



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta zdravotnických studií ■

Vliv zobrazovacích jednotek a monitorů na cirkadiánní rytmus člověka

Bakalářská práce

Studijní program: B3944 – Biomedicínská technika
Studijní obor: 3901R032 – Biomedicínská technika
Autor práce: **Dominik Dušek**
Vedoucí práce: prof. Ing. Aleš Richter, CSc.





Influence of display units and monitors on the circadian rhythm of humans

Bachelor thesis

Study programme: B3944 – Biomedical Technology
Study branch: 3901R032 – Biomedical Technology

Author: **Dominik Dušek**
Supervisor: prof. Ing. Aleš Richter, CSc.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Dominik Dušek**
Osobní číslo: **D15000002**
Studijní program: **B3944 Biomedicínská technika**
Studijní obor: **Biomedicínská technika**
Název tématu: **Vliv zobrazovacích jednotek a monitorů na cirkadiánní rytmus člověka**
Zadávací katedra: **Fakulta zdravotnických studií**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

CÍLE PRÁCE:

Bakalářská práce se zabývá zkoumáním vlivu zobrazovacích jednotek, monitorů a herních portálů na cirkadiánní rytmus člověka. V úvodu práce je uveden přehled technologií a principů emise světla displejů LCD, OLED, CRT a dalších zobrazovacích jednotek. Dále bude zkoumán samotný vliv světla a jeho spektra na kvalitu spánku člověka z pohledu biofyziky. Popíší nejznámější poruchy spánku, které jsou způsobeny nadměrným množstvím světla v noci a nevhodným spektrem. Bude představen přenos zrakového vjemu do centrálního nervového systému.

V neposlední řadě popíší a porovná jednotlivé programy pro počítače, telefony a tablety jednotlivých operačních systémů (Android, Windows, iOS, OSX), které v závislosti na čase, poloze či intenzitě a spektra okolního světla umí upravit jas a teplotu barev displeje.

Teoretická východiska (včetně výstupu z KVALIFIKAČNÍ PRÁCE):

Střídání dne a noci, či působení denního a umělého světla mají vliv na cirkadiánní rytmus člověka. V případě naměření barevného spektra a porovnání vlnových délek, je možné určit, který typ světla je pro lidské oko nejfyziologičtější.

VÝZKUMNÉ PŘEDPOKLADY / VÝZKUMNÉ OTÁZKY:

1. Vliv světla a jeho spektra na kvalitu spánku člověka z pohledu biofyziky - rešerše
2. Spektra světla v různých denních režimech umělá/přírodní
3. Srovnání spektra rozbor spektrálních složek
4. Fyziologické rozdíly

METODA:

Kvalitativní

TECHNIKA PRÁCE, VYHODNOCENÍ DAT:

Měření pomocí digitálního spektrometru MK-350. Zpracování naměřených dat a vyhodnocení měření.

MÍSTO A ČAS REALIZACE VÝZKUMU:

Výzkum bakalářské práce bude realizován v laboratořích Ústavu pro nanomateriály, pokročilých technologií a inovací.

VZOREK:

Zdroje světla.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: 50 - 70

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

KÖSTER, Helmut. Dynamika denního osvětlení: principy návrhů, realizace. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3049-3.

HABEL, Jiří. Světlo a osvětlování. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3.

SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. Fyziologie oka a vidění. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-3992-2.

SOKANSKÝ, Karel. Kurz osvětlovací techniky. Karviná: BAEL, 1995, 80, [56] s.

HABEL, Jiří. Světelná technika a osvětlování. Praha: FCC Public, 1995. ISBN 80-901985-0-3.

ROSINA, Jozef. Biofyzika: pro zdravotnické a biomedicínské obory. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-4237-3.

AUTRATA, Rudolf. Nauka o zraku. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2002. ISBN 80-7013-362-7.

GREGORY Peter, MBChB Bsc (Hons) FRCA, EDSELL Mark, MBChB FRCA FFICM; Fatigue and the Anaesthetist. Contin Educ Anaesth Crit Care Pain 2014; 14 (1): 18-22. DOI: 10.1093/bjaceaccp/mkt025

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Aleš Richter, CSc.

Ústav mechatroniky a technické informatiky

Datum zadání bakalářské práce: 28. dubna 2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 30. dubna 2018



[Handwritten signature]
prof. MUDr. Karel Cvachovec, CSc., MBA
děkan

V Liberci dne 30. listopadu 2017

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 2.5.2018

Podpis: 

Poděkování

Rád bych poděkoval prof. Ing. Aleši Richterovi, CSc. za přínosné rady, připomínky, zapůjčení digitálního spektrometru a odborné vedení při zpracovávání bakalářské práce.

Anotace

Autor: Dominik Dušek

Instituce: Technická univerzita v Liberci, Fakulta zdravotnických studií

Název práce: Vliv zobrazovacích jednotek a monitorů na cirkadiánní rytmus člověka

Vedoucí práce: prof. Ing. Aleš Richter, CSc.

Počet stran: 65

Rok obhajoby: 2018

Souhrn:

Cílem je provést spektrální analýzu světla, zobrazovacích jednotek ve vztahu k cirkadiánnímu rytmu. Součástí práce je rozbor spektra a intenzity zdroje z pohledu biofyziky a jeho možný vliv na spánek. Práce bude cílena na LCD, OLED a CRT displeje.

Klíčová slova: světlo, cirkadiánní rytmus, displej, monitor, program, spektrální charakteristiky

Abstract

Author: Dominik Dušek

Institution: Technical university of Liberec, Faculty of Health Studies

Title: Influence of display units and monitors on the circadian rhythm of humans

Supervisor: prof. Ing. Aleš Richter, CSc.

Pages: 65

Year: 2018

Summary:

This work deals with spectral analysis of light, imaging units in relation to the circadian rhythm. Part of this work is to analyze the spectrum and intensity of resources in terms of biophysics and possible impact on sleep. This work will be mainly targeted to LCD, OLED and CRT displays.

Key words: light, circadian rhythm, display, screen, program, spectral characteristics

Obsah

Seznam použitých zkratek	11
Přehled fyzikálních jednotek ve fotometrii.....	12
1 Úvod.....	13
2 Teoretická část	14
2.1 Fyzikální podstata světla.....	14
2.2 Cirkadiánní rytmus člověka	14
2.2.1 Vliv světla na denní režim člověka.....	17
2.2.2 Vliv světla na člověka v noci.....	17
2.3 Teorie barevného vidění - rozlišení barev	17
2.3.1 Elektrofyzologie barevného vidění.....	19
2.3.2 Barevné charakteristiky umělých zdrojů světla	20
2.4 Typy zobrazovacích jednotek	20
2.4.1 Displeje typu CRT (Cathode Ray Tube).....	20
2.4.2 Displeje z tekutých krystalů - LCD (Liquid Crystal Display)	22
2.4.2.1 Technologie RGB-RGBW-RGBG	23
2.4.2.2 Technologie TN (Twisted-Nematic).....	23
2.4.2.3 Technologie VA (Vertical Alignment).....	23
2.4.2.4 Technologie IPS (In Plane Switching).....	24
2.4.3 Displeje tvořené z organických elektroluminiscenčních diod - OLED (Organic Light Emmiting Diode)	25
2.4.3.1 Displeje s aktivní maticí - AMOLED (Active Matrix Organic-Light Emitting Diode)	26
2.4.3.2 Displeje s pasivní maticí - PMOLED (Passive Matrix Organic-Light Emitting Diode).....	26
2.4.3.3 PHOLED (Phosphorescent Organic-Light Emitting Device).....	27
2.4.3.4 FOLED (Flexible Organic-Light Emitting Diode)	27
2.4.3.5 TOLED (Transparent Organic-Light Emitting Diode).....	27
2.4.4 Plazmové displeje	28
2.5 Software pro automatickou regulaci jasu zobrazovacích jednotek.....	30
2.5.1 Program f.lux	30
2.5.2 Program Redshift	31

2.5.3	Režim Night Shift	31
3	Výzkumná část.....	32
3.1	Cíle a výzkumné předpoklady	32
3.2	Metodika měření	32
3.3	Technické parametry digitálního spektrometru	33
3.4	Výzkumné otázky a měření	35
3.4.1	Apple iPad Pro	35
3.4.2	Apple iPad Pro s Night Shift.....	38
3.4.3	Projektor.....	41
3.4.4	Apple iPhone 7.....	44
3.4.5	LED svítidlo iLine 4000K	47
3.4.6	Monitor BENQ	50
3.4.7	Monitor BENQ s f.lux	53
3.4.8	Apple iPhone 5s s Night Shift.....	56
4	Porovnání charakteristik jednotlivých zdrojů a jejich možný vliv na člověka	59
5	Závěr	61
	Seznam použité literatury	62
	Seznam příloh	65

Seznam použitých zkratek

AMOLED	Active Matrix Organic-Light Emitting Diode
atd.	a tak dále
BMP	Windows Bitmap
CCT	Correlated Color Temperature
CMOS	Complementary Metal-Oxide-Semiconductor
CRI	Color Rendering Index
CRT	Cathode Ray Tube
DAC	Digital to Analog Converter
DAC	Digital to Analog Converter
FOLED	Flexible Organic-Light emitting diode
IPS	In-Plane Switching
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light-Emitting Diode
Mpx	megapixel
MVA	Multi-domain vertical alignment
např.	například
OLED	Organic light-emitting diode
PHOLED	Phosphorescent Organic-Light-emitting diode
PMOLED	Passive Matrix Organic-Light Emitting Diode
PVA	Patterned Vertical Alignment
RGB	Red-green-blue
SCN	Suprachiasmatické jádro (nucleus) hypothalamu
TFT	Thin Film Tranzistor
TN	twisted nematic
TOLED	Transparent Organic-Light emitting diode
TUL	Technická univerzita v Liberci
tzv.	takzvaně
VA	Vertical Alignment
VGA	Video Graphics Array

Přehled fyzikálních jednotek ve fotometrii

Tab.1

veličina	symbol	jednotka SI	označení
Amplituda	y		
Barevná teplota	T_c	kelvin	
Čas	t	sekunda	
Intenzita osvětlení	E_v	lux	$\text{lx} = (\text{lm} \cdot \text{m}^{-2})$
Jas	L	kandela na metr čtverečný	$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$
Měrný světelný výkon	K	lumen na watt	$\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$
Světelný tok	Φ, F	lumen	$\text{lm} = (\text{cd} \cdot \text{sr})$
Svítivost	I	kandela	$\text{cd} = (\text{lm} \cdot \text{sr}^{-1})$
Vlnová délka	λ	metr	

1 Úvod

Objev světelného zdroje se datuje zhruba před tisíci lety. Člověk jako první zdroj světla používal oheň, který měl i další široké využití, například jako ochrana před chladem, šelmami, při přípravě pokrmů atd.

Převratný moment historie světelných zdrojů přišel až s vynálezem a dalším rozvojem žárovky. V nynější době jsou klasické žárovky pracující s wolframovým vláknem ve vakuu nahrazovány halogenovými žárovkami či energetickými výbojkami. Halogenové žárovky našly od 60. let 20. století široké uplatnění, například jako reflektory automobilů. Výbojky jsou nejčastěji používány pro osvětlení exteriérů - komunikací, sportovišť či veřejných prostranství. Lze je také použít pro osvětlení vnitřních prostor dílen, škol, domů apod.

V dnešní době jsou moderní svítidla realizována ve formě LED diod, které patří k hojně užívaným světelným zdrojům, zejména kvůli svému nízkému odběru elektrické energie a dlouhodobé životnosti. Nejčastěji se LED diody používají v displejích u různých elektronických zařízení. V současné době patří k trendu tzv. ambientní osvětlení, které je realizováno pomocí LED pásků. Používá se pro osvětlení vnitřních prostor (ložnice, obývací pokoje) nebo pro osvětlení interiérů vozidel.

Díky velkému rozmachu světelných zdrojů a vyšší implementaci elektronických zařízení do našeho života, dochází k narušení cirkadiánního rytmu člověka, zejména kvůli vyzařování modrého světla z displejů elektronických zařízení ve večerních/nočních hodinách, při čemž dochází k poruchám spánku či jiným duševním poruchám, mezi které můžeme počítat celkovou únavu organismu, deprese, poruchy soustředění, zvýšenou nervozitu a další změny, které jsou nad rámec této práce. Cílem bakalářské práce je tedy poukázat na to, jaké spektrum barev jednotlivá elektronická zařízení (smartphone, tablet, projektor či LED svítidlo) vyzařují a která zařízení lze či nelze používat v noci.

2 Teoretická část

2.1 Fyzikální podstata světla

Světlo je základní podmínkou vidění. Jedná se o viditelnou část elektromagnetického spektra, na niž reaguje lidské oko. Vlnová délka viditelného světla se pohybuje v rozmezí ultrafialového a infračerveného záření. Světlo ve vakuu se šíří rychlostí $2,9979245 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Šíření světla je ovlivňováno prostředím, kterým prochází. Prostředí šíření dělíme na průhledné (nerozptyluje se), průsvitné (světlo se rozptyluje pouze z části) a neprůhledné (světlo se odráží). Jednoduché (monochromatické) světlo si lze představit jako šíření magnetického a elektrického vektoru touto rychlostí. Oba dva vektory jsou na sebe kolmé, jsou vzájemné ve fázi a mění se periodicky s časem. Monochromatické světlo lze vyjádřit:

$$c = \lambda \cdot f \quad (\text{Rovnice 1})$$

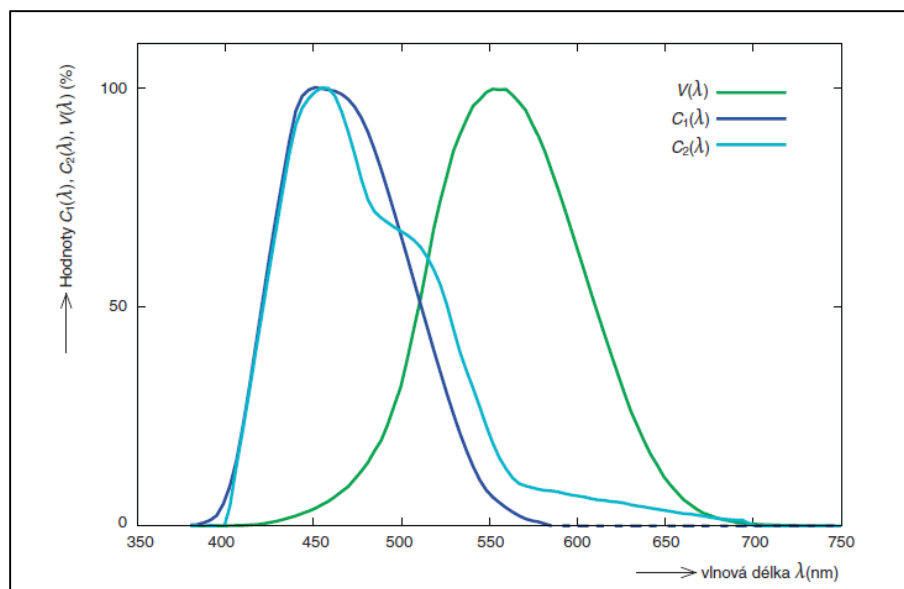
V této rovnici vyjadřuje písmeno f frekvenci, λ vlnovou délku a c již zmiňovanou rychlost světla ve vakuu. Pokud má určitý objev barvu, znamená to, že pohlcuje všechny barvy spektra s výjimkou těch barev, které jsou viděny lidským okem. Kromě spektrálních barev odpovídajících barvám spektra existují také barvy nespektrální, které vznikají smíšením několika barev. Mezi nespektrální barvy patří např. černá, šedá, tyrkysová nebo růžová. Vlastnosti viditelného světla zkoumá obor fyziky zvaný optika. (1, 2)

2.2 Cirkadiánní rytmus člověka

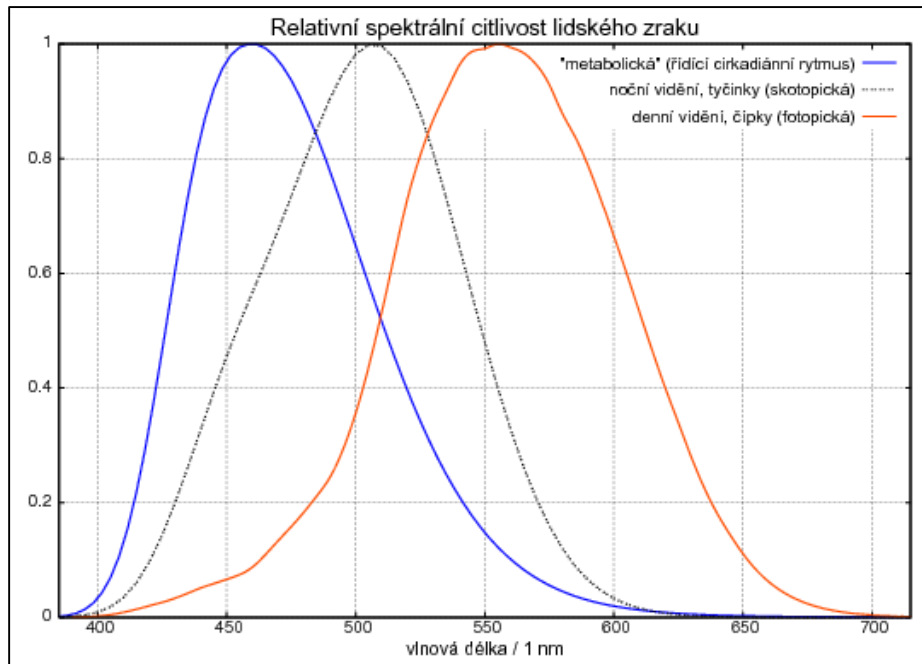
Jedná se o souhrn fyziologických a behaviorálních procesů, které jsou časově rozvrženy do 24 hodin. Cirkadiánní rytmus dále obsahuje cykly spánku-bdění, tělesnou teplotu, krevní tlak, aktivitu trávicího traktu a uvolňování hormonů. S tím souvisí i kolísání výkonů. Pojem cirkadiánní zavedl v padesátých letech minulého století Franz Halberg, který je považován za jednoho ze zakladatelů chronobiologie. Mezi nejznámější české chronobiology patří bezesporu prof. Helena Illnerová, která jako první se svými kolegy prokázala, jakým způsobem změna délky osvětlení během střídání ročních období ovlivňuje rytmus v tvorbě melatoninu v epifyze. (3, 6)

Účinky světla na živé organismy zkoumal německý oční lékař a profesor Fritz Hollwich, mimo jiné autor učebnice oftalmologie a mnoha léčebných postupů. Profesor mimo jiné zjistil, že některé druhy světla, jeho nadbytek, nedostatek či dlouhodobá neměnnost mají na živočichy nepříznivé účinky.

