

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2017

Kateřina Barnová

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Určení vhodné pozorovací vzdálenosti pro displeje s ohledem na fyziologii oka

Determining the Suitable Viewing Distance for the Display
with Respect to the Physiology of the Eye

Zadání bakalářské práce

Student: **Kateřina Barnová**

Studijní program: B2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3901R039 Biomedicínský technik

Téma: **Určení vhodné pozorovací vzdálenosti pro displeje s ohledem na fyziologii oka**
Determining the Suitable Viewing Distance for the Display with Respect to the Physiology of the Eye

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cíl práce: Posouzení vlastností obrazovek a displejů s ohledem na možnosti lidského oka, zejména vzdálenost sledování zobrazovaných informací při různých pracovních činnostech.

Body zadání:

1. Zpracování fyziologických vlastností oka s ohledem na jeho optické vlastnosti.
2. Zpracování rešerše obsahující charakteristiky a vlastnosti (úhlopříčka, DPI, jas, kontrast, pozorovací úhel,...) současných displejů, monitorů a obrazovek.
3. Provedení rešerše technických a legislativních požadavků na displeje se zaměřením na displeje používané v medicíně.
4. Vypočtení vhodné pozorovací vzdálenosti vzhledem k fyziologickým vlastnostem oka a charakteru prováděné činnosti (např. zpracování textu na PC, zpracování grafiky na PC, sledování televize, obsluha mobilního telefonu, ...).
5. Porovnání zjištěných hodnot pozorovacích vzdáleností s hodnotami udávanými výrobcem některou z forem: grafy, tabulky, program pro vyhodnocení vhodné vzdálenosti na základě vstupních parametrů displeje a pracovní činnosti).
6. Zhodnocení dosažených výsledků závěrečné práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NAŇKA, Ondřej; ELIŠKOVÁ, Miloslava. *Přehled anatomie*. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Galén. ISBN 978-80-7262-612-0.
- [2] SYNEK, Svatopluk; SKORKOVSKÁ, Šárka. *Fyziologie oka a vidění*. Vyd. 1. Praha: Grada Publishing, 2004. ISBN 80-247-0786-1.
- [3] HAJDA, Jaromír. *Optika a optické přístroje: určeno pracovníkům s optickými přístroji, pro lékaře a studující na odb. a vys. školách*. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1956. Edícia strojárskej literatúry (SVTL).
- [4] MYERS, Robert L. *Display interfaces fundamentals and standards*. Chichester: Wiley, 2002. ISBN 978-0-471-49946-6.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Richard Velička, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma určení vhodné pozorovací vzdálenosti pro displeje s ohledem na fyziologii oka vypracovala samostatně. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

V Ostravě dne 28.04.2017

Kateřina Barnová
.....
Kateřina Barnová

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu bakalářské práce Ing. Richardovi Veličkovi, Ph.D. za pomoc, věcné připomínky k práci a vstřícný přístup v průběhu vypracování mé bakalářské práce.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je určení vhodné pozorovací vzdálenosti pro různé velikosti a rozlišení displejů vzhledem k fyziologii a optickým vlastnostem oka. V první části práce je popsána fyziologie a optická soustava oka, zahrnující popis zorného pole a nejvhodnějších úhlů pro pozorování displejů. V další části jsou popsány principy dnes nejpoužívanějších typů displejů a také jejich vlastnosti a parametry. Výpočty jsou provedeny pro tři druhy aktivit. První aktivita zahrnuje zpracování počítačové grafiky, kdy je potřeba rozlišit jednotlivé pixely. Dále jsou provedeny výpočty vzdáleností pro práci s textem. A třetí část zahrnuje výpočty pro sledování televize s cílem určit rozsah minimální a maximální vzdálenosti tak, aby oko nebylo schopno rozlišit jednotlivé pixely. Poslední část práce je věnována porovnání vypočtených hodnot s hodnotami udávanými výrobcí a vytvoření programu pro výpočet vzdáleností na základě vstupních parametrů displeje.

Klíčová slova

pozorovací vzdálenost, pozorovací úhly, rozlišení displeje, rozlišovací schopnost lidského oka, zorné pole, úhel ostrého vidění

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to determine suitable viewing distance for various display sizes and resolutions with respect to the physiology and optical properties of the eye. In the first part the physiology and optical eye system are described, including a description of the visual field and the most suitable viewing angles for watching displays. In the next part the principles of today the most used displays are described and also their properties and specifications. Mathematical calculations are made for three kinds of activities. The first activity includes processing of computer graphics in case of need to distinguish individual pixels. Further are made calculations for word processing. And the third part includes calculations for watching the television with the goal of determination minimal and maximal range of distances, so that the eye would not be able to distinguish individual pixels. The last part is focused on the comparison of calculated values to the values given by the producers and creation of a program to calculate the distance based on the input parameters of the display.

Key words

Viewing Distance, Viewing Angles, Display Resolution, Distinctive Ability of Human Eye, Visual Field, Acute Vision Angle

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	10
Seznam ilustrací.....	11
Seznam tabulek.....	13
Úvod	14
1 Zrak a vidění.....	15
1.1 Anatomie oka	15
1.2 Fyziologie vidění.....	16
1.2.1 Chemie zraku.....	17
1.2.2 Fyziologie okohybných svalů.....	18
1.3 Optický systém oka	18
1.3.1 Refrakční optické vlastnosti oka	18
1.3.2 Rozlišování intenzity světla.....	21
1.3.3 Rozlišování barev a teorie barevného vidění.....	21
1.3.4 Zraková ostrost	23
1.3.5 Zorné pole	25
1.3.6 Binokulární vidění.....	26
1.4 Refrakční vady oka.....	26
2 Displeje.....	28
2.1 Velikost úhlopříčky	28
2.1.1 Poměr stran.....	29
2.1.2 Rozlišení.....	29
2.1.3 Hustota grafických bodů	30
2.1.4 Jas.....	32
2.1.5 Kontrast	32
2.1.6 Obnovovací frekvence.....	33
2.1.7 Barevná hloubka.....	33
2.1.8 Doba odezvy.....	34
2.1.9 Pozorovací úhly.....	35
2.2 Kategorizace displejů	36
2.3 CRT obrazovky	37
2.4 LCD displeje	38
2.4.1 CCFL technologie	39
2.4.2 LED technologie	40
2.4.3 TN LCD.....	41
2.4.4 IPS LCD	41
2.5 Plazmové displeje.....	41
2.6 OLED displeje.....	43
2.7 Srovnání jednotlivých technologií.....	44
2.8 Technické a legislativní požadavky na displeje	44

2.8.1	Zdravotnické displeje	46
3	Popis řešení	48
3.1	Vstupní parametry	48
3.2	Určení vzdáleností pro zpracování grafiky	48
3.3	Určení vzdáleností pro zpracování textu	53
3.4	Určení vzdáleností pro sledování televize	55
3.5	Vliv dalekozrakosti a krátkozrakosti na vzdálenost	61
3.6	Porovnání výsledků s hodnotami udávanými výrobcem.....	66
3.7	Program pro vyhodnocení vhodné vzdálenosti na základě vstup. parametrů displeje ..	68
	Zhodnocení dosažených výsledků práce	71
	Závěr	72
	Literatura	73
	Seznam příloh.....	76
	Adresářová struktura přiloženého CD-ROM.....	77

Seznam použitých symbolů a zkratek

AMOLED	Active Matrix OLED (OLED displej řízen aktivní maticí)
CNS	centrální nervový systém
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine, standard pro zobrazování, distribuci, skladování a tisk medicínských dat pořízených snímacími metodami.
F, F'	předmětové a obrazové ohnisko optické soustavy oka
GUI	Graphical User Interface (Grafické uživatelské rozhraní)
H	výška písmena v cm
H ₁ , H ₂	hlavní body optické soustavy oka
HDTV	High-Definition Television (televize s vysokým rozlišením)
LCD	Liquid Crystal Display (displej z tekutých krystalů)
l	vzdálenost sítnice od obrazového uzlového bodu oka v mm
l ₁	maximální vzdálenost pro zpracování grafiky v cm
l ₂	maximální vzdálenost pro práci s textem v cm
l ₃	vzdálenost vhodná pro sledování televize v cm
N, N'	uzlové body optické soustavy oka
OLED	Organic Light Emitting Diode (organická dioda emitující světlo)
P	blízký bod
PMOLED	Passive Matrix OLED (OLED displej řízen pasivní maticí)
R	daleký bod
s	hodnota visu
u	úhlopříčka displeje v cm
VGA	Video Graphics Array (základní grafické rozlišení)
v	výška displeje v cm
XGA	Extended Graphics Array (displej s rozsáhlým grafickým polem)
x	vertikální rozlišení displeje
y	horizontální rozlišení displeje
Φ	minimum separabile (1 úhlová minuta)
φ	úhel nejostřejšího vidění (rozsah 4° až 8°)
Ψ	úhel čitelnosti písmena (20 úhlových minut)

