rozsahu, ale například dome kamery se mohou otáčet ve vodorovném směru o 360° a ve svislém směru až o 180°, viz bod 2.3.6. Otáčení je realizováno buď přes počítač, nebo klávesnici, nebo lze nastavit i automatické otáčení kamery v určitých intervalech.

2.3.6 Dome kamery

Jde o kamery, které se mohou otáčet ve vodorovném směru o 360° a ve svislém směru až o 180°. Kryt je půlkoule a můžeme buď manuálně, nebo u vyspělejších modelů dálkově, nastavit zaostření. Otáčení je realizováno buď přes počítač nebo klávesnici.

Do této skupiny spadají i High Speed Dome kamery. Tyto kamery jsou schopny se velmi rychle otáčet ve vodorovném směru o 360° a ve svislém směru o 100°. Dome kamery obecně mohou být vybaveny přisvitím, různými objektivy, a pokud jsou bezdrátové, i vlastním vysílačem a zdrojem.

Na Obrázku 11 je barevná kamera AVK016 jako zástupce dome kamer.



Obrázek 11 – Barevná dome kamera AVK016 [21]

2.3.7 Miniaturní kamery

Jedná se o kamery velmi malých rozměrů, které určují jejich použití. Tyto kamery se využívají např. pro skrytou montáž, či na montáž do malých štěrbin. Mohou se také využívat pro připevnění na modely, helmy, brýle apod.

Na Obrázku 12 vidíme miniaturní barevnou kameru s upevněním na brýle nebo na helmu.



Obrázek 12 – Miniaturní barevná kamera MO-R1615P [22]

2.3.8 Maskované kamery

Maskované kamery jsou určeny pro aplikace, kdy potřebujeme kameru umístit tak, aby byla nenápadná a nebyla vidět. Častým způsobem použití je např. umístění skryté kamery do pera, kukátka do dveří, či montáž do PIR detektorů.

Na Obrázku 13 vidíme barevnou kameru RYK-9109 v maketě PIR detektoru.



Obrázek 13 – Maskovaná kamera RYK-9109 v maketě PIR detektoru [23]

2.3.9 Antivandal kamery

Tyto kamery se vyznačují robustním provedením odolným proti silnému poškození kamery. Jsou navrženy do podmínek, kde takové riziko často hrozí.

Na Obrázku 14 vidíme dome kameru AVDIR-W40VAH v provedení antivandal, disponující vysokým rozlišením, IR LED přísvitem. Jak lze z obrázku vidět, kamera má mnohem robustnější konstrukci, než dome kamera na Obrázku 5.



Obrázek 14 – Dome kamera AVDIR-W40VAH v provedení antivandal s IR LED přísvitem [24]

2.3.10 Atrapy kamer

Poslední ze skupin, do kterých se kamery dělí podle konstrukčního provedení, jsou atrapy kamer. Tyto atrapy mají primárně psychologický účel, konkrétně odradit potenciálního zloděje jejich samotnou přítomností. Cena těchto atrapy je pochopitelně velmi nízká. Opticky jsou tyto kamery často k nerozeznání od skutečných kamer.

Na Obrázku 15 pak vidíme atrapu dome kamery s LED diodami pro přísvit, konkrétně se jedná o typ DM-IRCAM.



Obrázek 15 – Atrapa dome kamery s LED přísvitem, typ DM-IRCAM [25]

2.4 Dělení podle druhu kamer

V této kategorii se nacházejí dva druhy kamer, které se vzájemně liší přístupem k nim. Jde o kamery typu CCTV nebo o IP kamery.

2.4.1 CCTV analogové kamery

Zkratka CCTV pochází z anglického slovního spojení Closed Circuit Television, (uzavřený televizní okruh). Překlad tohoto názvu v podstatě popisuje, jak jsou tyto kamery zapojeny a jak pracují.

Základem takového televizního okruhu je analogová kamera, která snímá danou scénu. Ta je pak propojena jedním ze třech možných způsobů (metalické vedení, optický kabel, bezdrátové propojení) s monitorem, či jiným prvkem pracujícím se signálem z kamery. V takovémto okruhu se vyskytují často i další prvky, například prvky pro záznam, software pro zpracování záznamu, mikrofony, reproduktory apod.

Přenos pak probíhá jednou ze třech výše uvedených cest, z nichž každá má své specifické vlastnosti, které si v krátkosti uvedeme.

- Metallické vedení

Jedná se o propojení kamery s dalšími prvky pomocí vodičů. Využívají se tři druhy takových propojení – přenos pasivní koaxiální trasou, přenos koaxiální trasou s korekčním zesilovačem nebo přenos pomocí

symetrického vedení. Zde přenos probíhá pomocí elektrického proudu a jedná se o analogový přenos.

- Optické vlákno

Tento přenos se využívá tam, kde nelze z určitých důvodů (např. elektromagnetické rušení) uplatnit přenos po metalickém vedení. Optické vlákno je proti elektromagnetickému rušení zcela odolné, protože přenos signálu probíhá pomocí světla ve světlovodném vlákně. Signál nelze ale přenášet analogově, musí dojít k převodu signálu do digitální formy.

- Bezdrátové propojení

V tomto případě probíhá přenos signálu pomocí elektromagnetických vln o určité frekvenci, kterou vysílá vysílač a přijímač ji pak přijímá a vyhodnocuje. Přenos opět neprobíhá analogovou formou, ale digitální. Lze tedy připojit i více kamer na jeden přijímač bez nutnosti kabeláže. Instalace takového propojení je jednodušší než u metalického propojení.

2.4.2 IP kamery

Název IP kamery vychází z anglického názvu Internet Protocol camera. Z názvu je tedy jasné, že tyto typy kamer nejsou v uzavřených okruzích jako CCTV kamery, ale komunikují pomocí IP protokolu a jsou tedy přístupné ze všech míst s přístupem k internetu nebo k lokálním sítím. Jako příklad mohou posloužit webkamery umístěné ve městech pro pohled na náměstí apod. Jde tedy o kamery, které jsou obvykle veřejně přístupné z internetu.

IP kamery se rozdělují do dvou skupin podle toho, jak zvládají nahrávání a vyhlášení poplachů.

- Centralizované IP kamery, které potřebují centrální prvek NVR – Network Video Recorder (síťový videorekordér), který se stará o nahrávání a poplachy [26]
- Decentralizované IP kamery, které NVR nepotřebují a samy mohou nahrávat na různá datová úložiště, například SD karty, flash disky apod. [26]

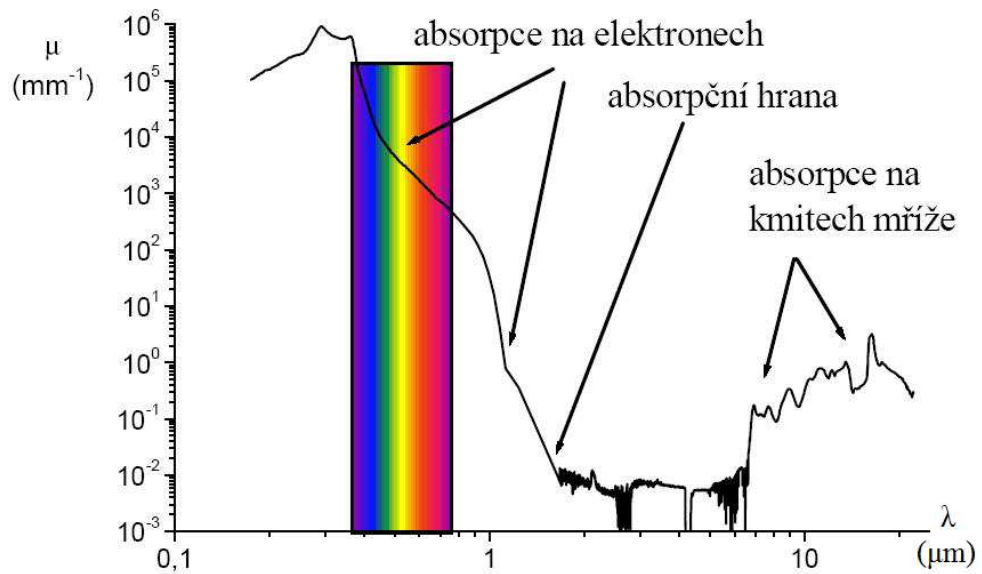
2.4.3 CCTV IP kamery

Zde se jedná o kombinaci předchozích bodů. Používají se sice IP kamery, ale přístup k nim (nebo k NVR serveru) není veřejný. Zobrazit obraz z nich lze pouze na určených počítačích v uzavřené síti. Jinak zůstává princip stejný jako u IP kamer, pouze jsou v systému s omezeným přístupem.

2.5 Princip detekce v infračervené oblasti s využitím kamer

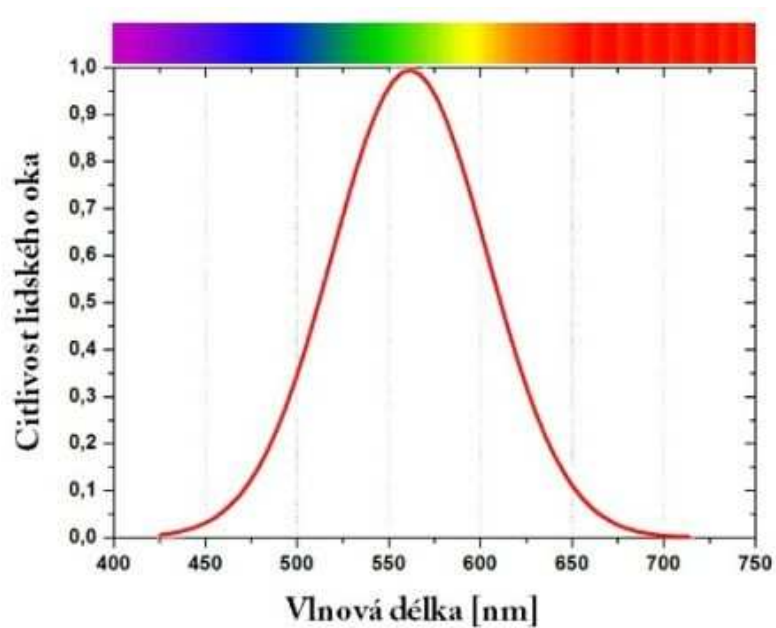
Základem schopností kamer a fotoaparátů snímat v daném spektru je jejich schopnost „vidět“. Tato vlastnost vychází z absorpce fotonu na snímající ploše. Princip je tedy podobný jako u lidského oka, kdy dopad a absorpce fotonu způsobuje rozpad chemických látek na sítnici. U CCD a CMOS čipů dochází k převodu absorbovaných fotonů na elektrické impulzy, z nichž se skládá obraz (viz. body 2.2.1 a 2.2.2). [27]

Na Obrázku 16 vidíme koeficient absorpce v křemíku, který hraje ve snímání CCD čipů a CMOS čipů významnou roli, protože se jedná se o integrované obvody vytvořené na monokrystalickém křemíku. Vodorovná osa grafu představuje vlnovou délku a je na ní vyznačena část viditelného spektra záření. Na svislé ose pak vidíme koeficient absorpce křemíku. Pokud se podíváme na průběh koeficientu absorpce, je vidět, že schopnost absorbovat záření (tedy vidět) se pohybuje a mění ve velkém rozsahu hodnot. Z grafu jde dále vidět, že křemíkový čip je citlivý jak v oblasti ultrafialového záření, tak i infračerveného záření, které hraje u přísvitů kamer a fotoaparátů klíčovou roli. [27]



Obrázek 16 – Graf koeficientu absorpce křemíku [27]

Pro porovnání přidávám graf citlivosti lidského oka, aby bylo jasné vidět, jak moc a jakým způsobem se liší citlivost lidského oka a koeficient absorpce křemíku.



Obrázek 17 – Graf citlivosti lidského oka [28]

Jak lze z grafu vidět, lidské oko má největší citlivost na záření vlnové délky kolem 550-575 nm. Vlnovou délku pod 425 nm již téměř nevidíme, stejně jako vlnovou délku nad 720 nm.

Abychom přiblížili vlastnosti křemíku co nejlíže vlastnostem lidského oka, využíváme různé barevné filtry, např. infračervený filtr pro odfiltrování infračerveného

záření, které by jinak mohlo obraz zkreslovat. Tyto filtry pak ale snižují citlivost daného snímacího prvku v příslušném spektru. Pokud si vezmeme např. běžnou černobílou kameru, její citlivost na infračervené záření je nejlepší a stejně tak je schopná přijímat i jiné záření jiných vlnových délek silněji. Je to způsobeno odstraněním filtrů a z toho vyplývajícího přímého vystavení čipů dopadajícím fotonům. V kamerách určených pro denní i noční snímání dnes často funguje systém, kdy kamera přes den snímá v barevném režimu, který poskytuje věrnější obraz snímané scény, a v noci přejde do černobílého režimu (např. odstraněním filtrů) a je schopna snímat obraz jasněji. Ve velké většině případů dnes taková kamera disponuje svým vlastním IR přísvitem, který se spíná na základě úrovně osvětlení okolí, které je vyhodnocováno expozimetrem.

Šíře přijímaného spektra je u čipů dána vždy již z výroby. Různé typy a formáty čipů mají různou citlivost pro dané vlnové délky. Graf citlivosti určitého čipu na dané vlnové délky lze najít přímo u výrobce, tyto grafy se však hůře hledají a v případě, že graf citlivost nemůžeme najít, musíme sami vyzkoušet citlivost dané kamery či fotoaparátu laboratorně, abychom zjistili, zda pro tuto kameru můžeme použít např. IR přísvit s určitou vlnovou délkou. Pokud bychom použili přísvit, který vyzařuje v oblasti NIR spektra, kde již snímací prvek nevidí, scéna by sice osvětlena byla, ale na obrazu se to neprojeví požadovaným způsobem, může navíc dojít ke zkreslení obrazu.

3 PŘÍSVITY BEZPEČNOSTNÍCH KAMER

Ve třetí části této bakalářské práce se zaměříme na přísvity využívané u bezpečnostních kamer a systémů. Z předchozích kapitol už víme, jak vzniká světlo, jakým způsobem ho vnímáme, jak se popisuje, a víme, jak fungují kamery a fotoaparáty, které světlo snímají, takže máme potřebné informace k tomu, abychom mohli pochopit, na jakém principu přísvity fungují. Přísvity se řadí k příslušenství bezpečnostních kamer CCTV, které upravuje norma ČSN EN 50132. Bohužel v současné době jsou z této normy téměř všechny části pouze rozpracovány, kromě části 50132-7 – Pokyny pro aplikaci. O přísvitech zde ale bohužel téměř nic není a samostatná norma pro přísvity zatím neexistuje.

3.1 Popis funkce přísvitu

Přísvit je světelný zdroj, který do prostoru vysílá světlo (ať už viditelné či IR světlo) pro osvětlení dané scény. Tato scéna je snímána kamerou (či fotoaparátem) a díky přísvitu dokáže kamera podat lepší obraz snímané scény. Bez přídavného přísvitu by kamera nedokázala některé věci na scéně vůbec zaznamenat nebo jen velmi slabě.

Přísvity se dnes vyrábí několika různými způsoby, z nichž některé jsou primárně určeny pro přísvity bezpečnostních kamer. Jiné přísvity mohou mít primárně jinou funkci, ale tato funkce je přenositelná i pro bezpečnostní kamery. Dobrým příkladem mohou být např. staveništní halogenové svítidla. Jedná se o vysoce výkonná světla, která se používají pro osvětlování staveb, stavenišť a stavebních ploch. Díky svému vysokému výkonu osvětlenou scénu výrazně zlepšují, což se týče obrazové kvality. Takovouto scénu pak můžeme snímat běžnou kamerou bez přísvitu a dostáváme kvalitní obrazový výstup (ten je ale závislý na více parametrech, jako např. citlivost kamery, výkon halogenového svítidla apod.) V tomto konkrétním případě je tedy přísvit externě mimo kameru. Mezi nejčastější technologie, které využívají přísvity dnes patří LED diody, halogenová světla, žárovky a lasery. Každá z těchto technologií má svá specifika (bude popsáno v bodech 3.2.1 - 3.2.4), díky kterým je můžeme vzájemně porovnat. Hlavní atributy, které nás budou zajímat, jsou cena a kvalita světla, která bude popsána více parametry (vlnová délka vyzařovaného světla, dosah, úhel vyzařování apod.).

Obecně se dá říct, že přísvity jsou dnes již běžnou záležitostí přímo integrovanou do bezpečnostních kamer díky cenové dostupnosti. Jak již bylo ale už dříve řečeno, pokud

máme kameru, která přísvitem nedisponuje, není problém přísvit realizovat externě nebo se stávajícím osvětlovacím systémem snímaného prostoru. Klíčovou vlastností každého obrazového výstupu je osvětlenost snímané scény a právě přísvity mají za úkol tuto vlastnost zajistit.

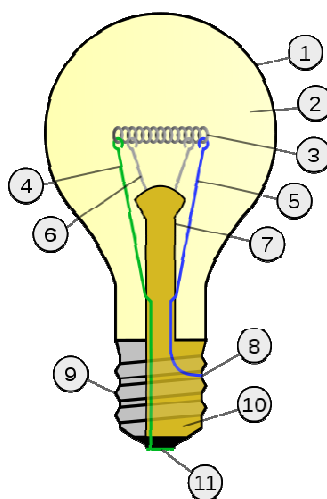
3.2 Světelné zdroje pro přísvity a jejich technologie

V této kapitole si uvedeme, jaké druhy přísvitů dnes můžeme běžně zakoupit a na jakých technologiích pracují. V tomto výčtu budou obsaženy technologie žárovkových přísvitů, halogenových světel, LED diod a laseru.

3.2.1 Žárovkové přísvity

Jedná se o nejméně používané přísvity, co se týče jejich využitelnosti u kamer. Přesto se s nimi můžeme setkat často v podobě běžných světel, které daný prostor osvětlují. Princip žárovky je jednoduchý a bude popsán v dalším odstavci. Žárovek existuje několik druhů, např. běžné žárovky, které známe z běžných svítidel, a infražárovky, které mají na baňce nanesený filtr, který pak propouští infrazářením. Tyto infražárovky se používají např. v chovatelství a v lékařství, vidět ji můžeme na Obrázku 19.

Princip žárovky vychází ze zhavení wolframového vlákna uvnitř skleněné baňky s vakuem nebo s nízkotlakým inertním plynem. Na Obrázku 18 vidíme přesný popis žárovky.



Obrázek 18 – Popis žárovky [29]

Základem je skleněná baňka (1), která je naplněna buď nízkotlakým inertním plynem nebo vakuem (2). V této baňce je pak wolframové vlákno (3), do kterého je přiváděn proud pomocí kontaktních vláken (4,5,8). Wolframové vlákno je podepřeno pomocnou konstrukcí tvořenou podpůrným vláknem (6) a držákem (7). Baňka je pak ukončena závitem pro objímku (9), na kterém se nachází izolace (10) a kontakt fáze (11). Procházející proud rozžhává wolframové vlákno, které pak emituje světlo. Běžná žárovka emituje světlo v širokém spektru vlnových délek včetně infrazářen. [29]

Výhody žárovek:

- Jas žárovky lze plynule regulovat
- Levná výroba
- Ekologicky nezávadné
- Neemitují škodlivé záření
- Vyzařují spojité spektrum světla, podobně jako Slunce [29]

Nevýhody žárovek:

- Nízká energetická účinnost (na viditelné světlo se přemění cca 4% energie, zbytek se vyzařuje v podobě tepla)
- Krátká životnost provozu [29]



Obrázek 19 – Infražárovka 100W [30]

3.2.2 Halogenové žárovky

Jedná se o zvláštní druh žárovky, která při žhavení dosahuje vyšších teplot žhaveného vlákna díky příměsi sloučeniny halového prvku uvnitř baňky žárovky. Vyšší

teplota žhaveného vlákna způsobuje, že světlo má větší světelnou účinnost a bělejší světlo, často také vyšší životnost. Kvůli vyšší teplotě žhavení zároveň musíme na baňku použít speciální křemenné sklo, které dokáže vyšší teplotu snášet (min. 250 °C). Křemenné sklo ale, na rozdíl od běžného skla, propouští i ultrafialové záření. Při delším působení halogenového světla na člověka by lidé s citlivějším zrakem mohli mít problémy. Proto se do křemenných skel přidává oxid ceričitý nebo titaničitý, který ultrafialové záření již nepropouští. [31]

Princip je v zásadě stejný jako u běžné žárovky s tím rozdílem, že v ochranné atmosféře baňky je přidána sloučenina halového prvku, jak již bylo psáno výše. V žárovce pak probíhá „halogenový cyklus“, kdy se při vysoké teplotě, kdy se vypařuje wolfram z vlákna pak se slučuje s prvkem jako je brom a znovu rozpadá. Wolframové páry v blízkosti vlákna pak snižují vypařování wolframu z vlákna. Tím se tedy dosahuje delší životnosti a vyššího světelného toku. Křemenná skla jsou dále citlivá na styk s nechráněnou kůží vylučující pot. Ten pak při provozních teplotách žárovky narušuje strukturu skla a může dojít k prasknutí. Očištění technickým lihem však tyto poty odstraňuje. [31]

Výhody halogenových žárovek:

- Větší světelná účinnost a životnost než u běžných žárovek

Nevýhody halogenových žárovek:

- Velká energetická spotřeba u větších světel
- Vyšší provozní teplota



Obrázek 20 – Halogenová žárovka v provozu [31]

3.2.3 LED diody

Název LED pochází z anglického Light Emitting Diode (dioda emitující světlo). Jde o elektronickou polovodičovou součástku s P-N přechodem, která dokáže vyzařovat světlo. Dioda má pouze jeden propustný směr (narozdíl od žárovek), ve kterém svítí. Tento směr je směrem od katody k anodě (od + k -). Druhý směr je nepropustný. LED diody pracují s malými hodnotami proudu a napětí, díky čemuž se často využívají v různých aplikacích, např. displeje, či osvětlování. Vyrábí se také v několika různých provedeních, např. kulové v průměru 5 mm, 3 mm, či v SMD provedení pro plošnou montáž. [32]

Svícení LED diody je založeno na jevu zvaném elektroluminiscence, kdy se využívá toho, že pokud prochází proud přes určitý materiál (luminofor), dochází ke změně elektrické energie na světlo. Pokud přiložíme napětí v propustném směru diody, dojde k injekci minoritních nosičů přes PN přechod. Po určité vzdálenosti se pak nosiče rekombinují s nosiči opačného znaménka a tím se uvolní energie ve formě fotonů. V jakém spektru vlnových délek LED dioda září, je odvislé od použitého materiálu, konkrétně od chemického složení polovodiče a od rozdílu energií nosičů před a po rekombinaci. LED diody obvykle vyzařují v úzkém spektru (dáno použitým materiálem) a jejich světlo je nekoherentní. Dnes existují LED diody, které dokáží vyzařovat od ultrafialového světla, přes viditelné světlo až po infračervené světlo. Základní monokrystal je u diod překryt vrstvou epoxidové pryskyřice nebo akrylového polyesteru, viz. Obrázek 21. [32]

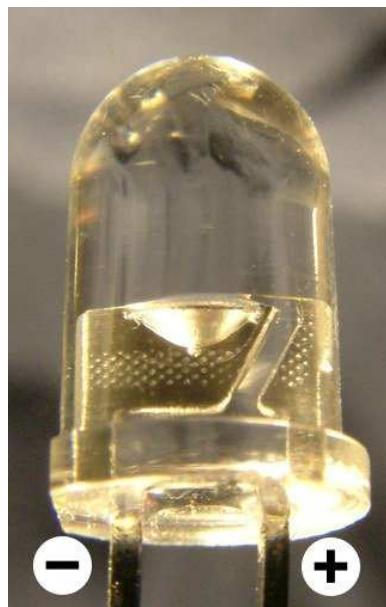
Výhody LED diod:

- Více světla na Watt než u žárovek
- Barva světla bez použití filtrů
- Konstrukční uzpůsobení pro směrování světla
- Odolné proti nárazům
- Extrémně dlouhá životnost (mezi 100 000 a 1 000 000 hodin)
- Velmi levné a malé [30]

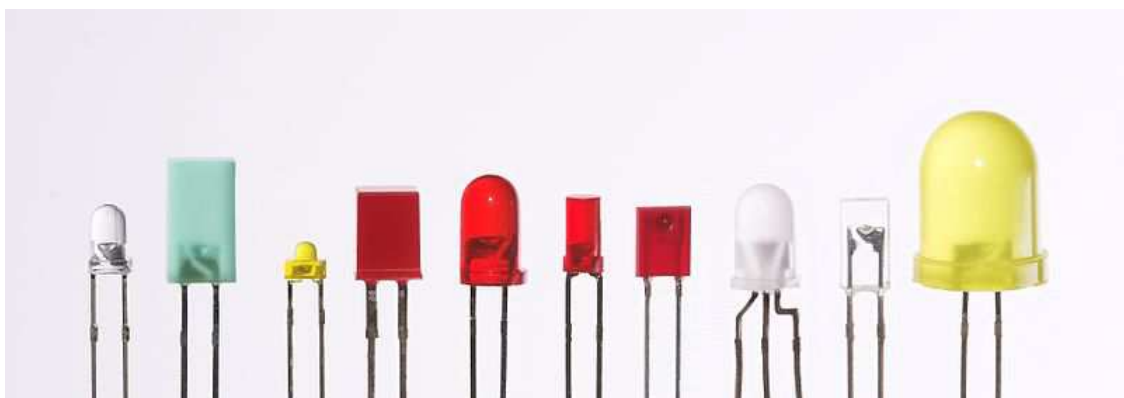
Nevýhody LED diod:

- Jedna dioda září slabě a pro osvětlení je jich potřeba více
- Nutnost napájení správným proudem
- Výkonnost závislá na teplotě okolního prostředí

Na Obrázku 21 vidíme pohled na LED diodu s průhledným pouzdrem, kde je plusem označena katoda a mínusem anoda. Obrázek 22 ukazuje různé provedení LED diod.