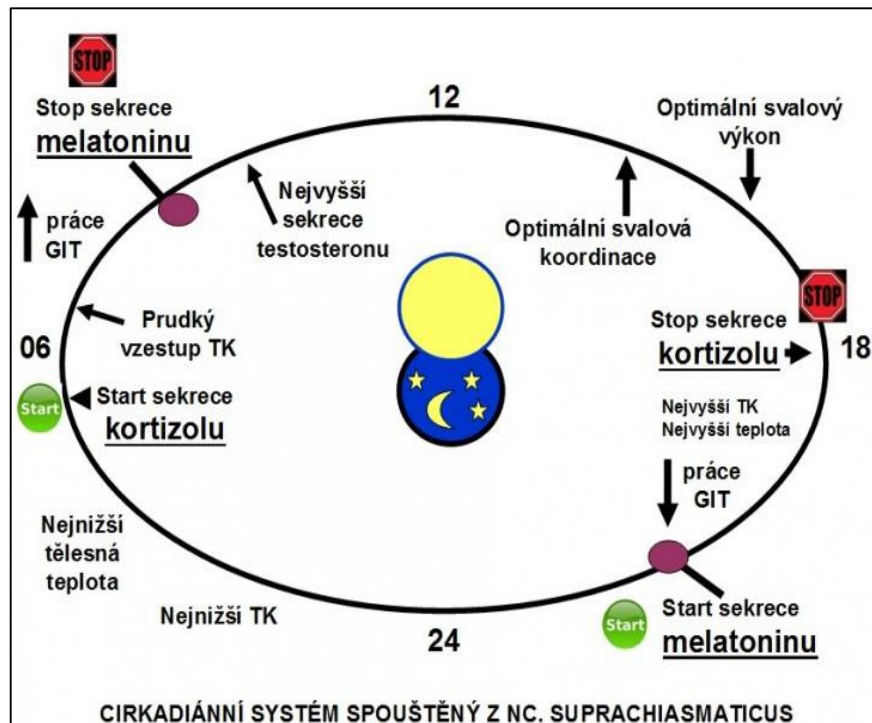
V lidském organismu dochází k maximálnímu výkonu mezi 8-11 a 20-23 hodinou. Naopak výkonnostní poklesy člověka nastávají v době mezi 3-7 a 13-16 hodinou. Cyklus je řízen suprachiasmatickým jádrem (SCN) předního hypotalamu, který řídí 24hodinový rytmus (viz Obr. 3) elektrické aktivity i při absenci podnětů ze zevního prostředí. Tato cyklická aktivita je odrazem rytmické exprese genů SCN jádra nazvaných "clock genes", které jsou autoregulovány prostřednictvím mnoha zpětnovazebních smyček. Dva hlavní synchronizátory SCN jsou světlo a melatonin, jež způsobují změnu bdělosti a fázový posun v cyklu. Průběhy křivek cirkadiálního rytmu jsou podrobněji popsány na Obr. 1, 2. (6)



Obr. 1 Možné průběhy poměrné citlivosti (účinnosti) cirkadiálního čidla $C(\lambda)$ a křivka spektrální citlivosti lidského zraku $V(\lambda)$ (3)



Obr. 2 Porovnání citlivosti cirkadiánního systému člověka, fotopické a skotopické citlivosti (9)



Obr. 3 Průběh cirkadiánního rytmu člověka (7)

2.2.1 Vliv světla na denní režim člověka

Všeobecně platí, že světlo řídí cirkadiánní rytmus či biologický rytmus lidského organismu. Vyzařované modré světlo (například LED diody) stimuluje aktivitu, protože podporuje hormonální stimulaci. Naopak toto světlo brzdí melatonin. Žárovky jsou jako jediný umělý zdroj světla plnospektrální. Podle odborníků by se měly LED diody používat ráno k nastartování organismu a přes den k udržení kondice. Naopak před spaním by se měl člověk vrátit k žárovkám (s reostatem), aby tělo mohlo dodržet normální denní rytmus a začít s produkcí melatoninu. (3, 6)

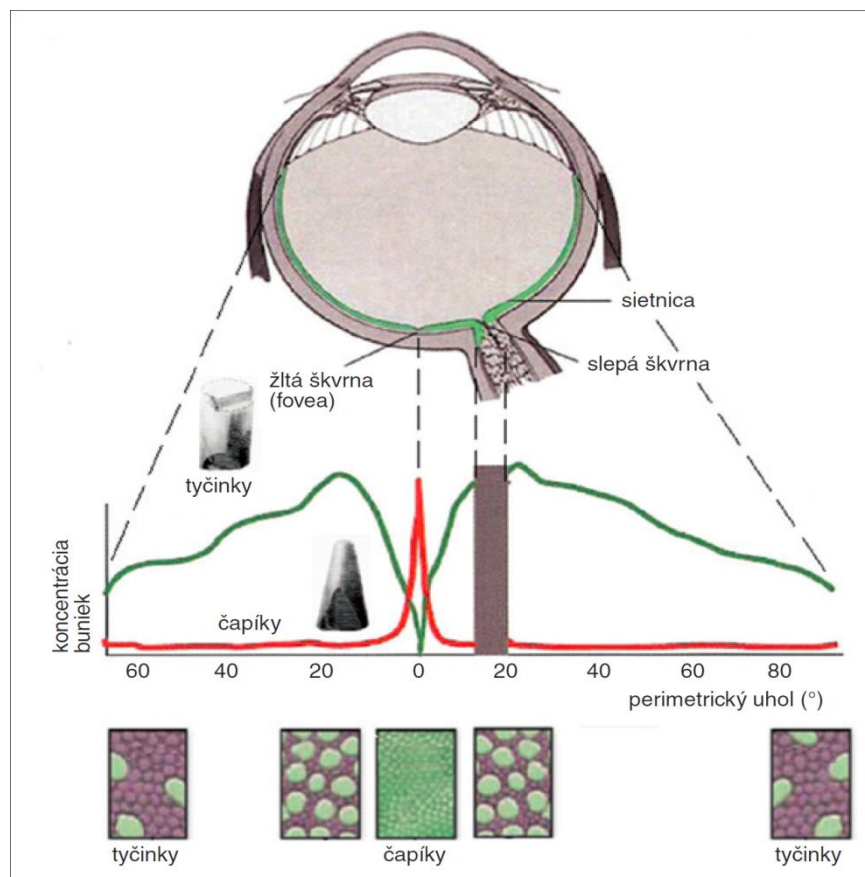
2.2.2 Vliv světla na člověka v noci

Cirkadiánní rytmus výrazně ovlivňují práce v nočních hodinách. Po noční směně je spánek u člověka obvykle o 1-4 hodiny kratší oproti denní směně a má nižší kvalitu s méně spánkovými stadii 2. NREM a REM fáze. 3. a 4. NREM fáze spánku zůstávají do značné míry nedotčeny. Přibližně po 4-6 hodinách spánku se člověk obvykle probouzí, ale již nemůže znovu usnout. Cirkadiánní rytmus neumožňuje správnou adaptaci na noční práci, protože cyklus světelné tmy zůstává mimo fázi cyklu spánku-bdění. Přibližně 70% pracovníků si stěžuje na špatný spánek nebo denní ospalost. Při porovnání s pracovníky, kteří pracují ve dne, si lidé pracující v noci stěžují na ospalost v zaměstnání. Ve výsledku jsou tito lidé méně ochotní a méně dobře pracují na úkolech, nejsou ostražití a jsou podráždění. V dnešní době patří problémy se spánkem mezi běžné tzv. civilizační choroby. (5, 6, 21)

2.3 Teorie barevného vidění - rozlišení barev

Barevné vidění je složitý fyziologický proces, při kterém dochází k rozeznávání různých barev lidským okem. Z fyzikálního hlediska barva neexistuje. Jedná se pouze o zrakový vjem, který je podmíněn vlnovou délkou světla (viz Obr. 5). Od různých předmětů se odráží určitá část spektra, která dopadá do oka, kde dochází k podráždění světločivných elementů reagujících na barvu – čípků. (6)

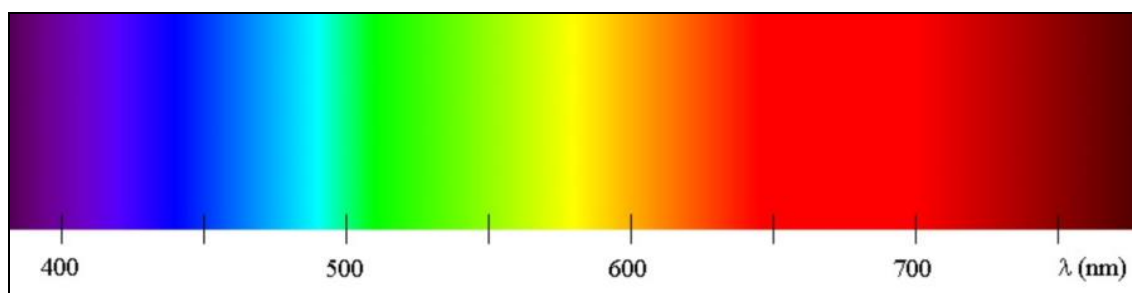
Na sítnici lidského oka se nachází receptory citlivé na světlo (viz Obr. 4). V černobílém a večerním vidění se uplatňují tyčinky. Ty umožňují, že vidíme v noci, jsou velice citlivé, nicméně jejich napojení na nervovou soustavu neumožňuje ostré vidění. Jsou nejcitlivější na modrozelené světlo. Nejslaběji reagují na červené světlo. Vlnové délky okolo 640 nm je nechávají zcela chladnými. Z tohoto důvodu černé brýle propouštějí pouze tu část, na kterou reagují čípky, ale tyčinky zůstávají adaptovány na tmu. Tato vlastnost se využívá například v rentgenologii nebo při nočních vojenských operacích, kde je potřeba, aby se zrak rychle přizpůsobil tmě. Naopak čípky se využívají pro vidění barevné. (6, 8)



Obr. 4 Rozložení tyčinek a čípků na sítnici oka (10)

V lidském oku se nacházejí 3 druhy čípků. Každý z nich má citlivost maximálně pro jednu barvu, pro ostatní již méně. Jeden druh čípků je citlivý na červenou barvu (red) 570-590 nm, druhý na zelenou (green) 535-555 nm a třetí na modrou barvu (blue) 440-450 nm. Kombinací těchto tří barev lze vytvořit jakoukoliv barvu. Pokud dochází k podráždění jen jednoho druhu čípků, dostáváme vjem základní barvy. Při podráždění

dvou nebo všech tří typů vnímáme odstíny, bílou a šedou barvu. Černou barvu získáváme v případě, že není podrážděn žádný ze tří čípků. (8, 11)



Obr. 5 Viditelné světlo jednotlivých vlnových délek (24)

Lidské oko má odlišnou citlivost na světla různých vlnových délek. Ve dne je oko nejcitlivější na žlutozelenou barvu (přibližně 555nm) - fotopické podmínky při adaptaci na světlo. Naopak za šera je lidské oko nejcitlivější na modrozelené světlo (asi 510 nm) – skotopické podmínky na světlo. Barevné vidění se uplatňuje ve fotopickém pásmu. Naopak při nižší intenzitě osvětlení oko barvy nevnímá, jde o skotopické vidění. Je třeba říci, že se skotopickým viděním je takřka nemožné se setkat, protože jasové úrovně jsou tak nízké, že při osvětlováním umělým světlem nemají uplatnění. Mezopické (soumračné) pásmo osvětlení zapojuje tyčinky i čípky současně. Tento druh vidění se používá například pro nouzové osvětlení. (10, 19)

S postupujícím věkem dochází ke změně barvocitu člověka, což je zapříčiněno odumíráním buněk sítnice. Jedná se o fyziologickou vlastnost. Dále čočka během života žloutne a trpí ztrátou průhlednosti, což znamená, že u starších osob dopadá mnohem méně světla na sítnici. Vidění u této skupiny lidí je méně ostré a barvy jsou méně výrazné. Barvy krátkovlnného konce spektra vnímají starší osoby tmavší, než lidé v mladším věku. (7, 9)

2.3.1 Elektrofyziologie barevného vidění

Přijímané barevné světlo je zpracováváno v sítnici horizontálními buňkami, které přijímají signály z čípků. Vyznačují se elektrickými potenciály (tzv. S-potenciály) v odpovědi na stimulaci sítnice různými složkami barevného světla. Tento jev se nazývá oponentní kódování, kdy červená barva zapříčiňuje hyperpolarizaci a zelená barva

depolarizaci. Další systém tvoří modrá a žlutá barva, v němž modrá barva způsobuje hyperpolarizaci a žlutá depolarizaci. Posun citlivého maxima popsal J.E.Purkyně. (8, 11)

2.3.2 Barevné charakteristiky umělých zdrojů světla

První charakteristikou je **tón barvy** (odstín barvy), který je subjektivním vjemem lidského zraku. Určuje ho vlnová délka záření dopadající do oka. Tón barvy je dán vlnovou délkou monochromatického světla, které přispívá k danému světlu největším energetickým příspěvkem. Je dán vlnovou délkou určitého světla. Druhou charakteristikou je **syťost (čistota) barvy**. Jedná se o vlastnost zrakového vjemu, která umožňuje posoudit účast čisté pestré barvy na celkovém vjemu. Syťost barvy je určena poměrem energií monochromatických světél, které jsou zastoupeny v jedné barvě. Syťé barvy neobsahují bílou složku. Velmi syťé barvy mají úzkou křivku, naopak málo syťé barvy mají širší křivku světelného spektra. (8)

Třetí charakteristikou, jež určuje světlo, je **intenzita** barevného vjemu. Závisí na množství vysílané nebo odrážené světelné energie. Čím je světelný zdroj výkonnější, tím je barva jasnější. Při zvyšování intenzity světla dochází ke změně barevného odstínu. Pokud dojde k překročení maximální intenzity, dochází ke vjemu žlutobílé barvy pro všechny vlnové délky. Poslední charakteristikou je **peřrost**. Jedná se o vlastnost zrakového vjemu, který je vyvolán peřtrými a nepeřtrými barvami. Peřtré barvy jsou spektrální barvy a jejich aditivní směsi. Mezi nepeřtré barvy patří bílá, šedá a černá. (8)

2.4 Typy zobrazovacích jednotek

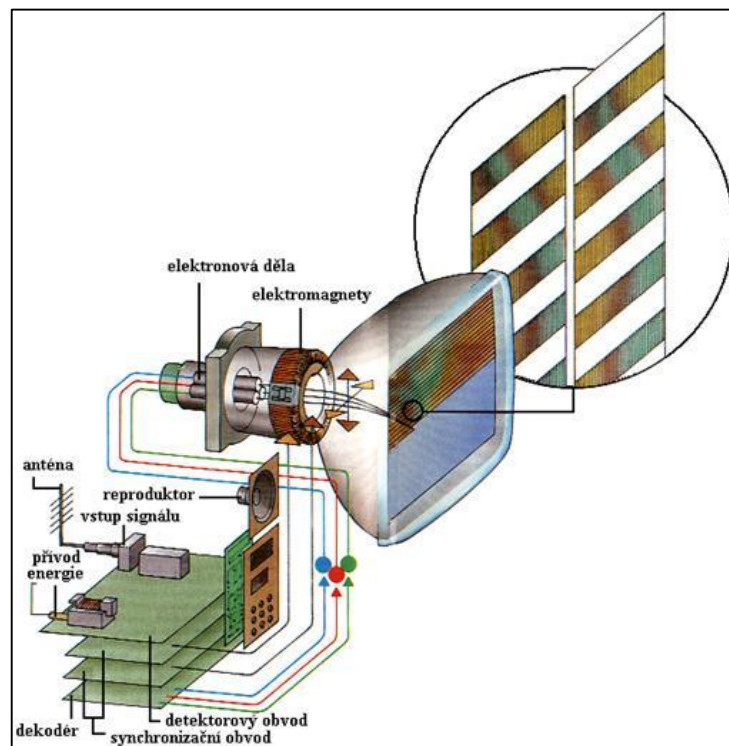
2.4.1 Displeje typu CRT (Cathode Ray Tube)

První CRT obrazovka byla vyrobena v roce 1926. O dva roky později byla vyvinuta CRT obrazovka barevná (viz Obr. 6). Jedná se o vzduchoprázdnou skleněnou baňku, ze které je čerpán vzduch. Její přední část je tvořena stínítkem potaženým luminiscenční látkou (luminoforem). Celý obraz vzniká v grafické kartě počítače. S pomocí adaptéru VGA jsou přijímány digitální signály z operačního systému nebo aplikačního software. Tento signál je zpočátku digitální. Signál je nutné nejdříve převést na signál analogový

pomocí digitálně –analogového převodníku (DAC – Digital to Analog Converter), který monitor dokáže vstřebat. Hlavním úkolem DAC je převod číselných hodnot zasílaných počítačem do analogové tabulky, jež obsahuje potřebné úrovně napětí pro tři základní barvy. Tyto barvy jsou relevantní pro namíchání barvy jednoho bodu. Jednotlivé elektronové svazky jsou emitovány z nepřímo žhavené katody, která na svém povrchu obsahuje emisní vrstvu. (20)

Princip této technologie začíná elektronovým dělem, které se nachází na konci každé elektronové trubice. Po zahřátí dělo vystřeluje vysokou rychlostí proudy elektronů jedné ze tří barev, jejichž základní fyzikální vlastností je záporný náboj. Tato vlastnost je používána ke správnému nasměrování částic. Dále elektrony prochází filtrem, který se podobá mřížce. Filtr propouští jen určitý počet elektronů a řídí jejich intenzitu.

Obvody DAC jsou uloženy na jednom specializovaném čipu, který obsahuje 3 převodníky, tedy pro každou ze tří základních barev používaných na displeji (RGB). Mezi výhody CRT patří ostrost obrazu, věrohodnost barev, pozorovací úhly, doba odezvy a cena. (20)



Obr. 6 Popis technologie obrazovky CRT (23)

2.4.2 Displeje z tekutých krystalů - LCD (Liquid Crystal Display)

Displeje LCD se skládají z elektroluminiscenční výbojky, která disponuje dvěma polarizátory (viz Obr. 7). LCD displeje dále obsahují vrstvu tekutých krystalů. Při klidovém stavu prochází světlo tekutými krystaly - buňka svítí. Pokud zapnutý zdroj střídavého napětí změní strukturu tekutého krystalu, světlo je zablokované na polarizátoru - buňka přestane svítit. Intenzitu světla lze měnit v závislosti na napětí připojeného k elektrodám. Základem LCD panelu je struktura Twisted Nematic (dále jen TN), která je z obou stran obklopena polarizačními vrstvami. V první fázi světlo prochází prvním polarizačním sklem a polarizuje se. V další fázi prochází vrstvami pootočených tekutých krystalů, které světlo otočí ještě předtím, než projde druhým polarizačním sklem, které je otočené o 90 stupňů jiným směrem. Takto se TN-LCD chová v klidovém stavu bez přivedeného napětí a propouští světlo.

V případě, že tekutými krystaly začne protékat slabý elektrický proud, jednotlivé krystaly se začnou orientovat podle směru toku proudu, všechny krystaly se otočí jedním směrem a přestane docházet k otáčení světla. Mezi důležité prvky LCD panelů patří bezesporu zadní světelný zdroj (podsvícení). Nejčastěji se jedná o elektroluminiscenční výbojku. Polarizační filtry propouští pouze část světla na vstupu, světlo polarizované nebo ve vertikální rovině. Molekuly tekutého krystalu jsou v klidovém stavu vzájemně pootočené. Jejich natočení udává orientační filtr. V klidovém stavu je světlo ze zadního světelného zdroje propouštěno – displej svítí. Při průchodu světla polarizátorem získáme světlo polarizované v horizontální rovině. Následně světlo prochází tekutými krystaly. Při zapojení elektrod tekutého krystalu ke zdroji střídavého napětí dochází ke změně jeho vnitřní struktury.