Seznam ilustrací

Obr. 1: Vertikální řez oka.	16
Obr. 2: Bikonvexní tvar čočky, vertikální řez čočkou, schématický řez čočkou.	19
Obr. 3: Schematické oko.	19
Obr. 4: Oko bez akomodace. Akomodované oko	20
Obr. 5: Spektrální citlivost lidského oka pro denní a noční vidění.	22
Obr. 6: Průběh adaptace oka na intenzitu světla . Absorpční spektra čípkových pigmentů.	22
Obr. 7: Tvorba obrazů na sítnici.	23
Obr. 8: Snellenův optotyp.	24
Obr. 9: Křivka znázorňující rozdělení zrakové ostrosti v jednotlivých oblastech sítnice.	24
Obr. 10: Rozdělení tyčinek a čípků podél vodorovné osy lidské sítnice.	25
Obr. 11: Úhly zorného pole ve vertikálním a horizontálním směru.	25
Obr. 12: Zorné pole obou očí.	26
Obr. 13: Vady optického systému.	27
Obr. 14: Graf zobrazující velikosti úhlopříček displejů pro různé typy zařízení.	28
Obr. 15: Rozdílná kvalita obrazu odpovídající různé hustotě pixelů.	31
Obr. 16: Graf zobrazující hodnoty PPI displejů pro různé typy zařízení.	31
Obr. 17: Závislost velikosti jasu a jasu vnímaného okem.	32
Obr. 18: Rozdílná barevná hloubka obrázku a její vliv na velikost obrázku.	34
Obr. 19: Pozorovací úhly udávané výrobcem.	35
Obr. 20: Možné změny obrazu při změnách pozorovacích úhlů.	35
Obr. 21: Hierarchie technologií displejů.	36
Obr. 22: Stavba jednobarevné CRT obrazovky.	38
Obr. 23: Schématické zobrazení principu LCD displeje.	39
Obr. 24: Podsvícení transmisivního displeje pomocí zářivek a pomocí LED diod.	40
Obr. 25: Přehled používaných aktivních a pasivních matic u LCD displejů.	41
Obr. 26: Struktura plazmového displeje.	42
Obr. 27: Struktura OLED displeje.	43
Obr. 28: Rozlišovací mez oka, velikost jednoho světlem nezasaženého čípku.	49
Obr. 29: Schéma pro výpočet maximální vzdálenosti pro rozlišení pixelů.	49
Obr. 30: Schéma displeje se zakreslenými parametry.	50
Obr. 31: Maximální vzdálenosti pro rozlišení pixelů v závislosti na velikosti úhlopříčky.	53
Obr. 32: Úhel, pod kterým dopadá do oka jednotlivé písmeno dle Snellena.	53
Obr. 33: Schéma pro výpočet vzdálenosti pro práci s textem.	54
Obr. 34: Zorné pole oka zabírá pouze středovou část displeje a celý displej včetně rohů.	55

Obr. 35: Schéma pro odvození vzorce pro určení vhodné pozorovací vzdálenosti televize.....	56
Obr. 36: Graf vzdáleností pro displej mobilního telefonu bez narušení sledovacího komfortu.	59
Obr. 37: Graf vzdáleností pro displej tabletu bez narušení sledovacího komfortu.	59
Obr. 38: Graf vzdáleností pro displej notebooku bez narušení sledovacího komfortu.	60
Obr. 39: Graf vzdáleností pro displej televizoru bez narušení sledovacího komfortu.....	60
Obr. 40: Graf vypočtených hodnot vzdáleností a hodnoty udávané výrobcí.....	67
Obr. 41: Diagram programu.....	68
Obr. 42: Ukázka jednoho ze vzorců.....	69
Obr. 43: Ošetření neplatného vstupu.....	69
Obr. 44: Výpočet pomocí programu.	70
Obr. 45: Ošetření špatné vstupní hodnoty.....	70

Seznam tabulek

Tab. 1: Průměrná poloha blízkého a dalekého bodu v závislosti na věku	21
Tab. 2: Nejčastěji používaná rozlišení pro jednotlivá zařízení.	29
Tab. 3: Nejpoužívanější druhy rozlišení.	30
Tab. 4: Vysvětlení zkratk užívaných pro technologie displejů.	37
Tab. 5: Výhody a nevýhody jednotlivých technologií.	44
Tab. 6: Doporučené parametry displeje pro různá oddělení.	47
Tab. 7: Průměrná poloha blízkého bodu v závislosti na věku.....	48
Tab. 8: Srovnání hodnoty visu a odpovídající hodnoty deficitu dioptrií pro krátkozrakost.	61
Tab. 9: Srovnání hodnoty visu a odpovídající hodnoty deficitu dioptrií pro dalekozrakost.	64
Tab. 10: Srovnání vypočtených hodnot vzdáleností s hodnotami udávanými výrobcí.....	67

Úvod

Sledování televize, práce na počítači nebo obsluha mobilního telefonu jsou v dnešní době pro většinu lidí jedny z nejoblíbenějších a nejčastějších činností. Mobilní telefon, notebook nebo počítač vlastní téměř každý člověk a televizi lze nalézt v kterémkoliv domě či bytě. Na tento trend samozřejmě reagují výrobci, kteří nabízejí nepřeberné množství rozlišení a velikostí displejů. Nejoblíbenějším typem však stále zůstávají obrazovky s poměrem stran 4:3 nebo 16:9 s rozlišením Full HD nebo Ultra HD (4 K).

Tato práce může pomoci při volbě vhodné vzdálenosti vzhledem k velikosti, rozlišení a poměru stran televize a také vzhledem k prováděné činnosti. Většina výrobců vhodnou vzdálenost pro sledování televize udává, avšak každý výrobce má svá kritéria dle, kterých stanovuje optimální pozorovací vzdálenost. Může se jednat například o ekonomické vlivy, míru vtáhnutí diváka do děje, přizpůsobení se co nejširšímu spektru lidí a co nejširšímu spektru kvality zraku lidí. Tato práce pracuje pouze s vlastnostmi lidského oka tak, aby oko nemuselo zbytečně dlouho zaostřovat a tím se zbytečně neunavovalo. Obecně je pracováno s názorem, že čím vyšší je rozlišení displeje, tím menší je možná pozorovací vzdálenost. Není však brán v úvahu fakt, že rozhodující jsou především poměry stran a vzdálenost by měla být přizpůsobena velikosti obrazovky tak, aby celý její obraz dopadal do oblasti ostrého vidění oka. Pokud tomu tak bude, pozorovatel nebude nucen pootáčet či zaklánět hlavu.

Proto je první část práce věnována teoretickému zpracování stavby, principu funkce a optickým vlastnostem oka se zaměřením na zřakovou ostrost a pozorovací úhly. Druhá část je zaměřena na popis funkce jednotlivých typů displejů a jejich parametrů. Poslední část je věnována odvození vzorců pro tři typy činností.

První výpočet je proveden pro určení vhodné minimální a maximální vzdálenosti pro zpracování grafiky na počítači nebo notebooku, kdy je potřeba rozlišit jednotlivé pixely. Je tedy nutné najít takový rozsah vzdáleností, kdy je oko schopno od sebe rozeznat dva co nejbližší ležící body.

Druhý typ výpočtu je proveden pro práci s textem, tak aby oko bylo schopno rozlišit jednotlivá písmena, ale aby oko nebylo příliš zbytečně namáháno. Může se jednat o zpracování textu na počítači nebo o obsluhu mobilního telefonu.

Třetí typ výpočtu je proveden pro displeje počítačů, notebooků a televizí s cílem určit rozsah minimální a maximální vzdálenosti pro sledování filmů tak, aby nedocházelo k narušení sledovacího komfortu. Tím je myšleno, aby oko nebylo schopno rozeznat jednotlivé pixely a celý obraz displeje dopadal do zorného pole oka. Je také důležité, aby celá výška obrazovky dopadala do oblasti nejostřejšího vidění, kterým je žlutá skvrna. Výpočty jsou provedeny pro 2D zobrazení s předpokladem, že oči diváka směřují k displeji kolmo a jsou ve výšce odpovídající středu displeje. Výsledky jsou platné při 100% zobrazení.

Dále je provedeno srovnání hodnot s hodnotami udávanými výrobci a také s tabulkami pozorovacích standardů THX. Nakonec je pro zjednodušení vytvořen program pro výpočty pozorovacích vzdáleností displejů vzhledem k prováděné pracovní činnosti a kvality zraku na základě zadaných vstupních parametrů formou GUI v programovacím jazyce C#.

1 Zrak a vidění

Oko je pro člověka oknem do okolního světa, shromažďuje jeho obrazy a také nás udržuje v kontaktu se skutečností kolem nás. Až 80 % všech informací je získáváno tímto smyslem, a tak jeho kvalita výrazně ovlivňuje možnosti člověka i úroveň jeho života. Oko samotné je velmi složitý a hned po mozku nejkomplexněji fungující orgán v lidském těle. Všechny jeho části velice úzce spolupracují, aby zprostředkovaly vnímání obrazu. Poškození kterékoliv části může vést ke zhoršení nebo dokonce ke ztrátě vidění. [1][2]

Tento smyslový receptor umožňuje vnímání elektromagnetického světelného záření v rozsahu 40–760 nm. V sítnici dochází k převodu fotochemického procesu na bioelektrické podněty nervových buněk a následně ke zpracování těchto podnětů. Výsledkem je prostorové, barevné vidění. [3]

1.1 Anatomie oka

Oko (*bulbus oculi*), má přibližně tvar koule (viz Obr. 1), jeho průměr je cca 25 mm a celková dioptrická mohutnost +59 dioptrií. Uloženo je v tukovém vazivu v orbitě, a zepředu je chráněno víčkem a slzným aparátem. Spojení mezi víčky a bulbem je zajištěno spojivkou, pohyby očí zajišťují okohybné svaly. Celkově se oko skládá ze tří vrstev, vnější vrstva, sloužící k mechanické ochraně se nazývá *tunica fibrosa*. Střední vrstva, *tunica vasculosa*, zajišťuje především výživu oka a součástí vnitřní vrstvy, *tunica intima*, je sítnice (*retina*) obsahující vlastní receptorové buňky, které převádí podněty ke zpracování dále do CNS. [3]

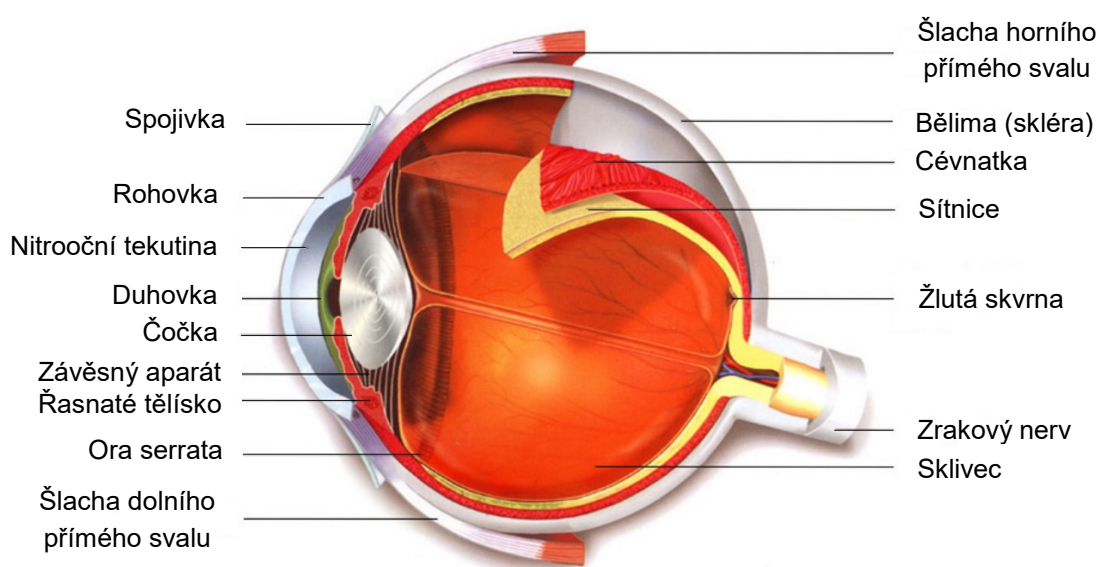
Tunica fibrosa je z největší části, asi ze 4/5 tvořena bílou fibrózní blánou bělimou s vazivem obsahujícím šterbiny vyplněné tkáňovou tekutinou. V přední části je bělima kryta bulbární spojivkou a zadní částí prochází *nervus opticus*. Přední průhlednou částí oční koule, tvořící zbylou 1/5 povrchu je rohovka. Rohovka je zasazena do bělimy a její tvar je mírně eliptický. Vertikální zakřivení je větší než horizontální, čímž je způsoben tzv. fyziologický astigmatismus, který je kompenzován nervovými centry. Na povrchu rohovky se nachází rohovkový epitel, který dobře regeneruje poškození UV zářením. [3]