Obrázek 21 – Průhledná LED dioda [32]



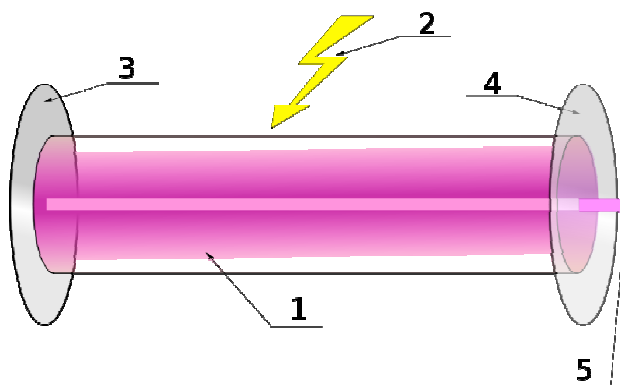
Obrázek 22 – Různé provedení LED diod [32]

3.2.4 Laserové přístroje

Název Laser je odvozen z anglického plného názvu Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, což v překladu znamená „zesilování světla stimulovanou emisí záření“. Princip vychází ze zákonů kvantové mechaniky a termodynamiky. Laser poprvé popsal Albert Einstein v roce 1917, ale první konstrukce proběhla až v roce 1960. [33]

Lasery jsou zdrojem „nejkvalitnějšího světla“, protože laserové světlo je na rozdíl od jiných světél koherentní a monochromatické (záření pouze jedné barvy). Tyto vlastnosti pak nabízí možnost uplatnění v různých aplikacích, od laserů pro výzkum, přes stomatologii a oční operace, až po řezání různých materiálů. [33]

Laser obsahuje čtyři základní prvky – aktivní prostředí (1), zdroj energie (2) a rezonátory (3,4). Na Obrázku 23 můžeme vidět rozkreslení těchto prvků. [33]



Obrázek 23 – Laser a jeho součásti [33]

Zdrojem energie se do aktivního prostředí (např. plyn, monokrystal) dodává energie, která vybudí elektrony přítomné v aktivním prostředí do vyšší energetické hladiny. Tento jev se nazývá „excitace“. Tímto způsobem se vybudí převážná většina elektronů v aktivním prostředí a nastává stav „inverze populace“. Elektron vybuděný na vyšší energetickou hladinu pak sestupuje zpět do základní energetické hladiny a při tomto sestupu vyzáří energii ve formě fotonů (tzv. „emise fotonů“). Vyzářené fotony pak vzájemně reagují s dalšími elektrony inverzní populace a tím se spouští tzv. stimulovaná emise fotonů. Tyto vyzářené fotony mají stejnou frekvenci a fázi. [33]

Rezonátory, které jsou umístěny na koncích aktivního prostředí, mohou být realizovány např. pomocí zrcadel. Tyto zrcadla pak odráží fotony zpět do aktivního

prostředí, kde opět podporují stimulovanou emisi fotonů, čímž se tok fotonů exponenciálně zesiluje. Jedno ze zrcadel rezonátoru je polopropustné a výsledný světelný paprsek vychází z těla laseru právě přes toto zrcadlo. [33]

Výhody laseru:

- Velké spektrum využití (medicína, řezání, vrtání, svařování, značkování, laser ve vojenství, laserové ukazovátko atd.)
- Nejúčinnější zdroj „nejkvalitnějšího světla“
- Vysoká výkonnost

Nevýhody laseru:

- Velká spotřeba energie
- Vysoká cena
- Potenciální nebezpečí pro oči



Obrázek 24 – Laser v laboratoři [34]

3.3 Vytyčení klíčových vlastností přísvitů pro bezpečnostní kamery

Posledním bodem teorie, který si uvedeme před praktickou částí, je určení klíčových vlastností přísvitů pro bezpečnostní kamery. S těmito vlastnostmi pak budeme později pracovat v praktické části. Níže uvedené vlastnosti jsou často uváděny jako technické parametry přísvitů ve většině obchodů.

V praktické části budeme tyto vlastnosti zkoumat a prověříme kamery pomocí přísvitů a přísvitů pomocí kamer.

3.3.1 Vlnová délka emitovaného světla

První klíčovou vlastností je vlnová délka emitovaného světla. Tato vlastnost je důležitá, neboť zejména IR přísvitů by měly používat takovou vlnovou délku, aby ji člověk nebyl schopný vidět. Stejně dobře nám ale znalost spektra emitovaných vlnových délek poslouží i u např. halogenového přísvitů. Na grafu vlnových délek pak budeme moci určit, v jakém rozmezí halogenové světlo vyzařuje, která vlnová délka je pro bezpečnostní kamery ještě užitečná a která již ne. Zároveň se nám ověření vlnové délky bude hodit v další klíčové vlastnosti, kterou je citlivost kamer v oblasti emitovaného světla přísvitů.

3.3.2 Dosah světla

Dosah světla je závislý na výkonu světla a obecně platí, že čím silnější zdroj záření, tím větší dosah. Pro zobrazení na kameře je důležité, aby kamera do nejzazšího místa dosahu ještě „viděla“. Dosah světla vyplývá z jeho svítivosti v hlavním směru. Měření této vlastnosti je společně s úhlem vyzařování předmětem normy ČSN EN 61341 – Metoda měření svítivosti v hlavním směru vyzařování a vyzařovacího úhlu(ů) u reflektorových světelných zdrojů. Měření podle této normy je ale náročnější na vybavení (např. fotometrická deska apod.) a takovéto vybavení jsem k dispozici neměl. Proto jsem všechny uvedené klíčové vlastnosti měřil způsoby, které jsou na techniku méně náročné a ačkoliv nejsou tak přesné jako metody v uvedené normě, pro běžné ověřování v praxi jsou použitelné a můžeme pomocí nich přísvitů v klíčových vlastnostech spolehlivě ověřit.

3.3.3 Úhel vyzařování

Jedná se o další důležitou vlastnost světelného zdroje a určuje úhel, v jehož šířce zdroj záření bude emitovat světlo do prostor. Při nasazení přísvisvu do praxe nás pak zajímá, jakým způsobem je světlo do prostoru snímaného kamerami vyzařováno a podle dosahu a úhlu vyzařování pak volíme optimální umístění přísvisvu.

3.3.4 Citlivost kamery na danou vlnovou délku

Zde se již nejedná přímo o vlastnost přísvisvu, ale o vlastnost kamery. Přesto má na výsledný obraz výrazný vliv. Pokud bychom například osvětlovali danou scénu světlem z oblasti IR záření, které již kamera není schopna zaznamenat, na výsledném obraze by se toto osvětlení nijak neprojevilo. Tato vlastnost při nasazení přísvisvů tedy hraje také významnou roli, a proto bude v praktické části proměřena.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

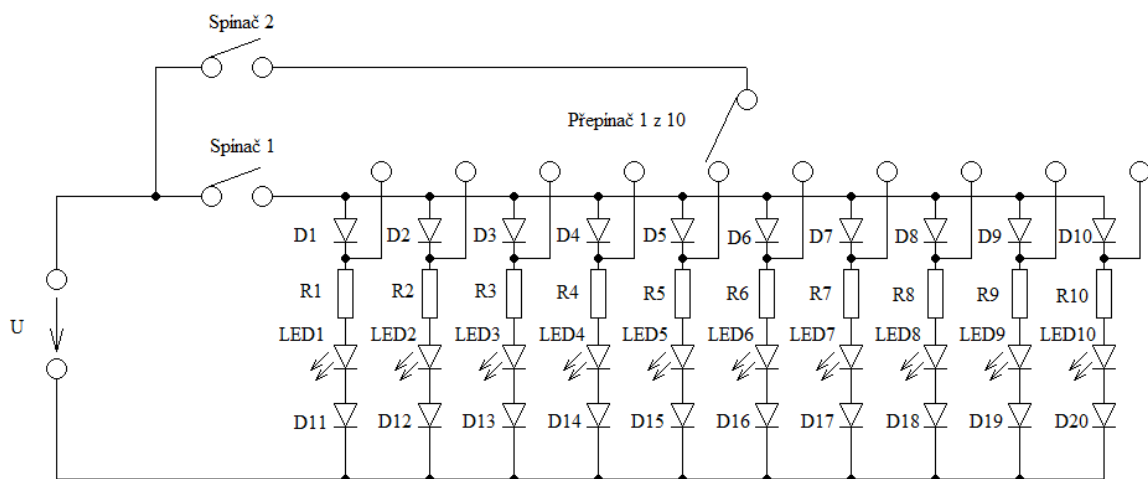
4 MĚŘENÍ CITLIVOSTI KAMERY NA VLNOVOU DÉLKU

V této praktické části bakalářské práce jsem se zaměřil na problematiku měření citlivosti kamer na odpovídající vlnovou délku. Princip měření je jednoduchý a spočívá ve snímání světla určité vlnové délky a vyhodnocení obrazových kvalit výstupu. Tato metoda se může uplatnit při ověřování citlivosti kamery bez přísvitů na přísvit určité vlnové délky bez toho, abychom znali spektrum snímaných vlnových délek dané kamery. Jak bylo již dříve zmíněno, u výrobců snímacího čipu kamery lze toto spektrum najít v podobě grafu citlivosti, ale obvykle se špatně hledá a nebývá uvedeno u parametrů kamery.

Základní myšlenkou pro měření citlivosti bylo vytvoření zkušebního obvodu s LED diodami emitující různé vlnové délky. LED diody byly jasnou volbou díky jejich úzkému spektru vyzařované vlnové délky a cenové dostupnosti. Zkušební obvod by měl představovat matici diod, která by umožnila spínání zapojených diod samostatně nebo všech najednou. Bylo tedy zapotřebí takový obvod navrhnout a vyrobit.

4.1 Návrh a stavba obvodu pro měření citlivosti kamer v oblasti NIR

Podle výše vytyčených klíčových vlastností obvodu jsme s vedoucím práce, panem ing. Rudolfem Drgou, navrhli jednoduchý obvod pro spínání NIR diod. Schéma tohoto obvodu je na Obrázku 25.



Obrázek 25 – Schéma navrženého obvodu pro měření citlivosti kamer v oblasti NIR

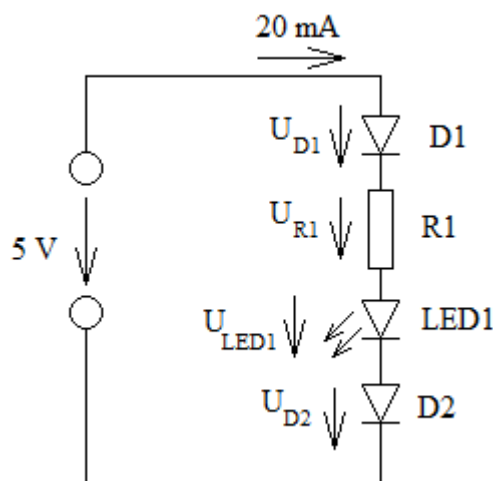
Obvod se skládá z několika základních součástí. Energií obvodu dodává zdroj napětí. Proud pak prochází buď sepnutým spínačem 1, kdy se rozsvítí všechny zapojené

diody, nebo spínačem 2. Tento spínač pak dále proud propustí do spínače 1 z 10, který podle navolené hodnoty rozsvítí diodu na požadované pozici. V případě, že jsou sepnuty oba spínače, svítí všechny diody. Obvod je dále doplněn dvaceti usměrňovacími diodami. Každá větev s diodami se skládá z ochranné diody, odporu, samotné IR LED diody a ochranné diody.

V dalším kroku bylo nutné najít vhodné součástky pro postavení obvodu. K dispozici jsem měl 17 LED diod (některé ještě ve viditelné oblasti spektra, některé již v oblasti NIR) a jejich datasheety. Z údajů v datasheetech jsem vycházel při výpočtech pro zvolení odporů a odpovídajících diod.

4.1.1 Výpočty prvků pro obvod

Podle informací v datasheetech jsem si obvod rozdělil na dvě části. První část byly větve s diodami 1 – 7 a druhá část větve 8 – 10. V první části obvodu se nacházejí diody, které mají společný parametr $I_F = 50 \text{ mA}$ (proud v propustném směru), ve druhé části obvodu jsou diody se společným parametrem $I_F = 100 \text{ mA}$, což je maximální stálý proud. V datasheetech byla uvedena informace, že diody ve větvích 1 – 7 mají při stálém proudu $I_F = 20 \text{ mA}$ napětí $U_F = 2,3 \text{ V}$. Diody ve větvích 8 – 10 mají při stálém proudu $I_F = 20 \text{ mA}$ napětí $U_F = 1,8 \text{ V}$. Napětí zdroje jsem zvolil 5 V . Napětí usměrňovacích diod 1N4148 v propustném směru bylo podle jejich datasheetů $U_F = 0,7 \text{ V}$. Pomocí zjednodušeného schématu na Obrázku 26 jsem pak mohl vypočítat vhodnou velikost odporu. Na paralelních větvích je všude stejné napětí a proud procházející větvemi 1-7 je stejný, u větví 8-10 je proud také stejný.



Obrázek 26 – Zjednodušený obvod pro výpočet odporů pro větve 1-7

Příklad výpočtu odporu pro větve 1-7:

$$I = 20 \text{ mA}$$

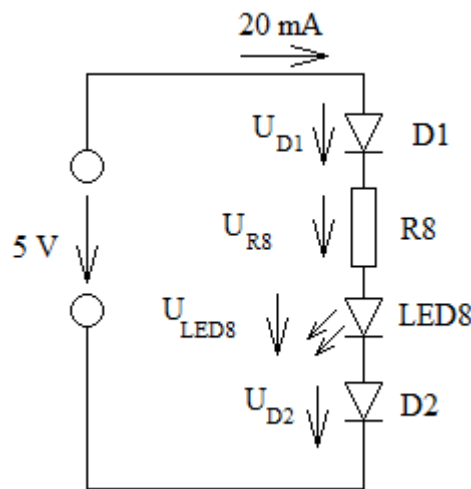
$$U_{D1} = U_{D2} = 0,7 \text{ V}$$

$$U_{LED1} = 2,3 \text{ V}$$

$$U_Z = 5 \text{ V}$$

$$R_1 = \frac{U_Z - U_{D1} - U_{D2} - U_{LED1}}{I} = \frac{5 - 0,7 - 0,7 - 2,3}{20 \cdot 10^{-3}} = \frac{1,3}{20 \cdot 10^{-3}} = 65 \Omega$$

Stejným způsobem jsem pak postupoval při výpočtu odporu pro větve 8-10.



Obrázek 27 – Zjednodušený obvod pro výpočet odporů pro větve 8-10

Příklad výpočtu odporu pro větve 8-10:

$$I = 20 \text{ mA}$$

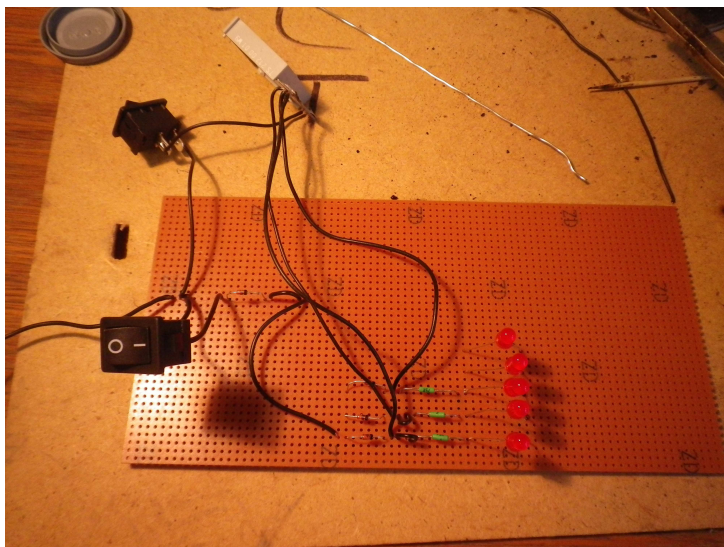
$$U_{D1} = U_{D2} = 0,7 \text{ V}$$

$$U_{LED8} = 1,8 \text{ V}$$

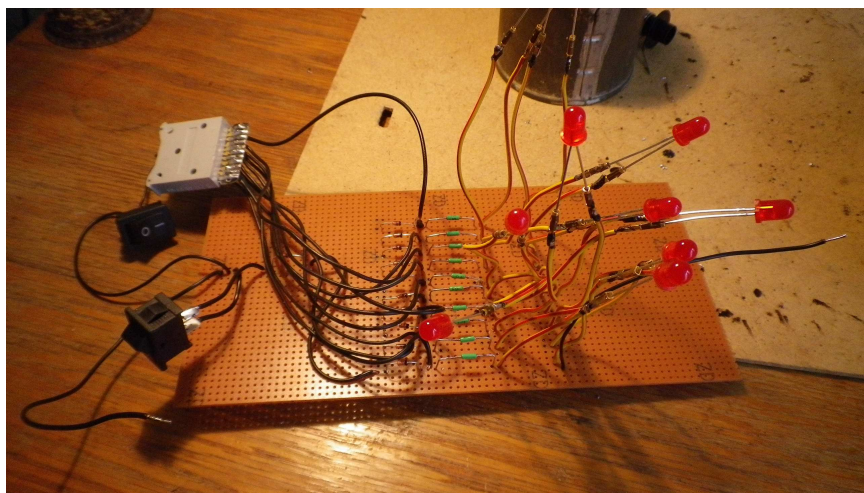
$$U_Z = 5 \text{ V}$$

$$R_8 = \frac{U_Z - U_{D1} - U_{D2} - U_{LED8}}{I} = \frac{5 - 0,7 - 0,7 - 1,8}{20 \cdot 10^{-3}} = \frac{1,8}{20 \cdot 10^{-3}} = 90 \Omega$$

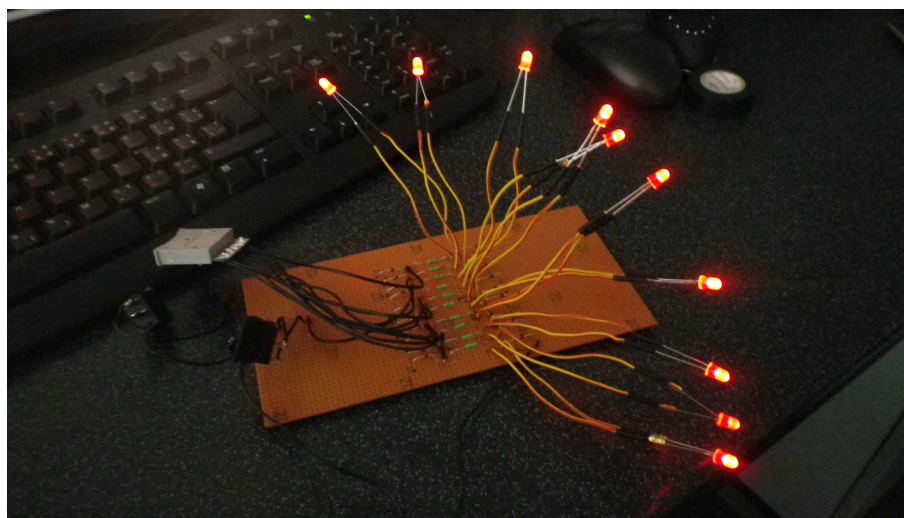
Dále jsem vybral dva kolébkové spínače jako spínače 1 a 2. Nyní jsem měl všechny součástky a mohl začít stavět obvod. Jako základ mi posloužila zkušební deska s předvrtanými otvory pro zapájení součástek. Na Obrázcích 28 a 29 jsou fotografie ze stavby obvodu, na Obrázku 30 je již obvod sestavený a plně funkční, konkrétně je zachycen stav, kdy je sepnutý spínač 1 a svítí všechny diody (pro demonstraci jsou připojeny obyčejné červeně svítící diody). Obvod jsem ještě v místě připojení diod doplnil vodiči s piny proto, aby se diody mohly vyměňovat podle aktuální potřeby.