Světlo, které prochází vrstvou tekutého krystalu, nemůže změnit svou polarizaci z horizontální na vertikální a je zablokované na polarizátoru. Polarizátor propouští pouze světlo s polarizací vertikální. Světlo ze zadního světelného zdroje neprojde, proto displej zůstává tmavý. Panel LCD obsahuje jednotlivé body, kde každý z nich obsahuje červený, zelený a modrý filtr. Výslednou barvu získáme propouštěním světla do barevných filtrů. (18, 20, 22)

2.4.2.1 Technologie RGB-RGBW-RGBG

Moderní LCD monitory obsahují klasickou RGB mřížku, kde se za sebou neustále střídají tři subpixely červené, zelené a modré barvy. Z těchto tří barev je v lidském oku složena výsledná barva. Dále se setkáváme s takzvaným PenTile uspořádáním, neboli RGBG. Zde má každý zelený subixel poloviční velikost oproti pixelům ostatním. Za ním následuje pixel červený nebo modrý, které se střídají. Pro výrobce se jedná o benefit, protože nemusí vyrábět mnoho subpixelů a ve specifikacích udá plné rozlišení. Mezi nevýhody patří nízká ostrost. Tato technologie se vyskytuje u levnějších tabletů nebo mobilních telefonů. (22)

2.4.2.2 Technologie TN (Twisted-Nematic)

Jedná se o technologii, kde jsou jednotlivé pixely uspořádány spirálovitě (twisted nematic – spirálovitě stáčivé). Displeje se vyznačují nízkými výrobními náklady a rychlou odezvou, což je jeden z hlavních důvodů oblíbenosti u výrobců. Mezi nevýhody patří špatné pozorovací úhly, zejména při pohledu ze shora či ze spodu, kdy displej ztrácí barvy. Tento fakt je zapříčiněn spirálovým natočením krystalů uvnitř každého subpixelu. Pozorovací úhly jsou často vylepšovány tzv. filmem. Jde o jediný typ LCD displeje, jehož „mrtvé“ pixely neustále svítí a při práci působí rušivě. Pokud chceme zobrazit např. tmavou barvu, musíme na dvojici elektrod umístěných na opačných koncích krystalu přivést napětí, které zapříčiní postupné šroubovitě stočení molekul na opačných koncích krystalu, čímž dojde k zastavení proudu světla. Nejčastěji se používají pro notebooky či kancelářské monitory. V mobilních telefonech jsou displeje tohoto typu nevhodné. (22)

2.4.2.3 Technologie VA (Vertical Alignment)

Samotná technologie VA v podstatě ani neexistuje. První technologií byla v roce 1998 MVA (Multi-domain Vertical Alignment). V té době konkurovala tehdy drahé IPS a nedokonalé technologii TN. V současné době je technologie VA hojně rozšířena.

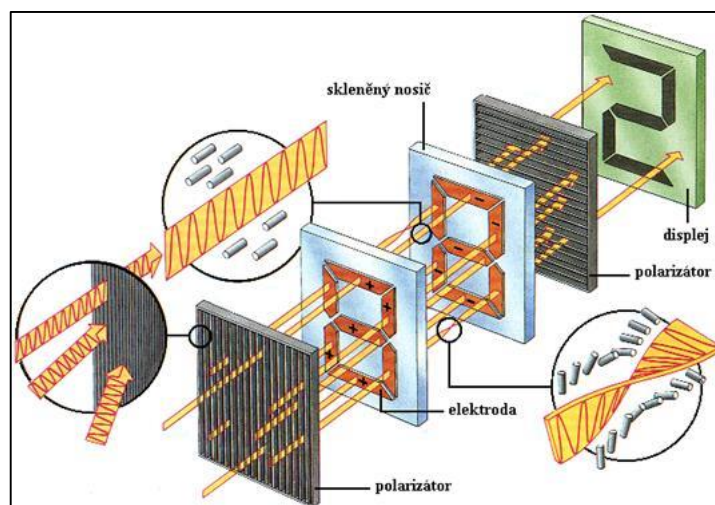
Oproti TN poskytuje výrazně lepší pozorovací úhly a barvy. Stále však nedosahuje kvalit IPS. Společnost AU Optronics vyvinula technologii

P-MVA (Premium Multidomain Vertical Alignment) a A-MVA (Advanced). Tyto technologie přišly s lepším kontrastem, lepším podáním barev nebo lepšími pozorovacími úhly.

Následně se do hry zapojily společnosti Samsung a Sony, které svoji technologii pojmenovali PVA (Patent Vertical Alignment). Tyto panely nabízí lepší pozorovací úhly, kvalitnější zobrazení černé barvy nebo vyšší kontrast. Panel S-PVA je rozdělený do dvou oddělených zón (každá zóna má 4 domény), což vede k lepší regulaci jasu. V případě, že má pixel zobrazit 50% šedou, vypne jednu zónu a druhou nechá svítit na 100%. V reálném použití to vypadá tak, že nejdříve zeslábne intenzita uprostřed daného subpixelu a na okraji svítí stále na plný výkon. V současné době se technologie VA nahrazuje e-IPS, která je pro masové nasazení nejvýhodnější. (22)

2.4.2.4 Technologie IPS (In Plane Switching)

Technologie IPS byla vyvinuta v roce 1996 společností Hitachi pod názvem Super TFT (Super Thin Film Transistor). V roce 2002 přišla na trh technologie AS-IPS, která poskytovala výrazně lepší kontrast, čímž se v té době vyrovnala S-PVA. Došlo k posunu barev (posunutí gamutu). Dva roky později přišel IPS-Pro s lepším kontrastem. V roce 2007 přišla firma LG s technologií H-IPS (Horizontal – In Plane Switching). Subpixely mají obdelníkový tvar, díky čemuž se zvýšila propustnost a kontrast. Mezi novější technologie LCD displejů patří P-IPS. (22)



Obr. 7 Princip LCD displeje (18)

2.4.3 Displeje tvořené z organických elektroluminiscenčních diod - OLED (Organic Light Emmiting Diode)

Technologie OLED byla firmou Kodak vyvinuta již v roce 1987. Od této doby tato technologie výrazně pokročila, avšak stále se jedná o stejný princip (viz Obr. 8). Ve srovnání s LCD je stále méně rozšířená. Mezi hlavní důvody patří donedávna nízká životnost elektroluminiscenčních elektrod, barevná nestálost nebo vysoká cena při porovnání s LCD displeji.

V současné době se technologie OLED začíná prosazovat více, zejména zásluhou společností vyrábějících chytré mobilní telefony (takzvané smartphone) či chytré domácí televize (Smart TV). Největším průkopníkem této technologie je společnost Samsung. V poslední době se k této společnosti připojil Apple s modelem iPhone X, který tuto technologii využívá také. (16) Ovšem elektronika není jediným odvětvím, kde se OLED prosazuje. Použití této technologie se v posledních letech hojně rozšířilo také v automobilovém průmyslu, kde se značně využívá k osvětlení zadních světlů automobilů. Mezi automobilky, které tento typ osvětlovací techniky využívají, patří například Audi. (17)

Jak již z názvu vyplývá, technologie OLED využívá organické LED diody. Od normální LED diody se liší tím, že v jednotlivých subpixelech je obsažen materiál z organické hmoty, který pod napětím svítí. Absence vrstvy s podsvícením poskytuje v celku dokonalé pozorovací úhly, kterým mohou konkurovat jen nejkvalitnější IPS zobrazovače. (13)

Mezi největší benefit této technologie patří fakt, že panely nepotřebují žádné vlastní podsvícení, protože světlo vzniká v jednotlivých subpixelech. Opakem jsou LCD displeje, které naopak podsvícení vyžadují. Jako příklad může posloužit zobrazení černé barvy, kdy OLED displej je zhasnutý. Díky tomuto principu je možné vidět „absolutní černou“ a docílit tak nižší energetické náročnosti při zobrazování tmavých barev. Mezi další výhody patří i menší spotřeba energie. OLED displeje jsou oproti LCD displejům tenčí a mohou být vyrobené z pružných plastových podkladů, díky čemuž lze vyrobit prohnuté displeje např. (Samsung Galaxy Round) z roku 2013. (15)

Mezi negativa OLED displejů patří bezesporu výrobní náklady a spotřeba energie při zobrazování naopak světlých či bílých ploch. Další zásadní nevýhodou je také omezená životnost organických materiálů či nerovnoměrné stárnutí jednotlivých

barev. Mezi nejrychleji stárnoucí barvu patří modrá, která ztrácí intenzitu již po 1000 hodinách. Červená barva vydrží přibližně 30 000 hodin a zelená barva 10 000 hodin. S problémem stárnutí displejů souvisí také vypalování pixelů, zejména při zobrazování stále stejného obrazu, což se v případě chytrých telefonů týká stavové lišty, kde dochází k silnému přetěžování těchto pixelů, které stárnou rychleji než ostatní. Po delší době používání se na displeji začnou objevovat nevzhledné černé tečky. (13, 16)

2.4.3.1 Displeje s aktivní maticí - AMOLED (Active Matrix Organic-Light Emitting Diode)

Tento typ displeje se používá všude, kde je nutné zobrazit grafický obraz ve vysokém rozlišení, tedy například při hraní náročných grafických her, sledování filmů či střih videa.

Princip AMOLED displejů je podobný jako u TFT technologie. Každý pixel je řízen svým vlastním párem tranzistorů. Oproti TFT lze každé pixely a subpixely vypnout (vidíme skutečně černou barvu). AMOLED oproti LCD umí lépe podat ostřejší a jasnější barvy, vyšší zobrazovací frekvenci a v neposlední řadě také lepší pozorovací úhly. Nevýhodou je horší čitelnost na slunci. Výrobci elektroniky se snaží tuto negativní vlastnost řešit. Například Samsung přidává ke svým OLED panelům speciální vrstvu, která zabraňuje odrazivosti vnějších paprsků. Tato technologie se nazývá Super AMOLED. V minulosti se používala podobná technologie u finské značky Nokia, která se jmenovala ClearBlack. (13, 14)

2.4.3.2 Displeje s pasivní maticí - PMOLED (Passive Matrix Organic-Light Emitting Diode)

Tato technologie displejů využívá pasivní maticí. PMOLED se používá se zejména pro zobrazování jednodušších jednobarevných obrazců (např. text). Jednotlivé pixely jsou řízené pasivně. Je zde použita mřížková matice, kde jsou jednotlivé vodiče navzájem překřížené. Vodiče jsou v místě křížení připojené k elektrodám OLED struktury, čímž vznikají jednotlivé pixely displeje. Organická látka začne vyzařovat světlo ve chvíli,

kdy je za pomoci mřížce vodičů a multiplexních přepínačů přivedeno elektrické napětí na anody a katody vybraných bodů.

PMOLED displeje se užívají zejména pro displeje malých rozměrů, jako například informační displeje či MP3 přehrávače. (13)

2.4.3.3 PHOLED (Phosphorescent Organic-Light Emitting Device)

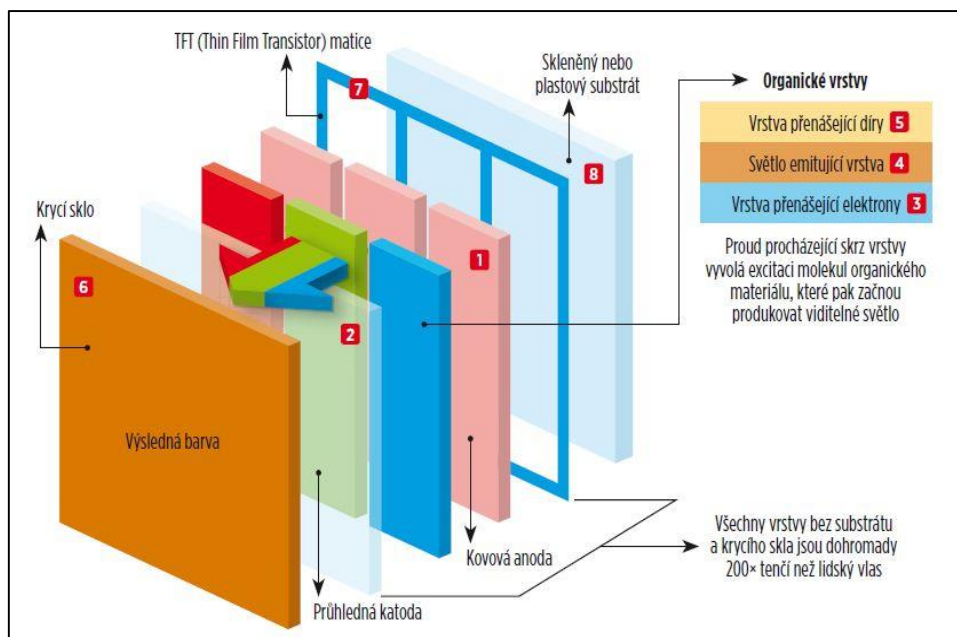
PHOLED technologie jsou založené na bázi fosforeskujících LED diod, které nabízí až 4krát vyšší účinnost. Pracuje na principu elektrické fluorescence, kdy je v ideálním případě 100% elektrické energie přeměněné na světlo. Naopak klasické OLED využívají 25-30% a LCD displeje pouze 10% elektrické energie. Mezi největší výhodu PHOLED patří úspora obrovského množství energie. V minulosti americká vláda investovala přibližně 200 tisíc amerických dolarů na vývoj této technologie, která bude následně použita pro veřejné osvětlení. (13)

2.4.3.4 FOLED (Flexible Organic-Light Emitting Diode)

Takzvané flexibilní displeje vznikají nanesením OLED struktury na pružný materiál místo skla. Mezi největší výhody tohoto druhu displeje patří odolnost vůči nárazům nebo vysoká pevnost. Tento displej se bude moci použít například pro mobilní telefony, přístrojovou desku či hledí přilby. (13)

2.4.3.5 TOLED (Transparent Organic-Light Emitting Diode)

Transparentní OLED displeje umožňují vytvořit displej, který poskytuje až 80% průchodnost světla. Nabízí také možnost vybrat si, zdali bude obraz zobrazován na jedné, nebo na obou stranách. Průhlednost je dosažena transparentní katodou, anodou a podložkou, která je plastová nebo skleněná. Technologie tohoto typu nabízí zobrazení informace do zorného pole uživatele na jinak průhledných plochách, jako například sklo automobilu, hledí přilby a jiné. (13)



Obr. 8 Princip OLED displeje (11)

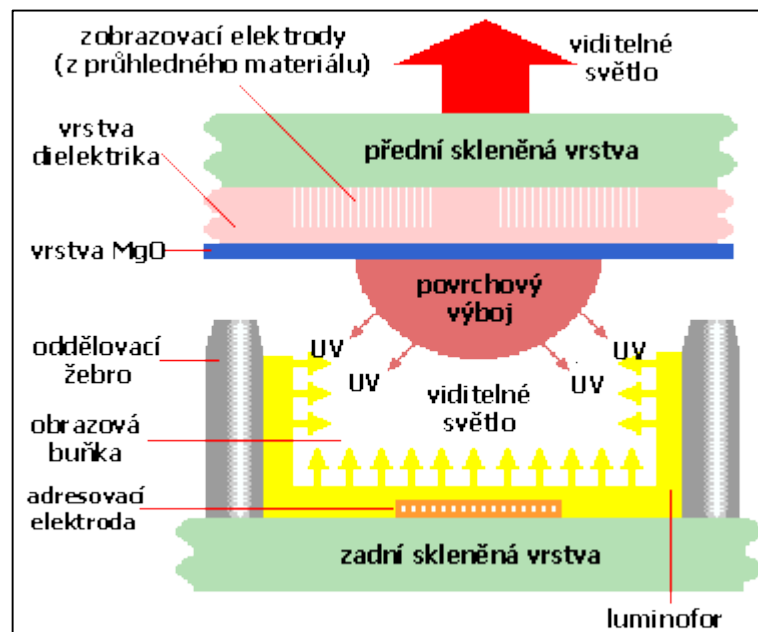
2.4.4 Plazmové displeje

Plazmové monitory zaznamenaly velký vývoj v 90. letech minulého století. Jedná se o typ plochého zobrazovacího zařízení, které se používá pro televizory s úhlopříčkou minimálně 80 cm. Plazma je také nazývána čtvrtým skupenstvím, protože není plynem, pevnou látkou ani kapalinou. Vytváří se zavedením elektrického proudu do plynu, díky čemuž se objeví mnoho volných elektronů. Následně dochází ke srážkám mezi elektrony a částicemi plynu, což vyvolává ztrátu elektronů některých atomů. Vznikají kladně nabití ionty. Spolu s elektrony dochází ke vzniku plazmy. Nabité částice se vlivem vytvořeného elektrického pole začnou pohybovat ke svým opačným pólům. Ionty plynů se začnou pohybovat k záporně nabitému pólu a elektrony ke kladně nabitému pólu. Následně dochází k velkým pohybům a srážení jednotlivých částic. V další fázi se ionty plynů dostávají do excitovaného stavu a poté se uvolní foton (světlo).

Plazmový displej je tvořený maticí miniaturních fluorescentních buněk (pixelů), které jsou ovládány sítí elektrod. Skládá se z adresovací elektrody, vertikálního sloupce zobrazovací (výbojové) elektrody. Vzniká tedy mřížka, ve které lze adresovat každou buňku zvlášť. Jednotlivé buňky se nacházejí mezi dvěma skleněnými tabulkami, kde každá tabulka obsahuje tři elektrody a malý kondenzátor (viz Obr. 9). Na přední stěně

jsou dvě transparentní zobrazovací elektrody. Na zadní stěně buňky se nachází jedna adresovací elektroda. Tyto dvě elektrody jsou izolovány dielektrikem a chráněny vrstvou oxidu hořečnatého (MgO). Všechny pixely u tohoto typu displeje jsou tvořené ze tří barevných sub-pixelů (červený, zelený, modrý). Do obou zobrazovacích elektrod je přiváděno střídavé napětí, díky čemuž je indukován výboj, který začne ionizovat a vytvářet plazmu. Nabité částice získají díky elektrickému poli kinetickou energii a začnou do sebe narážet.