Střední vrstva oka, *tunica vasculosa* je tvořena cévnatkou, která se skládá z cévních kliček a pigmentových buněk. Cévnatka vyživuje tyčinky a čípky, pomáhá udržet napětí čočky a reguluje množství světla dopadajícího na sítnici. Specializovanými částmi cévnatky jsou řasnaté těleso a duhovka. Řasnaté těleso má tvar mezikruží a je tvořeno hladkou svalovinou a vazivovým stroma. Napětí svalových vláken se přenáší přes závěsný aparát na čočku a ovlivňuje její vyklenutí. Povrch tělesa je pokryt sítnicí, která zde neobsahuje světločivné elementy. Duhovka má v centrální oblasti otvor zvaný zornice. Přední plocha duhovky je tvořena vazivovým stromatem, které vytváří sloupce a duhovkové krypty. Prosvítající cévy a pigment ze zadní plochy pak dodávají duhovce barvu. Z řasnatého tělesa odstupují vlákna, na kterých je zavěšena čočka. Vlákna jsou uspořádána tak, že jejich tahem se čočka oplošťuje a po uvolnění tahu se svou vlastní pružností vyklenuje. Tvar čočky je bikonvexní o velikosti 10 mm. [3]

Tunica intima je nejvnitřnější vrstvou oční koule a je tvořena sítnicí, která se dělí na dvě části podle přítomnosti světločivných elementů. Percepční schopnost má pouze část *pars optica*, obsahující vrstvu tyčinek (cca 20 milionů, které vnímají především intenzitu světla) a čípků (6 až 7 milionů vnímajících barvy). Největší hustota čípků je obsažena ve žluté skvrně (*macula lutea*) a je tedy místem

nejostřejšího vidění. Naopak zde chybí tyčinky a neobsahuje ani žádné cévy. Slepá skvrna, je místo na sítnici, kde zrakový nerv ústí do oční bulvy a není rozvětven na jemná nervová vlákna se světločivnými elementy. Prostor mezi zadní plochou čočky a sítnicí je vyplněn polotekutou průhlednou hmotou zvanou sklivec, která se skládá z 99 % z vody. [3]

K přídatným orgánům oka lze zařadit okoohybné svaly, vazivový aparát očnice, víčka, spojivku a slzný aparát. Spojivka je jemná slizniční vrstva, pokrývající zadní stranu víček a ventrální stranu oka. V místě přechodu z víčka na oko vytváří spojivka ohyb. Spojivka uzavírá přístup k bulbu a ponechává volnou pouze rohovku. Do horního spojivkového vaku ústí vývody slzné žlázy a pohyby víček je zprostředkováno vlhčení rohovky. Navíc slzy zásobují rohovku kyslíkem a živinami. Aby nedošlo k přetékání slz přes okraj víčka, jsou součástí víček tarzální ploténky s velkým množstvím mazových žlázek, tvořící mastný lem na okraji víčka. Zevní plocha víček je krytá jemnou kůží a ve volném okraji jsou zasazeny 3 až 4 řady řas. [3]



Obr. 1: Vertikální řez oka. Podle [4].

1.2 Fyziologie vidění

Princip funkce oka by se dal přirovnat ke kameře. Vepředu je systém čoček, který shromažďuje a soustřeďuje světelné paprsky, duhovka působí jako clona a sítnice plní funkci snímacího prvku, na který se obraz promítá a zachycuje. V poslední fázi dochází k přenosu zachyceného obrazu do zrakového centra v mozkové kůře, kdy nervové buňky podrobí zachycený signál analýze. [1]

Světlo proniká do oka v přední části vypouklou rohovkou, která soustřeďuje dopadající světelné paprsky a směřuje je do centra oka. Rohovka má přesné zakřivení, které se na okrajích zplošťuje, a tak zamezuje odchylkám, které by jinak výsledný obraz zkreslovaly. Nadbytečné světlo dopadající do oka je absorbováno vrstvou tmavého pigmentu melaninu, který je součástí cévnatky.

Bezprostředně za rohovkou vytváří cévnatka duhovku čili zbarvenou svalovou clonu. Duhovka se může trvale stahovat či roztahovat, a tím regulovat množství světla vstupujícího do nitra oka. Je-li světla dostatek, může se průměr otvoru v duhovce zmenšit až na velikost 1 mm, naopak za šera se otvírá na velikost až 8 mm, aby bylo zachyceno co nejvíce světla. Veškerá tato aktivita probíhá zcela

automaticky a může být vyvolána nejen intenzitou dopadajícího světla, nýbrž i silnými emocemi nebo některými léky. [1]

Akomodace oka je proces, při kterém dochází k proměně světelné lomivosti čočky, kdy výsledkem je zřetelný a ostrý obraz vznikající na sítnici. Čočku udržuje v její pozici asi 70 jemných vazů, tzv. řasnatých tělísek, vystupujících z jejich okrajů jako jemná postranní vlákna udržující napjatou síť. Je-li oko v klidu, pak řasnatá tělíška táhnou za okraje čočky a zplošťují ji. Za tohoto stavu je čočka schopna soustředit do ohniska ostrého vidění obrazy objektů ze vzdálenosti delší než 6 metrů. Pro zobrazení bližších objektů musí být čočka vypouklejší, aby se toho dosáhlo, uvolní se napětí vazů, a čočka tak může získat vypouklejší tvar. Zdravé oko může zaostřovat na blízkou až 15 cm.

Nejbližší bod v prostoru, který ještě lze vidět ostře, se říká *punctum proximum*. S věkem akomodační schopnost ubývá, což je způsobeno sníženou elasticitou čočky. V dětství je akomodační schopnost největší a dosahuje až 16 dioptrií, ve 30 letech klesá na 6 dioptrií a v 60 letech věku činí jen 1 dioptrii. [1]

V okamžiku, kdy světelný paprsek dorazí na sítnici, dochází k přeměně světelné energie na elektrické nervové impulzy. Sítnice, která je bohatě protkána krevními cévami, má tři odlišné vrstvy nervových buněk. Jedná se o buňky gangliové, bipolární a vlastní fotoreceptorové buňky. Vnější spojení k vláknům zrakového nervu zabezpečují gangliové buňky, přenos informace z vnějších fotoreceptorů do buněk gangliových zajišťují bipolární buňky a fotoreceptory zpracovávají jednotlivé dávky světelné energie. Abychom skutečně něco spatřili, musí všechny signály zpracovat mozek a vytáhnout z nich smysluplnou informaci. Toho je docíleno pomocí zrakových nervů, které se v mozku setkávají ve zrakovém chiasmatu, čili překřížení. Každý z nich se štěpí na dvě poloviny, a ty pak vytvářejí nové společné dráhy do další oblasti mozku. Vlákna z vnitřních částí sítnic se přitom kříží a směřují k opačným mozkovým hemisférám. Výsledkem je, že signály z pravých zorných polí obou očí se přivádějí do levé hemisféry a signály z levých polí putují do hemisféry pravé. Mozek tyto dva obrazy spojí do jednoho celku. Jelikož na sítnici vzniká obraz skutečný, zmenšený a převrácený, je také úkolem mozku transformovat obraz do skutečné podoby.

Uvnitř mozku procházejí impulzy přenosovou stanicí, a pak už směřují do dvou vizuálních oblastí mozkové kůry. Prvním bodem je primární vizuální, rýhová kůra, která dešifruje rozmístění předmětů v prostoru, spolu s jejich tvarem a šířkou. Nakonec postupují do sekundární vizuální kůry, kde dochází ke složitějším funkcím, jako je rozpoznání vzorů a struktur. Určité signály ze sekundární oblasti navíc putují dále do postranních laloků v blízkosti obou stran hlavy, jež přispívají k vizuálnímu rozpoznávání a vizuální paměti. Gangliové buňky sítnice a buňky mozkové kůry reagují nejlépe na kontrasty a světelné rozdíly. [1]

1.2.1 Chemie zraku

Konverze světelných kvant na elektrické signály v nervových buňkách je chemickým procesem, v němž klíčovou roli hraje vitamín A. Molekuly tohoto vitamínu se přenášejí krví v cévnatce a absorbují je přímo fotoreceptory. Uvnitř tyčinek se modifikovaná podoba vitamínu kombinuje s bílkovinou opsinem, a dohromady vytvářejí rhodopsin, což je substance citlivá vůči světlu. Jakmile dopadne na fotoreceptor foton, začne se rozkládat molekula rhodopsinu a generovat v buňce elektrický impulz čili nervový signál.

Podobného mechanismu využívají také čípky, avšak v tomto případě se vitamín A kombinuje se třemi různými opsiny. Každý ze vzniklých pigmentů je pak citlivý na jednu ze tří základních barev

spektra – červenou, zelenou nebo modrou. V závislosti na koncentraci pigmentu je každý čípek citlivý na určitou vlnovou délku a dohromady tak mohou rekonstruovat jakýkoliv odstín barevného spektra. [1]

1.2.2 Fyziologie okohybných svalů

Každá oční bulva je ve své pozici udržována pomocí tří stále napjatých elastických okohybných svalů. Horní *rectus* stáčí bulvu dozadu a nahoru, dolní působí opačně. Postranní *rectus* stáčí oko na stranu, zatímco střední ho táhne směrem k nosu. Oba šikmé svaly stáčí oko ve směru nebo proti směru pohybu hodinových ručiček. Ve vzájemné součinnosti jsou tak oči schopny realizovat nejméně sedm základních koordinovaných pohybů.