Obrázek 28 – Stavba obvodu pro měření citlivosti kamer 1



Obrázek 29 - Stavba obvodu pro měření citlivosti kamer 2



Obrázek 30 – Plně funkční obvod pro měření citlivosti kamer

4.2 Ověření jmenovitých vyzařovaných vlnových délek IR LED diod

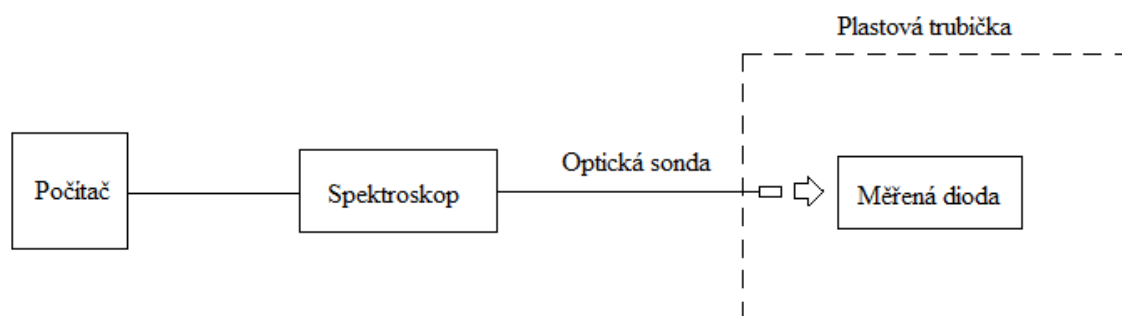
Jak jsem psal již výše, k dispozici jsem měl 17 LED diod. Jmenovitě se jednalo o diody těchto vlnových délek: 670, 680, 690, 700, 720, 724, 730, 740, 750, 770, 780, 790, 800, 810, 820, 840 a 850 nm. Z uvedeného lze vidět, že některé diody emitují světlo ještě v oblasti viditelného záření a postupně přecházejí do oblasti NIR, tedy neviditelného infračerveného záření.

Rozhodl jsem se otestovat, jaké záření, kromě své jmenovité vlnové délky, diody vyzařují. Navrhnul jsem tedy zapojení, kdy jsem využil spektroskop s optickou sondou a ověřoval jsem emitované záření. Spektroskop s optickou sondou jsem propojil s počítačem vybaveným softwarem pro spektroskop Logger Pro 3.8.2, s pomocí kterého jsem pak vyhodnocoval výsledky.

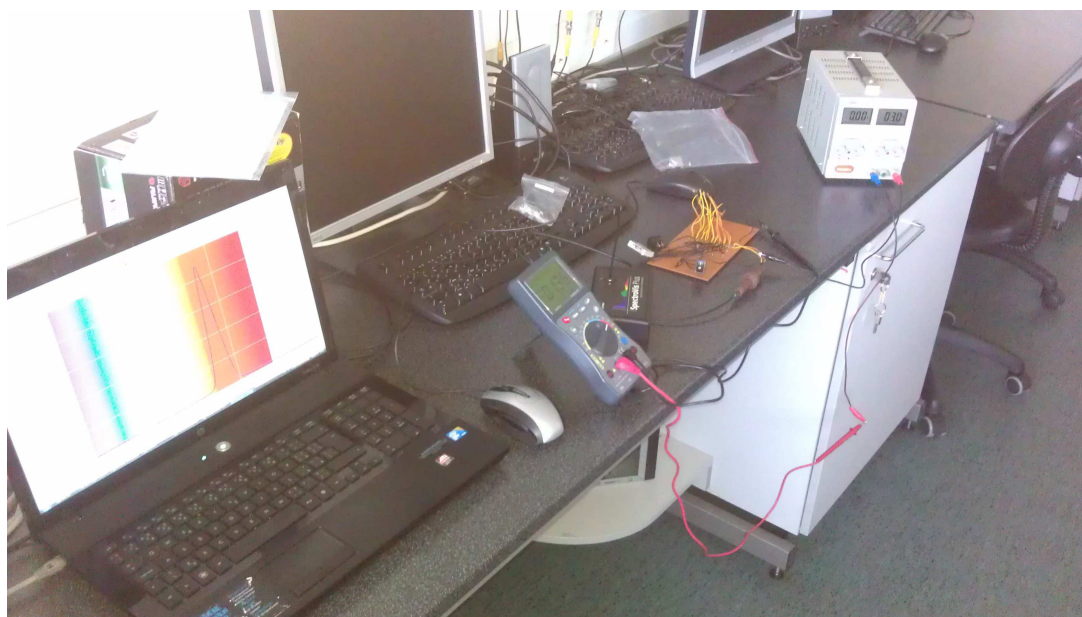
Pomůcky pro měření:

- Spektroskop Vernier SpectroVis Plus
- Optická sonda Vernier SpectroVis Optical Fibre
- Systém Logger Pro 3.8.2
- Multimetr METEX M-3890D USB
- Laboratorní zdroj V&A DC POWER SUPPLY HY3003D
- Plastová trubička
- Sestavený obvod s IR LED diodami

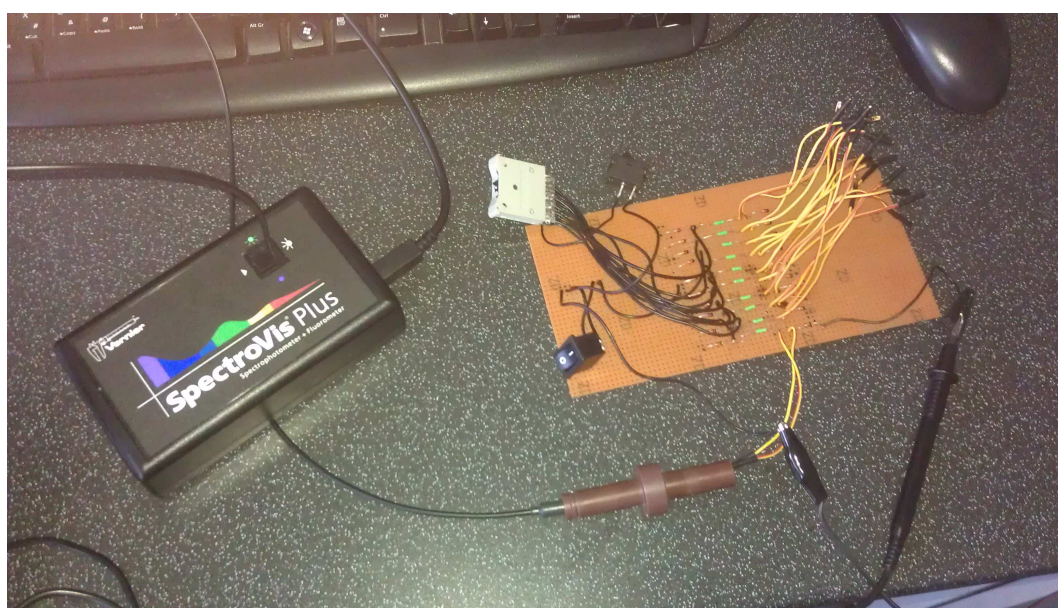
Na Obrázku 31 vidíme blokové schéma zapojení pro toto měření. Na Obrázku 32 pak vidíme fotografii zapojeného obvodu pro ověřování emitovaného záření diodami. energii do obvodu dodává laboratorní zdroj, za něj je připojen multimetr, který zde plní funkci ampérmetru pro kontrolu procházejícího proudu. Pak je připojen sestavený obvod, který má vždy zapojenou pouze jednu zkoumanou diodu. Ta se pak nachází v plastové trubičce (lze lépe vidět na Obrázku 33), kam je nasměrována i optická sonda. Plastová trubička má za úkol minimalizovat světelný šum z okolí. Sonda poté posílá světlo z diody do spektroskopu, který je připojen k počítači, kde se zobrazují naměřené hodnoty.



Obrázek 31 – Blokové schéma zapojení pro ověřování vlnových délek diod



Obrázek 32 – Zapojení obvodu pro ověřování záření LED diod



Obrázek 33 – Detail měřícího pracoviště pro ověřování záření LED diod

V Tabulce 3 pak vidíme výsledky naměřených hodnot. Změřené grafy jsou v Příloze P I. Během měření jsem měřil několik hodnot, vyhodnoceny ale byly všechny v jednom druhu grafu, kde na ose X byla vlnová délka v nm a na ose Y byla intenzita vyzařování světla v jednotkách rel. Během měření jsem zjistil, že pokud se do optické sondy pustí příliš silné záření, změřené křivky se zesílí a dostanou se nad rozsah měřitelné intenzity, čímž mizí možnost určení místa skutečné jmenovité vyzařované vlnové délky. Intenzitu je tedy nutno operativně upravovat tak, aby k tomuto přebuzení nedošlo. Úprava probíhá pomocí regulace napětí a proudu na laboratorním zdroji. Velikost intenzity v naměřených tabulkách je tedy relativní, ale vždy jsem se snažil nastavit proud a napětí tak, aby se špička grafu blížila co nejblíže k hodnotě intenzity 1 rel. S ohledem na tuto skutečnost můžeme měřit, pouze je nutno stanovit si úroveň světelného šumu, abychom mohli oddělit běžný šum od přijímaného signálu, protože ani v malé plastové trubičce, kde probíhalo měření, není zcela bezšumové prostředí.

První hodnotou, kterou jsem měřil, byla maximální hodnota intenzity. Platí, že vlnová délka s nejvyšší intenzitou je místem nejsilnějšího vyzařování diody a tedy jeho skutečnou jmenovitou vlnovou délkou emitovaného záření. Jak jsem psal již dříve, po připojení diody do plastové trubičky jsem reguloval napětí a proud tak, aby nedošlo k přebuzení a k ořezání grafu přijímaného světla. Maximální hodnotě intenzity pak odpovídala určitá vlnová délka, která značila skutečnou jmenovitou vlnovou délku emitovaného záření.

Další hodnotou, kterou jsem měřil, bylo rozpětí emitovaných vlnových délek diodou. Důležitým momentem při tomto měření bylo určení hladiny běžného šumu v plastové trubičce. To jsem provedl tak, že jsem v plastové trubičce vypnul záření diody a měřil maximální hladinu šumu na grafu. Z měření vyplynulo, že maximální hladina světelného šumu je do 0,040 rel. S tímto poznatkem jsem mohl začít určovat šíři emitovaného spektra diody. Všechny hodnoty na 0,040 rel pak tedy znamenaly, že dioda v těchto bodech září. Graf vyzařování diod, jak lze vidět na grafech v Příloze PI, má vždy tvar špičky. Určil jsem si tedy místo v grafu, kde dioda poprvé dosáhla intenzity vyšší, než je hladina šumu, přiřadil jí vlnovou délku a totéž jsem udělal pro poslední místo požadované intenzity. Získal jsem tedy dvě hodnoty (vlnová délka pro $I_{1\min}$ a vlnová délka pro $I_{2\min}$) a mohl jsem určit šíři vyzařovaného pásma diodou. Ta je v Tabulce 3 vypočítána ve sloupci Rozpětí vyzařovaných vlnových délek. Rozpětí jsem stanovil podle

vzorce: $R = I_{2MIN} - I_{1MIN}$.

V posledních dvou sloupcích je vypočítána odchylka skutečné vyzařované jmenovité vlnové délky a od jmenovitých vlnových délek uvedených v datasheetech. Sloupce se liší pouze ve vyjádření odchylky, v prvním sloupci je odchylka v nm, určuje tedy posun na grafu oproti jmenovité hodnotě, a ve druhém sloupci je odchylka vypočítána

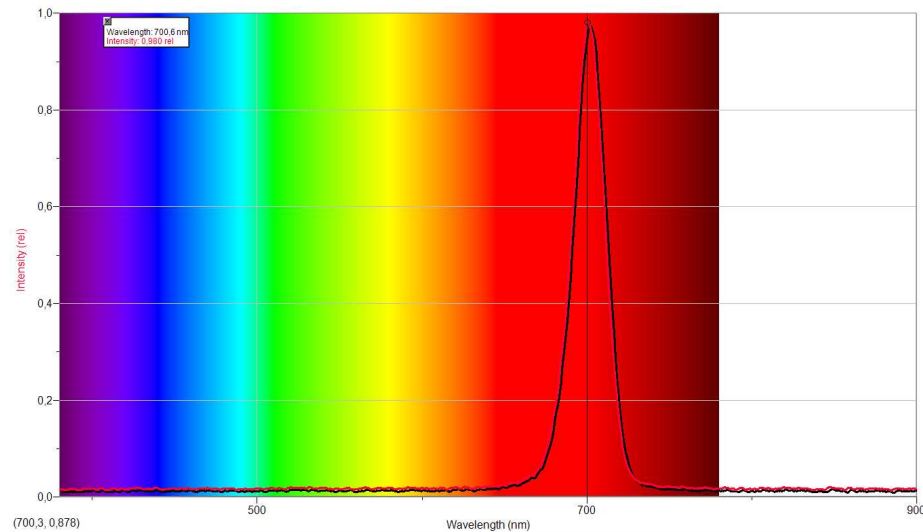
v procentech podle následujícího vztahu: $Odchylka = \frac{|Odchylka \text{ v nm} \cdot 100|}{|Jmenovitá \text{ vln.délka}|} [\%]$

Toto měření sloužilo pro ověření, zda udávané jmenovité vlnové délky odpovídají skutečnému vyzařování diod. Z výsledků vidíme, že odchylky skutečných maximálních hodnot se pohybovaly do 1 % jmenovité vlnové délky a diody tedy můžeme použít pro měření citlivosti kamer.

Pozice	Jmenovitá vln. délka: [nm]	Max. vln. délka: [nm]	Max. intenzita : [rel]	Vln. délka pro I_{min1} : [nm]	Vln.délka pro I_{min2} : [nm]	Rozpětí vyzařovaných vln. délek [nm]:	Odchylka od jmenovité hodnoty: [nm]	Odchylka od jmenovité hodnoty: [%]
1	670,00	668,50	0,89	654,40	699,10	44,70	-1,50	0,22
2	680,00	677,70	0,94	644,00	706,80	62,80	-2,30	0,34
3	690,00	695,30	0,97	655,90	724,20	68,30	5,30	0,77
4	700,00	700,60	0,98	664,00	728,20	64,20	0,60	0,09
5	720,00	717,10	0,98	683,00	747,20	64,20	-2,90	0,40
6	724,00	724,20	0,95	686,90	758,30	71,40	0,20	0,03
7	730,00	729,00	0,99	688,40	764,70	76,30	-1,00	0,14
8	740,00	742,50	0,97	694,50	777,40	82,90	2,50	0,34
9	750,00	756,00	0,94	709,10	786,90	77,80	6,00	0,80
10	770,00	772,60	0,94	734,50	806,00	71,50	2,60	0,34
11	780,00	786,90	0,98	748,80	822,60	73,80	6,90	0,88
12	790,00	795,60	0,97	754,40	833,00	78,60	5,60	0,71
13	800,00	796,40	0,96	756,00	833,90	77,90	-3,60	0,45
14	810,00	811,50	0,98	763,10	854,40	91,30	1,50	0,19
15	820,00	820,20	0,97	770,20	862,50	92,30	0,20	0,02
16	840,00	840,10	0,96	792,50	885,50	93,00	0,10	0,01
17	850,00	845,50	0,98	795,60	892,60	97,00	-4,50	0,53

Tabulka 3 – Naměřené výsledky ověřování záření LED diod

Na Obrázku 34 vidíme vzorový naměřený graf pro diodu s vlnovou délkou 700 nm. Jak lze vidět v Příloze P I, všechny měřené diody dosahovaly tvarově přibližně stejného grafu, který se ale liší posunutím na ose x – vlnová délka [nm]. Z grafu můžeme vidět rozpětí vyzařovaných vlnových délek diodou a vidíme také vlnovou délku s maximální intenzitou (špička grafu).



Obrázek 34 – Vzorový graf naměřené vlnové délky diody $\lambda = 700 \text{ nm}$

4.3 Měření citlivosti kamer na vlnovou délku pomocí sestaveného obvodu

V předchozích částech praktické práce jsem realizoval obvod pro měření citlivosti kamer na určitou vlnovou délku a ověřil jsem vlnovou délku vyzařovanou LED diodami, takže jsem se mohl pustit do měření citlivosti kamer.

Základní myšlenkou pro měření citlivosti kamer bylo využití sestaveného obvodu, do kterého by bylo nasazeno 10 LED diod s různými vlnovými délkami, sahajícími od červeného světla až do oblasti infrazáření. Využil jsem čtyři kamery, které byly všechny namířené na diody nasazené do kousku polystyrenu vzestupně podle vlnové délky a postupně je spínal jednu po druhé a pak pro srovnání všechny najednou. Podle toho jak pak vypadá výsledný obraz kamery při zabírání určité vlnové délky můžeme zjistit, zda je kamera v této části spektra ještě citlivá a může tedy využít přísvit dané vlnové délky.

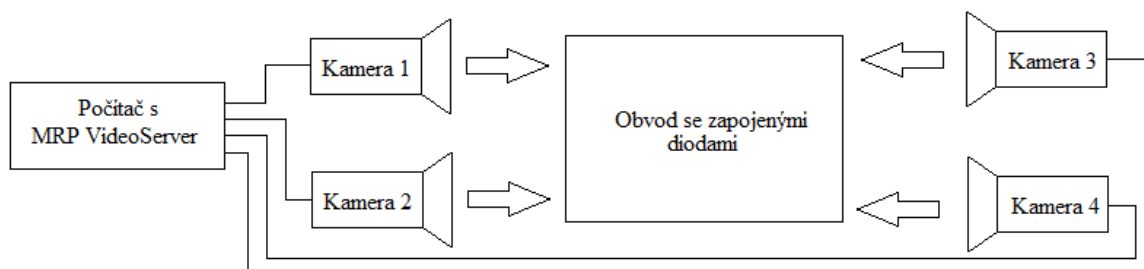
Použité – měřené kamery (fotografie kamer jsou na Obrázku 33):

- Černobílá dome kamera s 1/3“ CCD čipem
- Barevná „doutníčková“ kamera s 1/3“ CCD čipem SONY
- Barevná kamera s CCD čipem SHARP 1/4“
- Barevná kamera PELCO s čipem 1/3“

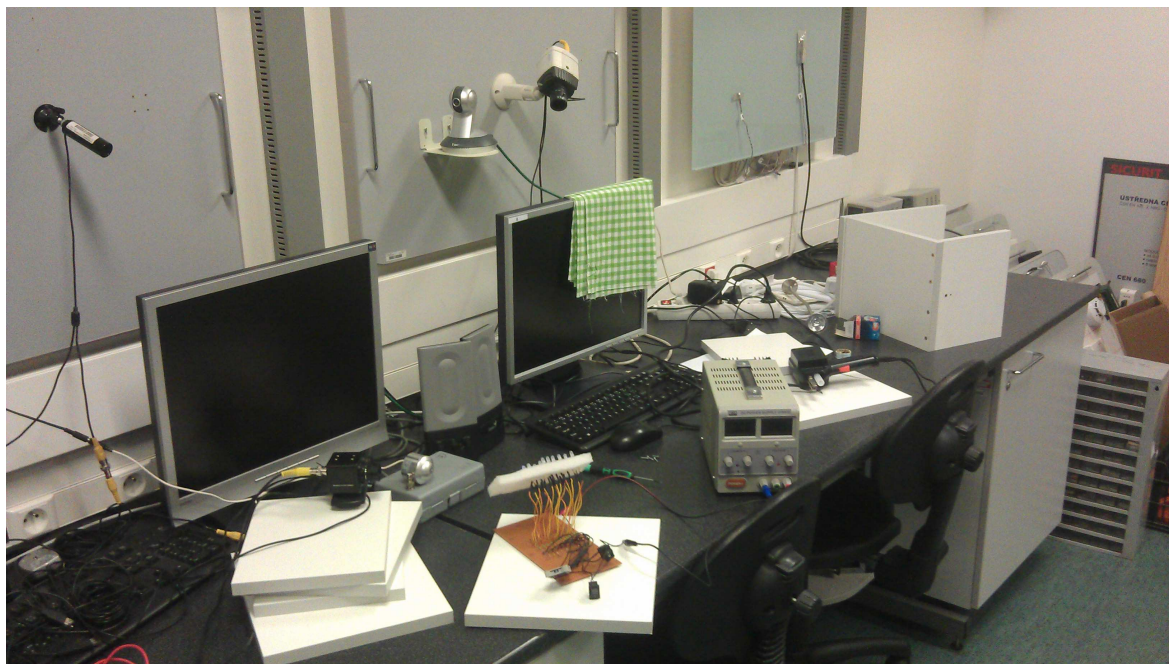
Při měření jsem tyto kamery připojil na učebně U54/309 k počítači s nainstalovaným MRP-VideoServerem, kde jsem obraz z kamer vyhodnocoval.

Obrázek 35 znázorňuje blokové schéma zapojení pro měření citlivosti kamer. Na Obrázku 36 vidíme nachystané pracoviště pro toto měření. Vidíme zde připojený zdroj, obvod s diodami zasazenými v polystyrenu, a využitě kamery. Vprostřed nahoře je kamera PELCO, vlevo nahoře je „doutníčková“ barevná kamera, a na deskách je položena barevná CCD kamera. Vedle ní se nachází černobílá dome kamera. Při měření jsem v laboratoři zhasnul světla a zatáhl žaluzie, aby kamery nebyly rušeny zbytečným světlem.

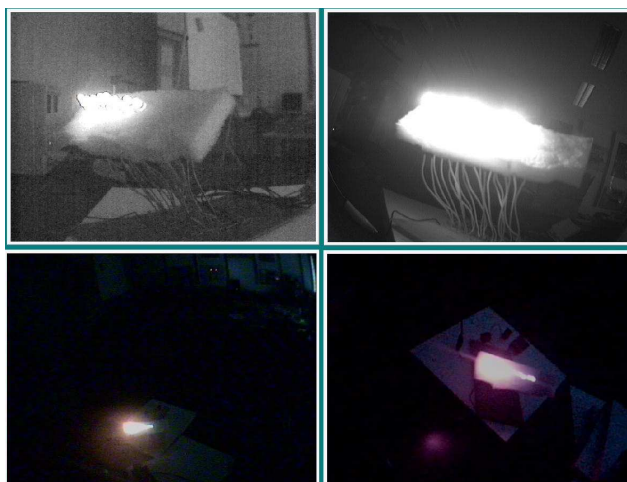
Při měření jsem nejdříve snímal kamerami obvod s vypnutými diodami (pro srovnání), poté jsem spínal diody vzestupně podle vlnové délky a na konci jsem zapnul všechny diody najednou, aby bylo vidět, jak jasně která dioda svítí. Použil jsem diody s vlnovými délkami 680, 700, 720, 730, 750, 780, 800, 820, 840 a 850 nm.



Obrázek 35 – Blokové schéma zapojení pro měření citlivosti kamer na určitou vlnovou délku



Obrázek 36 – Nachystané pracoviště pro měření citlivosti kamer na určitou vlnovou délku



Obrázek 37 – Vzorový obraz z kamer pro ilustraci (všechny diody září)

Na Obrázku 37 se nachází vybraný vzorový obraz z kamer, který se nachází v příloze P II. Můžeme na něm vidět stejnou scénu, na které se nachází matice svítících LED diod. Tuto scénu snímají všechny použité kamery.

Výsledky měření, konkrétně obrazové výstupy kamer, najdeme v Příloze P II. Obrazy z kamer jasně vypovídají o tom, že všechny měřené kamery bezpečně „vidí“ do oblasti 850 nm vlnové délky. Nejlépe ale dopadly kamery PELCO a černobílá dome kamera, jejich obraz je nejjasnější a nejlépe zřetelný. Barevné kamery tak jasný obraz se

zvyšující se vlnovou délkou neměly. Pro tyto již starší kamery je ale bez problémů možno použít IR přísvity, které vyzařují infrazářením do vlnové délky 850 nm. Kamery samozřejmě mohou využít i přísvitů vyzařujících v oblasti viditelného záření, které jsou pro barevné kamery vhodnější, pokud nejsou vybaveny černobílým režimem.