Mezi benefity plazmových obrazovek patří kvalitní a kontrastní obraz, vynikající pozorovací úhly (160-170°), což je vhodné zejména pro prezentační účely. Mezi další pozitiva této technologie patří minimální hloubka a hmotnost displeje či absence podsvícení. Levnější plazmové displeje mívají potíže s kontrastem, s čímž se pojí i další problém, a to neschopnost zobrazovat dokonale stupnici šedi. Při zobrazení barev blízko černé, se slévají v jednu a nejsou zdaleka plynulé. Mezi další negativa patří vysoká cena. (20, 25)



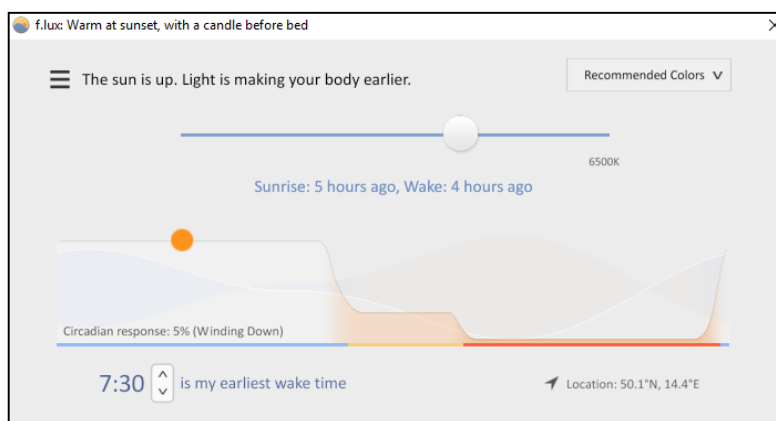
Obr. 9 Princip plazmového displeje (25)

2.5 Software pro automatickou regulaci jasu zobrazovacích jednotek

2.5.1 Program f.lux

Jedná se o software, který je určen pro různé počítačové platformy (Microsoft Windows, macOS či Linux). Cílem tohoto programu je úprava barevné teploty displeje podle místa času a dne (viz Obr. 10). Program byl navržen tak, aby při nočním používání snížil zátěž pro oči uživatele, a tak zmírnil narušení spánkové aktivity. V noci nebo za horších světelných podmínek se díky změně barvy teploty displeje sníží výskyt bílého a modrého světla, čímž dochází ke zlepšení efektivity spánku. Program nebyl nikdy vědecky testován, přestože vývojář softwaru poskytuje na svých webových stránkách seznam relevantních výzkumů. Na druhou stranu společnost f.lux byla široce a pozitivně ohodnocena novináři, blogery a také samotnými uživateli.

Po stažení a instalaci programu má uživatel možnost zadat vlastní PSČ, název města případně zeměpisné souřadnice místa. Následně program automaticky kalibruje teplotu barvy displeje zařízení podle závislosti na východu či západu slunce. Při západu slunce program automaticky mění teplotu barev na teplejší barvu (oranžová barva) a obnoví ji až při východu slunce. Každý uživatel má možnost volby z několika různých přednastavených barevných profilů a předem definovaných hodnot teploty. Dále program nabízí režimy sledování filmů či hraní her. Další možností je obrácení času pro lidi, kteří pracují v noci, při němž dochází k zajištění teplého osvětlení během dne. (26, 32)



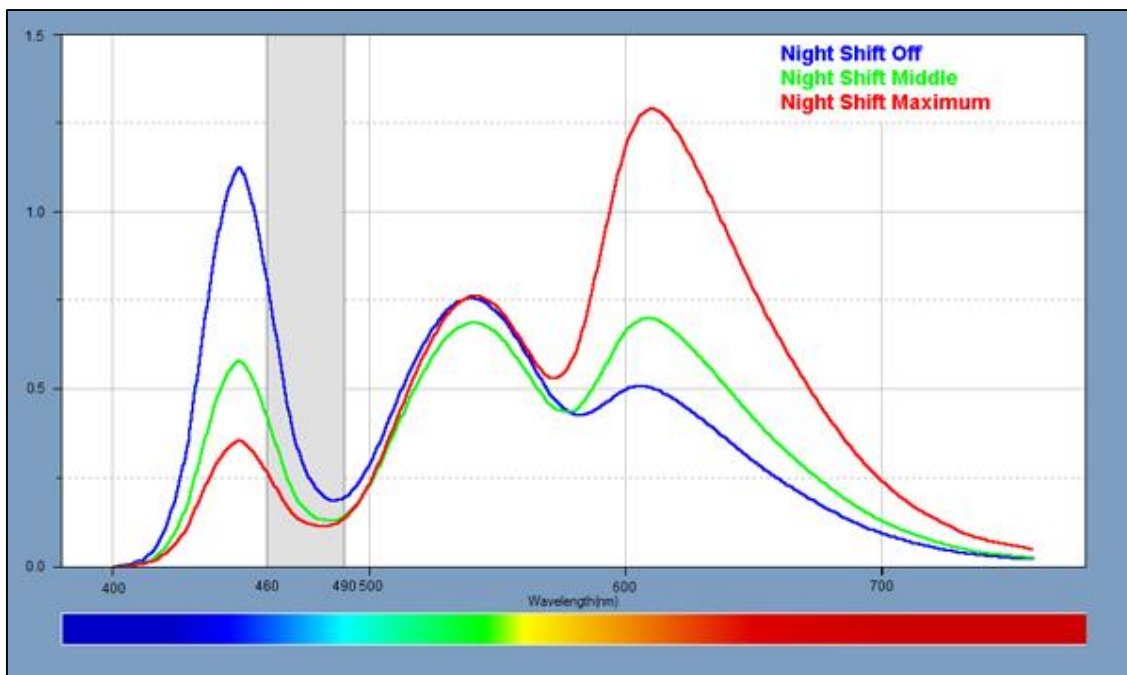
Obr. 10 Panel programu f.lux umožňující široké spektrum nastavení (Zdroj: autor)

2.5.2 Program Redshift

Program Redshift pracuje na podobném principu jako f.lux. Na základě zeměpisné polohy vypočítává vhodnou teplotu pro různou denní dobu a přizpůsobuje zobrazení na monitoru. V časných ranních hodinách barevná teplota plynule přechází z noci na denní teplotu světla. V noci je teplota světla nastavena okolo 3000-4000K (výchozí hodnota je 3700K). Během dne je teplota světla přibližně 5500-6500K (výchozí hodnota 5500K). Tento program je k dispozici pro platformu Linux. (27)

2.5.3 Režim Night Shift

Jde o noční režim, který u zařízeních od společnosti Apple (iPhone, iPad, Mac nebo iPod touch) tlumí modré světlo a přizpůsobuje displej. Je k dispozici od verze iOS 9.3. Night Shift nabízí úpravu barev podle rozvrhu, kde si uživatel nastaví zapnutí/vypnutí režimu v přesný čas. Další volbou je možnost zvaná od soumraku do úsvitu, která se pro většinu uživatelů jeví jako lepší a pohodlnější volba. Režim není dostupný na starších zařízeních s 32bitovým procesorem, jako například iPhone 5. (28, 29)



Obr. 11 Porovnání světelného spektra displeje telefonu při vypnuté funkci Night Shift, při polovičním a maximálním zapnutí (28)

3 Výzkumná část

3.1 Cíle a výzkumné předpoklady

Primárním cílem praktické části práce je analýza vlivu světla na cirkadiánní rytmus člověka. Sekundárním cílem je zjištění, které světlo je vhodné pro použití ve večerních a nočních hodinách a které nikoliv. Jako měřicí přístroj byl použit digitální spektrometr značky UPRtek MK 350N (viz Obr. 12). Celkově došlo k analýze 30ti vzorků elektronických zařízení, ze kterých bylo vybráno 8 zařízení s nejzajímavějšími průběhy křivky v grafu. Jde o zařízení, která jsou hojně používána uživateli při každodenních činnostech.

3.2 Metodika měření

Jak již bylo zmíněno, k měření byl použit digitální spektrometr značky UPRtek typu MK350N (31). Měření probíhalo v období od listopadu 2017 do ledna 2018 v areálu TUL a společnosti Quality LIGHTING s.r.o. Co se týče samotného měření, po spuštění a kalibraci přístroje bylo možné zahájit měření barevných spekter jednotlivých zařízení. Při každém měření byl digitální spektrometr přiložen kolmo k displeji snímaného zařízení. Měření probíhalo v tmavé místnosti, aby nedocházelo ke zkreslení naměřených hodnot.

Vzdálenost měřicího přístroje a měřeného zařízení činila přibližně 1 metr (viz Obr. 13). Tato vzdálenost byla použita například u měření spekter monitoru, notebooku či stropního osvětlení. Při měření světelného spektra tabletu či smartphone byla tato vzdálenost menší, protože uživatel tato zařízení drží blíže k očím. Pro změření světelného spektra bylo nutné spustit tlačítko na boční straně měřicího přístroje. Po akustickém signálu bylo měření dokončeno. Vzhledem k tomu, že digitální spektrometr nepodporoval přenos dat pomocí bluetooth nebo wi-fi, bylo nutné použít paměťové médium, které v tomto případě zajišťovala SD paměťová karta. Karta byla vždy umístěna do slotu měřicího přístroje a sloužila k přenosu naměřených dat do PC. Další možností bylo propojení přístroje s počítačem pomocí kabelu, což v našem případě nebylo použito.

Následně se dělala fotodokumentace, aby nedošlo k záměně dat. Fotografie byly pořízeny digitálním fotoaparátem Nikon D90 s rozlišením 12,9 Mpx (30). Veškeré naměřené hodnoty a fotografie byly v počítači patřičně utříděny a upraveny.

Přístroj z naměřených dat vždy vygeneroval 2 soubory. První z nich byl obrázek BMP, který má 24bitovou hloubku. BMP je klasický počítačový formát pro ukládání rastrové grafiky, který obvykle nepoužívá žádnou kompresi. Tento obrázek poskytuje informace o naměřených hodnotách. Skládá se z tzv. Basic módu, zahrnujícího údaje o teplotě chromatičnosti (CCT), indexu podání barev (CRI), intenzitě osvětlení v luxech a vrchol, kdy hodnota vlnové délky je nejvyšší. Druhý mód (Spectrum) skládá graf světelného spektra. Třetí (CIE 1931) a čtvrtý mód (CIE 1976) znázorňují barevné prostory. Veškeré tyto módy je možné nalézt také v menu digitálního spektrometru.

Druhým souborem je tabulka, která kromě výše zmíněných hodnot CCT, CRI obsahuje také jednotlivé hodnoty vlnové délky. Z těchto hodnot byly v tabulkovém procesoru vytvořeny jednotlivé grafy, které zobrazují světelné spektrum přibližně od 350 do 750 nm. Z tohoto grafu byl vytvořen obrázek, který byl spolu s obrázkem cirkadiánního rytmu (viz. Obr 1) z časopisu SVĚTLO překryt pomocí software Merge ve Windows 10.

3.3 Technické parametry digitálního spektrometru

Digitální spektrometr měří barevné spektrum vlnových délek v rozmezí 360–750 nm. K záznamu je použit lineární snímač CMOS. Spektrální šířka činí přibližně 12 nm. Přístroj zvládá měřit intenzitu v rozmezí 70–70 000 luxů. Digitální rozlišení má velikost 16 bitů. Naměřené hodnoty jsou zobrazovány na dotykovém displeji s úhlopříčkou 3,5“ LCD, který má rozlišení 320 x 240 obrazových bodů. Přesnost měřeného osvětlení činí $\pm 5\%$. Dále přesnost CCT je přibližně $\pm 2\%$ a v případě CRI je přesnost zhruba $\pm 1,5\%$.



Obr. 12 Digitální spektrometr UPRtek 350N (Zdroj: autor)

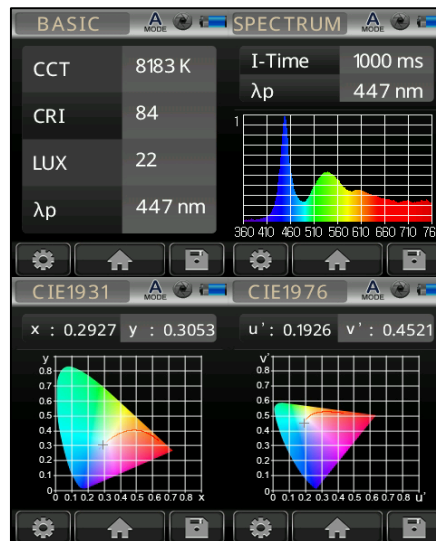


Obr. 13 Průběh měření (Zdroj: autor)

3.4 Výzkumné otázky a měření

3.4.1 Apple iPad Pro

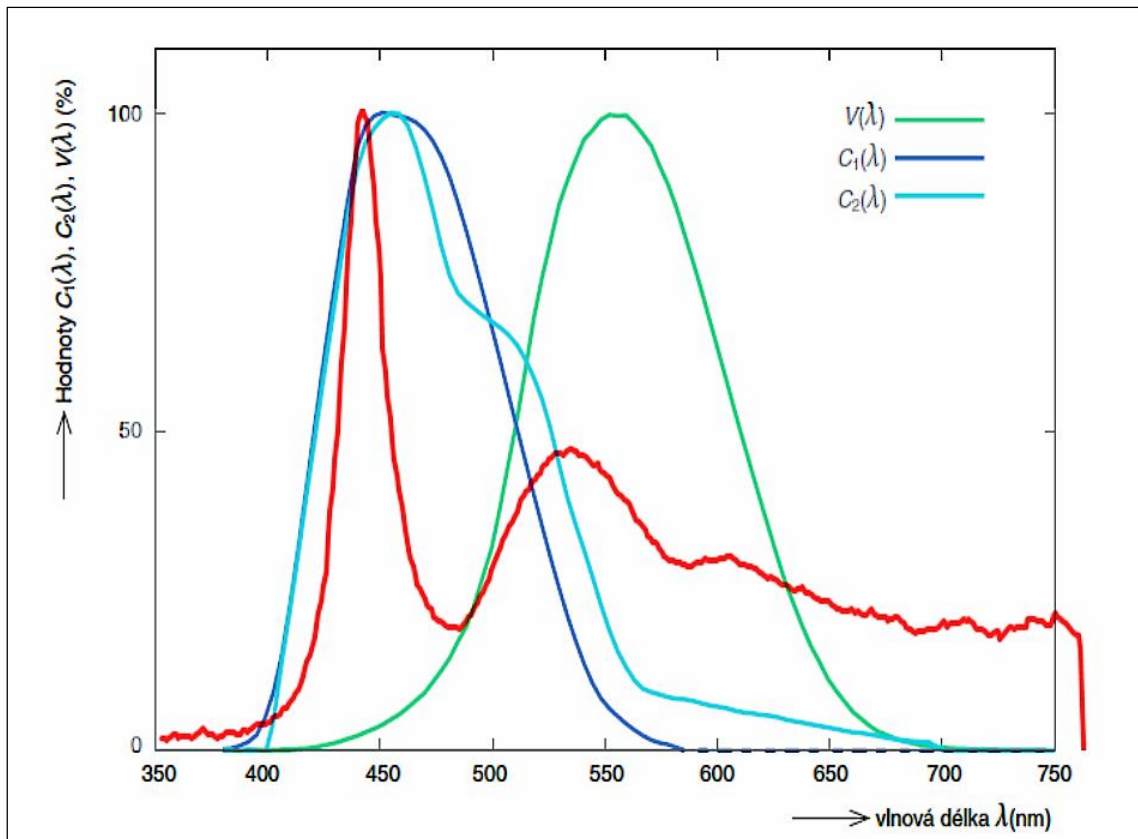
Apple iPad Pro je zařízení, které je v dnešní době veřejností široce využíváno. Díky svým rozměrům, které umožňují snadnou manipulaci a ovládání, jsou tablety oblíbené mezi mládeží. Tablet se nejčastěji používá pro surfování na internetu, sociální sítě, dále k pracovním účelům, studijním účelům, ale také pro hraní her. Nabízí 12,9 palcový Retina displej s rozlišením 2732 x 2048 při 264 pixelech na palec (ppi). V tomto měření nebyla použita funkce Night Shift, která potlačuje vyzařování modrého světla, a napomáhá tak lepšímu spánku.



Obr. 14 Výsledné hodnoty světelného spektra (Zdroj: autor)



Obr. 15 Zařízení Apple iPad Pro (Zdroj: autor)



Obr. 16 Porovnání světelného spektra zařízení Apple iPad Pro (červená křivka) s cirkadiánním rytmem člověka (Zdroj: autor)

$V(\lambda)$ – křivka spektrální citlivosti lidského zraku (fotoskopická citlivost-denní vidění)

$C_1(\lambda)$ – citlivost při dlouhém působení (řídící cirkadiánní rytmus)

$C_2(\lambda)$ – citlivost při krátkém působení

červená křivka – měřené zařízení

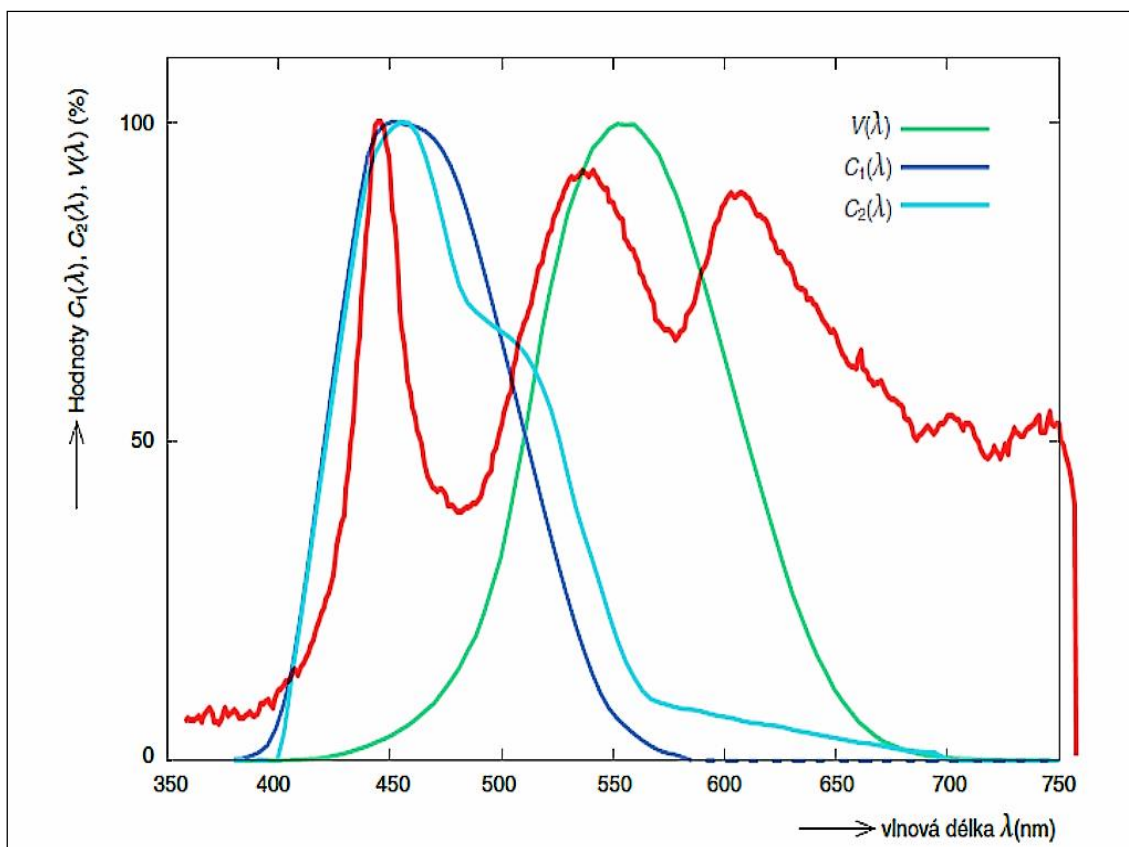
Popis grafu

V tomto měření došlo k analýze světelného spektra zařízení Apple iPad Pro. Teplota chromatičnosti činila 8183 kelvinů. Lze usoudit, že se jedná o studené světlo. Index podání barev má velikost 84. Intenzita osvětlení činí 22 luxů. Z přiloženého grafu je patrné, že zařízení iPad Pro nevyzařuje světlo fialové barvy. Dále v grafu převažuje světlo modré barvy, kde červená křivka zařízení iPad strmě stoupá až do hodnoty 100% relativní citlivosti, odkud dochází k prudkému poklesu k hodnotě 490 nm. Vrchol křivky je při 447 nm při čase 1000 ms. Při porovnání modré a červené křivky v grafu nabízí řídící cirkadiánní rytmus člověka podstatně širší spektrum modré a zelené složky světla oproti zařízení iPad Pro.