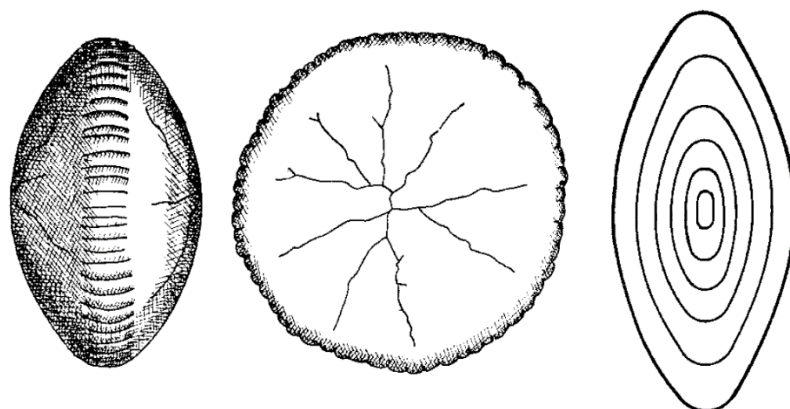
Třes způsobuje téměř nepostřehnutelné chvění pozorovaného bodu, posun pohybuje obrazem předmětu mimo centrum a kmit obraz znovu vycentruje. Dalším typem je pohyb určený ke sledování pohyblivých předmětů. Jeho rychlé a trhavé úseky dovolují oku dělat ostré skoky, například při čtení, kdy se oko přesouvá z konce jednoho řádku na začátek druhého. Oddělené umístění obou očí umožňuje tzv. binokulární vidění, neboť každé oko vidí určitý předmět poněkud jinak. Aby se zabránilo dvojitému vidění pozorovaných předmětů, využívá oko nepatrného stáčení směrem dovnitř, aby obraz dopadal přímo do příslušné části žluté skvrny. Nejsložitějším pohybem je ten, jehož úkolem je trvale udržet obraz předmětu v oblasti ostrého vidění. Při tomto složitém pohybu napomáhá svalům rovnovážný aparát ve vnitřním uchu, který zásobuje mozek informacemi o poloze a pohybech hlavy. [1][5]

1.3 Optický systém oka

Optický systém může být jakákoliv soustava dvou rozdílných fyzikálních prostředí, která jsou průhledná a jejichž rozhraní ovlivňuje chod světelných paprsků. Část světelných paprsků se odráží a část prochází do druhého prostředí a přitom se lomí. Světelný paprsek se láme při přechodu z řidšího do hustšího prostředí ke kolmici, při přestupu z hustšího do řidšího prostředí od kolmice. Hodnota optické lomivosti daného fyzikálního prostředí je udávána jako tzv. index lomu. [6][7]

1.3.1 Refrakční optické vlastnosti oka

Lidské oko se skládá z několika opticky rozdílných prostředí, která se vyznačují charakteristickým indexem lomu. Index lomu rohovky činí 1,37, pro komorovou vodu a sklivce je hodnota totožná, a to 1,33. Čočka se skládá z několika vrstev s indexem lomu vzrůstajícím od povrchu ke středu. Jádru čočky je podstatně tvrdší než její povrch a jeho index lomu je asi 1,41, zatímco index lomu povrchové vrstvy asi 1,37. Vrstevnaté složení čočky umožňuje, že se její optická mohutnost zvětší více, než kdyby byla celá složená z hmoty s indexem lomu jádra. Celkový tvar lidské čočky je tedy bikonvexní spojka s plošší přední stranou (viz Obr. 2). [6][7]



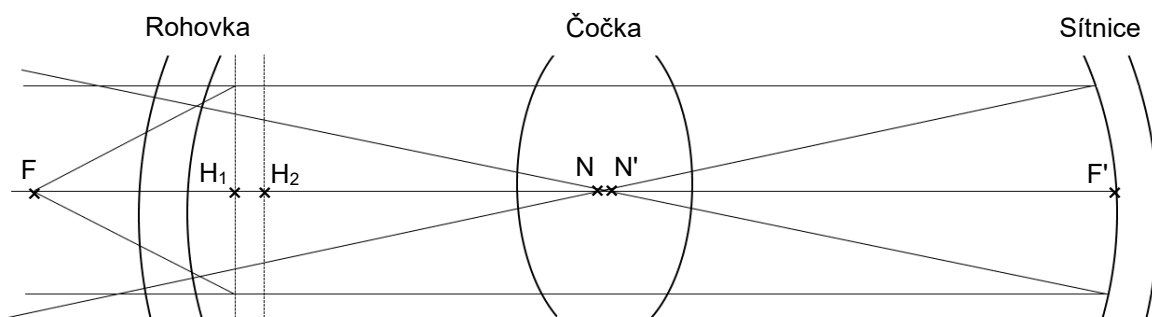
Obr. 2: Bikonvexní tvar čočky (vlevo), vertikální řez čočkou (uprostřed) schématický řez čočkou (vpravo). Podle [7].

Nejpodstatnější lom paprsku vstupujícího do oka nastává na rozhraní vzduchu a předního povrchu rohovky a mezi povrchem oční čočky a okolním prostředím. V oku se lámou rovnoběžné světelné paprsky přicházející z velké vzdálenosti do jednoho bodu oka za optickou soustavou. Takový bod je označován jako hlavní ohnisko oční optické soustavy a jeho vzdálenost od jejího středu je označována jako ohnisková vzdálenost. Vzhledem k tomu, že optická oční soustava je složena z několika rozdílných optických prostředí, je nutné stanovit základní optické parametry soustavy.

Podobně jako pro jiné optické soustavy čoček uložených ve stejné ose je možné i pro oční systém použít Gaussovo pravidlo, podle kterého lze soustavu popsat třemi páry základních bodů. Jedná se o dva hlavní body (H_1 , H_2), ležící blízko sebe v přední komoře asi 2 mm za rohovkou (viz Obr. 3).

Dále přední ohniskový bod (F) ležící 15,7 mm před rohovkou, zadní ohniskový bod (F') ležící na sítnici ve vzdálenosti 24,1 mm a dva uzlové body (N , N'). Oba uzlové body leží blízko sebe poblíž zadní plochy oční čočky. Vzdálenost uzlových bodů od povrchu rohovky je přibližně 7 mm.

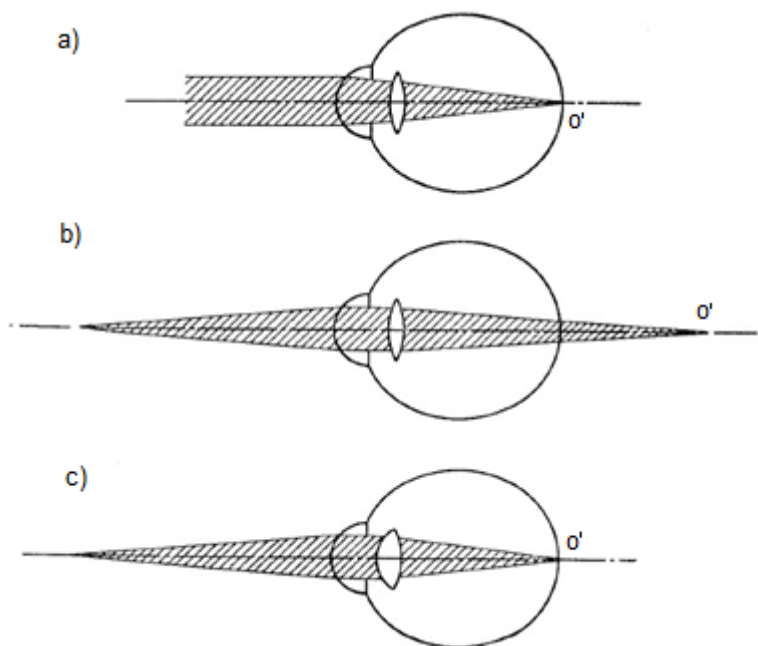
Paprsky procházející předním ohniskem se lámou v paprsky rovnoběžné s hlavní osou. Naopak paprsky přicházející jako paralelní jsou v hlavní rovině lámány do zadního ohniska oka na sítnici. Paprsky procházející uzlovými body se nelámou, ale paprsek přicházející od prvního uzlového bodu vychází v nezměněném směru z druhého uzlového bodu. Obraz na sítnici je skutečný, zmenšený a převrácený. Převrácený obraz světa se v mozku transformuje do skutečné podoby. [5][7]



Obr. 3: Schématické oko. H_1 , H_2 – hlavní body; N , N' – uzlové body; F – předmětové ohnisko; F' – obrazové ohnisko na sítnici. Podle [5].

Znalost indexu lomu a základních optických bodů oka slouží k určení optické mohutnosti oka, která je udávána v dioptriích. Optická mohutnost oka je pak dána poměrem $1000/\text{rozdíl vzdálenosti zadního ohniska a uzlových bodů}$, tj. $24 - 7 = 17$, a u zdravého oka činí asi 59 dioptrií.

Důležitou roli hraje také akomodace oka (viz Obr. 4), která zajišťuje, aby se různě vzdálené předměty zobrazily na sítnici. Vzdálenější předměty se na sítnici vykreslují ostře, zatímco obrazy blízkých předmětů by se zobrazily za sítnicí a jevily by se jako neostře. Dochází proto k vyklenutí čočky do konvexnějšího tvaru, zvýšení její optické mohutnosti a tím i lomivosti světelných paprsků, obraz se tak zobrazí na sítnici. Čím je vzdálenost předmětů větší, tím méně je nutné měnit tvar čočky. Nejbližší body, které ještě vidíme ostře, jsou určeny maximálním vyduutím čočky. [5][7]



Obr. 4: a) oko bez akomodace při pohledu do dálky; b) oko bez akomodace při pozorování blízkého předmětu; c) akomodované oko, umožňuje vidět blízké předměty ostře. Podle [7].