Kamery seřazené dle citlivosti v NIR oblasti:

1. Černobílá dome kamera s 1/3“ CCD čipem
2. Barevná kamera PELCO s čipem 1/3“
3. Barevná kamera s CCD čipem SHARP 1/4“
4. Barevná „doutníčková“ kamera s 1/3“ CCD čipem SONY

5 MĚŘENÍ VLNOVÉ DÉLKY SVĚTLA EMITOVANÉHO PŘÍSVITY

Další vlastností přísvitů, kterou jsem měřil, byla vlnová délka emitovaného světla. Jak bylo již výše uvedeno, jedná se o jednu z klíčových vlastností přísvitů a při výběru vhodného přísvitu pro kamery hraje důležitou roli.

Princip měření je podobný jako u měření vlnové délky světla emitovaného LED diodami. Do uzavřeného prostoru bez přístupu světla se umístí přísvit, který chceme měřit, a pomocí spektroskopu s optickým vláknem provádíme měření. Opět jsem využil spektroskop Vernier SpectroVis Plus a jeho příslušenství. Uzavřený prostor jsem realizoval složením desek, z nichž jedna měla malý otvor, do kterého jsem umístil optickou sondu. Při měření různě intenzivně zářících přísvitů bylo někdy nutno provádět regulaci světla pouštěného do optické sondy. Regulace se provedla otáčením přísvitu tak, aby nezářil do optické sondy přímo. Pokud by se světlo ze silnějšího přísvitu pouštělo přímo do sondy, došlo by k přebuzení, jak bylo již dříve uvedeno, a graf by nebyl vypovídající.

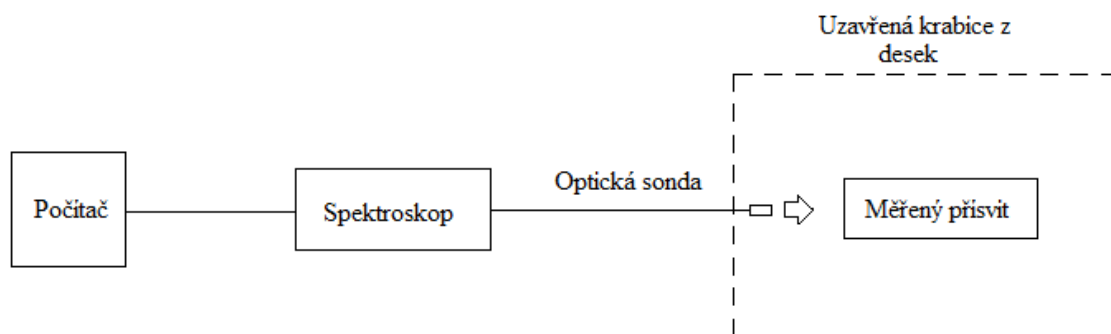
Samotné přísvity, které jsem měřil, byly tyto:

- Bodové halogenové nábytkové světlo KANLUX SALUT DL-138RA, 12 V
- Halogenové světlo MEROX Technics Halogenbaustrahler 120W, halogenový staveništní reflektor
- Bodové LED světlo bílé Lastra venkovní 24xLED 230V IP54
- Halogenové světlo reflektor venkovní B-7 500W
- Reflektor LED PACO 45 ks LED 4W, 230 V IP44
- LED Infrared Illuminator 12VDC IR-880/12

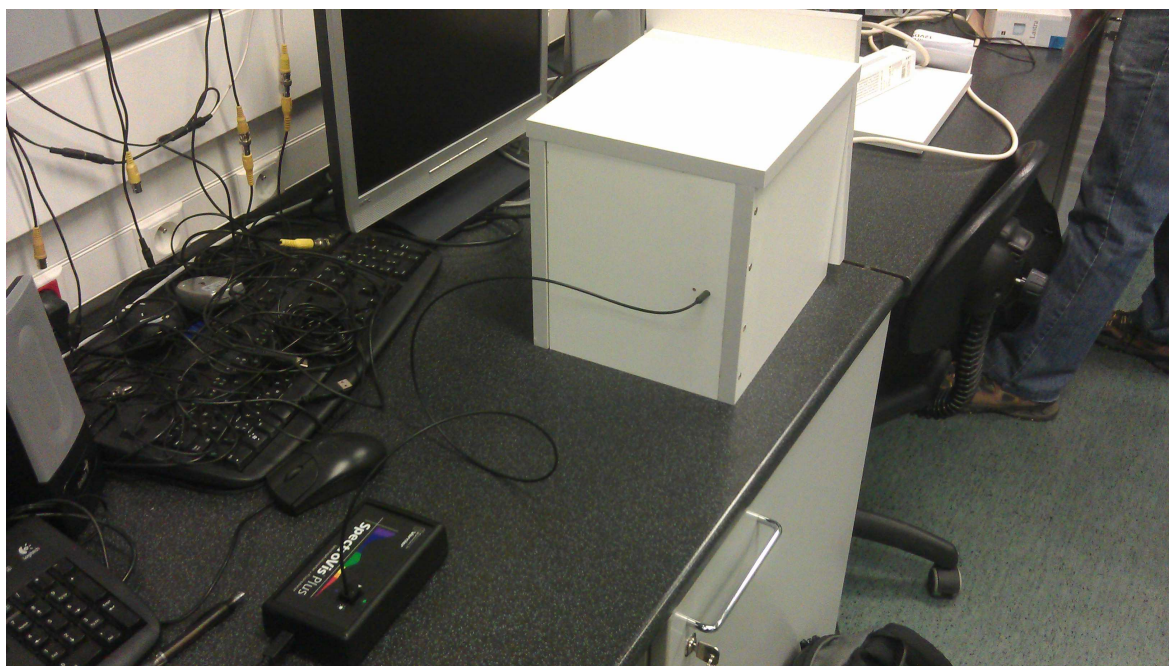
Jedná se tedy převážně o přísvity, které lze zakoupit v běžném obchodě se svítidly. K dispozici jsem tedy měl tři halogenové světla různého výkonu, dvě různě silné LED světla, a jeden LED infrapřísvit.

Na Obrázku 38 se nachází blokové schéma pro měření vlnové délky světla emitovaného přísvitu. Obrázek 38 zachycuje nachystané pracoviště pro měření. Obrázky 40–45 zachycují, jak měřené přísvity září pro lidské oko.

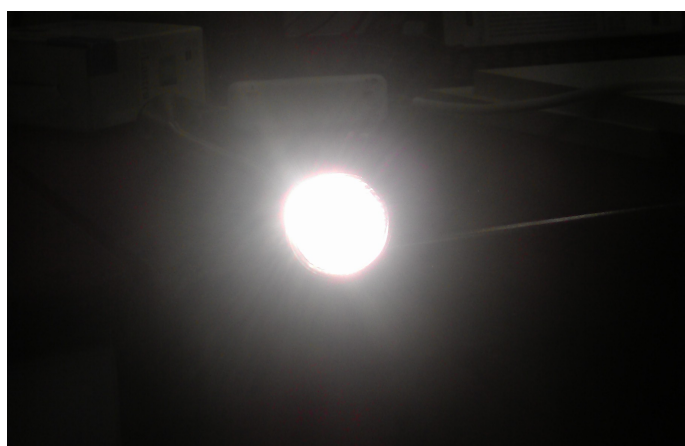
Grafy změřených vlnových délek se nacházejí v Příloze P III. V Tabulce 4 najdeme zpracované výsledky měření.



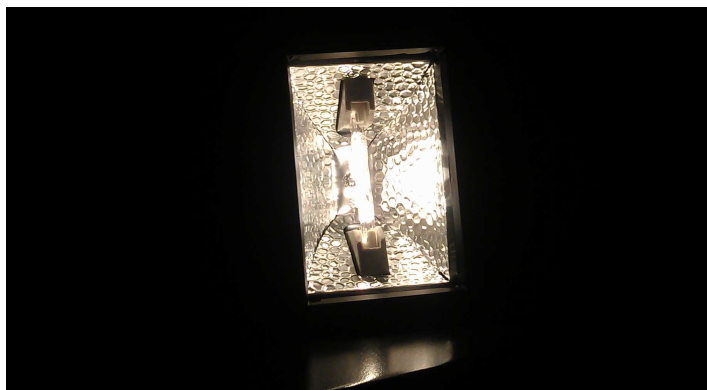
Obrázek 38 – Blokové schéma měření vlnové délky světla emitovaného přísvity



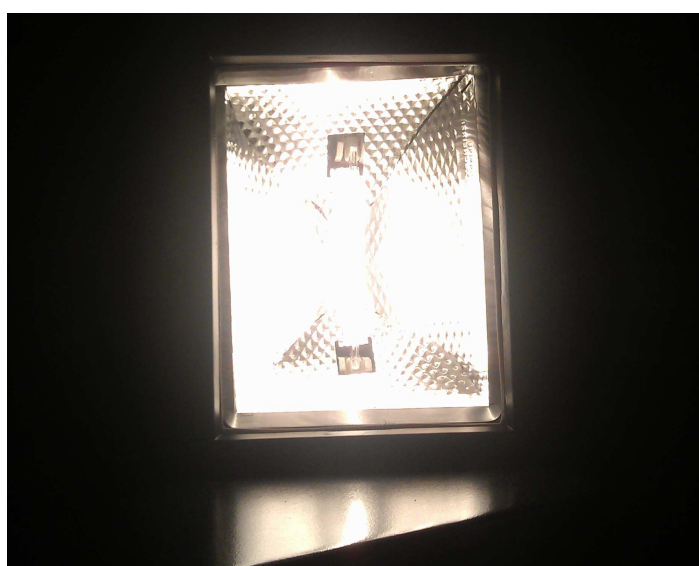
Obrázek 39 – Nachystané pracoviště pro měření vlnové délky světla emitovaného přísvity



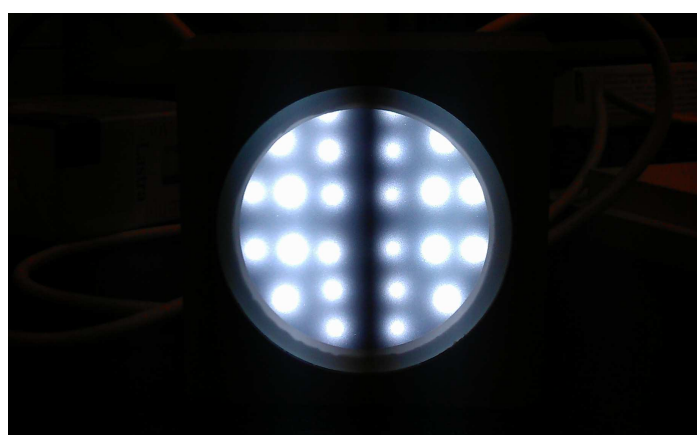
Obrázek 40 – Záření bodového halogenového světla s 50W žárovkou



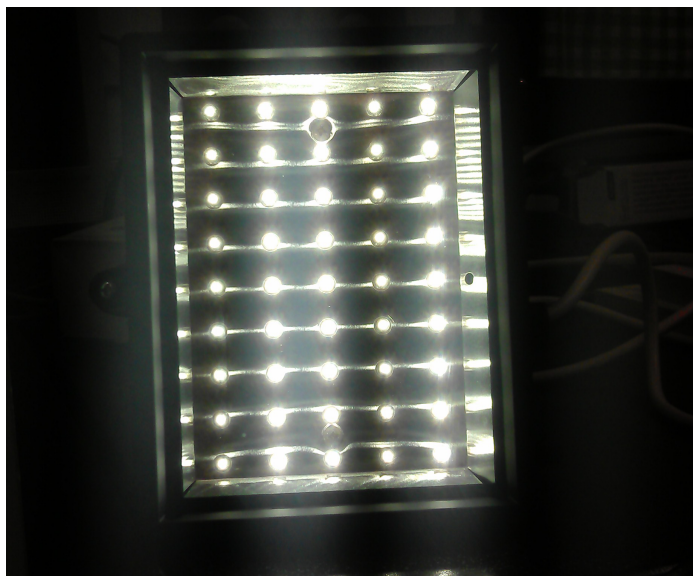
Obrázek 41 – Záření halogenového 120W reflektoru



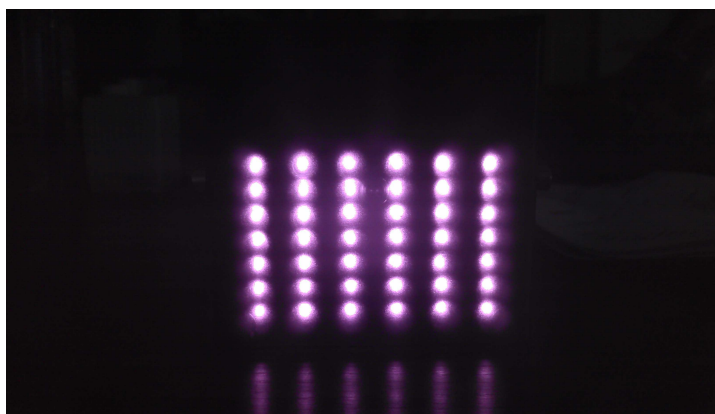
Obrázek 42 – Záření halogenového 500W reflektoru



Obrázek 43 – Záření bodového LED světla



Obrázek 44 – Záření LED reflektoru



Obrázek 45 – Záření IR LED reflektoru

Svítidlo	Rozpětí emitovaných vlnových délek: [nm]	Min. vln. délka 1: [nm]	Min. vln. délka 2: [nm]	Bod s nejvyšší intenzitou u 1: [nm]	Intenzita v bodě 1: [rel]	Bod s nejvyšší intenzitou u 2: [nm]	Intenzita v bodě 2: [rel]
Bodové halogen. světlo	456,9	416,1	873,0	590,7	0,923	650,0	0,994
Halogen. reflektor 120 W	451,4	413,6	865,0	589,2	0,988	648,5	0,920
Halogen. reflektor 500 W	456,8	411,8	868,6	590,0	0,991	647,7	0,951
Bodové světlo LED	247,9	416,1	664,0	454,4	0,995		
LED reflektor	301,5	407,6	709,1	586,0	0,987	541,6	0,902
IR LED reflektor	111,0	786,9	897,9	841,9	0,972		

Tabulka 4 – Zpracované výsledky měření vlnových délek přísvitů

V Tabulce 4 se nacházejí podobné měřené veličiny jako při měření v bodě 4.2. Rozpětí emitovaných vlnových délek je rozdíl mezi minimální vlnovou délkou 1 a 2, které dosahují intenzity větší než 0,040 rel. Jak bylo již řečeno dříve, do této úrovně se jedná o světelný šum. Na rozdíl od předchozí tabulky zde svítidla měla často dvě místa s nejvyšší intenzitou. Jednalo se především o halogenová světla. Obě tato místa jsem tedy zanesl do tabulky. Pouze bodové LED světlo a IR LED reflektor neměli dvě místa s nejvyšší intenzitou, proto jsou tedy tyto hodnoty v tabulce prázdné. Ostatně to jde vidět i z grafů v Příloze P III. U IR reflektoru, jako jediného, byla uvedena v technických specifikacích vyzařovaná vlnová délka a ta měla být 880 nm. Z měření vyplývá, že reflektor na této vlnové délce také září, ale nejsilněji září na vlnové délce 841,9 nm.

6 MĚŘENÍ DOSAHU PŘÍSVITŮ

V bodě 3.3 jsme si vytyčili klíčové vlastnosti přísvitů, mezi nimiž byl i dosah přísvitů. Ten budeme v této části práce měřit.

Pro měření dosahu jsem zvolil dvě metody. První metodou bylo měření dosahu pomocí luxmetru a druhou metodou měření dosahu pomocí kamer.

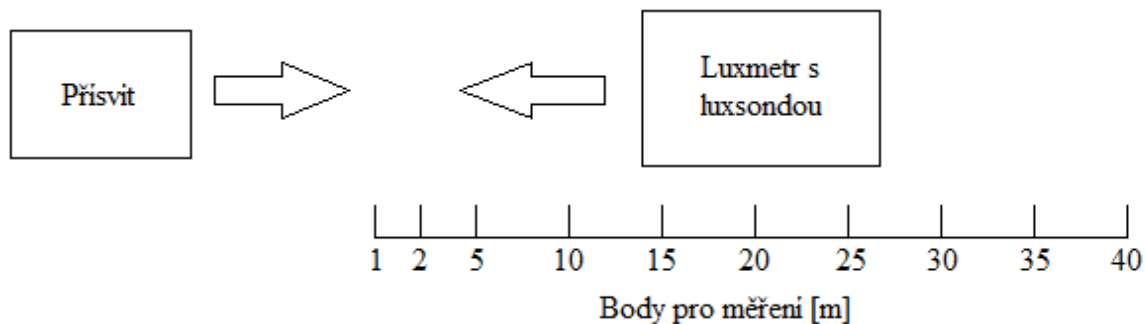
6.1 Měření dosahu přísvitů pomocí luxmetru

Měření pomocí luxmetru spočívalo ve svícení přísvitěm na dlouhém prostoru a pomocí luxmetru jsem na určitých vzdálenostech měřil intenzitu světla. Jako prostor pro měření jsem zvolil chodbu na 3. patře U54, která poskytovala délku přes 40 m. Měření probíhalo večer, aby nebylo rušeno denním světlem. Na začátku chodby jsem si zřídil stanoviště, kde jsem umístil přísvit a svítil na opačný konec chodby. Na této délce jsem si vytyčil vzdálenosti 1, 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 a 40 m. V těchto bodech jsem pak měřil vždy tak, že jsem sondu luxmetru namířil přímo na světelný zdroj a přečetl hodnotu. Luxmetr ale nebyl schopen zachytit IR záření, takže tato metoda je vhodná pouze pro přísvitů s viditelným světlem. Pro měření dosahu IR přísvitů je možno použít luxmetr, ale ten musí být speciálního druhu. Takovýto jsem však k dispozici bohužel neměl.

Pomůcky pro měření:

- Bodové halogenové nábytkové světlo KANLUX SALUT DL-138RA, 12 V
- Halogenové světlo MEROX Technics Halogenbaustrahler 120W, halogenový staveništní reflektor
- Bodové LED světlo bílé Lastra venkovní 24xLED 230V IP54
- Halogenové světlo reflektor venkovní B-7 500W
- Reflektor LED PACO 45 ks LED 4W, 230 V IP44
- Luxmetr ALMEMO 2290-3
- Luxsonda FL A613-VL

Na Obrázku 46 je blokové schéma pro měření dosahu přísvitů s luxmetrem. Na Obrázku 47 se pak nachází luxmetr s ALMEMO 2290-3 luxsondou FL A613-VL. V Tabulce 5 pak máme naměřené výsledky dosahů světla.



Obrázek 46 – Blokové schéma pro měření dosahu přisvitů pomocí luxmetru

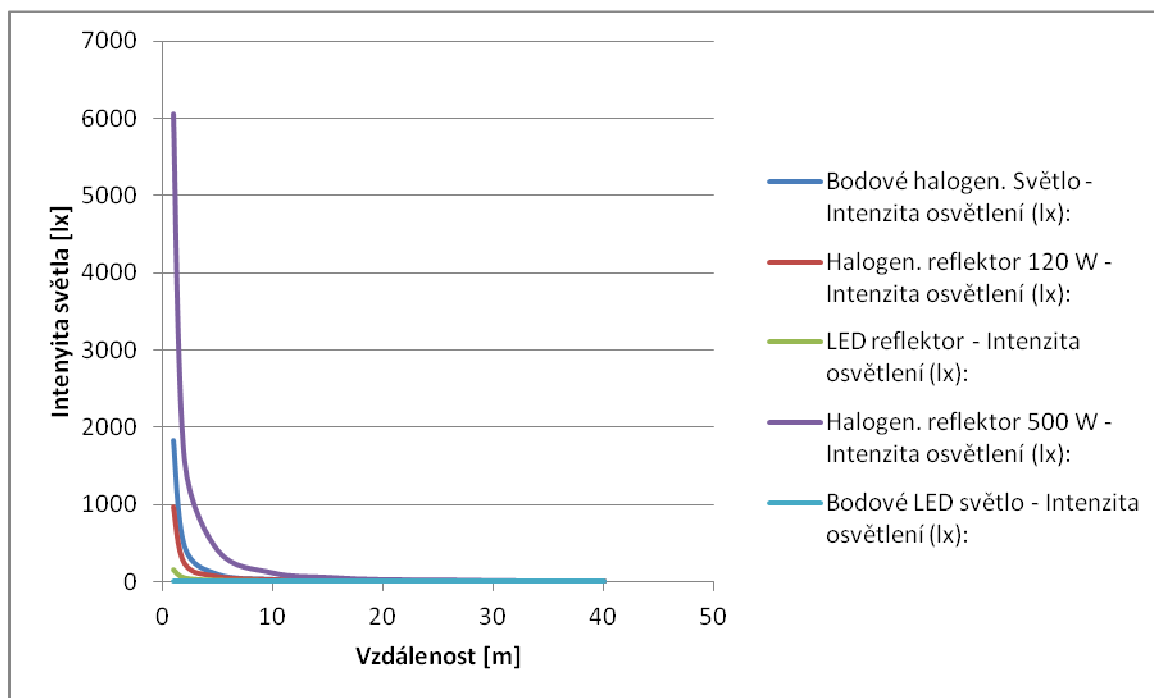


Obrázek 47 – Luxmetr ALMEMO 2290-3

Vzdálenost : [m]	Bodové halogen. Světlo - Intenzita osvětlení (lx):	Halogen. reflektor 120 W - Intenzita osvětlení (lx):	LED reflektor - Intenzita osvětlení (lx):	Halogen. reflektor 500 W - Intenzita osvětlení (lx):	Bodové LED světlo - Intenzita osvětlení (lx):
1	1834	970	157	6054	11
2	457	235	47	1584	6
5	94	66	15	413	4
10	26	22	7	121	4
15	17	12	5	63	4
20	11	9	4	33	4
25	9	7	4	30	4
30	7	6	4	21	4
35	6	5	4	16	4
40	5	4	4	14	4

Tabulka 5 – Naměřené hodnoty dosahů přisvitů

Před samotným měřením jsem prošel chodbu a měřil úroveň světla na chodbě. Ta byla vždy 4 lx. Luxmetr ale bohužel i v úplně tmě (zakrytí rukou apod.) ukazoval úroveň 4 lx, takže měření nemohlo být úplně přesné. Přesto ale výsledky mají vypovídající hodnotu. Místo dosvitu je tedy tam, kde se úroveň světla sníží na 4 lx. Z výsledků v tabulce vidíme, jak intenzivně zdroje záření svítí ve vzdálenosti 1 m. Tento údaj byl velmi vrtkavý, záleželo na přesném nasměrování sondy do zdroje a i tak se stále měnil. Hodnoty se ale pohybovaly potom kolem hodnot uvedených v tabulce. Co je ale zajímavější je to, jak daleko světla dokázaly dosvítit. Bodové halogenové svítidlo dosvítilo až na konec chodby, do vzdálenosti 40 m. 120 W halogenový reflektor dosvítil do vzdálenosti 35-40m, LED reflektor do vzdálenosti 15-20 m, 500 w halogenový reflektor do vzdálenosti více než 40 m (dále jsem nebyl schopen změřit, protože jsem byl limitován prostorem na chodbě). 500 W halogenový reflektor dopadl nejlépe díky svému vysokému výkonu. Nejhůře dopadlo bodové LED světlo, které dosvítilo pouze do vzdálenosti 2-5 m.