Ve žlutozeleném spektru od 500-600 nm dochází k mírnému vzestupu a poklesu relativní citlivosti. V oranžovo-červeném spektru zhruba od 600 nm vlnové délky dochází k trvalému poklesu křivky až k hodnotě 760 nm, kde se nachází infračervené záření.

Závěr měření

Jak již graf napovídá, tablet Apple iPad Pro je vhodný pro použití ve dne, protože vyzařuje světlo modré barvy. Na druhou stranu je krajně nevhodný pro používání ve večerních hodinách, protože poskytuje málo oranžovo-červeného světla.



Obr. 19 Porovnání světelného spektra zařízení iPad Pro s Night Shift (červená křivka) s cirkadiánním rytmem člověka (Zdroj: autor)

$V(\lambda)$ – křivka spektrální citlivosti lidského zraku (fotoskopická citlivost-denní vidění)

$C_1(\lambda)$ – citlivost při dlouhém působení (řídící cirkadiánní rytmus)

$C_2(\lambda)$ – citlivost při krátkém působení

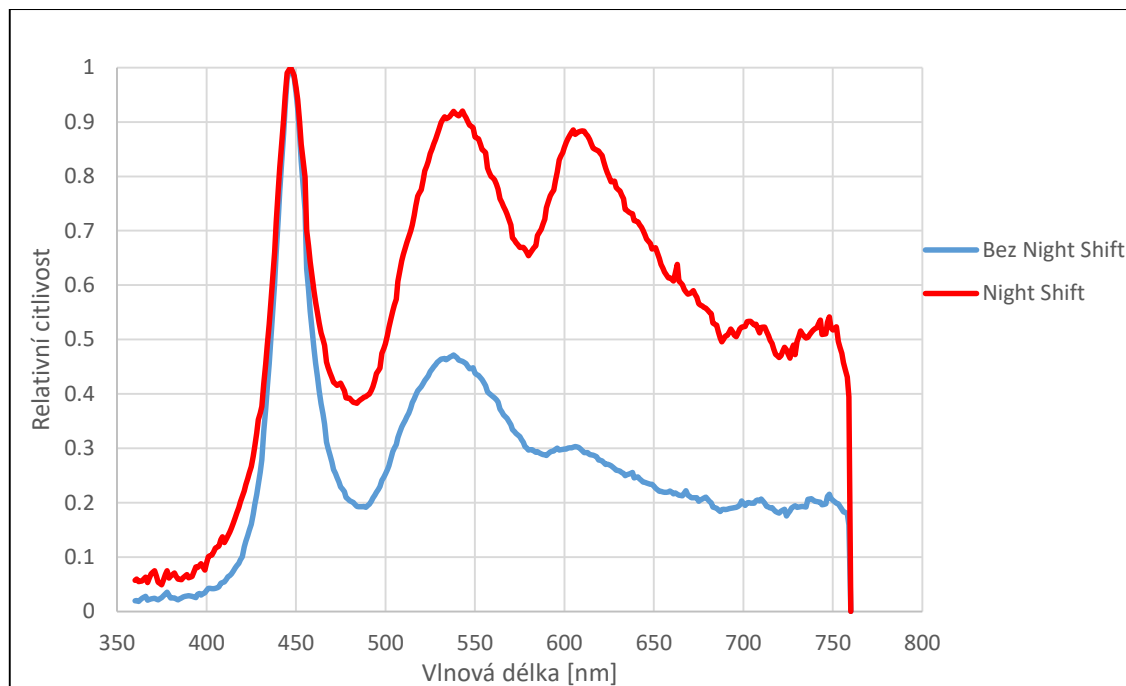
červená křivka – měřené zařízení

Popis grafu

V dalším měření došlo k analýze světelného spektra zařízení Apple iPad Pro, kde byl spuštěný noční režim tzv. Night Shift. Teplota chromatičnosti činila 4636 kelvinů, což je oproti prvnímu měření pokles přibližně o polovinu. Index podání barev má velikost 90. Intenzita osvětlení činí 20 luxů. Z grafu je patrné, že velikost fialové složky spektra má v tomto grafu zcela zanedbatelnou velikost. Na rozdíl od prvního měření zařízení nevyzařuje tolik modrého světla, které dosahuje nejvyšší intenzity v rozmezí 430-470 nm. Vrcholu křivky, tedy 100% relativní citlivosti, je dosaženo při 447 nm vlnové délky.

Přibližně od 500 nm do 550 nm dochází k výraznému nárůstu zelené složky světla. Dále je patrný nárůst oranžové barvy, která se zvyšuje od vlnové délky 590 nm

do 620 nm, kde relativní citlivost dosahuje zhruba 80%. Od velikosti 620 nm, tedy při přechodu oranžové barvy na červenou, je možné zaznamenat citelný pokles červené barvy až za hranici 750 nm, kde začíná infračervené záření.



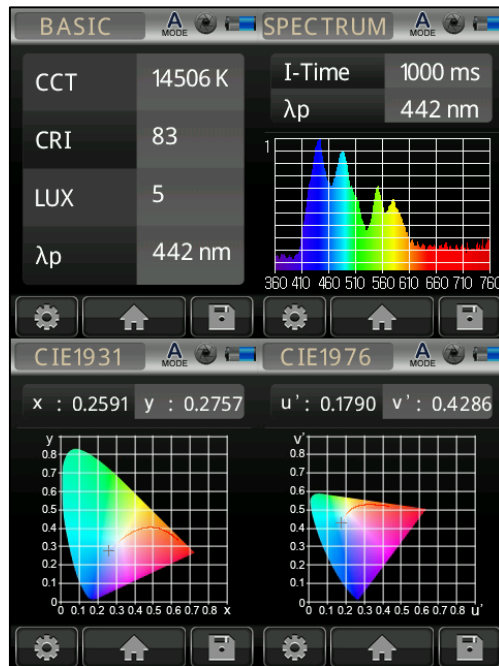
Graf 1 Porovnání zapnutého a vypnutého režimu Night Shift u zařízení Apple iPad Pro (Zdroj: autor)

Závěr měření

Z přiloženého grafu je zřejmé, že noční režim posouvá barevnost displeje směrem k teplejším tónům, která zejména ve večerních hodinách neunavují oči a umožňují uživateli snáz usnout. Zejména od 470 nm vlnové délky dochází k velkému rozdílu vyzařovaných barev.

3.4.3 Projektor

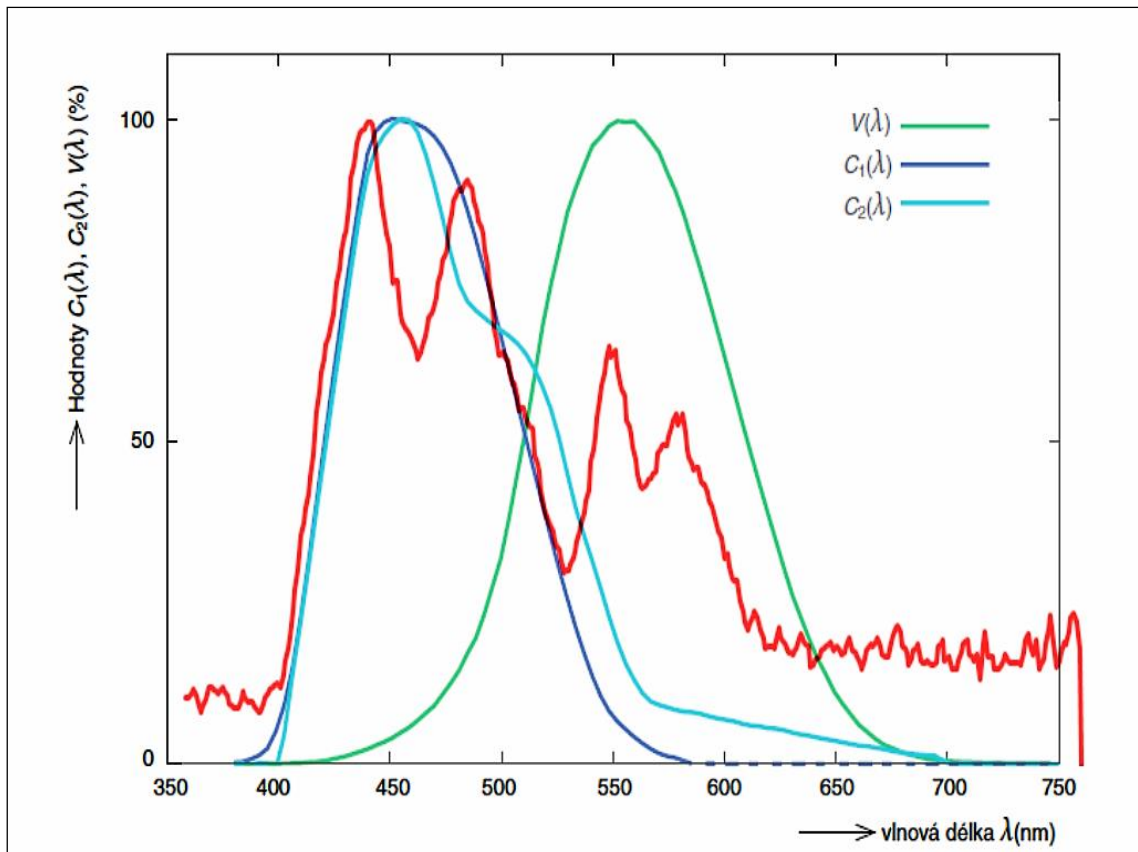
Snímek byl pořízen v areálu Technické univerzity v Liberci, konkrétně v budově A, kde je projektor využíván k výuce. Na obrázku je možné vidět charakteristickou tapetu operačního systému Windows 7.



Obr. 20 Výsledné hodnoty světelného spektra (Zdroj: autor)



Obr. 21 Projektor v budově A, místnost EL-1 (Zdroj: autor)



Obr. 22 Porovnání světelného spektra projektoru (červená křivka) s cirkadiánním rytmem člověka (Zdroj: autor)

$V(\lambda)$ – křivka spektrální citlivosti lidského zraku (fotoskopická citlivost-denní vidění)

$C_1(\lambda)$ – citlivost při dlouhém působení (řídící cirkadiánní rytmus)

$C_2(\lambda)$ – citlivost při krátkém působení

červená křivka – měřené zařízení

Popis grafu

Ve třetím měření došlo k analýze světelného spektra projektoru. Teplota chromatičnosti činila 14506 kelvinů. Světlo vyzařuje chladnější bílý tón. Index podání barev má velikost 83. Intenzita osvětlení činí 5 luxů. Velikost fialové složky spektra se v přiloženém grafu takřka nevyskytuje. Od hodnoty 400 nm do přibližně 540 nm je křivka projektoru velice podobná normálnímu cirkadiánnímu rytmu člověka. Vrchol křivky dosahuje 100% relativní citlivosti při 442 nm. V zelené složce světla, tedy od 500 nm do 630 nm dochází na rozdíl od modrého světla k citelnému poklesu. Lze usoudit, že křivka projektoru se zcela odlišuje od křivky znázorňující fotopickou citlivost lidského oka. Z grafu je patrné, že červená a oranžová barva se ve spektru nijak

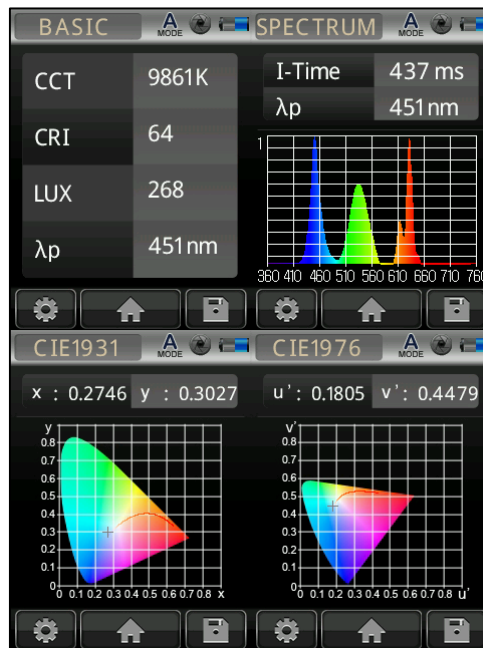
zásadně nevyskytují. Přibližně od 620 nm se hodnota relativní citlivosti nachází na hodnotě přibližně 20%. Je zřejmé, že projektor vyzařuje infračervené záření, které dosahuje velikosti 760 nm.

Závěr měření

Jak již graf napovídá, není vhodné využívat projektor ve večerních hodinách, protože vyzařuje málo červeno-oranžové barvy. Vzhledem k tomu, že projektor vyzařuje mnoho modrého světla, je vhodný pro použití ve dne.

3.4.4 Apple iPhone 7

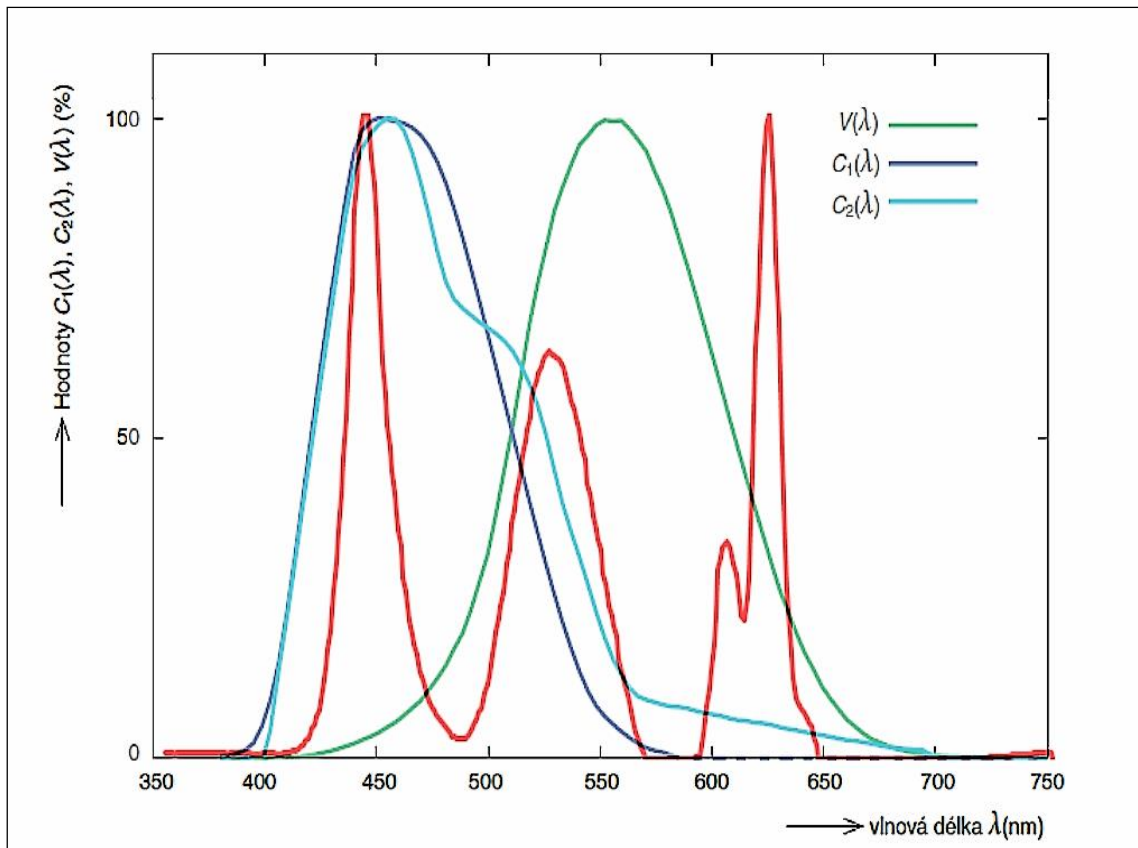
Apple iPhone 7 je zařízení, které bylo společností Apple představené na podzim roku 2016. Disponuje Retina displejem nabízejícím rozlišení 1334 x 750 při 326 pixelech na palec. Maximální jas zařízení činí 625 cd/m². Díky perfektní symbióze softwaru a hardwaru poskytuje telefon vysoký výkon a pohodlné užívání.



Obr. 23 Výsledné hodnoty světelného spektra (Zdroj: autor)



Obr. 24 Zařízení Apple iPhone 7 (Zdroj: autor)



Obr. 25 Porovnání světelného spektra zařízení Apple iPhone 7 (červená křivka) s cirkadiánním rytmem člověka (Zdroj: autor)

$V(\lambda)$ – křivka spektrální citlivosti lidského zraku (fotoskopická citlivost-denní vidění)

$C_1(\lambda)$ – citlivost při dlouhém působení (řídící cirkadiánní rytmus)

$C_2(\lambda)$ – citlivost při krátkém působení

červená křivka – měřené zařízení

Popis grafu

V tomto měření došlo k rozboru světelného spektra zařízení Apple iPhone 7. Teplota chromatičnosti činila 9861 kelvinů. Index podání barev má velikost 84. Intenzita osvětlení činí 22 luxů. Při pohledu na graf je evidentní, že zařízení iPhone 7 nevyzařuje světlo fialové barvy. Naopak modré světlo se zde nachází od 430 nm vlnové délky do 490 nm, vrchol křivky má nejvyšší hodnotu při 451 nm a relativní citlivost zde dosahuje 100%. Od 500 nm do 570 nm displej vyzařuje světlo zelené barvy, jehož relativní citlivost dosahuje přibližně 70%. Dále je zřejmé, že žlutá složka světla se zde nevyskytuje, protože od 570 nm do 590 nm se hodnota relativní citlivosti pohybuje okolo 0.