Schopnost akomodace ubývá s rostoucím věkem, proto mladí lidé vidí ostře i na krátké vzdálenosti. Nejkratší vzdálenost, na kterou vidí oko ostře, nazýváme blízký bod P (*punctum proximum*). Nejvzdálenější bod, který vidí oko ostře bez akomodace, se nazývá daleký bod R (*punctum remotum*) a pro normální zrak se nachází v nekonečnu. Převrácené hodnoty vzdáleností blízkého a dalekého bodu vyjádřené v metrech odpovídají veličinám v dioptriích. Rozdíl dioptrií pro blízký a daleký bod se nazývá akomodační šířka oka, která v podstatě vymezuje prostor, ve kterém vidí oko ostře pomocí akomodace. [7]

Tab. 1: Průměrná poloha blízkého a dalekého bodu v závislosti na věku. Podle [7].

Věk (roky)	Vzdálenost blízkého bodu (cm)	Vzdálenost dalekého bodu (cm)	Akomodační šířka (dioptrie)
10	7,1	∞	14,0
15	8,3	∞	12,0
20	10,0	∞	10,0
25	11,8	∞	8,5
30	14,3	∞	7,0
35	18,2	∞	5,5
40	22,2	∞	4,5
45	28,6	∞	3,5
50	40,0	∞	2,5
55	66,6	400,0	1,8
60	100,0	200,0	1,0

Tvar čočky se však při akomodaci nemění rovnoměrně. Podle Gullstranda je poloměr přední plochy bez akomodace 10,00 mm, při maximální akomodaci 5,33 mm, zatímco poloměr zadní plochy se mění pouze z 6,00 mm na 5,33 mm. Přední plocha se přiblíží k rohovce ze vzdálenosti 3,60 mm na 3,20 mm, avšak poloha zadní plochy se nemění.

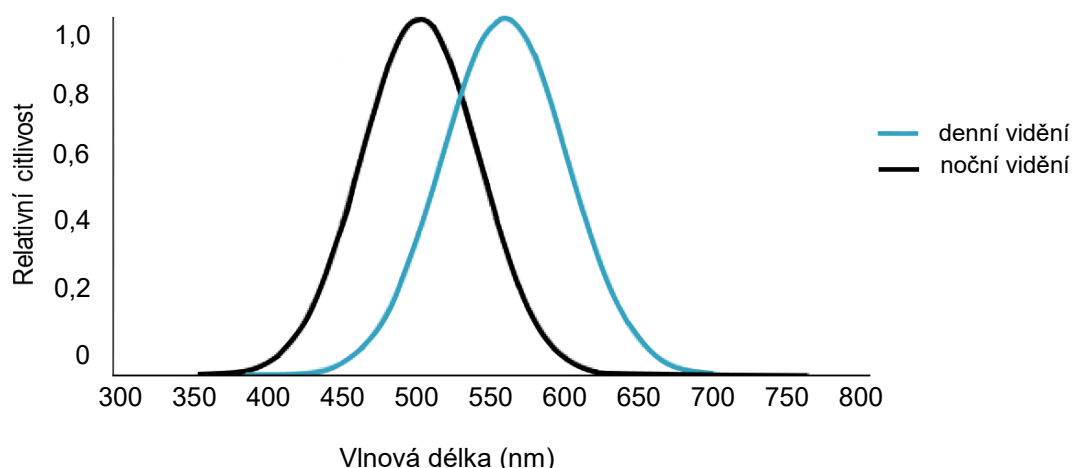
Zdravé oko dokáže měnit optickou mohutnost čočky o 12 až 15 dioptrií, tedy dokáže zaostřit do nekonečna až na vzdálenost 7,00 cm. Se zvyšujícím se věkem se schopnost akomodace snižuje a s tím také schopnost zaostřit jak na blízké, tak na vzdálené předměty (viz Tab. 1). [7]

1.3.2 Rozlišování intenzity světla

Při přechodu z osvětleného prostoru do tmavšího prostoru nejsme schopni vnímat světelné podněty, postupně se však vnímání zlepšuje. Prahová hodnota se mění v závislosti na předešlých podmínkách osvětlení. Tento proces zlepšování viditelnosti pokračuje přibližně po dobu jedné hodiny. Nejprve dochází k adaptaci systémů čípků, která proběhne do 8 minut, zatímco ve druhé fázi dochází k adaptaci tyčinek a to mezi 8 až 30 minutou (viz Obr. 6 vlevo). Tento fakt se stal podkladem pro duplicitní teorii vidění, která ukazuje, že pod určitou úrovní jasu funguje jeden systém světločivých prvků tzv. oblast skotopického vidění (tyčinkové vidění), a při vyšších úrovních osvětlení se zapojuje fopopické vidění (čípkové vidění). Přechod není ostrý, mezi těmito dvěma hranicemi se uplatňuje mezopické vidění. Duplicitní teorie vidění má význam pouze v podmínkách velmi nízkého osvětlení. Za denního světla člověk nejlépe vidí přímou fixací, obraz předmětu, který chce pozorovat, dopadá na žlutou skvrnu, v noci je nejlépe vidět periferií. [6]

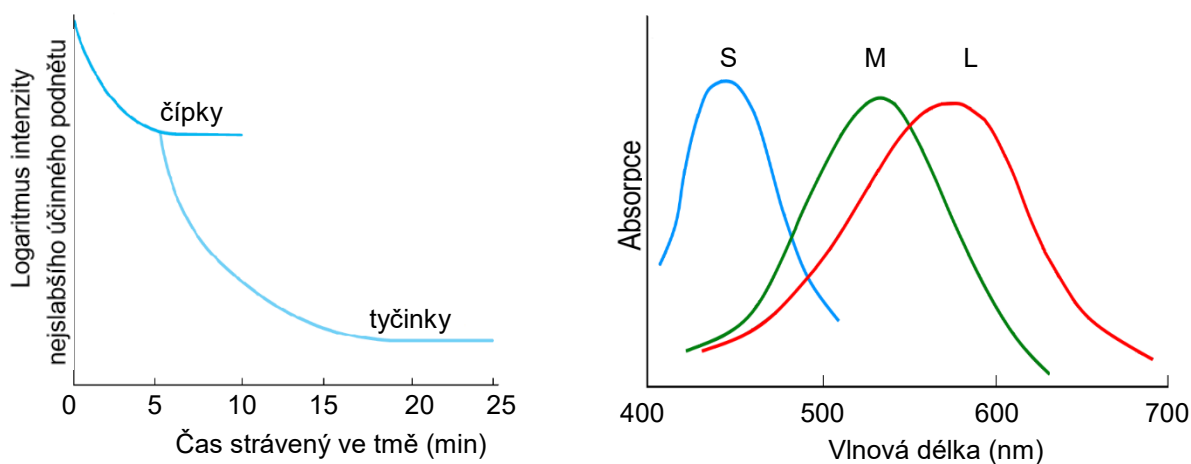
1.3.3 Rozlišování barev a teorie barevného vidění

Lidské oko je citlivé na světelné paprsky v rozsahu spektra 400–760 nm (viz Obr. 5) a je schopno rozeznat rozdíl vlnové délky o velikosti 1 nm. Paprsky kratší než 400 nm jsou pohlcovány čočkou, kratší než 315 nm, které jsou pro oko škodlivé, je pohlcováno rohovkou. [5][6]



Obr. 5: Spektrální citlivost lidského oka pro denní a noční vidění. Podle [19].

Youngova-Helmholtzova teorie barevného vidění předpokládá u lidí existenci tří typů čípků. Každý z nich obsahuje jiný fotopigment s maximální citlivostí k jedné ze tří základních barev. Vnímání určité barvy je pak dáno poměrem frekvence vzruchů v těchto třech systémech čípků. První pigment S (citlivý na modrou barvu, tj. na krátkovlnné světlo) absorbuje maximálně modrofialové části spektra. Druhý pigment M (citlivý na zelenou barvu, neboli na světlo střední vlnové délky) absorbuje maximálně zelenou část spektra. Třetí pigment L (citlivý na červené neboli dlouhovlnné světlo) má maximum absorpce ve žluté oblasti spektra (viz Obr. 6 vpravo).



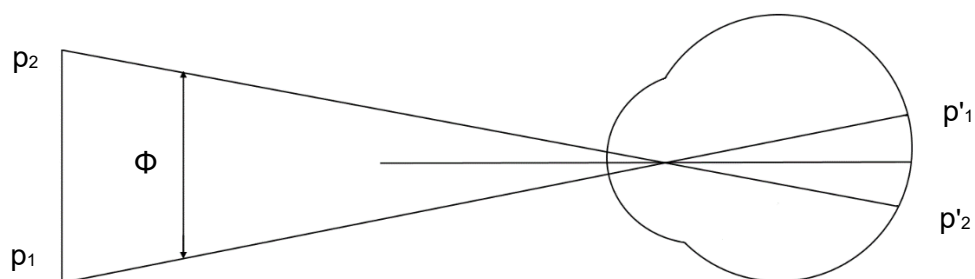
Obr. 6: Průběh adaptace oka na intenzitu světla (vlevo). Absorpční spektra čípkových pigmentů (vpravo). Pigment S (vrchol absorpce v 440 nm) reaguje na modrou barvu, pigment M (vrchol absorpce v 535 nm) je citlivý na zelenou barvu a pigment L má vrchol ve žluté oblasti spektra v 565 nm. Avšak jeho citlivost zasahuje do dlouhovlnné části spektra a je tedy citlivý i na červenou barvu. Podle [19].

Základní barvy sice jsou modrá, zelená a červená, ale čípky s maximální citlivostí ve žluté části spektra jsou do té míry citlivé i na část červenou, že mohou odpovídat na červené světlo při nižším prahu než na barvu zelenou. Většinou pozorujeme části barevného spektra o různých vlnových délkách. Tyto barvy nazýváme odstíny. Jestliže je k barvě přimícháno bílé světlo, jedná se o odstíny nenasyčené. Základní barvy červená, zelená a modrá jsou barvy nasycené. Žlutobílou barvu oko vnímá při maximálním zvýšení intenzity světla. Schopnost barevného vidění mají pouze čípky, které ale potřebují určitou hladinu osvětlení, jelikož při nižších hodnotách oko barvy nevnímá. [5][6]

1.3.4 Zraková ostrost

Zraková ostrost je podmíněna rozlišovací schopností oka, ale také refrakčním stavem oka. To znamená, že důležitou roli hraje transparentnost optického prostředí, fyziologická lomivost, funkce foveálních čípků, centrální fixace oka, správná funkce zrakového nervu, zrakových funkcí a zrakového korového centra.