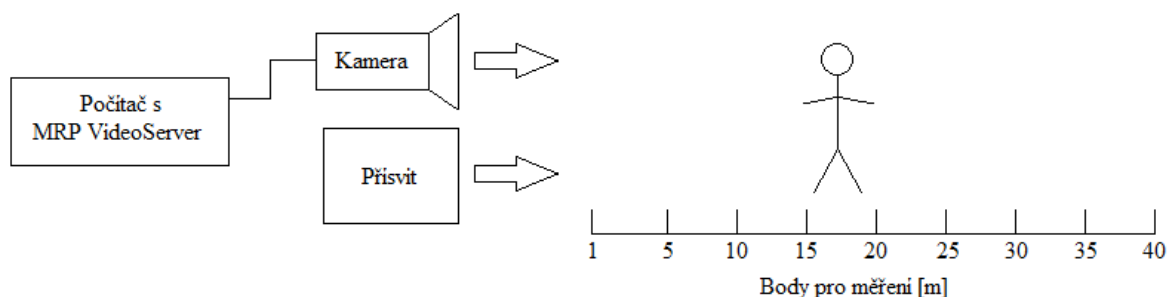
Graf 1 – Graf průběhu intenzity světla přísvitů ke vzdálenosti

V Grafu 1 vidíme zanesený průběh intenzity světla přísvitů ke vzdálenosti. Křivky jednotlivých přísvitů mají obvykle téměř stejný tvar, liší se pouze ve velikosti počáteční intenzity, která s přibývajícím vzdáleností skoro exponenciálně klesá.

6.2 Měření dosahu přísvitu pomocí kamer

V tomto bodě opět budeme měřit dosahy přísvitů, tentokrát však k tomu využijeme kamery, takže obraz na kameře nám dá přesnější informaci o dosvitu daného přísvitu v kombinaci s kamerou. Tato metoda je tedy přímým odzkoušením použití určitého přísvitu k určité kameře tak, jak by pak v praxi tato dvojice fungovala.

Princip měření funguje podobně jako u měření dosahu s luxmetrem. Opět jsem si zbudoval pracoviště na chodbě ve 3. patře na U54 a chodbu využil jako měřicí prostor. Na stole na kraji chodby jsem měl počítač pro připojení kamer se systémem MRP-Video Server, dále měřený přísvit nasměrovaný do chodby, kterou snímala ve stejném směru kamera umístěná na stativu ve stejné vzdálenosti se snímající kamerou. Na stanovišti s počítačem jsem pak snímal pohyb osoby po chodbě směrem ke kameře a přísvitu. Podle toho, od jaké vzdálenosti byla osoba vidět, jsem pak určil dosah přísvitu. Při této metodě jsem opět využil všechny 4 dříve uvedené kamery a všechny přísvity. Výhodou této metody je možnost měření dosahu i u IR přísvitu. Na Obrázku 48 je znázorněno blokové schéma pro měření dosahu přísvitů pomocí kamer.



Obrázek 48 – Blokové schéma pro měření dosahu přísvitů pomocí kamer

Na Obrázku 49 pak vidíme fotografii zbudovaného pracoviště. Na stole je umístěn přísvit, který svítí do prostoru chodby, který snímá kamera na stativu.



Obrázek 49 – Zbudované pracoviště pro měření dosahu přísvitů pomocí kamery

Použité – měřené kamery:

- Černobílá dome kamera s 1/3“ CCD čipem
- Barevná „doutníčková“ kamera s 1/3“ CCD čipem SONY
- Barevná kamera s CCD čipem SHARP 1/4“
- Barevná kamera PELCO s čipem 1/3“

Použité – měřené kamery:

- Bodové halogenové nábytkové světlo KANLUX SALUT DL-138RA, 12 V
- Halogenové světlo MEROX Technics Halogenbaustrahler 120W, halogenový staveništní reflektor
- Bodové LED světlo bílé Lastra venkovní 24xLED 230V IP54
- Halogenové světlo reflektor venkovní B-7 500W
- Reflektor LED PACO 45 ks LED 4W, 230 V IP44
- LED Infrared Illuminator 12VDC IR-880/12

Výsledky měření jsou uvedeny v příloze P IV. Nejlépe z měření vyšel halogenový 500 W přísvit, černobílá dome kamera a kamera PELCO (co se týče zachytávání světla a pohybující se osoby). 500 W halogenový přísvit byl z měřených přísvitů nejsilnější, díky svému vysokému výkonu a dokázal dosvítit až na konec chodby (40 m), kde pak bylo možno rozpoznat osobu v této vzdálenosti. Jak se osoba pak postupně přibližovala, byla stále znatelnější. Halogenové reflektory si obecně vedly velmi dobře a i 50 W bodové světlo dokázalo dosvítit až na konec chodby, i když o poznání méně výrazně. Bodové LED světlo se ukázalo jako slabé, na konec chodby nedokázalo dosvítit a maximální vzdálenost, na které byla ještě osoba přibližující se ke kameře vidět, byla 20 m. LED reflektor na tom byl lépe a dokázal osvítit chodbu do vzdálenosti 30-40 m. Nejhuře dopadl IR LED reflektor, který měl velmi malý dosah a kamery ho někdy nedokázaly vůbec zachytit ani v bezprostřední blízkosti. Pouze černobílá dome kamera dokázala jeho svit zachytit až ve 40 m, osoba ale byla rozpoznatelná jenom ve 20 metrech. Jinak bylo IR světlo pro kamery velmi slabě zachytitelné a to i v případě, že se přepínaly do černobílého režimu.

Metoda se ukázala jako relativně spolehlivá, záleží však na použité kameře. Proto jsem používal čtyři kamery, aby také byla možnost srovnání jejich snímání. Výhoda této metoda tkví v tom, že můžeme měřit i dosah IR přísvitů a na obrazu kamery hned vidíme, jak spolu kamera a přísvit vzájemně pracují a zda je daný přísvit pro kameru dostačující.

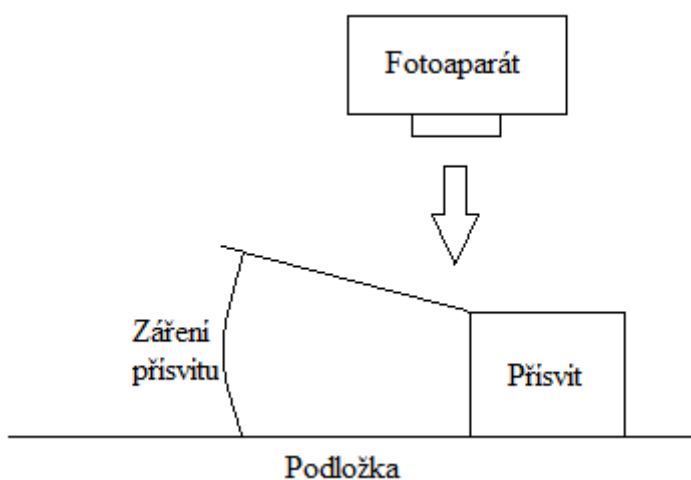
Přísvity seřazené dle dosahu:

5. 500 W halogenový reflektor
6. 120 W halogenový reflektor
7. Bodové halogenové svítidlo 50 W
8. LED reflektor
9. Bodové LED světlo
10. IR LED reflektor

7 MĚŘENÍ ÚHLU VYZAŘOVÁNÍ

Poslední vlastností přísvitů, kterou jsem měřil, byl úhel vyzařování. Pro přesné měření se používá např. kulový integrátor, takové zařízení jsem však dispozici neměl, proto jsem zvolil jednodušší metodu.

Principem tohoto měření je jednoduché položení přísvitu kolmo ke tmavé podložce. Zapnutý přísvit pak osvětluje podložku a my vidíme, v jaké šíři je světlo vyzařováno. Pro změření úhlu pak stačí tuto šíři světla vyfotografovat a v počítači pak můžeme úhel změřit (např. grafickým programem GIMP). Měření provedeme nejdříve pro jednu hranu světla, pak pro druhou a rozdíl mezi těmito úhly nám pak dá vyzařovací úhel daného přísvitu. Měření je možno provést pro horizontální i vertikální úhel svícení přísvitu. Daná metoda je pak odvislá na fotografii, ze které měříme (na přesnosti rozlišení hrany světla) a na přesnosti srovnání měřicí přímky pro úhel s hranou světla na fotografii. Blokové schéma pro toto měření se nachází na Obrázku 50. Příklad měření vidíme na Obrázku 51, 52 a vyplývajícího vzorce.



Obrázek 50 – Blokové schéma měření úhlu vyzařování přísvitů

Obrázek 51 – Měření prvního úhlu (α) na bodovém halogenovém svítidleObrázek 52 – Měření druhého úhlu (β) na bodovém halogenovém svítidle

Známe úhel α a úhel β . Pokud od 180° (roviny kolmé k hlavnímu směru vyzařování světla) odečteme součet těchto dvou úhlů, získáme úhel vyzařování. Naším úhlem vyzařování je tedy úhel γ :

$$\chi = 180^\circ - (\alpha + \beta) = 180^\circ - (40^\circ 24' + 31^\circ 79') = 107^\circ 17'$$

Úhel vyzařování bodového halogenového svítidla je tedy $107^\circ 17'$. Jedná se o kruhové svítidlo, takže zde není potřeba měřit ve dvou osách. V Tabulce 6 najdeme výsledky měření úhlů ve vertikálním směru (sekundárním směru záření) a v Tabulce 7 měření úhlů v horizontálním úhlu (primárním úhlu záření).

Svítilidlo	Úhel α [°]:	Úhel β [°]:	Výsledný úhel γ [°]:
Bodové halogen. světlo	40°24'	31°79'	107°14'
120 W halogen. reflektor	43°28'	44°11'	92°21'
500 W halogen. reflektor	45°97'	44°66'	88°17'
Bodové LED světlo	30°30'	30°74'	118°16'
LED reflektor	38°48'	36°06'	105°6'
IR LED reflektor	89°86'	84°78'	4°10'

Tabulka 6 – Úhly svícení přisvitů ve vertikálním směru

Svítilidlo	Úhel α [°]:	Úhel β [°]:	Výsledný úhel γ [°]:
120 W halogen. reflektor	42°44'	36°55'	100°21'
500 W halogen. reflektor	44°31'	44°66'	93°53'
LED reflektor	47°18'	45°30'	87°12'
IR LED reflektor	88°71'	86°23'	4°26'

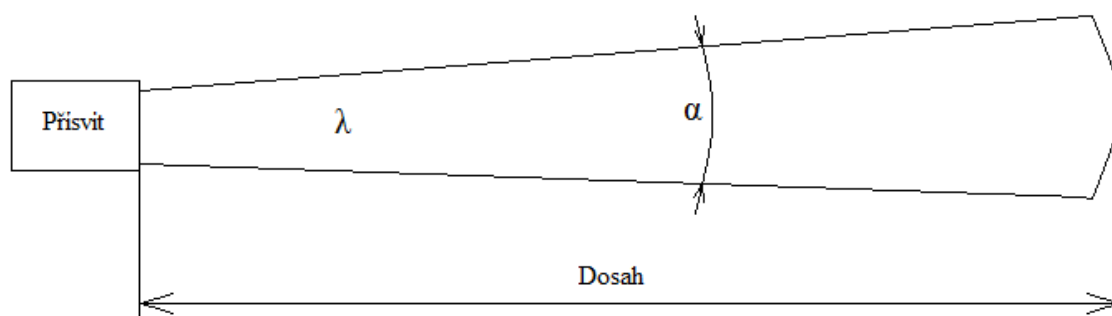
Tabulka 7 – Úhly svícení přisvitů v horizontálním směru

Bodová svítidla ve druhé tabulce nejsou uvedena, protože se jedná o kruhová svítidla, která mají úhel záření v primárním i sekundárním směru záření shodný. U IR reflektoru je sice úhel svícení malý, ale je to způsobeno tím, že IR LED reflektor svítí pouze do svého směru rovně (tedy skoro kolmo k ose umístění reflektoru) a ne z jednoho bodu. Světlo z reflektoru je složeno z více světelných zdrojů. Podobně je tomu i u LED reflektoru a LED bodového světla, ale tyto LED diody nevyzařují pouze rovně.

8 STANOVENÍ POSTUPU PRO DEFINICI VLASTNOSTÍ ZDROJŮ ZÁŘENÍ

Jedním z bodů zadání této bakalářské práce bylo stanovení postupu pro definici vlastností zdrojů záření. Z mých zkušeností při psaní této práce mohu pro měření vlastností zdrojů záření doporučit níže uvedený postup. Postup vychází z určení klíčových vlastností přísvitů, které pak ovlivňují jejich nasazení v praxi do konkrétních aplikací. Jak jsem již dříve uvedl, nemusí se nutně jednat o nejpřesnější měřicí metody, ale tyto metody jsou pro běžné praktické ověřování dostatečně přesné a především nenáročné na měřicí techniku.

Na Obrázku 53 se nachází znázornění klíčových vlastností přísvitů, které můžeme díky níže stanovenému postupu měřit. Vlnová délka vyzařovaného světla je označena λ , úhel vyzařování je označen α a dosah přísvitu je označen jako „Dosah“.



Obrázek 53 – Znázornění klíčových vlastností pro měření přísvitů

Postup pro měření vlastností zdrojů záření:

- **Měření vlnové délky emitovaného světla (λ)** – postup pro měření je podrobně uveden v kapitole 5 – Měření vlnové délky světla emitovaného přísvitu.
- **Měření dosahu přísvitů (Dosah)** - při tomto měření lze využít dvě metody, které byly stanoveny v kapitole 6.1 – Měření dosahu přísvitu pomocí luxmetru a v kapitole 6.2 – Měření dosahu přísvitu pomocí kamer. Každá tato metoda má své výhody, které jsou v uvedených kapitolách popsány a které pak určují vhodnost metody pro měření konkrétního přísvitu.
- **Měření úhlu vyzařování (α)** – postup pro měření je uveden v kapitole 7 – Měření úhlu vyzařování.

Stanovením těchto metod jsem tedy splnil bod zadání č. 4.

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo seznámit čtenáře s problematikou přísvitů. Práci jsem se snažil koncipovat tak, aby bylo i pro laika snadné teorii přísvitů porozumět, aby dokázal pochopit, na jakém fyzikálním základu tyto zařízení pracují a jak jsou svázány s bezpečnostními kamerami. V teoretické práci jsem postupně postupoval od vysvětlování vzniku světla, přes jeho rozdělení až po výhody použití infračerveného přísvitu. Ve druhé části teoretické práce jsem se pak zaměřil na problematiku bezpečnostních kamer, vysvětlil jsem princip snímání světla a jejich rozdělení. Ve třetím bodě teoretické práce jsem se zaměřil přímo na problematiku přísvitů, popsal jsem jejich funkci a vysvětlil technologie, kterých přísvitů využívají. Na konci této kapitoly jsem ještě stanovil klíčové vlastnosti přísvitů, které jsem pak v praktické části proměřoval.

V praktické části jsem pak navrhoval a realizoval postupy pro měření vytyčených klíčových vlastností přísvitů. Během této práce jsem i navrhoval obvod pro měření citlivosti kamer na určitou vlnovou délku s využitím LED diod. Tento obvod jsem poté i realizoval a využíval v měření. Během dalších bodů měření jsem využíval technická zařízení jako spektroskop či luxmetr, se kterými jsem dosud nepracoval. Celé měření jsem pak koncipoval tak, abychom mohli posoudit a změřit vlastnosti běžně dostupných přísvitů, ale i vlastnosti infračervených přísvitů.

Současné kamery využívající infračervený přísvit dle mého názoru dosahují maxima svých aktuálních možností. Dnes je totiž kamera s infračerveným přísvitkem téměř standard a tyto kamery se dají pořídit ve velkém cenovém rozsahu. Pro drobné aplikace se dají kamery s infračerveným přísvitkem pořídit již kolem 1000 Kč, složitější a náročnější kamery se ale pohybují už v mnohem vyšších cenových relacích. Vlastnosti kamer s infračerveným přísvitkem jsou navíc dnes velmi dobré, poskytují kvalitní obraz ve dne, v noci, v mlze, dešti apod. Kamera s infračerveným přísvitkem má ve srovnání se stejnou kamerou bez přísvitů velké množství dalších výhod jako je svícení přísvitu ve vlnových délkách nezachytitelných lidským okem apod. V současné době jsem nezaznamenal významnější pokrok v oblasti infračervených přísvitů a dle mého názoru se tedy tyto technologie dostaly na hranici dnešních možností.

Do budoucna očekávám neustálé snižování cen infračervených přísvitů a jejich postupný ústup v důsledku nového trendu využívání termokamer. Termokamery jsou dnes

oproti kamerám s infrapřísvitom sice o poznání dražší, ale mají schopnosti, které tyto kamery nemají. Jmenovitě je to například možnost rozlišovat podle teploty předměty v okolí. Tyto kamery totiž pracují v oblasti LWIR (7 – 13 μm) a lidské tělo vyzařuje v oblasti cca 9 μm , takže tyto kamery jsou schopny člověka rozlišit od okolí a vyhodnotit jeho pohyb. Na druhé straně nemyslím si, že kamery s infrapřísvitom zcela a rychle vymizí, díky jejich cenové dostupnosti budou stále nasazovány v drobnějších i větších aplikacích. V náročných aplikacích (střežení např. vojenských objektů, elektráren apod.) se ale podle mě brzy začnou dominovat termokamery.

V této bakalářské práci jsem splnil všechny body v zadání. Bod č. 1 – „Vysvětlete principy detekce v infračervené oblasti s využitím kamer“ jsem splnil v kapitole 2.5 – Principy detekce v infračervené oblasti s využitím kamer. Bod č. 2 - „Zhodnoťte vlastnosti současných kamer využívajících infračervený přísvit“ jsem splnil v závěru práce a je vysvětlen i v bodu 1.4.2 – Využití infračerveného záření v zobrazovací technice. Bod 3. – „Proved'te měření vlastností zdrojů záření, vyhodnoťte výsledky“ je obsahem celé praktické části práce práce. Bod č. 4 – „Stanovte postup pro definic vlastností zdrojů záření“ opět vychází z celé praktické části a je shrnutý v bodě 8 – Stanovení postupu pro definici vlastností zdrojů záření. Bod č. 5 – „Naznačte další vývoj těchto systémů“ je obsažen v závěru práce a shrnuje můj názor na budoucí využívání systémů infračerveného přívitu.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The aim of this thesis was to familiarize its reader with the problematics of illuminators. I was trying to design the work so a layman could understand the theory of illuminators, understand the physical basis on which these devices work and how they are linked to security cameras. In theoretical work, I gradually progressed from explaining the origin of light, through its distribution to the benefits of using infrared illumination. In the second part of the theoretical work, I focused on the issue of security cameras. I explained the principle of light capturing and cameras division. In the third section of the theoretical work I have focused on issues of illuminators, I described and explained their function and technologies which are used illumination. At the end of this chapter I have determined the key features of illuminators. These I was measuring in the practical part of this work.

In the practical part, I have designed and realized procedures for the measuring of defined key properties of illuminators. During this work I have also designed a circuit for measuring the sensitivity of the camera to a specific wavelength using LED diodes. I have built this circuit and used it in measurements. During the following measurement points I used technical devices such as the spectroscope or light meter, with which I have never worked before. The whole measurement was designed for evaluating and measuring the properties of commercially available illuminators, as well as the properties of infrared illuminators.

The current cameras using infrared illumination, in my opinion, have reached maximum of their current options. Today is a camera with infrared illuminator almost a standard, and these cameras can capture a large price range. These cameras with infrared illumination for common applications can capture price from about 1000 CZK, more complex and sophisticated cameras are moving at a much higher price ranges. Properties of cameras with infrared illumination are also very good today, they provide quality images day or night, in fog, rain, etc. The camera with infrared illuminator in comparison with the same camera illuminators without has a lot of other benefits such as glowing in the wavelenghts uncapturable with human eye, etc. Currently, I have not noticed significant progress in infrared illuminators and in my opinion, this technology is reaching limit of its possibilities.

In the future I expect continuous price reductions of infrared illuminators and their gradual retreat because of a new trend in use of thermal cameras. Thermal cameras are

now, compared with cameras with infrared illuminators, considerably more expensive, but they have abilities that these cameras don't. For example, thermal cameras are able to distinguish objects around based on different temperatures. These cameras work in the LWIR area (7-13 μm) and the human body emits around 9 μm , so these cameras are able to distinguish humans from the environment and evaluate its movement. On the other hand, I do not think that cameras with infrared illuminators will completely and quickly disappear. Due to their affordability they will still be deployed in smaller and larger applications. I suppose that in more sophisticated applications (such as guarding military facilities, power plants, etc.) thermal cameras will begin to dominate.

In this work I have fulfilled all the entry points. Item No. 1 - "Explain the principles of detection in the infrared field using the camera" was fulfilled in Chapter 2.5 - Principles of infrared detection using cameras. Item No. 2 - "Evaluate current camera properties using infrared illumination," was fulfilled in the conclusion and it was also explained in Section 1.4.2 - Use of infrared radiation in imaging technology. Item 3 - "Make a measurements of radiation sources, evaluate the results" is the entire content of the practical part of work. Item No. 4 - "Establish a procedure for defining the properties of sources of radiation" is again based on the practical part of the work and is summarized in Section 8 - Determination of the procedure for defining the properties of sources. Item No 5 - "Indicate further development of these systems" is included in the conclusion and summarizes my view on using of the infrared illuminations systems in the future.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Přehled elektromagnetického záření. REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2006 - 2012 [cit. 2012-02-23]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/527-prehled-elektromagnetickeho-zareni>
- [2] Visible spectrum. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-02-24]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Color_spectrum
- [3] Elektromagnetické spektrum. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012 [cit. 2012-03-09]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_spektrum
- [4] Světlo. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 22.2.2012 12:12 [cit. 2012-02-24]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Sv%C4%9Btlo>
- [5] Jas. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 9.2.2012 22:49 [cit. 2012-02-24]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Jas>
- [6] Fotometrické veličiny. REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2006-2012 [cit. 2012-02-24]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/535-fotometricke-veliciny>
- [7] Intenzita osvětlení. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 9.2.2012 22:49 [cit. 2012-02-24]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Osv%C4%9Btlenost>
- [8] Ultrafialové záření. HONZÍK, Lumír. *Hvězdárna a planetárium Plzeň - Minislovníček: Ultrafialové záření* [online]. 14.12.2011 [cit. 2012-03-02]. Dostupné z: <http://hvezdarna.plzen.eu/ukazy/clanky/minislovnicek/ultrafialove.html>
- [9] Ultrafialové záření. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012, 16. 2. 2012 [cit. 2012-03-02]. Dostupné z:

http://cs.wikipedia.org/wiki/Ultrafialov%C3%A9_z%C3%A1m%C5%99en%C3%AD

- [10] Infračervené záření. REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2006-2012 [cit. 2012-03-09]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/529-infracervene-zareni>
- [11] Tepelné záření - sálání. *Edutorium* [online]. 2008 [cit. 2012-03-09]. Dostupné z: http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=4d6f6c656b756c6f76e12066797a696b61h&key=310
- [12] Infračervené záření. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012 [cit. 2012-03-09]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Infra%C4%8Derven%C3%A9_z%C3%A1m%C5%99en%C3%AD
- [13] Infrared Illuminators. *Smart security camera* [online]. 2004-2012 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://smartsecuritycamera.com/infrared-illuminators.html>
- [14] KPC-KA-036 - infračervený přísvit ke kamerám. *Intranet Eurosat CS* [online]. 2012 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://intranet.eurosat.cz/1685-kpc-ka-036.html>
- [15] Infračervená fotografie. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012 [cit. 2012-03-16]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Infra%C4%8Derven%C3%A1_fotografie
- [16] Charged-coupled device. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012 [cit. 2012-03-23]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Charge-coupled_device
- [17] REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. CCD - základní princip. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2006-2012 [cit. 2012-03-30]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/748-ccd-zakladni-princip>
- [18] Active Pixel Sensor. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012 [cit. 2012-04-24]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Active_pixel_sensor#Architecture

- [19] EN-CI20B-82 venkovní barevná kamera s IR LED přisvětlením, dosvit 20 m. *ESCADTrade* [online]. 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.escadtrade.cz/en-ci20b-82-venkovni-barevna-kamera-s-ir-led-prisvetlenim-dosvit-20-m.html>
- [20] Axis M1011. *IPsecure.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.ipsecure.cz/vnitri-ip-kamery-axis-staticke/axis-m1011/>
- [21] Barevné DOME kamery do vnitřního prostředí. *Viakom - Dovožce a distributor CCTV* [online]. 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www2.viakom.cz/kamery-dome.php>
- [22] MO-R1615P miniaturní barevná CCIQ kamera s upevněním na brýle nebo na helmu. *ESCADTrade* [online]. 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.escadtrade.cz/1-mo-r1615p-barevna-cciq-kamera-na-bryle-nebo-na-helmu.html>
- [23] RYK-9109 barevná kamera v maketě PIR čidla se záznamem na SD kartu. *ESCADTrade* [online]. 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.escadtrade.cz/ryk-9109-barevna-kamera-v-makete-pir-cidla-se-zaznamem-na-sd-kartu.html>
- [24] AVDIR-W40VAH Day/Night Super HiRes antivandal kamera (WDR, 3D-DNR) s vari-objektivem a IR LED. *ESCADTrade* [online]. 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.escadtrade.cz/avdir-w40vah-day-night-super-hires-antivandal-kamera-wdr-3d-dnr-s-vari-objektivem-a-ir-led.html>
- [25] DM-IRCAM atrapa (maketa) vnitřní polokulovité kamery s LED. *ESCADTrade* [online]. 2012 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://www.escadtrade.cz/dm-ircam-atrapa-maketa-vnitri-polokulovite-kamery-s-led.html>
- [26] IP camera. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/IP_camera
- [27] STRUMIENSKÝ, Jiří. *Experimenty s infračerveným a ultrafialovým zářením* [online]. Brno, 2009 [cit. 2012-05-03]. Dostupné z:

http://is.muni.cz/th/106831/prif_m/diplomovaprace.pdf. Diplomová práce.
Masarykova Univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ústav fyzikální elektroniky.