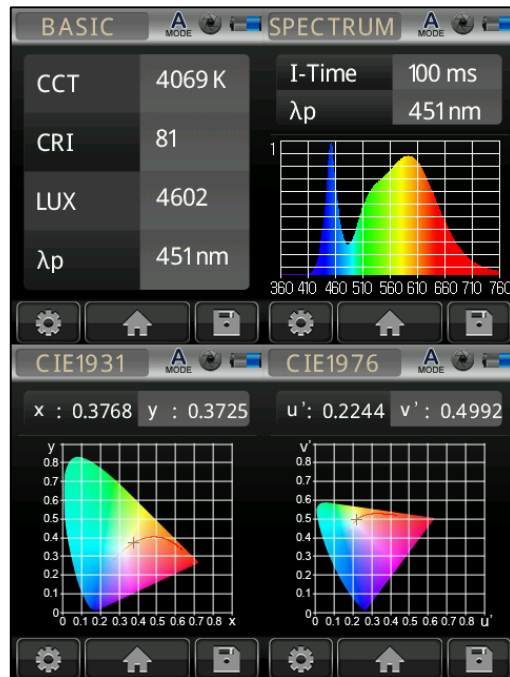
Přibližně od 590 nm do 625 nm displej vyzařuje oranžové světlo, které má zanedbatelnou velikost oproti modrému či zelenému světlu. Od 625 nm do 650 nm displej vyzařuje vysokou intenzitu červeného světla. Od hranice 650 nm Jak je patrné, od 650 nm vlnové délky displej tohoto zařízení nevyzařuje žádné světlo této barvy.

Závěr měření

Z výsledku je evidentní, že tento displej je nevhodný pro práci ve večerních a nočních hodinách, protože oranžovo-červené světlo je vyzařované pouze v úzkém rozmezí spektra.

3.4.5 LED svítidlo iLine 4000K

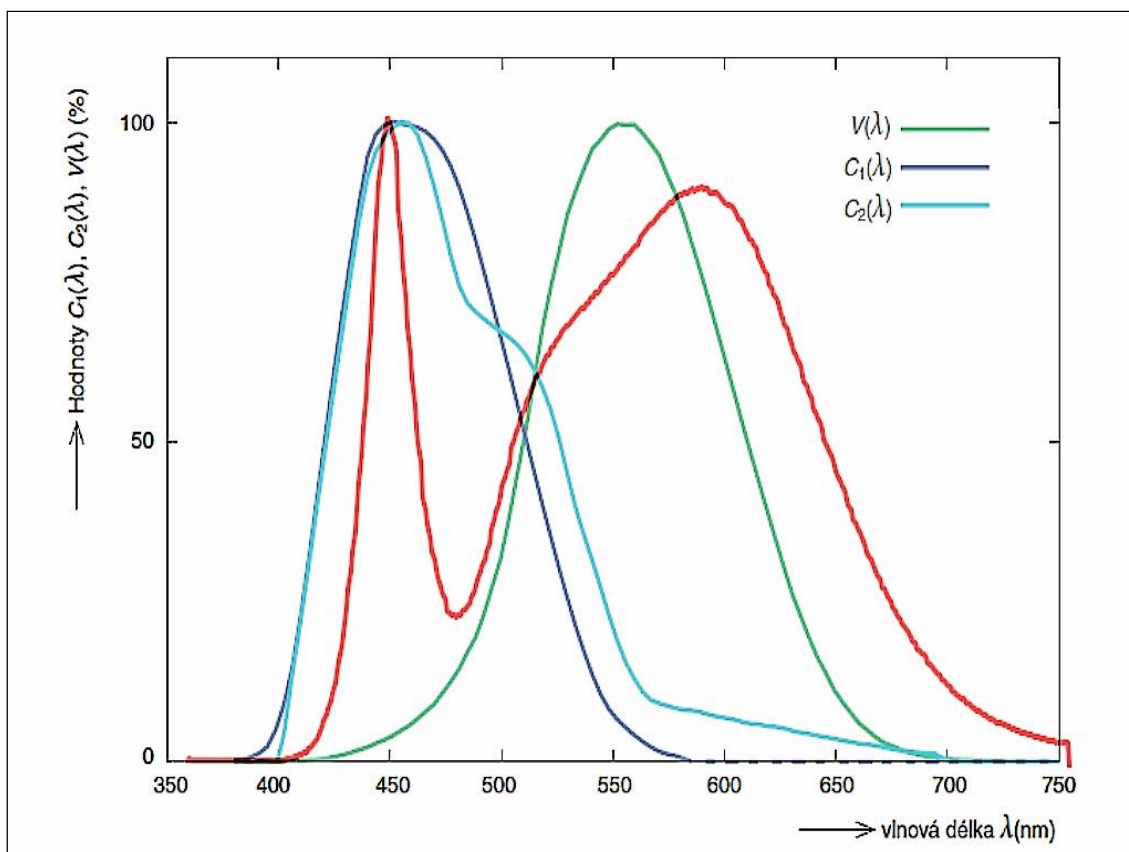
System osvětlení iLine se nejčastěji používá k osvětlení v prostorech pro průmyslovou výrobu, skladech či k osvětlení veřejných prostorů. Jako světelný zdroj se používají LED diody se světelným výkonem 160lm/W.



Obr. 26 Výsledné hodnoty světelného spektra (Zdroj: autor)



Obr. 27 LED osvětlení iLine 4000K (Zdroj: autor)



Obr. 28 Porovnání světelného LED zářivky iLine (červená křivka) s cirkadiánním rytmem člověka (Zdroj: autor)

$V(\lambda)$ – křivka spektrální citlivosti lidského zraku (fotoskopická citlivost-denní vidění)

$C_1(\lambda)$ – citlivost při dlouhém působení (řídící cirkadiánní rytmus)

$C_2(\lambda)$ – citlivost při krátkém působení

červená křivka – měřené zařízení

Popis grafu

V pátém měření byl proveden rozbor světelného spektra LED osvětlení iLine. Teplota chromatičnosti činila 4069 kelvinů. Index podání barev má velikost 81. Intenzita osvětlení je 4609 luxů. Z měření vyplynulo, že LED osvětlení nevyzařuje světlo fialové barvy. Od vlnové délky 420 nm dochází k rapidnímu vzrůstu modré barvy až do velikosti 100% relativní citlivosti při vlnové délce 451 nm. Od této velikosti dochází k citelnému propadu intenzity modrého světla až k 480 nm. Naopak od 490 nm do 600 nm dochází k trvalému nárůstu světla azurové barvy, zelené a žluté barvy, která dosahuje velikosti 90% relativní citlivosti. Teplé barvy jsou LED osvětlením vyzařovány od vlnové délky přibližně 560 nm. Od vlnové délky 600 nm je možné zaznamenat pokles

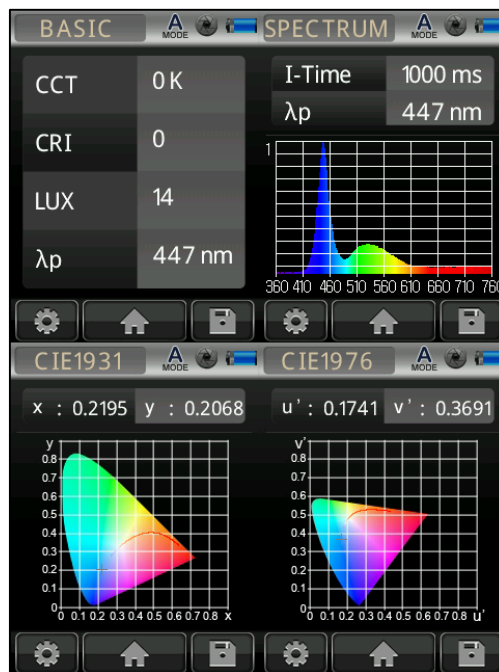
oranžovo-červeného světla až k hranici 750 nm, kde začíná infračervené záření, které LED osvětlení vyzařuje zcela minimálně.

Závěr měření

Z výsledku je patrné, že svítidlo iLine využívající technologii LED je zcela vhodné pro osvětlení kancelářských prostor. Je zajímavé, že zařízení vyzařuje teplé barvy, které se hodí pro osvětlení prostor ve večerních hodinách.

3.4.6 Monitor BENQ

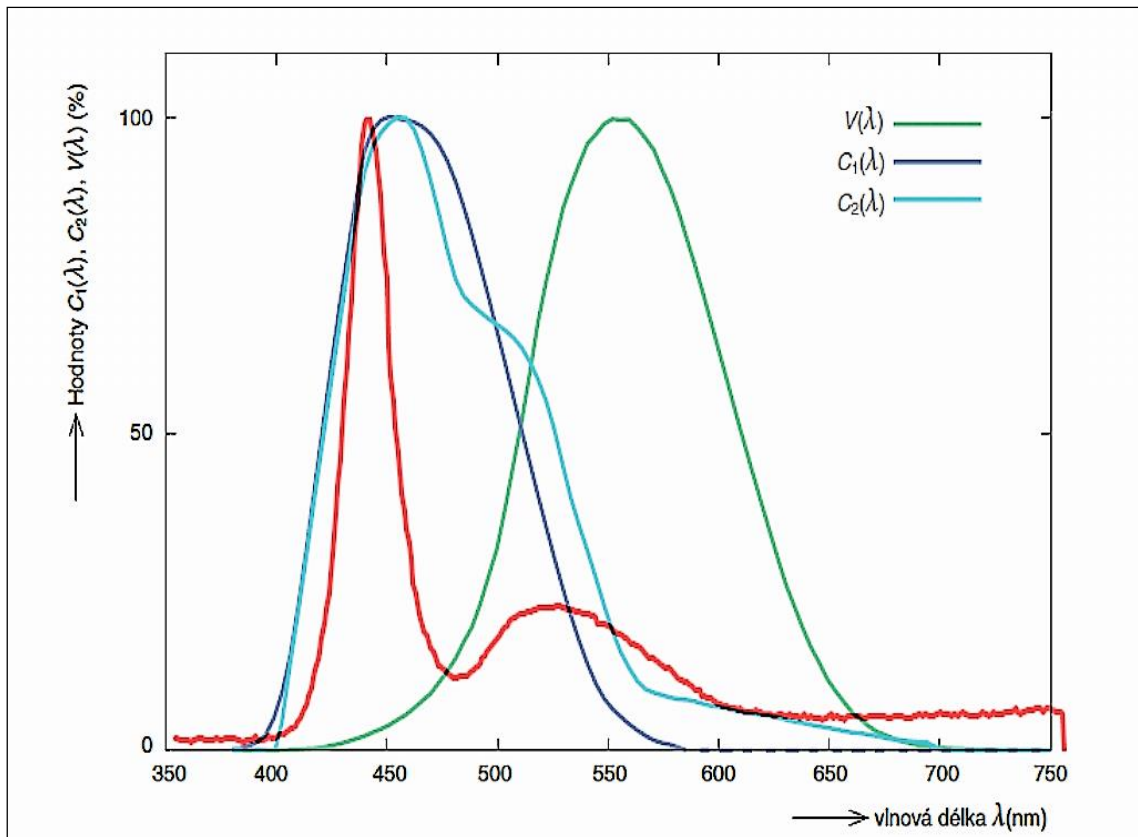
Na obrázku je možné vidět klasickou tapetu operačního systému Windows 10. Monitor LCD LED EW2420 nabízí široké spektrum použití, od prohlížení internetu, hraní videoher nebo například editace obrázků či videí. Je tedy vhodný pro použití v kancelářích či domácnostech. Displej Full HD nabízí rozlišení o velikosti 1920 x 1080 obrazových bodů. Maximální jas monitoru má hodnotu 300 cd/m².



Obr. 29 Výsledné hodnoty světelného spektra (Zdroj: autor)



Obr. 30 Monitor BENQ bez použití softwaru f.lux (Zdroj: autor)



Obr. 31 Porovnání světelného spektra monitoru BENQ (červená křivka) s cirkadiánním rytmem člověka (Zdroj: autor)

$V(\lambda)$ – křivka spektrální citlivosti lidského zraku (fotoskopická citlivost-denní vidění)

$C_1(\lambda)$ – citlivost při dlouhém působení (řídící cirkadiánní rytmus)

$C_2(\lambda)$ – citlivost při krátkém působení

červená křivka – měřené zařízení

Popis grafu

V šestém měření byl provedený rozbor světla monitoru BENQ EW2420. Teplota chromatičnosti činila 0 kelvinů. Index podání barev je 0. Intenzita osvětlení má velikost 14 luxů. Jak již graf napovídá, monitor nevyzařuje fialové světlo. Modrá složka se vyskytuje od vlnové délky v úzkém rozmezí 420 nm do 480 nm. Křivka dosahuje 100% relativní citlivosti při 447 nm. Od 490 nm do 600 nm monitor vyzařuje světlo zeleno-oranžové barvy, které dosahuje maximální hodnoty 25% relativní citlivosti.

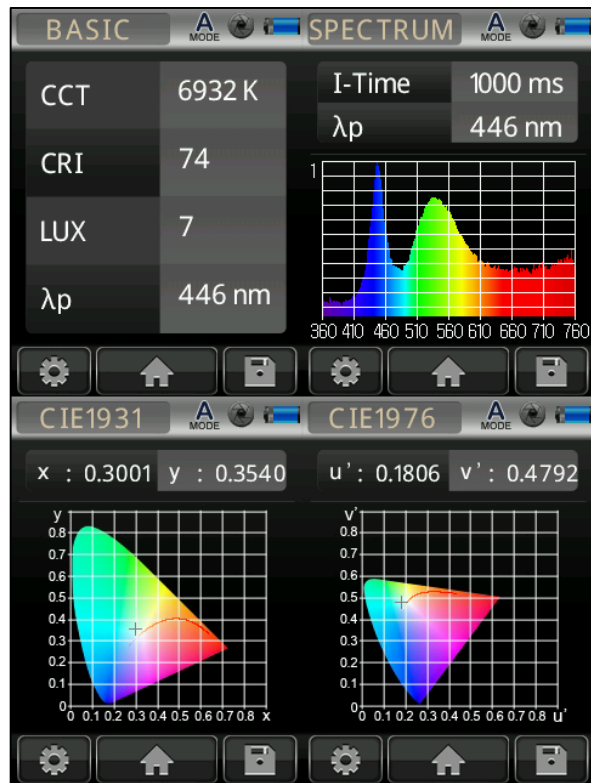
Od hranice 610 nm dochází k vyzařování malé intenzity červeného a oranžové světla. Přibližně od 590 nm do 625 nm displej vyzařuje oranžové světlo, které má zanedbatelnou velikost oproti modrému či zelenému světlu.

Závěr měření

Z výsledku je evidentní, že tento displej je vhodný pro práci na počítači v denní dobu. Naopak je krajně nevhodný pro práci ve večerních nebo nočních hodinách, protože nevyzařuje dostatek oranžového světla.

3.4.7 Monitor BENQ s f.lux

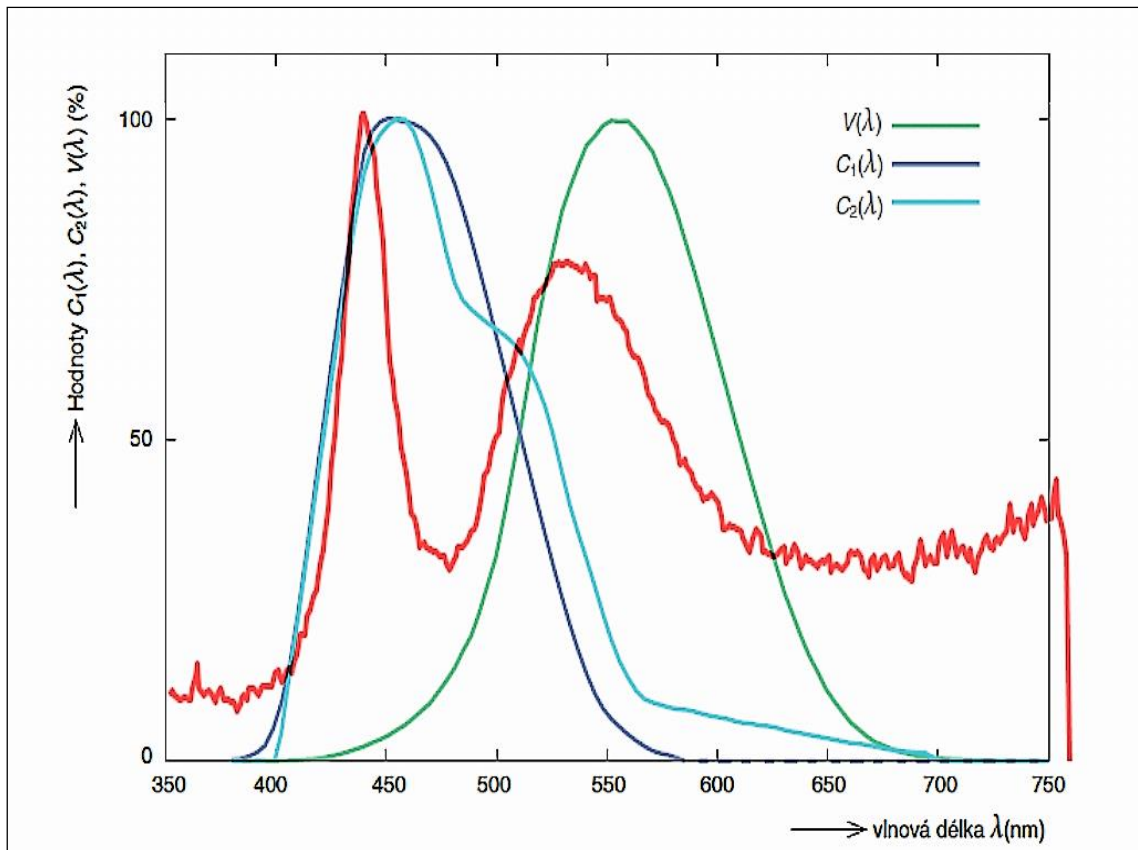
V tomto měření byl v počítači spuštěný software f.lux, který potlačuje modrou složku světla.