Hodnotícím prvkem zrakové ostrosti je rozlišovací schopnost oka (*minimum separabile*), jenž je dána pozorovacím úhlem dvou bodů v prostoru, které je oko schopno rozeznat jako dva body. Za běžných podmínek činí úhlová vzdálenost těchto dvou bodů 0,0003 rad, což se rovná zornému úhlu 1 úhlová minuta (viz Obr. 7). V oku pak tento úhel odpovídá stimulaci dvou čípků, mezi kterými leží třetí nestimulovaný čípek. Dva body, které vidíme pod menším úhlem, splývají už v jeden bod. Úhlové vzdálenosti měříme z příslušného uzlového bodu oka. Jelikož vzdálenost mezi oběma uzlovými body je asi 0,3 mm, používá se pro zjednodušení sloučení obou uzlových bodů do jednoho. [5][7]

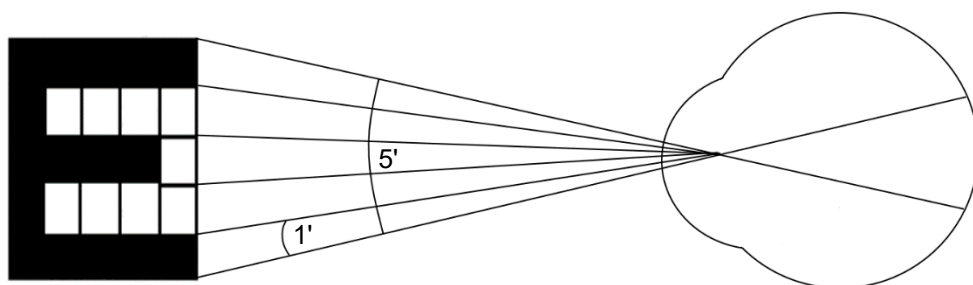


Obr. 7: Dva body p_1, p_2 od sebe vzdálené 1', tvoří na sítnici obrazy p'_1, p'_2 vzdálené u zdravého oka 0,005 mm. Podle [7].

Hodnota rozlišovací meze také do značné míry závisí na kontrastu bodů a okolí a jasů v pozorovaném prostoru. Výše uvedená hodnota platí pro maximální kontrast při dobrém denním světle. Při velmi slabém osvětlení stoupá hodnota rozlišovací meze oka na mnohem vyšší hodnoty přesahující 1 úhlovou minutu. Důležitým faktorem je také to, že při průměrném denním světle musí být rozdíl jasů dvou sousedních objektů minimálně 1 %, aby bylo oko schopno tyto předměty rozeznat.

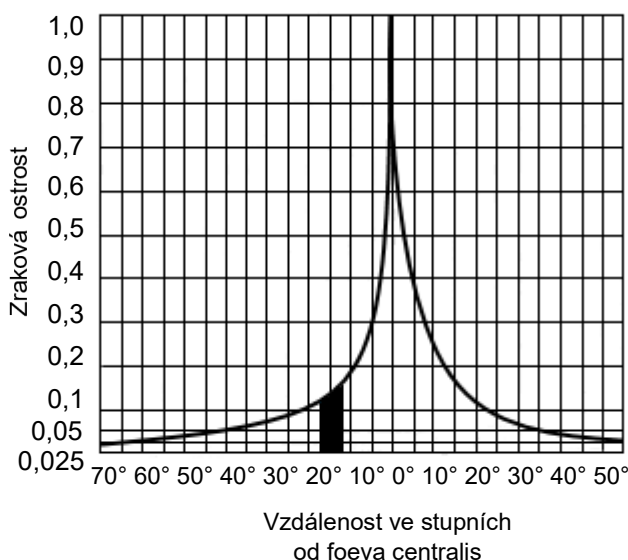
Kromě tzv. bodové rozlišovací meze rozeznáváme ještě navíc noniovou rozlišovací mez, což je schopnost oka od sebe rozlišit dvě přímky, které na sebe zdánlivě navazují. Oko dokáže rozlišit jejich vzájemně odlišnou polohu, pokud každá z přímek zasahuje do jiné řady čípků. V klinické praxi se pro zjišťování zrakové ostrosti využívá ustálené zkušební tabulky, tzv. optotypy. Existuje několik variant optotypů, jednou z nepoužívanějších jsou Landoltovy kruhy, které mají mezeru odpovídající určité

úhlové hodnotě, obvykle 1'. Druhou nejznámější variantou jsou Snellenovy optotypy, kdy jednotlivá ramena daného znaku tvoří 1/5 celkové velikosti písmena (viz Obr. 8). Šířka čar je taková, abychom ji viděli na určitou vzdálenost pod úhlem 1'. Zraková ostrost na dálku je pak zapisována ve formě zlomku, v jehož čitateli je vyšetřovací vzdálenost (obvykle 6 metrů) a ve jmenovateli je číslo nejmenšího řádku optotypů, který je schopna vyšetřovaná osoba přečíst. Normální hodnota zrakové ostrosti je 6/6 nebo 5/5 podle zvolené vyšetřovací vzdálenosti. [5][7]

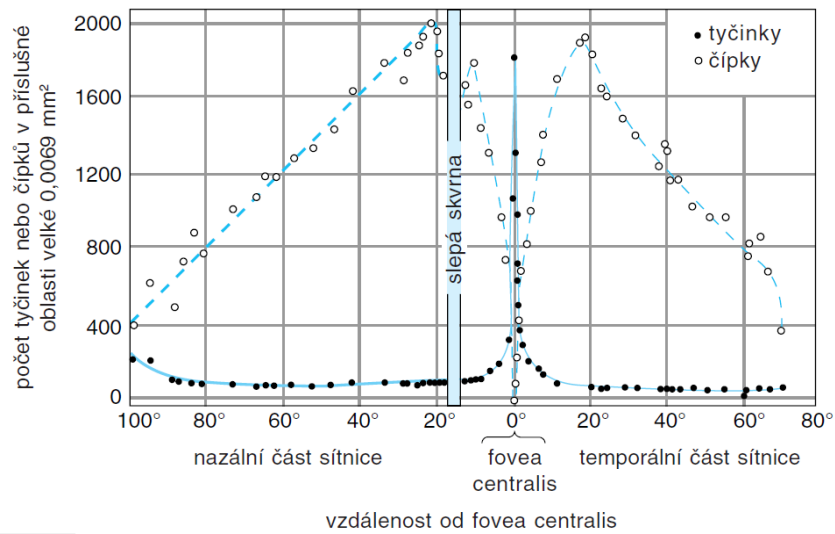


Obr. 8: Snellenův optotyp – oko vidí celý obraz pod úhlem 5' a jednotlivá ramena pod úhlem 1'. Podle [7].

Zraková ostrost má největší význam ve foveální oblasti sítnice, neboť oko pootočíme vždy tak, aby se pozorovaný předmět vyobrazil ve středové jamce. Od fovey směrem k okraji sítnice zraková ostrost rychle klesá (viz Obr. 9). Už 5° od fovey ostrost vidění klesá na 30 %, při 10 na 20 % foveální hodnoty. To souvisí s větším rozměrem, s jejich větší vzájemnou vzdáleností a také s převládajícím počtem tyčinek, které nepomáhají zvyšovat ostrost vidění při denním světle (viz Obr. 10). [7]



Obr. 9: Křivka znázorňující rozdělení zrakové ostrosti v jednotlivých oblastech sítnice. Na horizontální ose jsou znázorněny úhlové stupně, které se měří od osy oka v zadním uzlovém bodě. Mezi 10° a 20° je slepá skvrna. Na vertikální ose je znázorněna zraková ostrost. Podle [7].

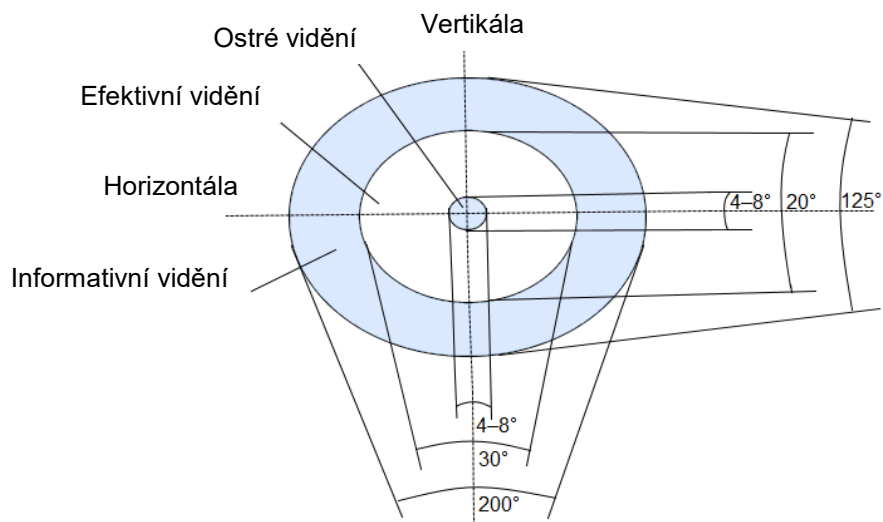


Obr. 10: Rozdělení tyčinek a čípků podél vodorovné osy lidské sítnice. Podle [19].