- [28] Barevné vnímání oka. *Lasers by H@Lu\$ka@* [online]. 26. 11. 2009 [cit. 2012-05-03]. Dostupné z: <http://lasery.kvalitne.cz/index.php?text=31-barevne-vnimani-oka>
- [29] Žárovka. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BD%C3%A1rovka>
- [30] Topidla. *Elektro U Hrzána* [online]. 2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://elektrouherzana.cz/14-topidla>
- [31] Halogenová žárovka. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Halogenov%C3%A1_%C5%BE%C3%A1rovka
- [32] LED. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/LED>
- [33] Laser. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Laser>
- [34] Vědci z Yale vytvořili téměř dokonalý antilaser. *ATOM INFO* [online]. 21.2.2011 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://atominfo.cz/2011/02/vedci-z-yale-vytvorili-temer-dokonaly-antilaser/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

- CCD Charge-coupled device, zařízení citlivé na elektrický náboj
- CMOS Complementary Metal Oxide Semiconductor, komplementární polovodič kov-oxid
- CCTV Closed Circuit Television, uzavřený televizní okruh
- FIR Far Infrared, daleké infračervené záření
- IP Internet Protocol, internetový protokol
- IR Infrared, infračervené
- LASER Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, zesilování světla stimulovanou emisí záření
- LED Light Emitting Diode, světlo emitující dioda
- LWIR Long Wave Infrared, dlouhé vlnové délky infračerveného záření
- MOS Metal Oxide Semiconductor, polovodič kov-oxid
- MWIR Medium Wave Infrared, střední vlnové délky infračerveného záření
- NIR Near Infrared, blízké vlnové délky infračerveného záření
- NVR Network Video Recorder, síťový videorekordér
- PIR Passive Infrared, pasivní infračervený detektor
- SD Secure Digital, druh paměťové karty
- SWIR Short Wave Infrared, střední vlnové délky infračerveného záření

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Obrázkové znázornění elektromagnetického spektra [3]	13
Obrázek 2 – Znázornění vzájemného vztahu mezi fotometrickými veličinami [6].....	17
Obrázek 3 – Rozdíl snímku se zapnutým a s vypnutím IR přísvitem [14]	22
Obrázek 4 – Rozdíly mezi běžným CCTV obrazem, viditelným světlem, použitím noktovize a termálním snímáním [15]	23
Obrázek 5 – Obraz s a bez IR přísvitu při různých atmosférických podmínkách [15].....	24
Obrázek 6 - Expozice CCD čipu [16].....	28
Obrázek 7 – Posouvání elektronů k výstupnímu zesilovači [16].....	28
Obrázek 8 – Architektura 3T aktivního pixelového snímače [18].....	31
Obrázek 9 – Venkovní barevná kamera s IR přísvitem EN-CI20B-82 [19].....	32
Obrázek 10 – Barevná vnitřní statická IP kamera Axis M 1011 [20].....	32
Obrázek 11 – Barevná dome kamera AVK016 [21].....	34
Obrázek 12 – Miniaturní barevná kamera MO-R1615P [22]	34
Obrázek 13 – Maskovaná kamera RYK-9109 v maketě PIR detektoru [23].....	35
Obrázek 14 – Dome kamera AVDIR-W40WAH v provedení antivandal s IR LED přísvitem [24]	35
Obrázek 15 – Atrapa dome kamery s LED přísvitem, typ DM-IRCAM [25]	36
Obrázek 16 – Graf koeficientu absorpce křemíku [27]	39
Obrázek 17 – Graf citlivosti lidského oka [28].....	39
Obrázek 18 – Popis žárovky [29].....	42
Obrázek 19 – Infražárovka 100W [30]	43
Obrázek 20 – Halogenová žárovka v provozu [31]	44
Obrázek 21 – Průhledná LED dioda [32]	46
Obrázek 22 – Různé provedení LED diod [32]	46
Obrázek 23 – Laser a jeho součásti [33].....	47
Obrázek 24 – Laser v laboratoři [34].....	48
Obrázek 25 – Schéma navrženého obvodu pro měření citlivosti kamer v oblasti NIR	52
Obrázek 26 – Zjednodušený obvod pro výpočet odporů pro větve 1-7	53
Obrázek 27 – Zjednodušený obvod pro výpočet odporů pro větve 8-10.....	54
Obrázek 28 – Stavba obvodu pro měření citlivosti kamer 1.....	55
Obrázek 29 - Stavba obvodu pro měření citlivosti kamer 2	55

Obrázek 30 – Plně funkční obvod pro měření citlivosti kamer	55
Obrázek 31 – Blokové schéma zapojení pro ověřování vlnových délek diod	57
Obrázek 32 – Zapojený obvod pro ověřování záření LED diod	57
Obrázek 33 – Detail měřicího pracoviště pro ověřování záření LED diod.....	57
Obrázek 34 – Vzorový graf naměřené vlnové délky diody $\lambda = 700$ nm	60
Obrázek 35 – Blokové schéma zapojení pro měření citlivosti kamer na určitou vlnovou délku	61
Obrázek 36 – Nachystané pracoviště pro měření citlivosti kamer na určitou vlnovou délku	62
Obrázek 37 – Vzorový obraz z kamer pro ilustraci (všechny diody září).....	62
Obrázek 38 – Blokové schéma měření vlnové délky světla emitovaného přisvity.....	65
Obrázek 39 – Nachystané pracoviště pro měření vlnové délky světla emitovaného přisvity.....	65
Obrázek 40 – Záření bodového halogenového světla s 50W žárovkou.....	65
Obrázek 41 – Záření halogenového 120W reflektoru.....	66
Obrázek 42 – Záření halogenového 500W reflektoru.....	66
Obrázek 43 – Záření bodového LED světla.....	66
Obrázek 44 – Záření LED reflektoru	67
Obrázek 45 – Záření IR LED reflektoru	67
Obrázek 46 – Blokové schéma pro měření dosahu přisvitů pomocí luxmetru	70
Obrázek 47 – Luxmetr ALMEMO 2290-3	70
Obrázek 48 – Blokové schéma pro měření dosahu přisvitů pomocí kamer.....	72
Obrázek 49 – Zbudované pracoviště pro měření dosahu přisvitů pomocí kamery.....	73
Obrázek 50 – Blokové schéma měření úhlu vyzařování přisvitů	75
Obrázek 51 – Měření prvního úhlu (α) na bodovém halogenovém svítidle	76
Obrázek 52 – Měření druhého úhlu (β) na bodovém halogenovém svítidle.....	76
Obrázek 53 – Znázornění klíčových vlastností pro měření přisvitů	78

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1- Přehled elektromagnetického záření [2]	12
Tabulka 2 – Přehled intenzity osvětlení v běžném životě.....	15
Tabulka 3 – Naměřené výsledky ověřování záření LED diod	59
Tabulka 4 – Zpracované výsledky měření vlnových délek přísvitů.....	67
Tabulka 5 – Naměřené hodnoty dosahů přísvitů	70
Tabulka 6 – Úhly svícení přísvitů ve vertikálním směru	77
Tabulka 7 – Úhly svícení přísvitů v horizontálním směru.....	77

SEZNAM PŘÍLOH

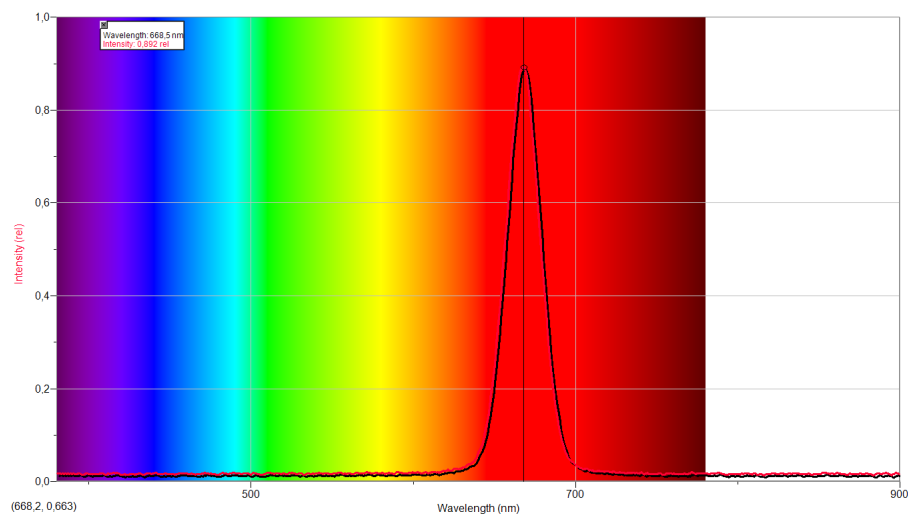
Příloha P I – Grafy emitovaného světla LED a IR LED diod

Příloha P II – Měření citlivosti kamer na diody

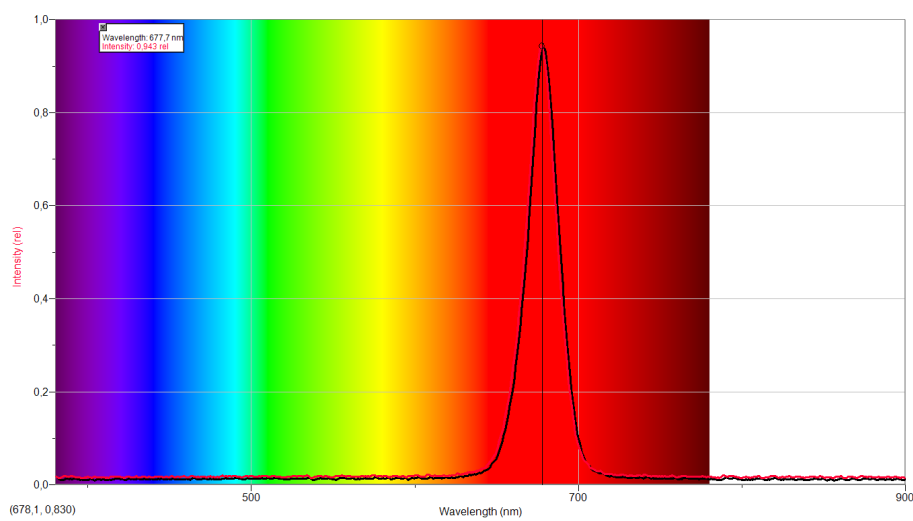
Příloha P III – Grafy emitovaného světla přívsvity

Příloha P IV – Dosah přívsvitů měřený pomocí kamer

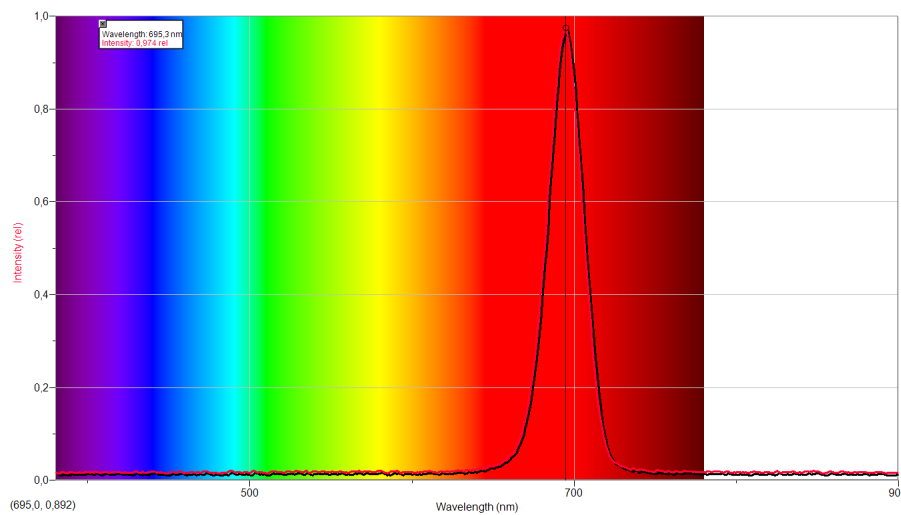
PŘÍLOHA P I: GRAFY EMITOVANÉHO SVĚTLA LED A IR LED DIOD



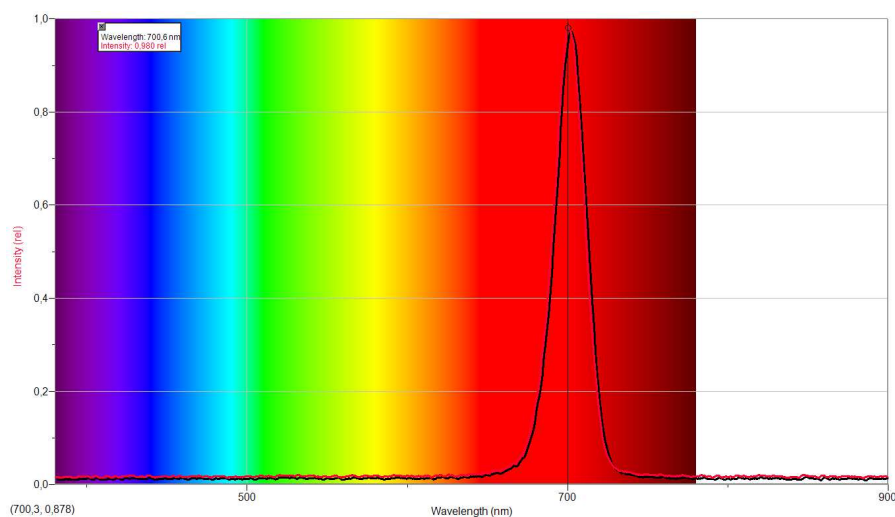
Graf 1 – Graf světla z LED diody $\lambda = 670 \text{ nm}$



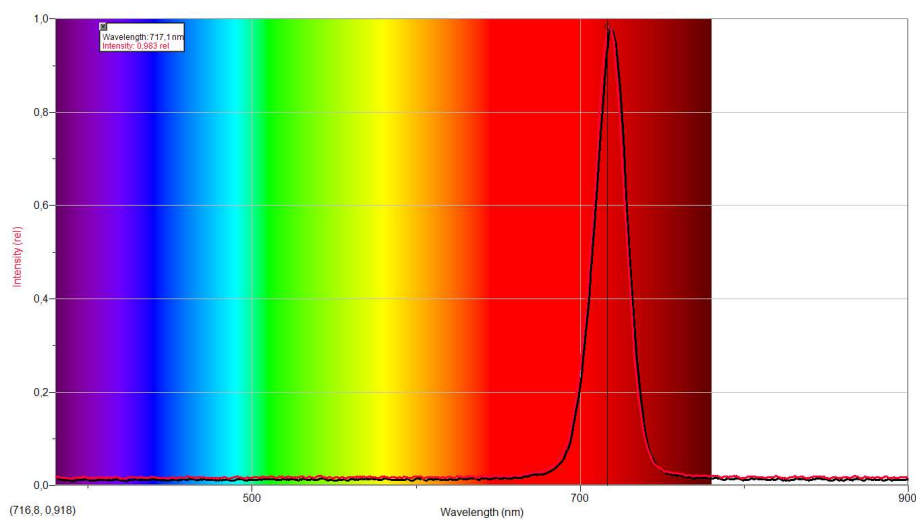
Graf 2 - Graf světla z LED diody $\lambda = 680 \text{ nm}$



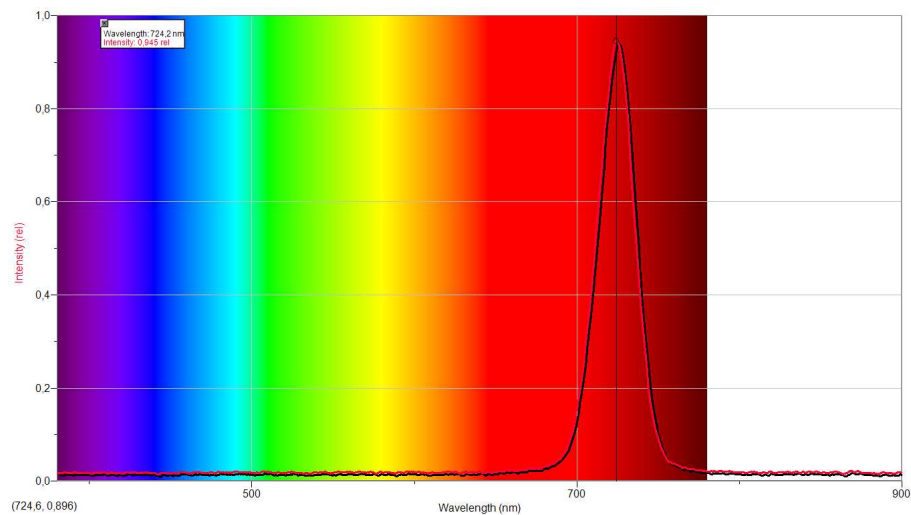
Graf 3 - Graf světla z LED diody $\lambda = 690$ nm



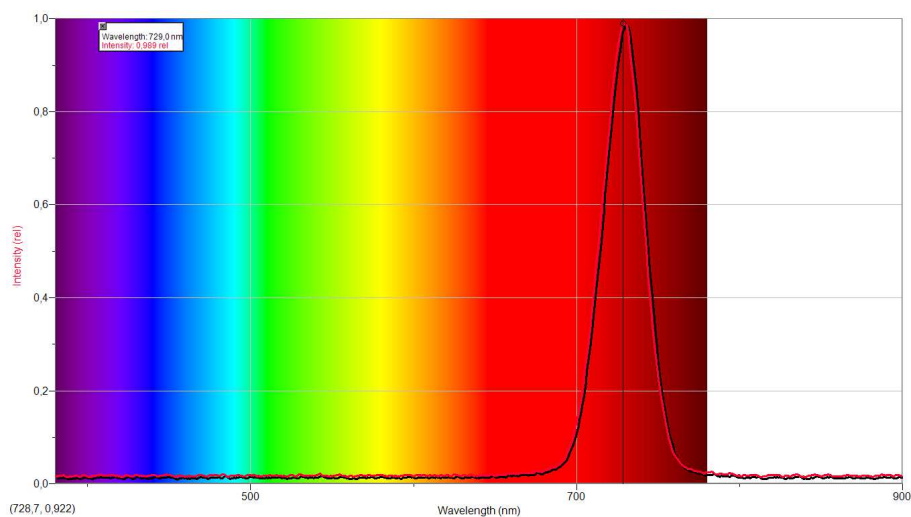
Graf 4 - Graf světla z LED diody $\lambda = 700$ nm



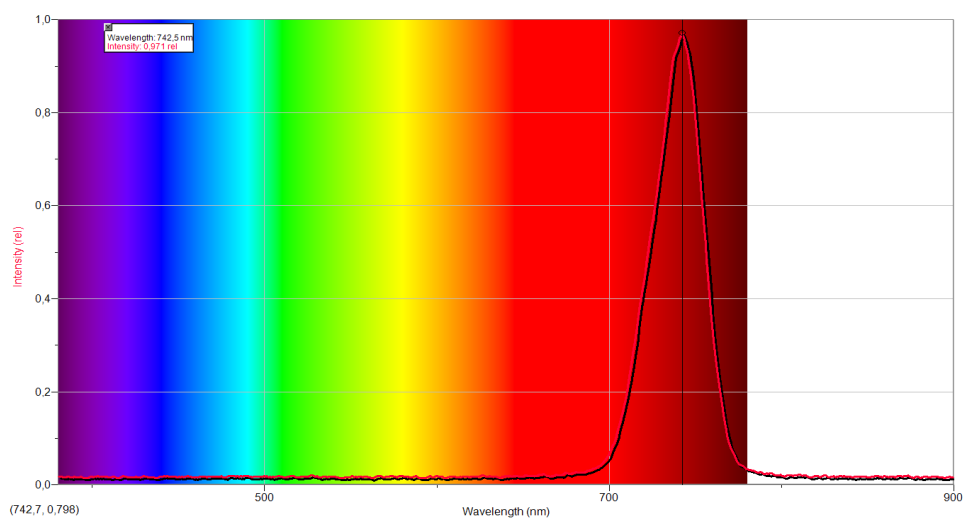
Graf 5 - Graf světla z LED diody $\lambda = 720$ nm



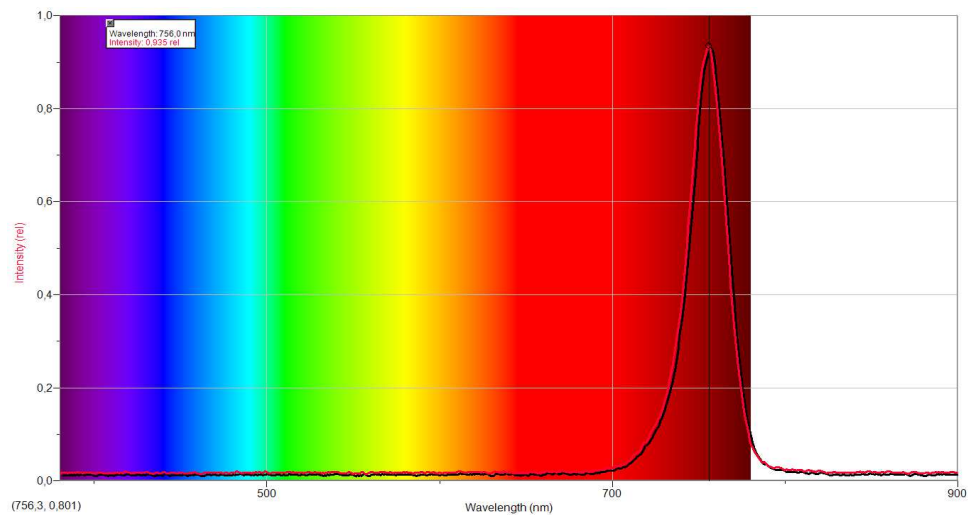
Graf 6 - Graf světla z LED diody $\lambda = 724 \text{ nm}$