Obr. 32 Výsledné hodnoty světelného spektra (Zdroj: autor)



Obr. 33 Monitor BENQ při použití softwaru f.lux (Zdroj: autor)



Obr. 34 Porovnání světelného spektra monitoru BENQ s f.lux (červená křivka) s cirkadiánním rytmem člověka (Zdroj: autor)

$V(\lambda)$ – křivka spektrální citlivosti lidského zraku (fotoskopická citlivost-denní vidění)

$C_1(\lambda)$ – citlivost při dlouhém působení (řídící cirkadiánní rytmus)

$C_2(\lambda)$ – citlivost při krátkém působení

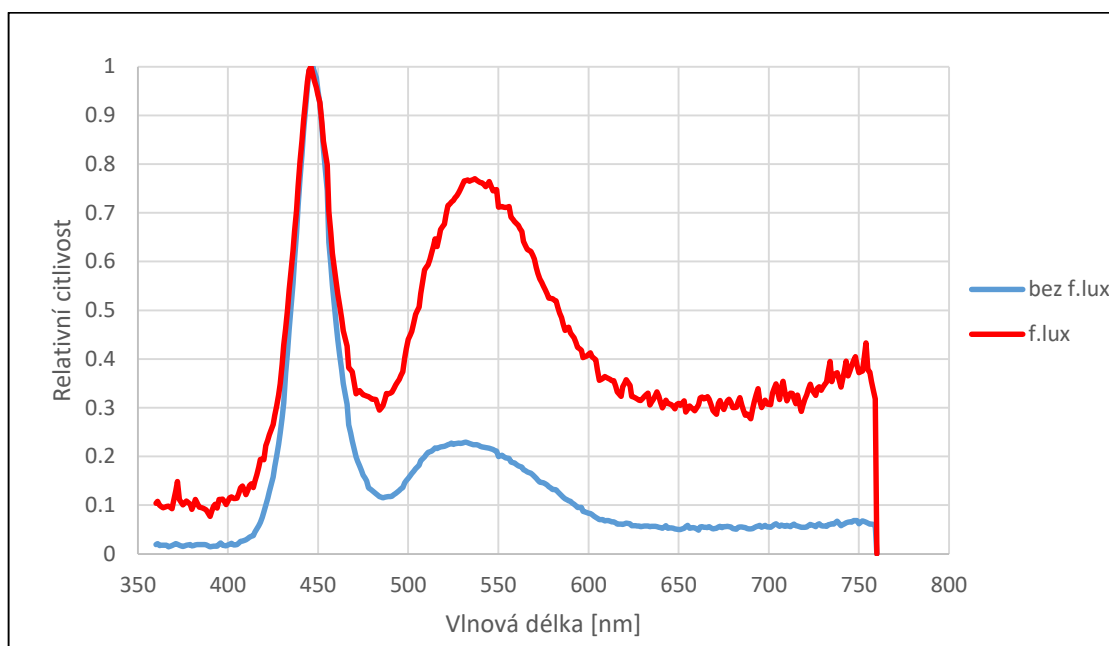
červená křivka – měřené zařízení

Popis grafu

V předposledním měření byla provedena analýza světla monitoru BENQ f.lux. Teplota chromatičnosti dosahuje velikost 6932 kelvinů. Index podání barev má velikost 74. Intenzita osvětlení činí 7 luxů. Jak již graf naznačuje, monitor vyzařuje světlo fialové barvy nepatrné intenzity. Od 420 nm vlnové délky dochází k prudkému zvýšení intenzity vyzařovaného modrého světla. Vrchol křivky dosahuje 100% relativní citlivosti při 446 nm. Od této hodnoty se křivka propadá k 30% relativní citlivosti při 480 nm vlnové délky. Od 490 nm vzrůstá intenzita zeleného světla až do velikosti 75%.

Dále se zde vyskytuje světlo oranžovo-žluté barvy, které se nachází v rozmezí 560-600 nm. Monitor vyzařuje světlo červené barvy od vlnové délky 600 nm přes hranici

750 nm, kde začíná infračervené záření. Křivka monitoru BENQ by se svým tvarem dala přirovnat například ke křivce 5000K LED diody (viz. Obr 2).



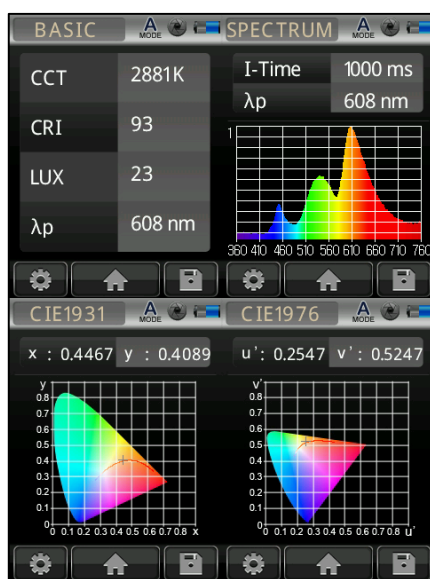
Graf 2 Porovnání světelného spektra při aktivaci/deaktivaci programu f.lux ve Windows 10 (Zdroj: autor)

Závěr měření

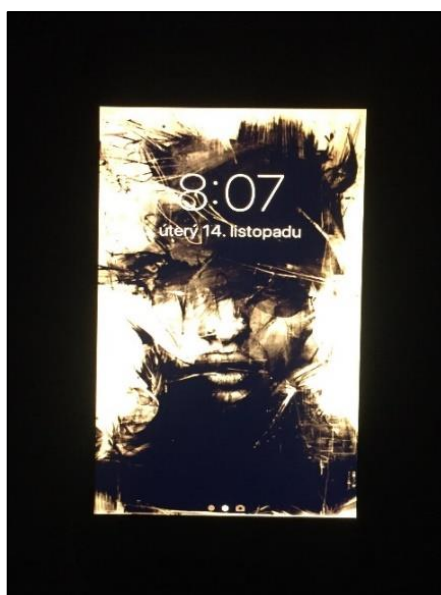
Ve srovnání s předchozím měřením posouvá použití programu f.lux na monitoru BENQ barevné spektrum k teplým barvám, což výrazně usnadňuje práci ve večerních hodinách. Na druhou stranu je třeba říci, že program f.lux byl v měření zapnutý na 50% svého výkonu. Při plné aktivaci f.lux by oranžová křivka patrně dosahovala vyšších hodnot oranžové a červené barvy.

3.4.8 Apple iPhone 5s s Night Shift

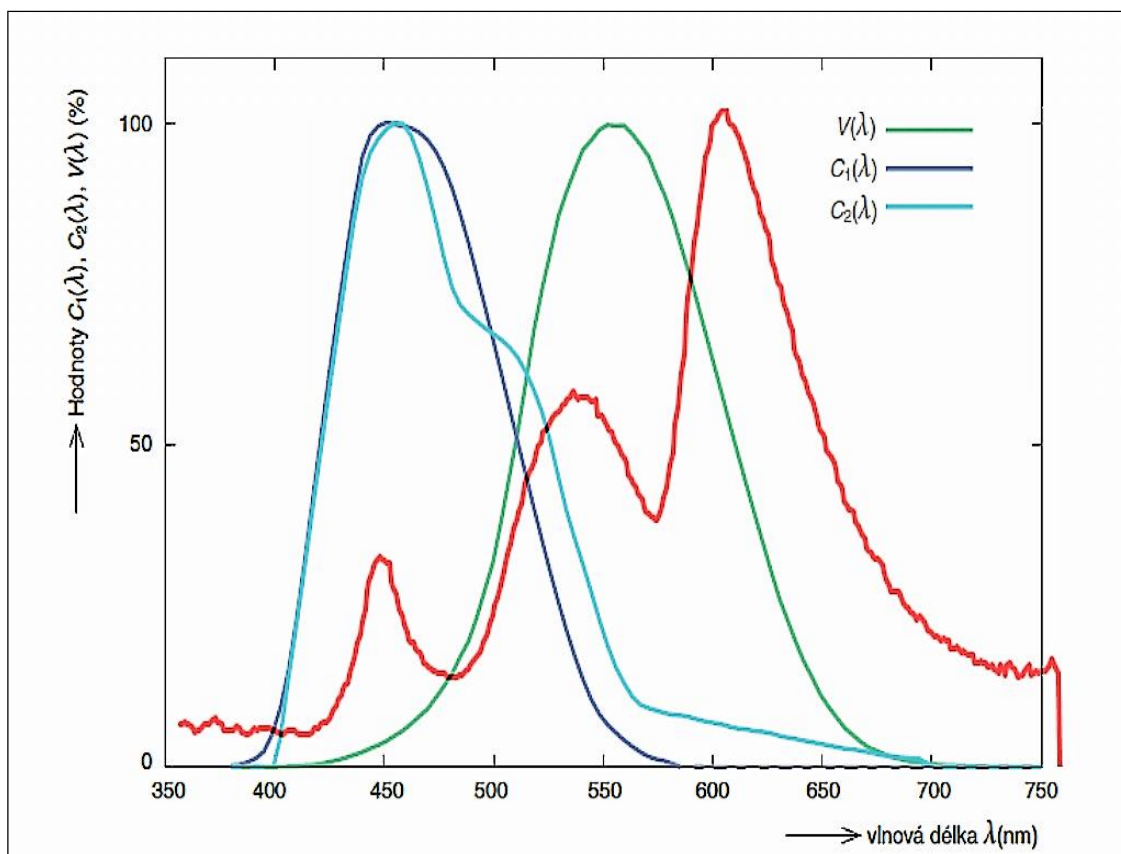
Zařízení Apple iPhone 5s je na trhu od podzimu roku 2013. Jde o velmi používané zařízení, které nabízí slušný poměr cena/výkon. Telefon je vybaven Retina displejem s úhlopříčkou 4“. Zařízení nabízí rozlišení 1136 x 640 pixelů s hustotou 326 bodů na palec. Maximální jas zařízení činí 500 cd/m². V tomto měření byla použita funkce Night Shift, která zajišťuje podání teplejších barev a zmírňuje zátěž pro oči v noci. Z přiloženého grafu je možné vypočítat převahu teplého světla oproti modrému.



Obr. 35 Výsledné hodnoty světelného spektra (Zdroj: autor)



Obr. 36 Zařízení iPhone 5s s funkcí NS (Zdroj: autor)



Obr. 37 Porovnání světelného spektra zařízení Apple iPhone 5s f.lux (červená křivka) s cirkadiánním rytmem člověka (Zdroj: autor)

$V(\lambda)$ – křivka spektrální citlivosti lidského zraku (fotoskopická citlivost-denní vidění)

$C_1(\lambda)$ – citlivost při dlouhém působení (řídící cirkadiánní rytmus)

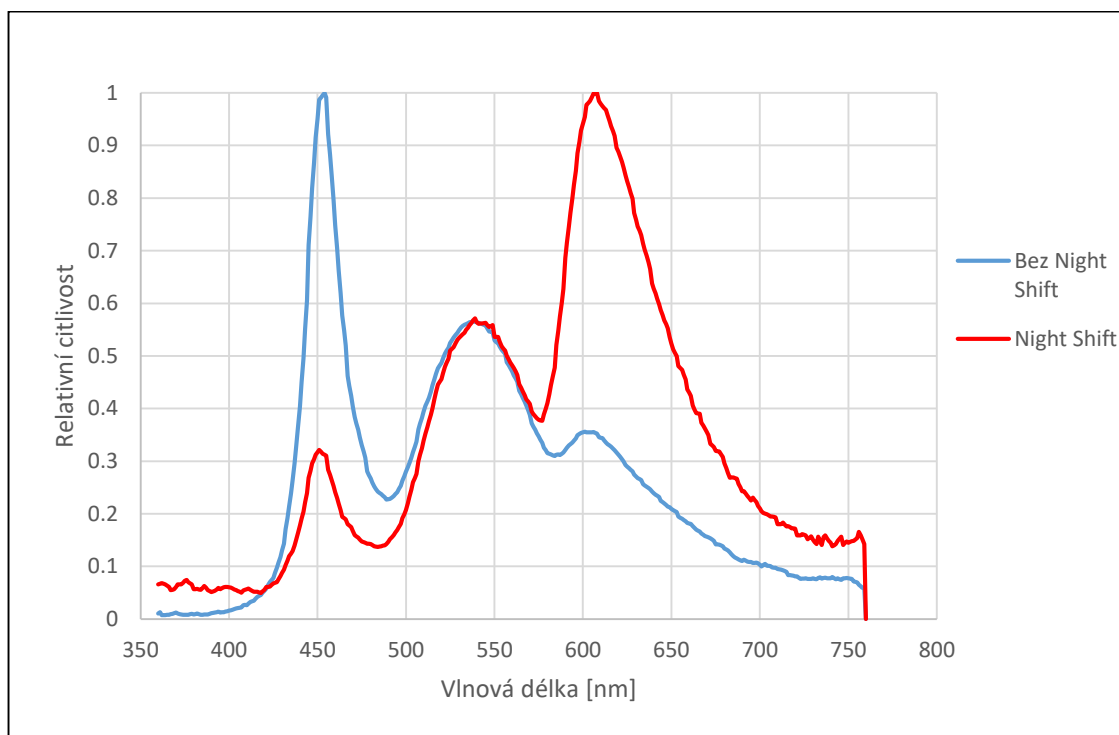
$C_2(\lambda)$ – citlivost při krátkém působení

červená křivka – měřené zařízení

Popis grafu

V posledním měření došlo k rozboru světelného spektra zařízení Apple iPhone 5s, na němž byl aktivován režim Night Shift. Teplota chromatičnosti dosáhla velikosti 2881 kelvinů. Z této velikosti je zřejmé, že se jedná o světlo teplé barvy, které se hodí pro použití ve večerních hodinách. Index podání barev má velikost 93. Intenzita osvětlení činí 23 luxů. Z přiloženého grafu je zřejmé, že zařízení iPhone 5s nevyzařuje světlo fialové barvy. V porovnání s ostatními grafy displej telefonu nevyzařuje takřka žádné modré světlo. Křivka zařízení se nepodobá tvaru křivky citlivosti cirkadiánního rytmu člověka.

V zelenožlutém světelném spektru, tedy od 500 nm, lze zaznamenat nárůst hodnoty relativní citlivosti přes 50%. Od 580 nm vlnové délky dochází k prudkému nárůstu oranžové barvy, jejíž velikost dosahuje 100 % relativní citlivosti. Vrchol křivky se nachází při 608 nm v čase 1000 ms. Odtud dochází k poklesu velikosti složky červeného světla, která končí až za hranicí 750 nm vlnové délky.



Graf 3 Porovnání světelného spektra při aktivaci/ deaktivaci režimu Night Shift u zařízení Apple iPhone 5s (Zdroj: autor)

Závěr měření

Z výsledku je patrné, že zařízení s Night Shift záměrně potlačuje světlo modré barvy. Křivky jsou si podobné pouze od vlnové délky 500 do přibližně 580 nm vlnové délky, kde je vyzařované světlo zelené a žluté barvy. Dále měření prokázalo, že režim Night Shift několikanásobně zvyšuje intenzitu oranžovo-červeného světla od vlnové délky 580 nm do 760 nm. Režim Night Shift posouvá světelné spektrum k teplejším tónům, což výrazně přispívá ke snížení námahy očí při práci na telefonu ve večerních a nočních hodinách. V poslední řadě je nutné zmínit, že funkce Night Shift v tomto měření byla spuštěna na plný výkon.

4 Porovnání charakteristik jednotlivých zdrojů a jejich možný vliv na člověka

Na základě osmi provedených měření jsme dospěli k závěru, že při použití jakéhokoli elektronického zařízení dochází k vyzařování modré složky světla. Podařilo se potvrdit předpoklad, že při použití programu f.lux nebo režimu Night Shift dochází buď k výraznému potlačení modré složky světla (viz. grafy 1, 2 a 3) nebo k posunutí barevného spektra více k teplejším tónům (červeno-oranžová). Lze tedy usoudit, že použití těchto softwarových vychytávek výrazně přispívá k šetření lidského zraku a patrně i k lepšímu spánku.

Měření prokázalo, že veškerá měřená zařízení se dají rozdělit do dvou skupin. První skupinou jsou zařízení, která jsou vhodná pro použití ve dne, ale nikoli ve večerních hodinách. Jsou to zařízení vyzařující modré světlo a lze je použít například v ranních hodinách, kdy dochází ke stimulaci aktivity, a pak v průběhu celého dne, kdy udržují tělo v kondici. Naopak krajně nevhodná jsou tato zařízení pro použití večer (před spaním) nebo v noci, protože neposkytují dostatek oranžovo-červeného světla. Do první skupiny tedy patří Apple iPad Pro, projektor, Apple iPhone 7, monitory BENQ.

Do druhé skupiny lze zařadit zařízení, která jsou vhodná pro použití před spaním nebo v noci. Jedná se o zařízení Apple iPad Pro a iPhone 5s s režimem Night Shift a v neposlední řadě monitor BENQ se spuštěným software f.lux. Zde je potřeba zmínit, že při měření byl tento režim spuštěný na 50% výkonu. Při 100% výkonu by patrně modrá složka neměla tak velkou intenzitu a celé spektrum by se posunulo směrem k teplejším barvám. Dalším zařízením, které do této skupiny patří je svítidlo iLine 4000K, které sice vyzařuje světlo modré barvy, ale na druhou stranu poskytuje i dostatek oranžového a červeného světla.

Tab.2 Porovnání měřených zařízení v rámci použitelnosti v noci (Zdroj: autor)

Zařízení	Vhodné pro použití večer	Vhodné pro použití ve dne
iPad Pro	NE	ANO
iPad Pro s Night Shift	ANO	NE
Projektor	NE	ANO
iPhone 7	NE	ANO
Osvětlení iLine 4000K	ČÁSTEČNĚ	ČÁSTEČNĚ
Monitor BENQ	NE	ANO
Monitor BENQ s f.lux	ČÁSTEČNĚ	ANO
iPhone 5s s Night Shift	ANO	NE

5 Závěr

Podarilo se potvrdit předpoklad, že speciální software jako f.lux nebo režim Night Shift pro úpravu teploty účelně potlačují modrou barvu a naopak posouvají barevné spektrum směrem k teplejším tónům, což přispívá k pohodlnějšímu používání zařízení ve večerních či nočních hodinách. Zároveň tak dochází ke snížení zátěže zrakového systému a patrně i k lepšímu spánku.

Na základě zjištěných skutečností z provedeného výzkumu lze usoudit, že je nezbytné se problematikou spojenou s vyzařovaným světlem ze zobrazovacích jednotek a jiných zařízení důkladně zabývat. V této problematice máme k dispozici dvě možnosti. První možností je apelovat na lidi, aby upravili svůj životní styl, což znamená používat elektronická zařízení (smartphone, tablet, notebook nebo televizor) ve vhodnou dobu, nikoliv před spánkem nebo v nočních hodinách. Druhou možností je intenzivně se zabývat vývojem a vylepšováním softwaru pro úpravu teploty barev displejů, které by mohly být do budoucna ještě přesnější a méně zatěžující pro zrak člověka.

V případě, že bych pracoval jako konstruktér u vývoje zobrazovacích jednotek, zabýval bych se především potlačením modrého světla u obrazovek televizorů, protože v této oblasti neexistuje žádný program pro úpravu světelného spektra. Součástí televizoru by vedle samotné obrazovky mohlo být čidlo, které by monitorovalo okolí. Za pomoci speciálního softwaru by obrazovka televizoru upravila jas a teplotu barev v závislosti na čase a osvětlení v místnosti. Na druhou stranu musíme konstatovat, že při odstranění modré složky světla dojde ke zhoršení obrazu televizoru, protože displej bude působit oranžově a nebude podávat přirozené barvy, což může být pro některé zákazníky nepříznivá informace vzhledem k ceně a kvalitě obrazovky.

Cílem této práce bylo především poukázat na to, jaké barevné spektrum jednotlivá zařízení vyzařují, jaké zařízení je nejvhodnější pro použití ve večerních a nočních hodinách a které se naopak hodí pro použití ve dne. Je zapotřebí se intenzivně zabývat problémy spojenými s vyzařováním světla na člověka. Je zřejmé, že problémy spojené s nespavostí, zvýšenou nervozitou či obecně s duševními chorobami, zapříčiněné špatným světlem, budou s rostoucí poptávkou po elektronických zařízeních stále narůstat. Otázkou je, zda kvůli neustálému vývoji dokonalejších zobrazovacích jednotek a lepšímu software dojde k progresu v této problematice.