1.3.5 Zorné pole

Zorné pole oka představuje prostor, který můžeme okem zachytit beze změny směru pozorování. Prostor, který dokáže oko zachytit je poměrně velký, avšak ostře vidíme pouze malou část, která dopadá přímo do fovey. [5][7]

Zorné pole je tak možné rozdělit na centrální zorné pole (oblast nejostřejšího vidění), zabírající 4° až 8° vertikálním i horizontálním směrem. Další oblastí je oblast efektivního (jasného) vidění, kdy oko předměty sice pozná, ale nerozliší details. Tato oblast dosahuje hodnot 20° ve vertikálním směru a 30° v horizontálním směru. Vnější část zorného pole pak tvoří periferní (informativní) vidění, které neumožňuje rozeznat předměty, ale je důležité pro orientaci. Ve vertikálním směru dosahuje velikosti 125° a v horizontálním směru až 200° (viz Obr. 11). [14][15]



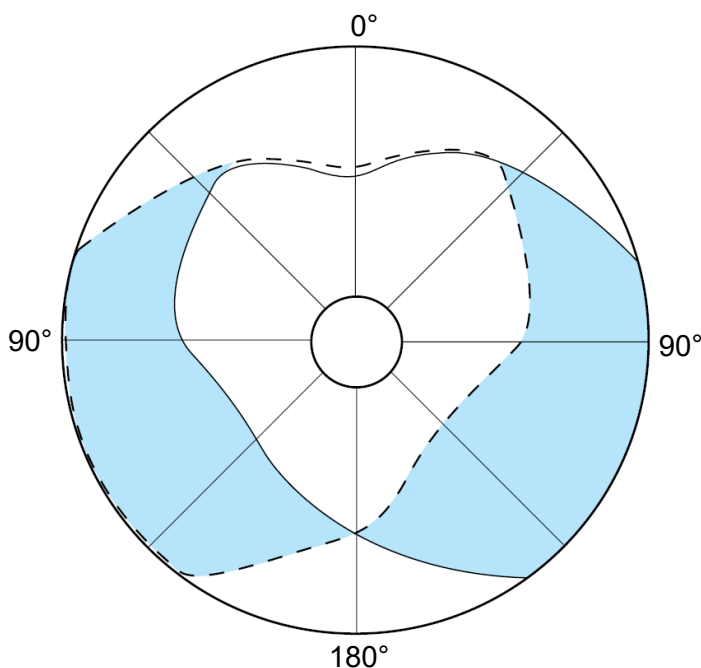
Obr. 11: Úhly zorného pole oka ve vertikálním a horizontálním směru. Podle [14].

Velikost zorného pole lze měřit pomocí perimetru. Výsledek je zachycen na diagramu, kde je naznačená křivka, která ohraničuje zorné pole světelných vjemů bez rozlišení barev. Křivka postupně navazuje na menší zorné pole pro barvu červenou, modrou a zelenou. Na diagramu jsou souřadnice udávající směr, ve kterém zorné pole měříme. Soustřednými kruhy jsou určovány úhlové odchylky od fovey. Pokud nepohybujeme okem, obraz se vytváří jako střed perspektivy, avšak při pohybech očí vzniká celá mozaika obrazů tvořící nový obraz ve středu otáčení oka asi 10,5 mm za zorničkou. [5][7]

1.3.6 Binokulární vidění

Při pozorování oběma očima (binokulárně) pozoruje každé oko trochu jiný obraz (viz Obr. 12). Čím je pozorovaný objekt blíže, tím rozdílnější jsou obrazy vytvořené oběma očima. Kombinací obou obrazů si mozek vytvoří představu o daném objektu i o hloubce objektu v prostoru. Při ostření na určitý bod se oči natočí tak, aby se jejich zorné osy v tomto bodě protínaly.

Úhel, který osy očí svírají, se nazývá *stereoskopická paralaxa*. Obraz pozorovaného bodu se promítne do identického místa obou sítnic. Mozek poté provede fúzi obrazu a je tak vyvolán jediný optický vjem. Množina bodů v prostoru, jejichž obrazy dopadají na stejná místa na sítnicích, se označuje jako *horopter*. Hloubka v prostoru je mozkiem určena na základě porovnávání s dalšími objekty. [7]



Obr. 12: Monokulární a binokulární zorná pole. Zorné pole levého oka je znázorněno přerušovanou čarou, zorné pole pravého oka plnou čarou. Společná oblast uprostřed je vnímána binokulárně. Modré oblasti monokulárně. Podle [19].

1.4 Refrakční vady oka

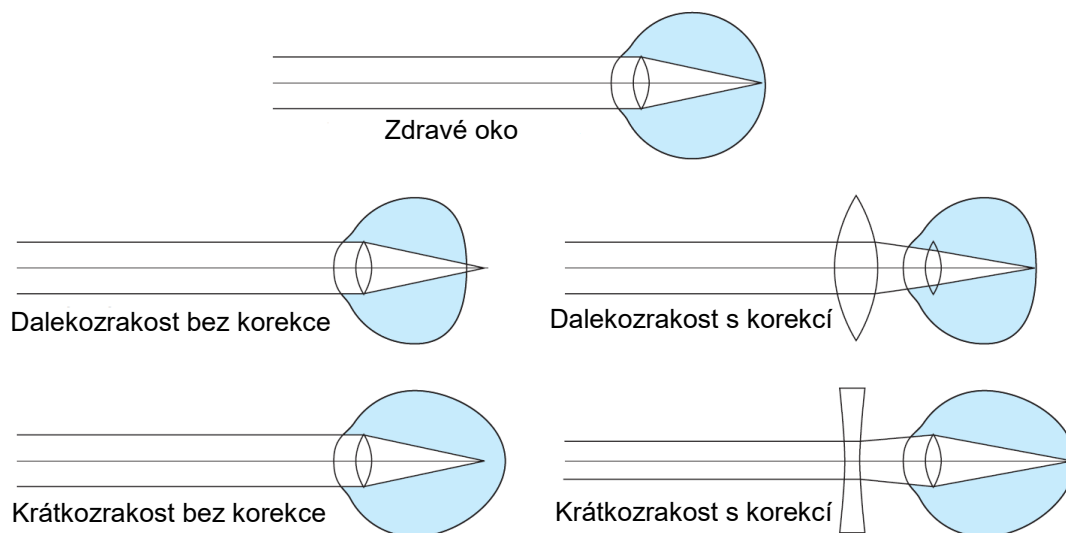
Pro správné vidění musí být splněna hlavní podmínka a to ta, že optický systém oka je schopen na sítnici vytvořit ostrý obraz pozorovaného předmětu. Tuto podmínku lze dále rozdělit na dvě podmínky. První je, že obrazem bodu musí být zase bod. Druhou podmínkou je, že daný obraz musí vzniknout na sítnici. V případě, že neplatí první podmínka, jedná se o astigmatickou vadu, která bývá

způsobena tím, že rohovka nemá přesně kulový tvar. Pokud není splněna podmínka druhá a obraz dopadá jinam než na sítnici, jedná se o sférickou ametropii. [18]

Podle umístění vzdáleného bodu existují dva typy sférických ametropií, krátkozrakost (*myopie*) a dalekozrakost (*hypermetropie*). Krátkozraké oko vidí ostře jen předměty umístěné v konečné vzdálenosti, která je menší, než vzdálenost vzdáleného bodu. U předmětů vzdálenějších vzniká obraz před sítnicí a obraz se jeví jako rozmazaný. Kompenzace je možná rozptylkami (viz Obr. 13).

Při dalekozrakosti je vzdálený bod v konečné vzdálenosti za okem. Následkem toho vzniká obraz předmětů umístěných v nekonečnu za sítnicí. Takto postižený člověk vidí poměrně dobře na dálku, ale blízké předměty vidí rozmazaně. V tomto případě je kompenzace možná spojkami. S postupujícím věkem ztrácí čočka oka schopnost se vyklenout a zaostřit na blízké předměty. Této vadě se říká presbyopie čili stařecká vetchozrakost. [16][18]

Astigmatismus bývá způsobený nepravidelným tvarem rohovky. Na deformované rohovce se světlo láme nerovnoměrně a jeho paprsky nejsou zaostřené na sítnici. Postižený člověk vidí rozmazaně jak na blízku, tak do dálky. Tuto vadu lze kompenzovat brýlemi se speciální čočkou. [16][18]



Obr. 13: Vady optického systému. Při dalekozrakosti je bulbus příliš krátký a světelné paprsky se lámou do ohniska za sítnicí (kompenzace spojkami). Při krátkozrakosti je bulbus příliš dlouhý a paprsky se lámou do ohniska před sítnicí (korekce rozptylkami). Podle [19].

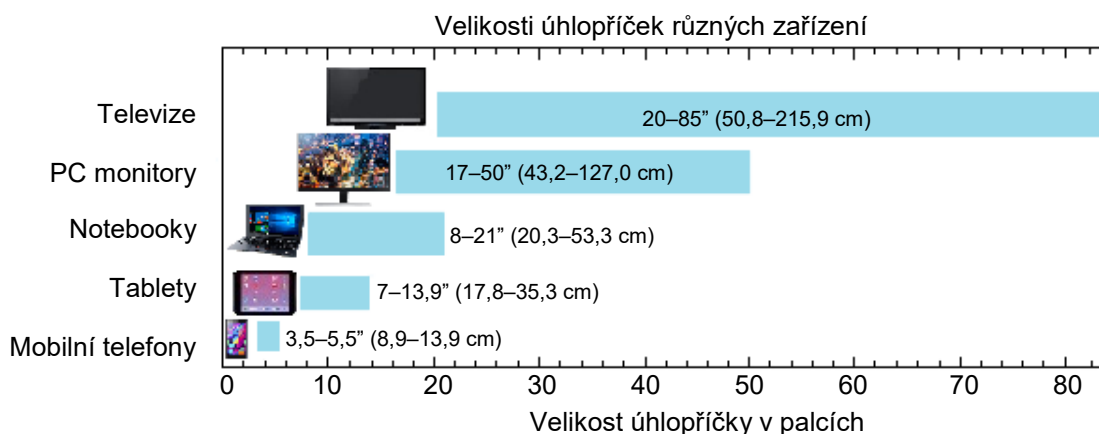
2 Displeje

V dnešní době jsou displeje¹ nenahraditelným prostředníkem v komunikaci mezi uživatelem a elektronickým zařízením. Jedná se o optoelektronické datové zobrazovače, zobrazující informace jako je text nebo obraz v různých podobách.