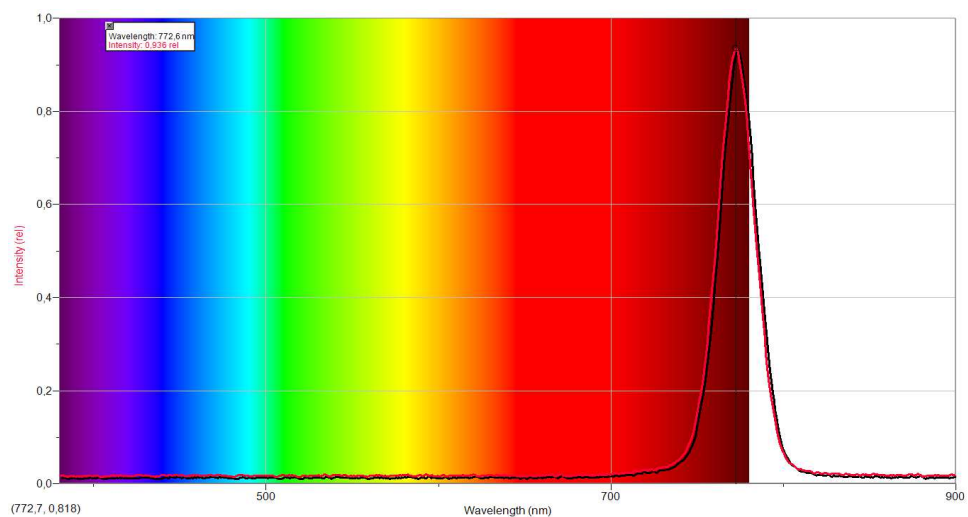
Graf 7 - Graf světla z LED diody $\lambda = 730 \text{ nm}$



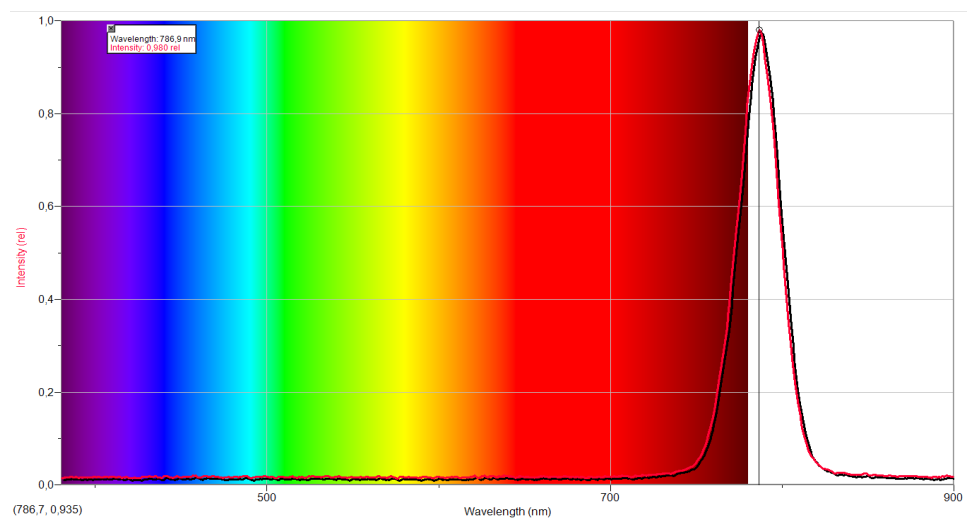
Graf 8 - Graf světla z LED diody $\lambda = 740 \text{ nm}$



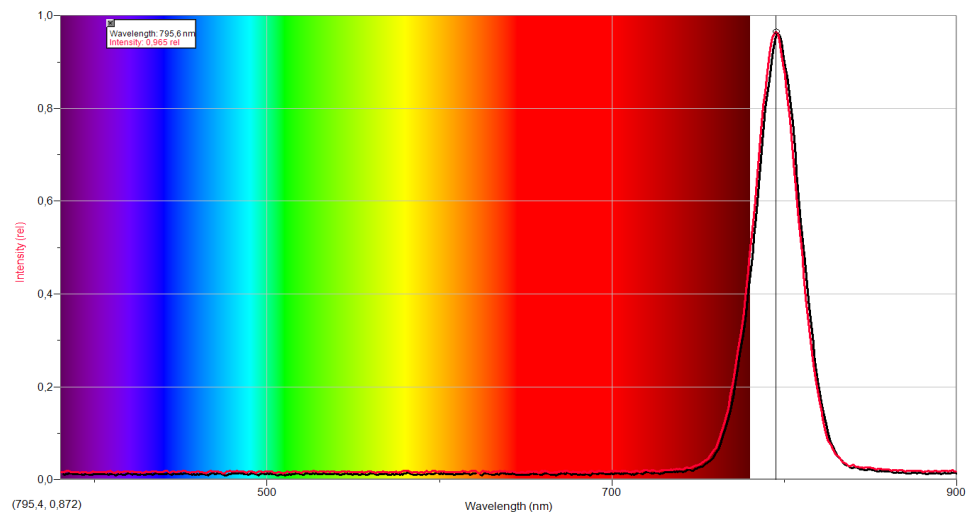
Graf 9 - Graf světla z LED diody $\lambda = 750$ nm



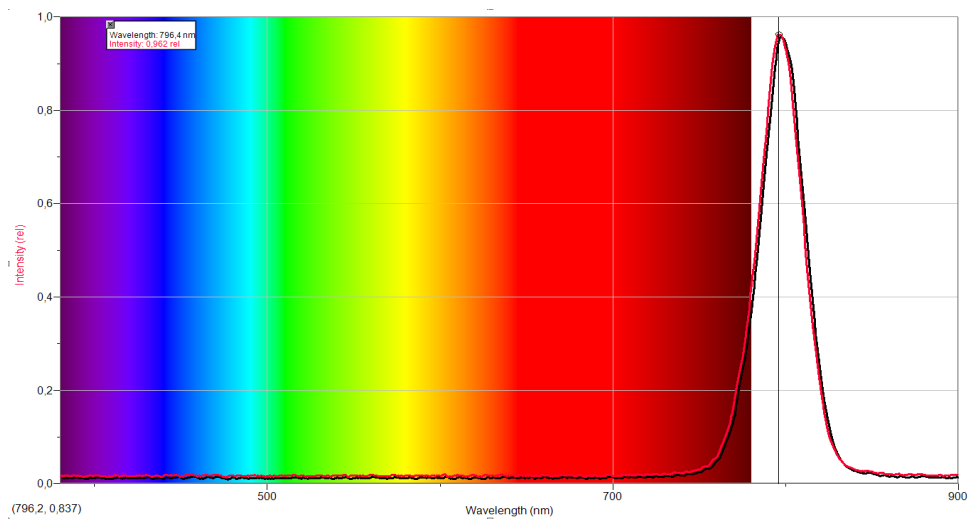
Graf 10 - Graf světla z LED diody $\lambda = 770$ nm



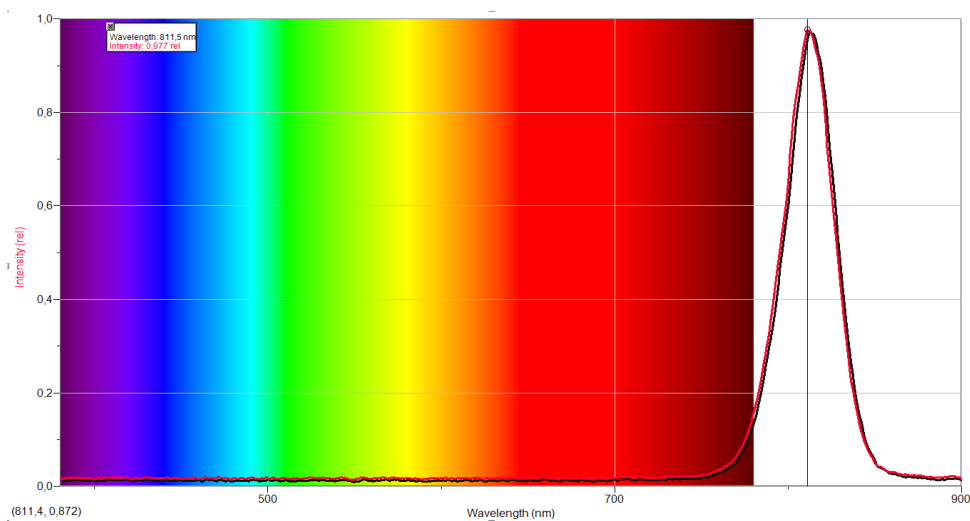
Graf 11 - Graf světla z LED diody $\lambda = 780$ nm



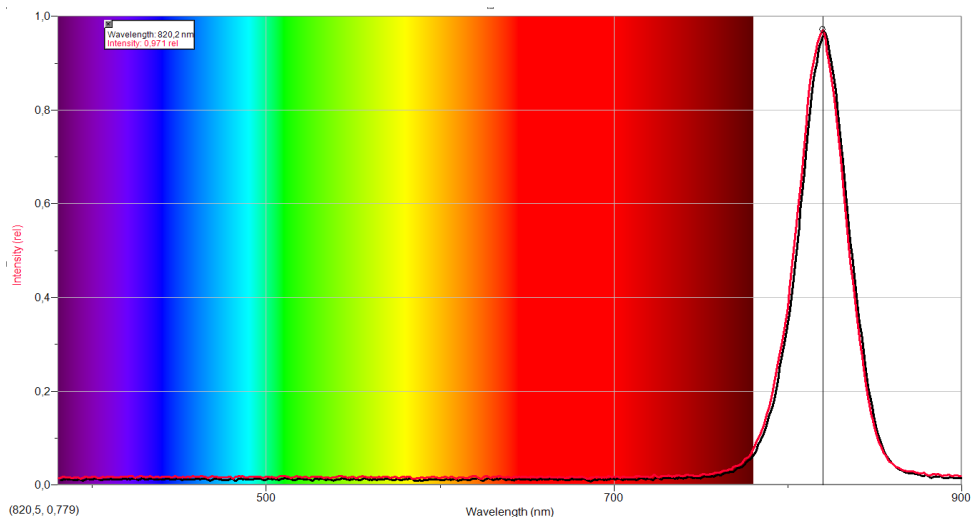
Graf 12 - Graf světla z LED diody $\lambda = 790 \text{ nm}$



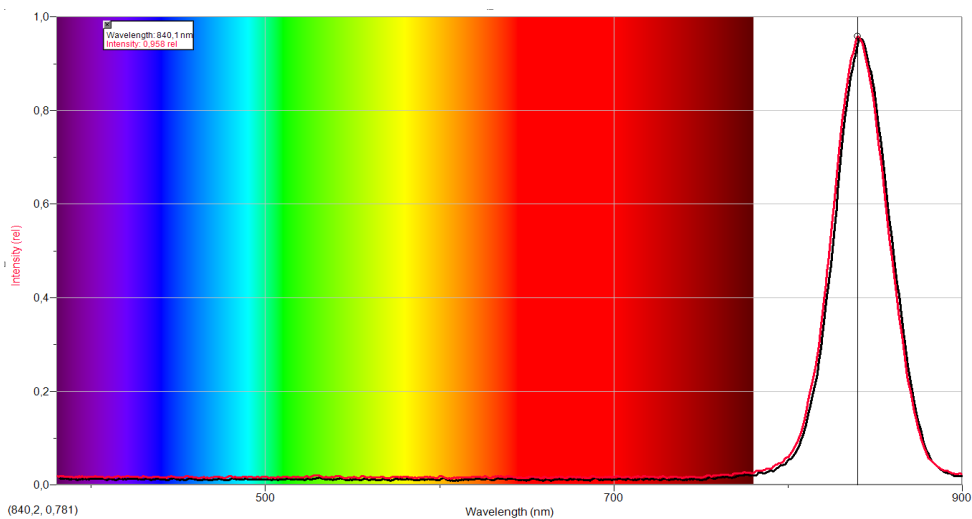
Graf 13 - Graf světla z LED diody $\lambda = 800 \text{ nm}$



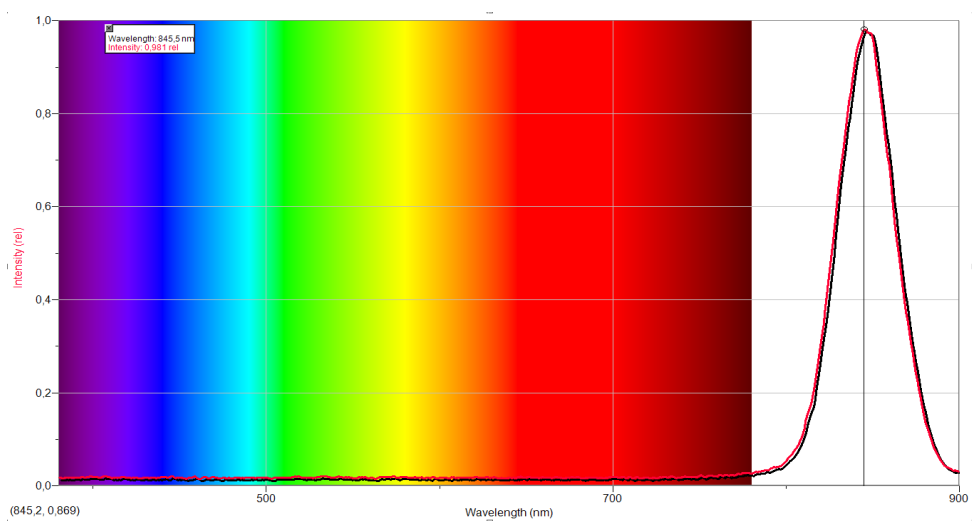
Graf 14 - Graf světla z LED diody $\lambda = 810 \text{ nm}$



Graf 15 - Graf světla z LED diody $\lambda = 820 \text{ nm}$



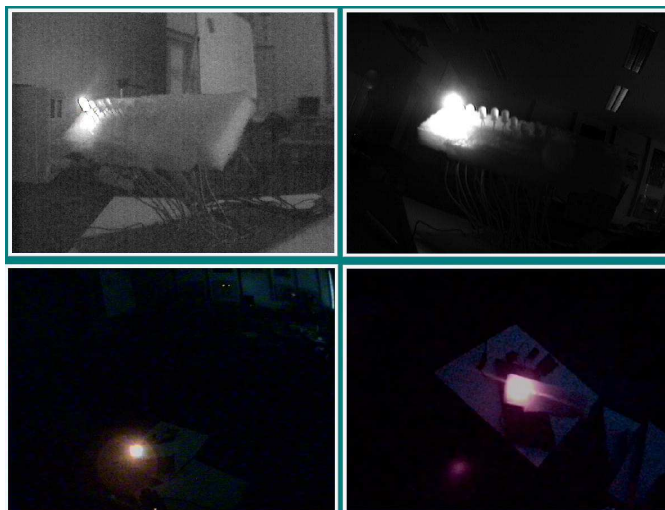
Graf 16 - Graf světla z LED diody $\lambda = 840 \text{ nm}$



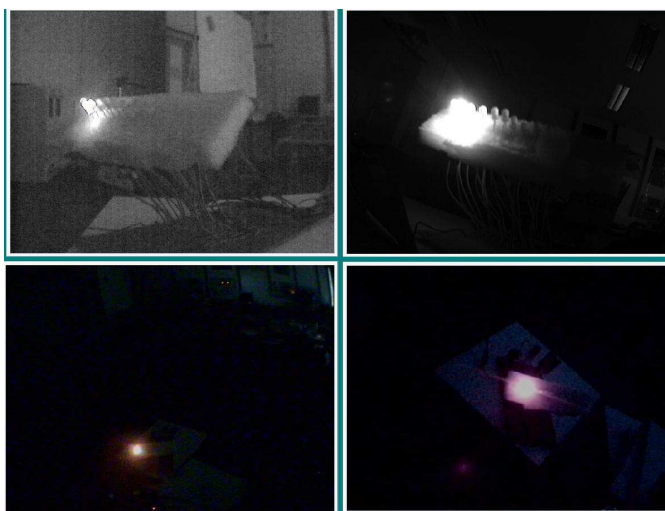
Graf 17 - Graf světla z LED diody $\lambda = 850 \text{ nm}$

PŘÍLOHA P II: MĚŘENÍ CITLIVOST KAMER NA DIOIDY

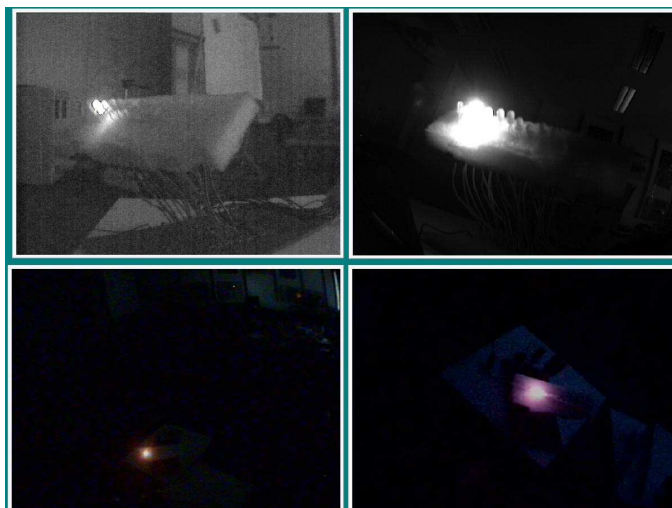
Na následujících obrázcích je zachyceno svícení diod. Vlevo nahoře je obraz černobílé dome kamery, vlevo dole se nachází obraz z barevné „doutníčkové“ kamery, vpravo nahoře je obraz z kamery PELCO a vpravo dole obraz z barevné CCD kamery.



Obrázek 1 – Svícení diody $\lambda = 680 \text{ nm}$



Obrázek 2 – Svícení diody $\lambda = 700 \text{ nm}$



Obrázek 3 – Svícení diody $\lambda = 720$ nm



Obrázek 4 – Svícení diody $\lambda = 730$ nm



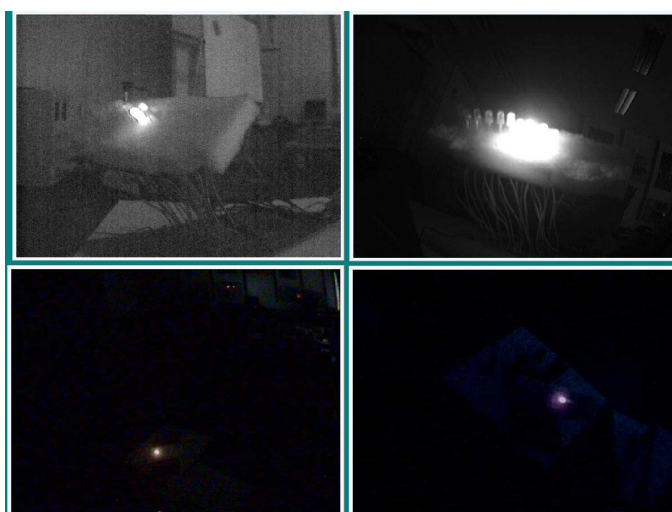
Obrázek 5 – Svícení diody $\lambda = 750$ nm



Obrázek 6 – Svícení diody $\lambda = 780 \text{ nm}$



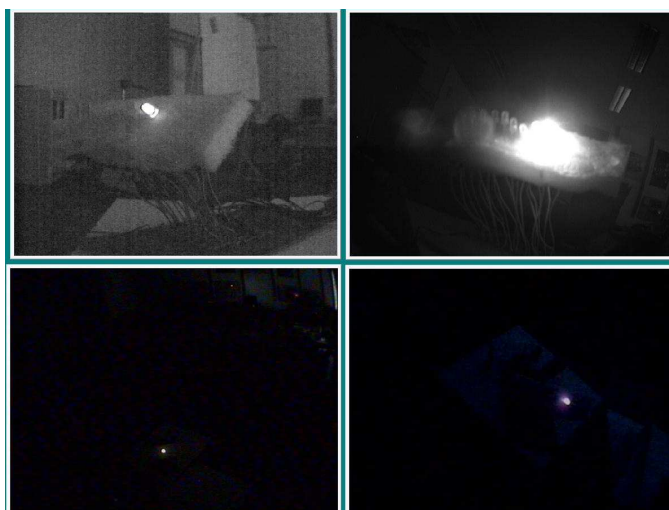
Obrázek 7 – Svícení diody $\lambda = 800 \text{ nm}$



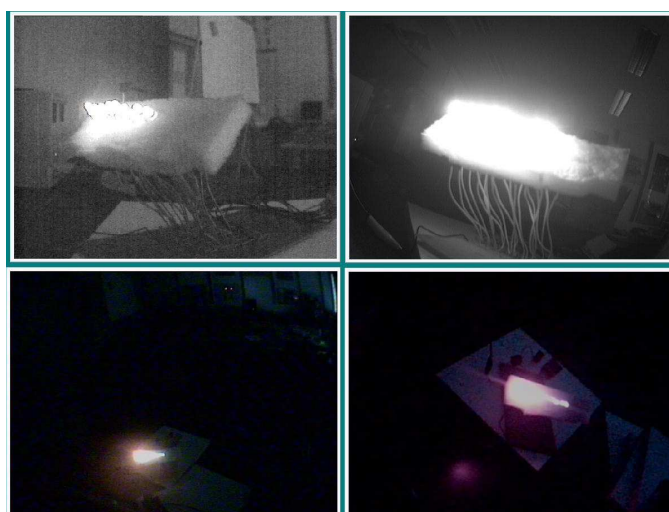
Obrázek 8 – Svícení diody $\lambda = 820 \text{ nm}$