Seznam použité literatury

- (1) VIK, Michal. Měření barevnosti a vzhledu v průmyslové praxi. Liberec: VÚTS, 2015. ISBN 978-80-87184-64-6.
- (2) HABEL, Jiří a kol. *Světelná technika a osvětlování*. Praha: FCC Public, 1995. ISBN 80-901985-0-3.
- (3) FUKSA, Antonín. Světlo a biologické hodiny. *Světlo*. 2010, **13**(6), 56-58. ISSN 1212-0812.
- (4) SROYKHAM, Watchara a Yodchanan WONGSAWAT. Effects of LED-backlit computer screen and emotional selfregulation on human melatonin production. In: IEEE Engineering in Medicine and Biology Society.2013 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). Osaka. IEEE 2013, s. 1704-1707 DOI 10.1109/EMBC.2013.6609847. ISBN. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6609847/>
- (5) WALCUTT, Diana L. Stages of Sleep. *Psych Central - Trusted mental health, depression, bipolar, ADHD & psychology information* [online]. Newburyport: Psych Central, 1995-2018, aktualiz. 2016-07-17 [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: <https://psychcentral.com/lib/stages-of-sleep/>
- (6) GREGORY, Peter a Mark EDSSELL. Fatigue and the Anaesthetist. *Continuing Education in Anaesthesia Critical Care & Pain*. 2014, **14**(1), 18-22. DOI 10.1093/bjaceaccp/mkt025. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1743181617301178>
- (7) HONZÁK, Radkin. Některé nové poznatky o mechanismu spánku. *Psychosom*. 2015, **13**(2), 90-100. ISSN 2336-7741.
- (8) SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Fyziologie oka a vidění*. 2.vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-3992-2.
- (9) HOLLAN, Jan. Ve zdravém domě zdravou noc: A healthy house is to ensure a healthy night. *Amper.ped.muni.cz* [online]. Brno [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://amper.ped.muni.cz/jenik/domy/svetlo.htm>
- (10) GAŠPAROVSKÝ, Dionýz a Roman DUBNIČKA. Mezopické vidění: čo to je a čo to prinesie pre praxi. *Světlo*. 2018, **21**(2), 47-50. ISSN 1212-0812.
- (11) MOUREK, Jindřich. *Fyziologie: učebnice pro studenty zdravotnických oborů*. 2.vyd. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-3918-2.

- (12) REICHL, Jaroslav. Encyklopedie fyziky [online]. [cit. 2013-1129]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com>
- (13) AVmania.cz. OLED displeje: technologie současnosti i budoucnosti. *AVmania.cz: audio, video, home, cinema* [online]. E15.cz, aktualiz. 2014-01-15 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://avmania.e15.cz/oled-displeje-technologie-soucasnosti-i-budoucnosti>
- (14) CHLUP, Vladimír. OLED displeje, jak fungují. *Mobilizujeme.cz* [online]. 2007-2018, aktualiz. 2015-08-13 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://mobilizujeme.cz/clanky/oled-displeje-jak-funguji-vedecke-okenko>
- (15) DOBIE, Alex. Hands-on with the Samsung Galaxy Round. *Android Central: Android Forums, News, Reviews, Help and Android Wallpapers* [online]. Mobile Nations, 2016, aktualiz. 2014-01-07 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: <https://www.androidcentral.com/hands-samsung-galaxy-round>
- (16) THORNTON, Scott. Making sense of displays. OLED, AMOLED, POLED, PMOLED and TOLED. *Microcontroller Tips An EE World Online Resource* [online]. WTW Media LLC, 2018, aktualiz. 2017-12-21 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://www.microcontrollertips.com/making-sense-displays-oled-amoled-poled-pmoled-t-oled/>
- (17) MERTENS, Roy. Audi details the OLED lighting panels used in the 2018 A8. *OLED-info the oled experts* [online]. Metalgrass software, 2004-2018, aktualiz. 2017-10-14 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <https://www.oled-info.com/audi-details-oled-lighting-panels-used-2019-a8>
- (18) REICHL, Jaroslav. Displej z kapalných krystalů (LCD). *Encyklopedie fyziky* [online]. 2006-2018 [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/523-displej-z-kapalnych-krystalu-lcd>
- (19) ROSINA, Jozef. *Biofyzika: pro zdravotnické a biomedicínské obory*. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-4237-3.
- (20) OLIVKA, Petr a Tomáš KOTULA. Zobrazovací jednotky počítačů – monitory. *Studijní materiál pro předmět Architektury počítačů* [online]. Ostrava, 2010 [cit. 2018-02-24] Dostupné z: <http://old.spsemoh.cz/digiskola/zel/monitory.pdf>
- (21) MAIEROVÁ, Lenka. Světelné prostředí a jeho vliv na společnost v průběhu historie. *Světlo*. 2018, **21**(1). ISSN 1212-0812.
- (22) KOVÁČ, Pavel. Technologie LCD panelů. *Svět hardware: vše ze světa počítačů* [online]. oXy online, 1998-2018, aktualiz. 2013-02-08 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/technologie-lcd-panelu/14465-2>

- (23) REICHL, Jaroslav. Barevná televize. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2006-2018 [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/519-barevna-televize>
- (24) REMION. In: *Laboratorní průvodce: Informační portál pro oblast laboratorní praxe* [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: http://www.labo.cz/mft/rad_pasma.htm
- (25) KABÁT, Zdeněk. Technologie: Plazma displeje. *Svět hardware: vše ze světa počítačů* [online]. oXy online, 1998-2018, aktualiz. 2003-11-19 [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/technologie-plazma-displeje/8874-3>
- (26) TANOUS, Jim. Save Your Eyes and Improve Your Sleep with f.lux for OS X and Windows. *How-To Geek* [online]. LLC, 2006-2018, 2014-10-15 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://www.howtogeek.com/199303/save-your-eyes-and-improve-your-sleep-with-f.lux-for-OS-X-and-windows>
- (27) STEFFENSEN, Jon Lund. Redshift. *jonls.dk* [online]. Creative Commons, 2016, aktualiz. 2016-01-26 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://jonls.dk/redshift>
- (28) HRUSKA, Joel. Night Shift: How blue light impacts sleep, and what companies like Apple can do about it. *ExtremeTech* [online]. LLC, 1996-2018, aktualiz. 2016-04-07 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <https://www.extremetech.com/extreme/226127-night-shift-how-blue-light-impacts-sleep-and-what-companies-like-apple-can-do-about-it>
- (29) PRAŽÁK, Daniel. Night shift: vše, co potřebujete o nové funkci vědět. *Letem světem Applem* [online]. Text Factory, 2011-2018, aktualiz. 2016-03-23 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <https://www.letemsvetemapplem.eu/2016/03/23/vse-o-night-shift-ios-iphone/>
- (30) NIKON Corporation. Nikon D90: Návod k obsluze. *Nikon* [online]. Tokyo, 2008, 300 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: http://www.nikon-support.eu/europe/Manuals/vqUaOfFVeV/D90_Cz_05.pdf
- (31) UPRTEK. MK350N LED METER. *UPRtek* [online]. Taiwan, 2014, 19. Dostupné z: www.mk350.com/MK350N-Premium.htm
- (32) HOFFMAN, Chris. Reduce Eye Strain and Get Better Sleep by Using f.lux on Your Computer. *How-To Geek* [online]. LLC, 2006-2018, aktualiz. 2016-03-28 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://www.howtogeek.com/199303/reduce-eye-strain-and-get-better-sleep-by-using-f.lux-on-your-computer/>

Seznam příloh

Příloha A Ukázky světelných spekter některých elektronických zařízení

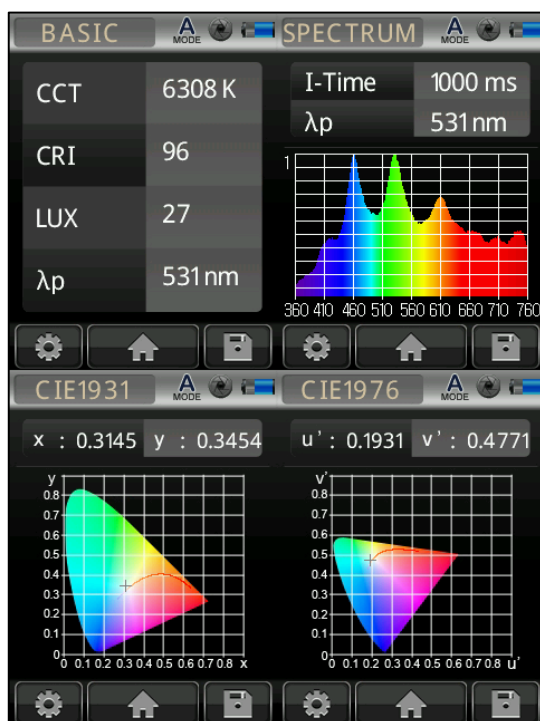
Příloha B Souhlas s použitím osobní fotografie pro účely bakalářské práce

Příloha C Kompaktní disk s elektronickou podobou práce

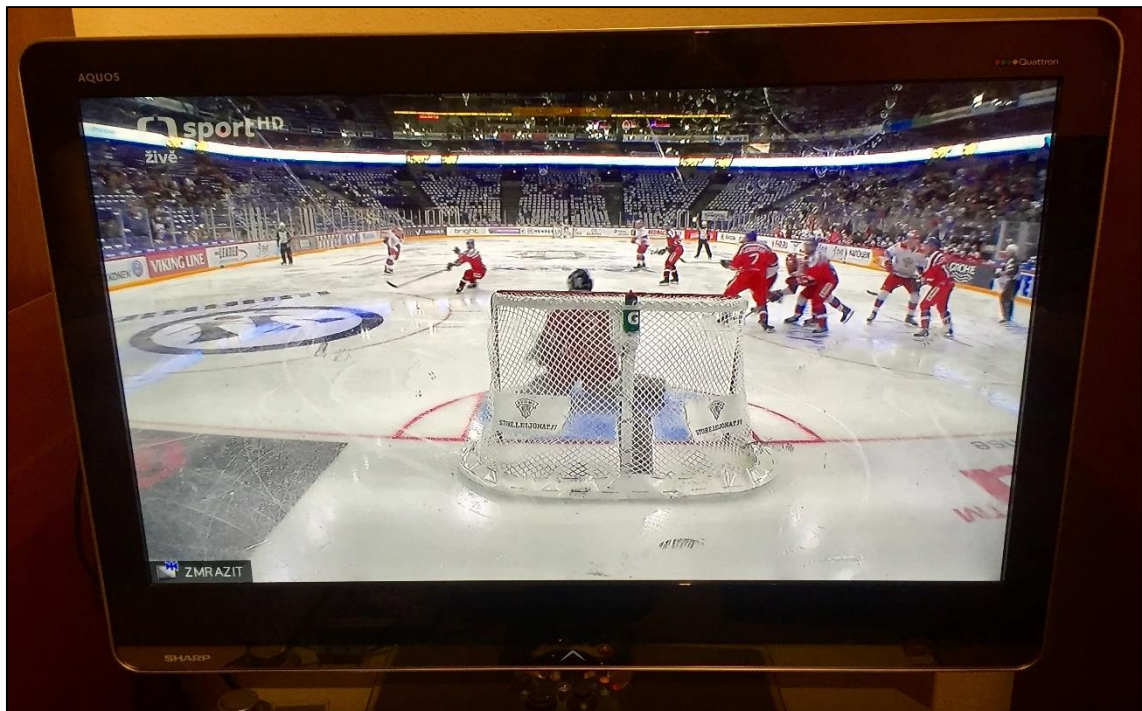
Příloha A Ukázky světelných spekter některých elektronických zařízení



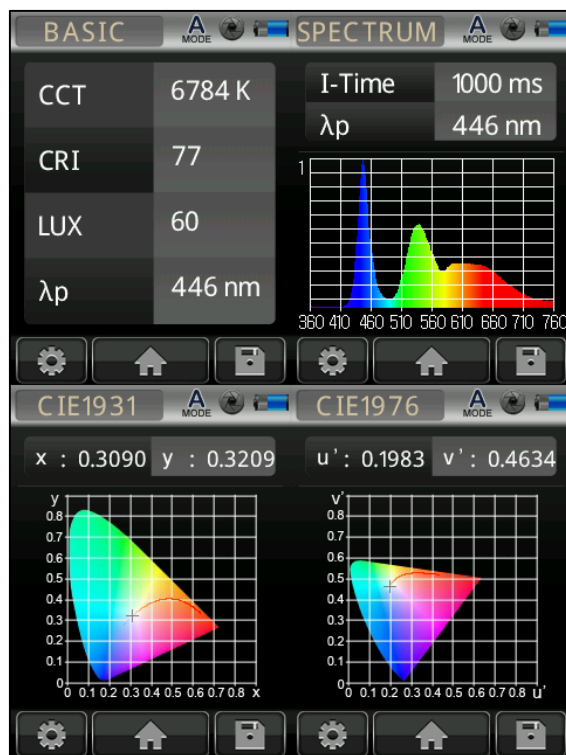
Obr. 38 Apple Watch 3 Series (Zdroj: autor)



Obr. 39 Světelné spektrum zařízení Apple Watch Series 3 (Zdroj: autor)



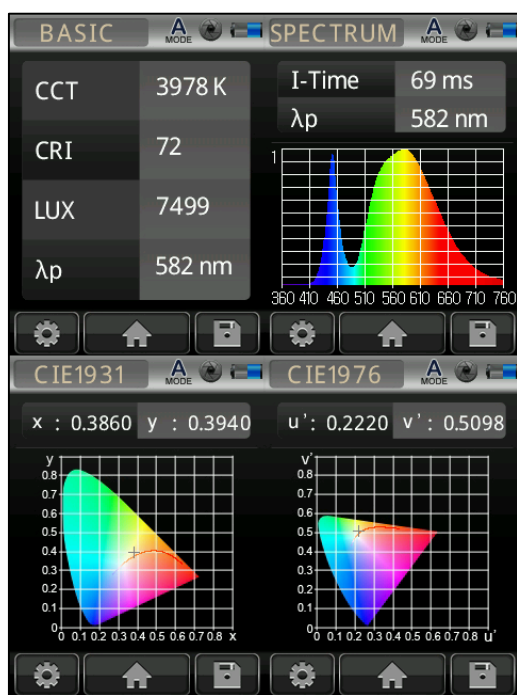
Obr. 40 LCD televizor SHARP (Zdroj: autor)



Obr. 41 Světelné spektrum zařízení SHARP (Zdroj: autor)



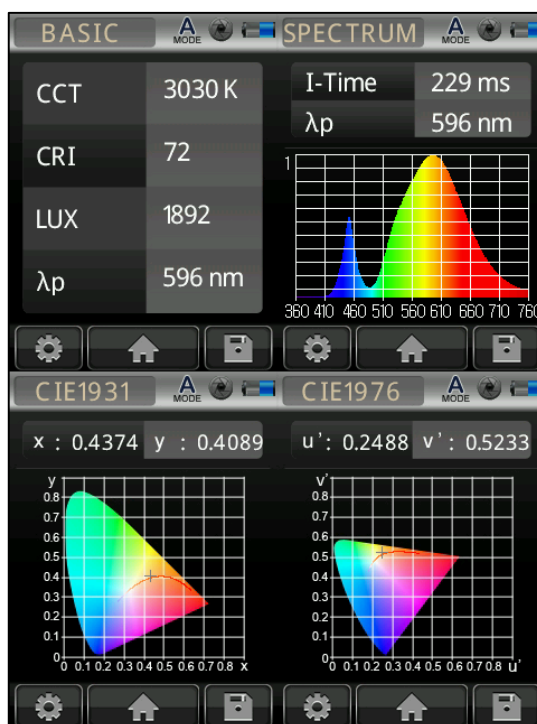
Obr. 42 Svítidlo HBLA1 4000K (Zdroj: autor)



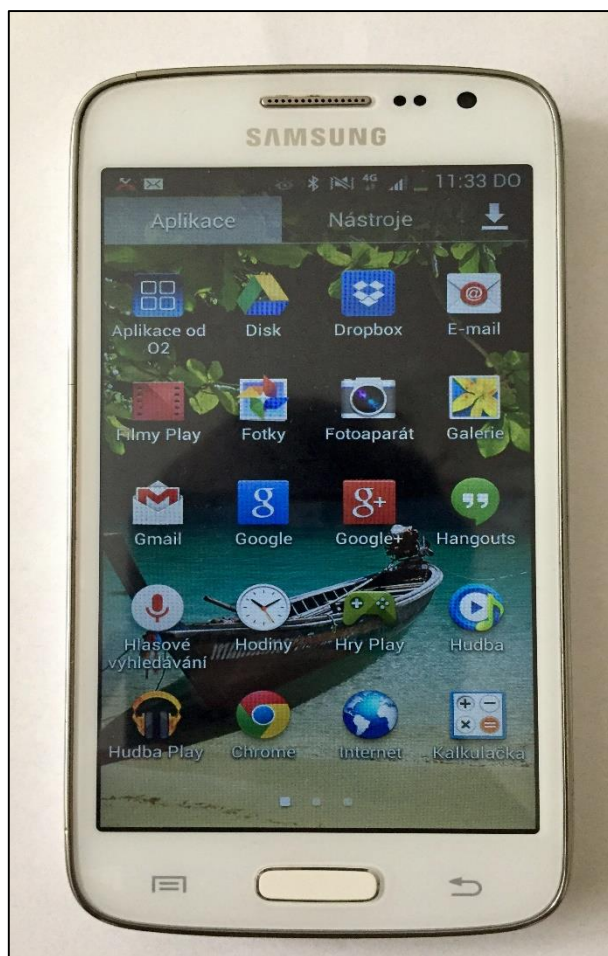
Obr. 43 Světelné spektrum svítidla HBLA1 4000K (Zdroj: autor)



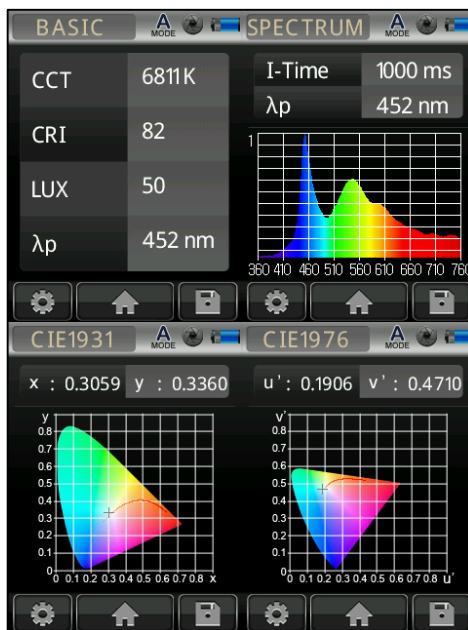
Obr. 44 Svítidlo Street SCLA1-060W 3000K (Zdroj: autor)



Obr. 45 Světelné spektrum svítidla Street SCLA1-060W 3000K (Zdroj: autor)



Obr. 46 Samsung Galaxy Core (Zdroj: autor)



Obr. 47 Světelné spektrum zařízení Samsung Galaxy Core (Zdroj: autor)

Příloha B Souhlas s použitím osobní fotografie pro účely bakalářské práce



**SOUHLAS S POŘÍZENÍM A POSKYTNUTÍM OSOBNÍ FOTOGRAFIE PRO
ÚČELY BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Dávám souhlas s poskytnutím fotografie pro účely bakalářské práce s názvem **Vliv zobrazovacích jednotek a monitorů na cirkadiánní rytmus člověka.**

V Liberci dne 18.4.2018

Podpis Mušková