Obrázek 9 – Svícení diody $\lambda = 840 \text{ nm}$

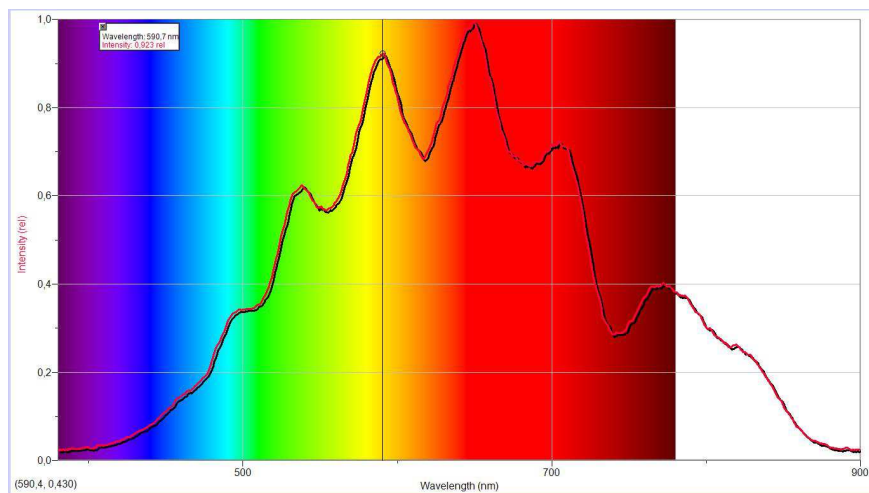


Obrázek 10 – Svícení diody $\lambda = 850 \text{ nm}$

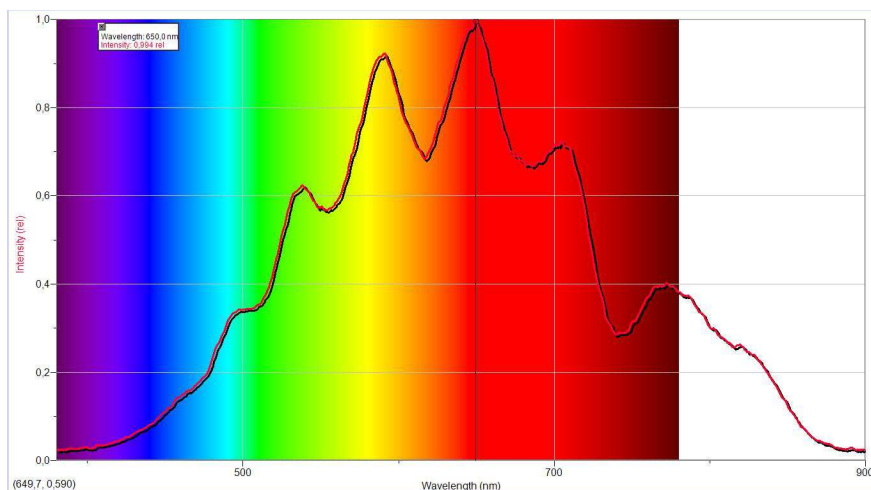


Obrázek 11 – Svícení všech zapojených diod

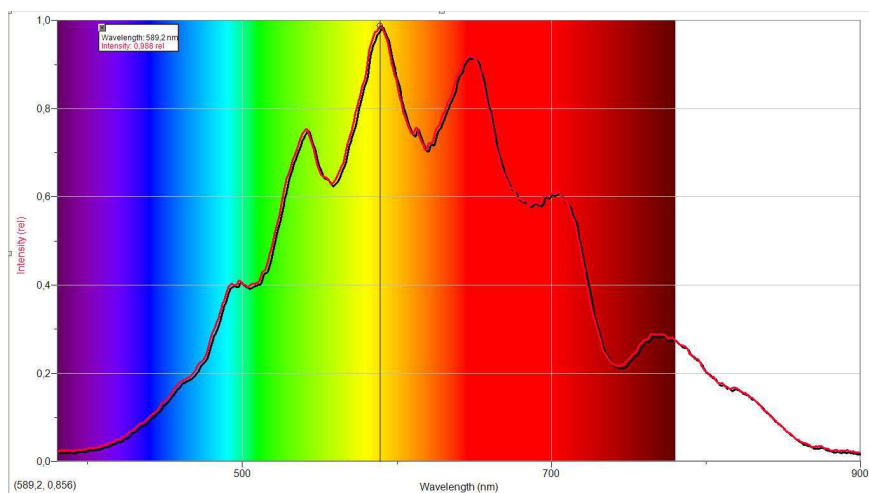
PŘÍLOHA P III: GRAFYEMITOVANÉHO SVĚTLA PŘÍSVITY



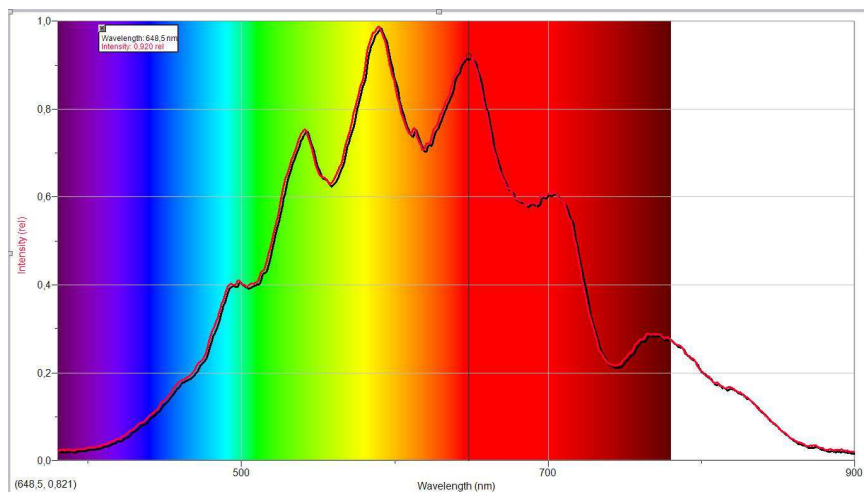
Graf 1 – Graf svícení bodového halogenového světla – špička 1



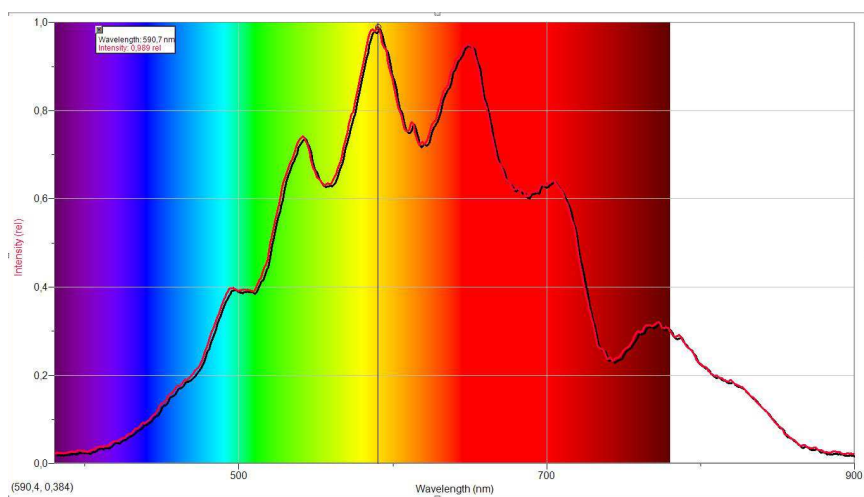
Graf 2 – Graf svícení bodového halogenového světla – špička 2



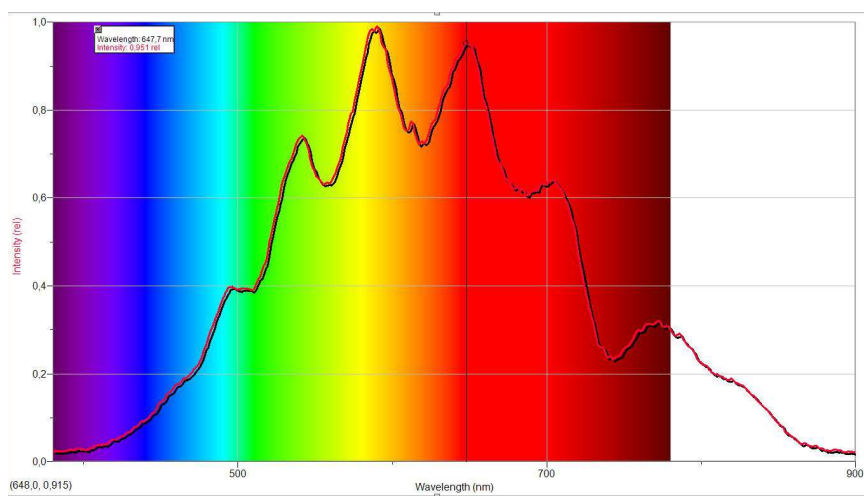
Graf 3 – Graf svícení 120 W halogenového reflektoru – špička 1



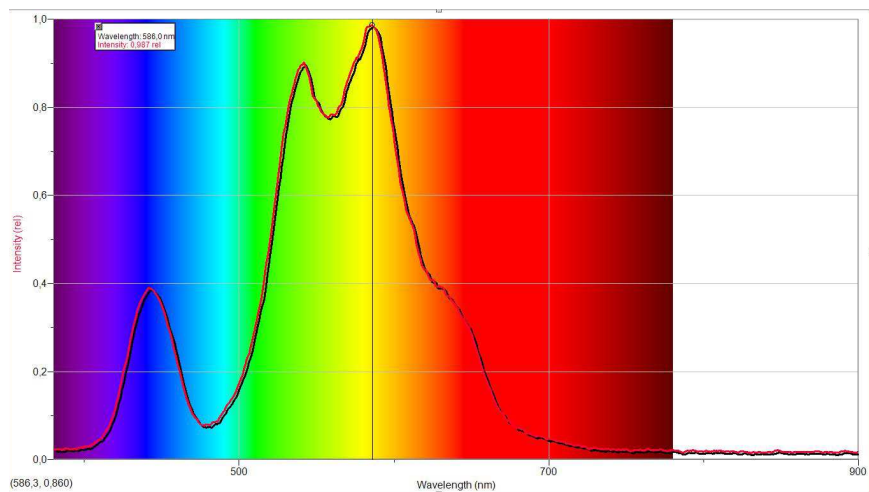
Graf 4 – Graf svícení 120 W halogenového reflektoru – špička 2



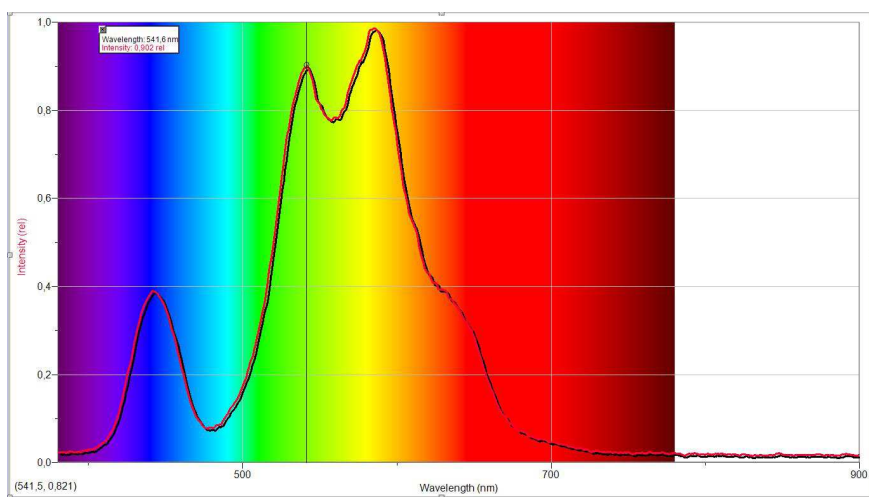
Graf 5 – Graf svícení 500 W halogenového reflektoru – špička 1



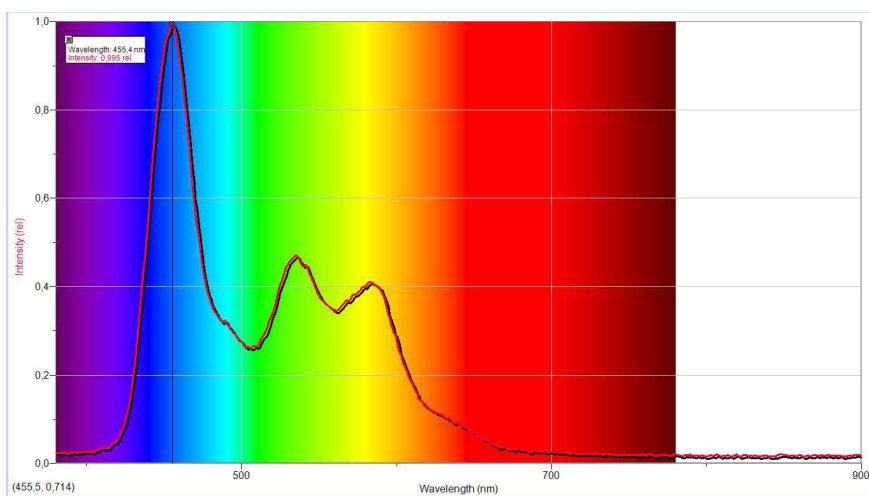
Graf 6 – Graf svícení 500 W halogenového reflektoru – špička 2



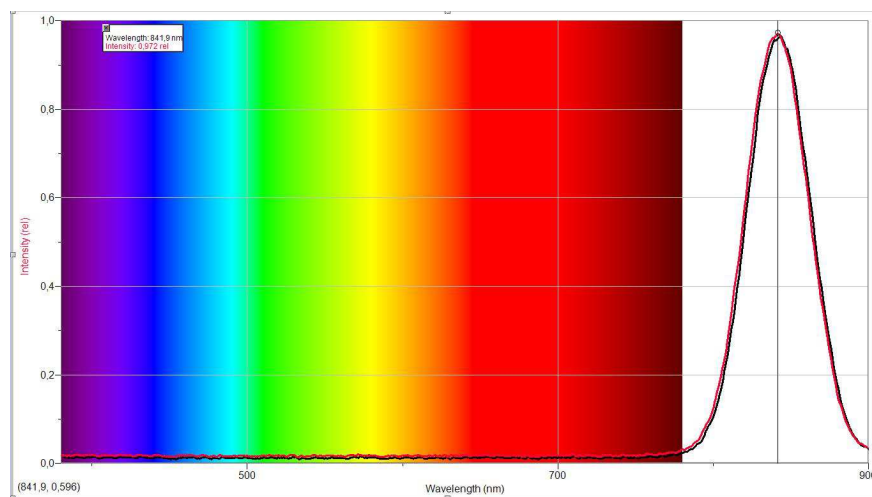
Graf 7 – Graf svícení LED reflektoru – špička 1



Graf 8 – Graf svícení LED reflektoru – špička 2



Graf 9 – Graf svícení bodového LED světla



Graf 10 – Graf svícení IR LED reflektoru

PŘÍLOHA P IV: DOSAH PŘÍSVITŮ MĚŘENÝ POMOCÍ KAMER

Bodové halogenové světlo – barevná CCD kamera (vzdálenosti 1, 10, 20, 30, 40 m):



120 W halogen. reflektor – barevná CCD kamera (vzdálenosti 1, 10, 20, 30, 40 m):



500 W halogen. reflektor – barevná CCD kamera (vzdálenosti 1, 10, 20, 30, 40 m):





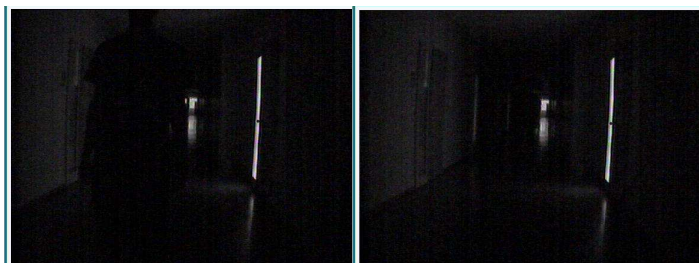
Bodové LED světlo – barevná CCD kamera (vzdálenosti 1, 10, 20 m):



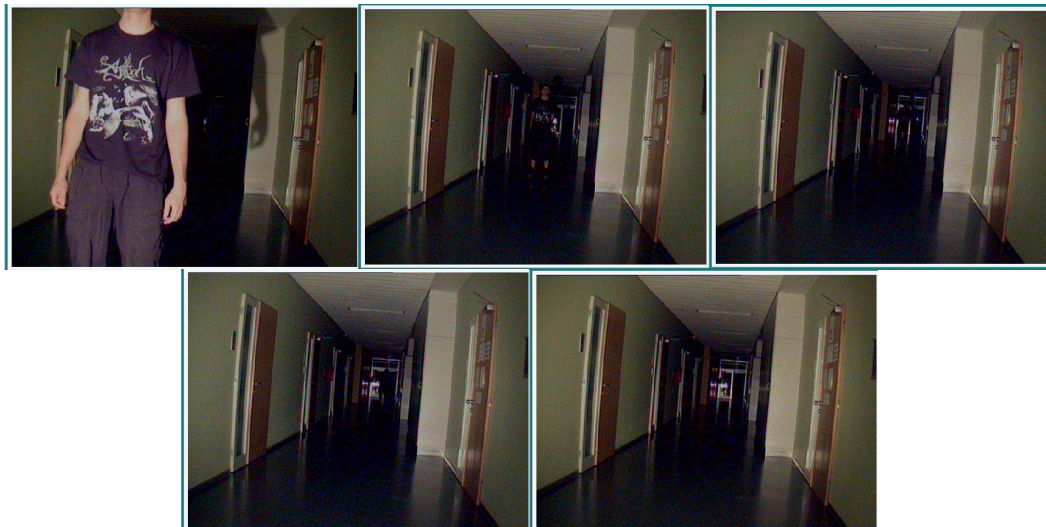
LED reflektor – barevná CCD kamera (vzdálenosti 1, 10, 20, 30, 40 m):



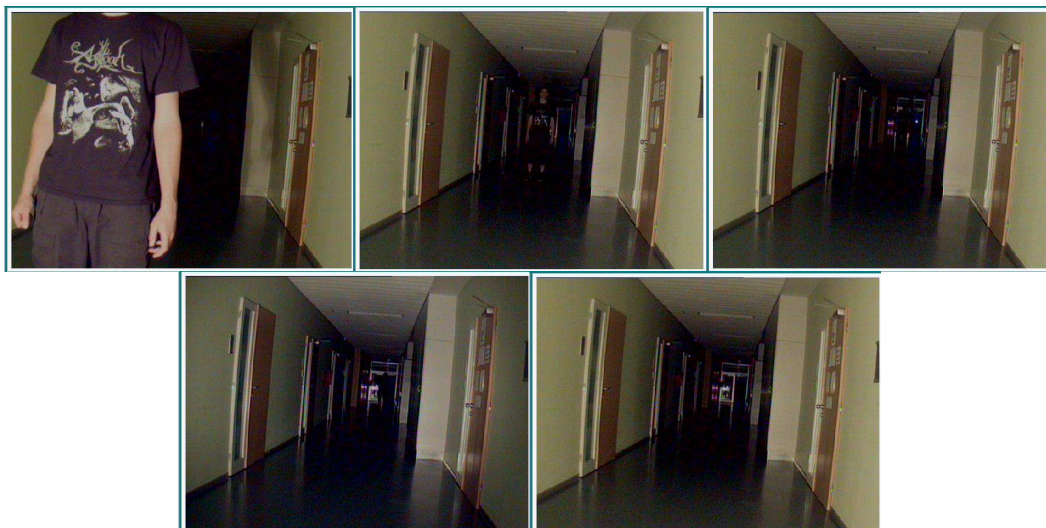
IR LED reflektor – barevná CCD kamera (vzdálenosti 1, 10 m):



Bodové halogenové světlo – kamera PELCO (vzdálenosti 1, 10, 20, 30, 40 m):



120 W halogen. reflektor – kamera PELCO (vzdálenosti 1, 10, 20, 30, 40 m):

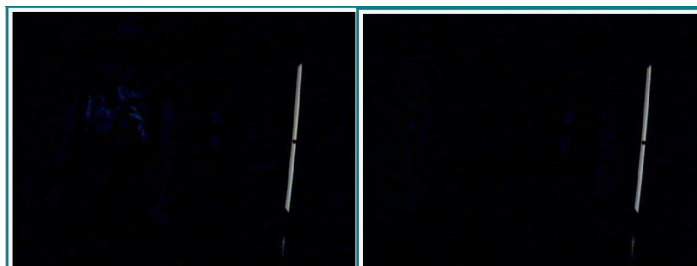


500 W halogen. reflektor – kamera PELCO (vzdálenosti 1, 10, 20, 30, 40 m):

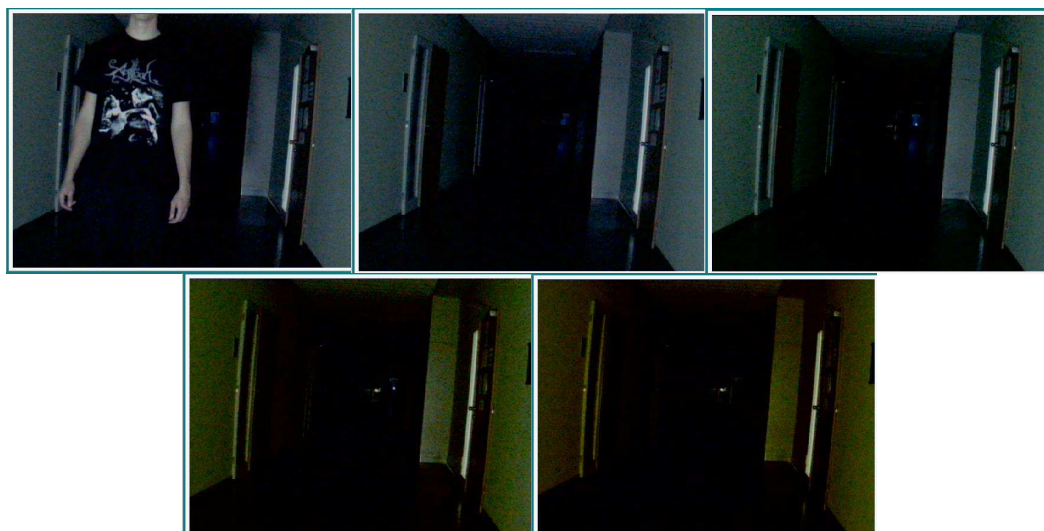




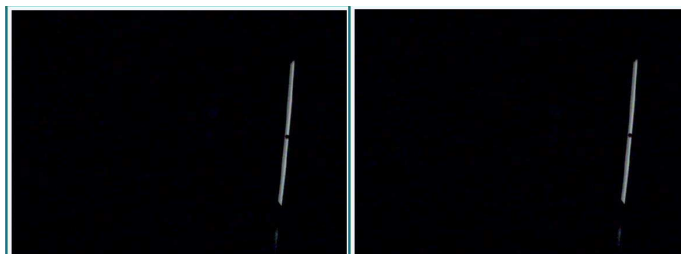
Bodové LED světlo – kamera PELCO (vzdálenosti 1, 10 m):



LED reflektor – kamera PELCO (vzdálenosti 1, 10, 20, 30, 40 m):



IR LED reflektor – kamera PELCO (vzdálenosti 1, 10 m):



Bodové halogenové světlo – černobílá doma kamera (vzdálenosti 1, 10, 20, 30, 40 m):



120 W halogen. reflektor – černobílá doma kamera (vzdálenosti 1, 10, 20, 30, 40 m):



500 W halogen. reflektor – černobílá doma kamera (vzdálenosti 1, 10, 20, 30, 40 m):





Bodové LED světlo – černobílá doma kamera (vzdálenosti 1, 10, 20 m):



LED reflektor – černobílá doma kamera (vzdálenosti 1, 10, 20 m):



IR LED reflektor – černobílá doma kamera (vzdálenosti 1, 10, 20 m):



Bodové halogenové světlo – barevná doutníková kamera (vzdálenosti 1, 10, 20, 30, 40 m):



120 W halogen. reflektor – barevná doutníková kamera (vzdálenosti 1, 10, 20, 30, 40 m):



500 W halogen. reflektor – barevná doutníková kamera (vzdálenosti 1, 10, 20, 30, 40 m):





Bodové LED světlo – barevná doutníková kamera (vzdálenosti 1, 10, 20 m):



LED reflektor – barevná doutníková kamera (vzdálenosti 1, 10, 20 m):



IR LED reflektor – barevná doutníková kamera (vzdálenosti 1, 10 m):