První zobrazovací zařízení byla ve formě žárovek, později LED diod, které vizuálně vypovídaly o dané informaci. Dalším stupněm vývoje byly číselné zobrazovače, které pomocí rozžhavených drátků dokázaly zobrazit číselnou informaci. Postupem času byla potřeba vytvořit sofistikovanější zařízení, a proto začaly vznikat panely, které byly tvořeny maticemi bodů, dnes známé pod názvem displeje. Displeje, nachází uplatnění v nepřeberném množství aplikací a elektronických zařízeních, kde je potřeba zobrazit grafické informace, jako například počítače, přijímače, mobilní telefony a přehrávače. Dnes nejčastěji používaným typem displeje jsou LCD a OLED, které se dále dělí podle druhu použité technologie. U displejů lze rozlišit dva typy parametrů. První skupinou jsou parametry fyzické, které jsou pevně dány a nelze je měnit. Jedná se o velikost úhlopříčky, poměr stran a rozlišení. Druhou skupinou jsou vlastnosti, které souvisí s displejem jako se zařízením zobrazující informace. Tyto vlastnosti mohou být do jisté míry vnímány každým jedincem individuálně. Jedná se o jas, kontrast, obnovovací frekvence, barevnou hloubku, pozorovací úhly a dobu odezvy. [9][10]

2.1 Velikost úhlopříčky

Velikost úhlopříčky je určena vzdáleností dvou protilehlých rohů displeje. Je udávána v palcích a pomáhá k orientační představě o velikosti displeje. Avšak nevypovídá nic o poměru jeho stran. U mobilních telefonů se úhlopříčka pohybuje v rozmezí 3,5–5,5" (viz Obr. 14), u tabletů 7–13,9", u přenosných počítačů 8–21", u stolních počítačů 17–50" a u televizních obrazovek přibližně 20 až 85". [9][10]



Obr. 14: Graf zobrazující velikosti úhlopříček displejů pro různé typy zařízení.

¹ Displej – výstupní zařízení pro zobrazení informací formou obrazu nebo textu pomocí diod, krystalů atd.
Obrazovka – nejčastěji skleněné zařízení, na kterém jsou zobrazeny informace
Monitor – obrazovka, používaná jako součást počítačového vybavení

2.1.1 Poměr stran

Poměr šířky displeje k výšce displeje je nazýván jako poměr stran. Starší obrazovky mají standardní poměr vždy roven 4:3. V dnešní době se nejčastěji používá univerzální poměr stran 16:9, avšak je možno se setkat i s jinými poměry stran například 16:10 nebo 5:4. Obrazovky s poměry stran vyššími než 4:3 jsou nazývány jako širokoúhlé.

Při rozhodování o konkrétním poměru stran televize se původně vzalo v potaz zorné pole člověka, které přibližně odpovídá elipse. Do něj byl vepsán obdélník o maximální možné ploše. Výsledný čtyřúhelník měl poměr stran 4:3, což bylo navíc umocněno tím, že v tomto výřezu zorného pole vidí člověk nejostřeji.

Moderní širokoúhlé 16:9 rozlišení také souvisí se jmenovanou elipsou – idealizovaným zorným polem člověka. Pokud se téže elipse obdélník opíše (na rozdíl od vepisování v případě 4:3), dosáhne vzniklý čtyřúhelník poměru stran 16:9. Do čtyřúhelníku se vejde celé zorné pole člověka, ale jeho rohy už jsou mimo něj a okraje leží v nejzazších částech periferního vidění. 16:9 tedy sice z výzkumů zorného pole vychází, ale nejde o nejergonomičtější možnost – spíše o mezní hodnotu. [9][11]

2.1.2 Rozlišení

Rozlišení displeje udává počet pixelů displeje, nejčastěji je uváděno ve formě počet sloupců × počet řádků (viz Tab. 2 a Tab. 3). Dnešní ploché televizory mají rozlišení s minimálním počtem 720 řádků při širokoúhlém poměru stran. Čím vyšší je rozlišení displeje, tím jemnější a detailnější obraz lze získat. Také platí, že s rostoucí velikostí displeje by se mělo zvyšovat i rozlišení. [9]

Tab. 2: Nejčastěji používaná rozlišení pro jednotlivá zařízení. Podle [9].

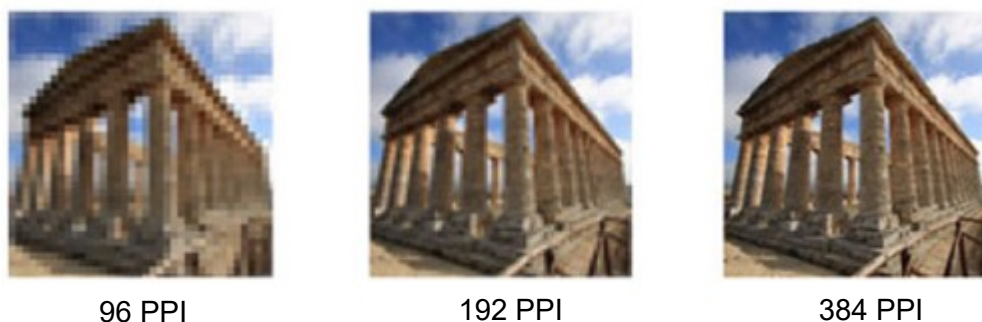
Mobilní telefony		Tablety		PC monitory a notebooky		Televize	
320 × 240	QVGA	1024 × 600	WSVGA	1280 × 1024	SXGA	1024 × 768	XGA
480 × 320	HVGA	1280 × 720	WXGA	1920 × 1200	WUXGA	1280 × 720	WXGA
800 × 480	WVGA	1280 × 800	WXGA	1920 × 1080	Full HD	1366 × 768	HD
1280 × 720	WXGA	1920 × 1200	WUXGA	3440 × 1440	UWQHD	1920 × 1080	Full HD
1920 × 1080	Full HD	2560 × 1600	WQXGA	3840 × 2160	UHD (4K)	3840 × 2160	UHD (4K)

Tab. 3: Nejpoužívanější druhy rozlišení.

Poměr stran	Počet bodů řádek × sloupec	Zkrácený název	Celý název
5:4	1280 × 1024	SXGA	Super Extended Graphics Array
4:3	320 × 240	QVGA	Quarter Video Graphics Array
	640 × 480	VGA	Video Graphics Array
	800 × 600	SVGA	Super Video Graphics Array
	1024 × 768	XGA	Extended Graphics Array
	1152 × 864	XGA+	Extended Graphics Array Plus
	1600 × 1200	UXGA	Ultra Extended Graphics Array
3:2	480 × 320	HVGA	Half-Size Video Graphics Array
16:10	1280 × 800	WXGA	Wide Extended Graphics Array
	1440 × 900	WXGA+	Wide Extended Graphics Array Plus
	1680 × 1050	WSXGA+	Widescreen Super Extended Graphics Array +
	1920 × 1200	WUXGA	Widescreen Ultra Extended Graphics Array
	2560 × 1600	WQXGA	Widescreen Quad Extended Graphics Array
5:3	1280 × 768	WXGA	Wide Extended Graphics Array
17:10	1024 × 600	WSVGA	Widescreen Super Extended Graphics Array
16:9	1280 × 720	WXGA	Wide Extended Graphics Array
	1360 × 768	HD	High Definition
	1366 × 768	HD	High Definition
	1600 × 900	HD+	High Definition Plus
	1920 × 1080	FHD	Full High Definition
	2560 × 1440	WQHD	Wide Quad High Definition
	3840 × 2160	UHD (4K)	Ultra High Definition
	7680 × 4320	UHD (8K)	Ultra High Definition

2.1.3 Hustota grafických bodů

Hustota grafických bodů (pixelů) se nejčastěji vyjadřuje zkratkou DPI (Dots Per Inch – počet obrazových bodů na palec), která je častěji používána u tiskáren, nebo také zkratkou PPI (Pixels Per Inch – počet pixelů na palec), která je používána pro displeje. Jedná se o veličinu udávající jemnost zobrazení (viz Obr. 15). Jeden palec odpovídá 2,54 cm. Například při hustotě 100 PPI se na délce 2,54 cm nachází 100 pixelů. S klesající vzdáleností mezi pixely narůstá při zachování velikosti obrazovky hustota pixelů a tím také rozlišení panelu. Mezní hodnota nízkého PPI je do 120, střední hodnota je v rozmezí mezi 120–160 PPI, vysoká hodnota pak 160–213 PPI a extra vysoké hodnoty 240 až 640 PPI. [24]



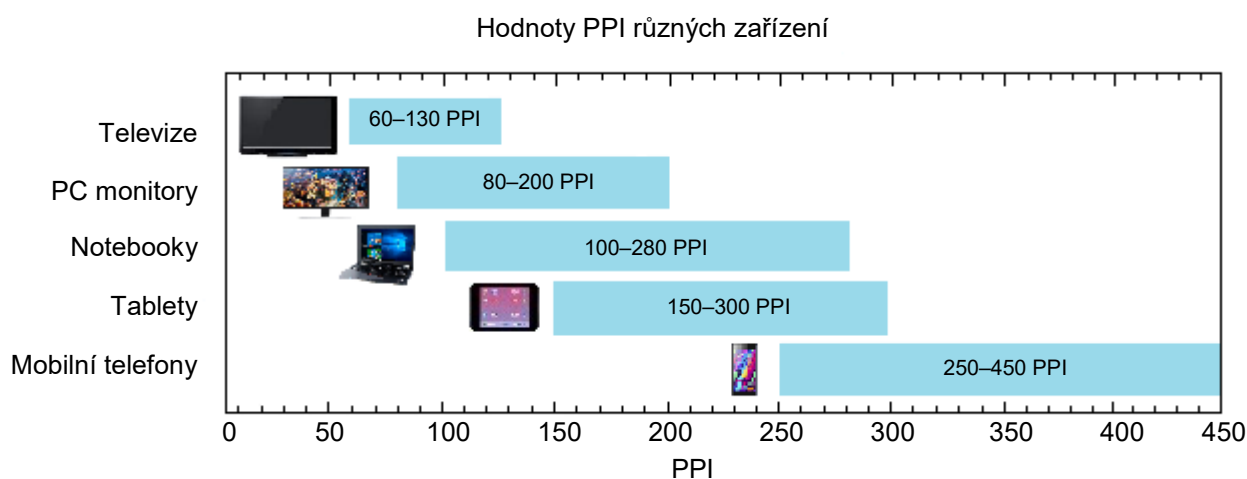
Obr. 15: Rozdílná kvalita obrazu odpovídající různé hustotě pixelů. Podle [24].

Výpočet hustoty pixelů je možné provést dle vzorce (1).

$$PPI = \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{u} \quad (1)$$

kde: PPI – počet pixelů na palec, palec = 2,54 cm
 u – úhlopříčka displeje v palcích
 x – počet horizontálních obrazových bodů
 y – počet vertikálních obrazových bodů

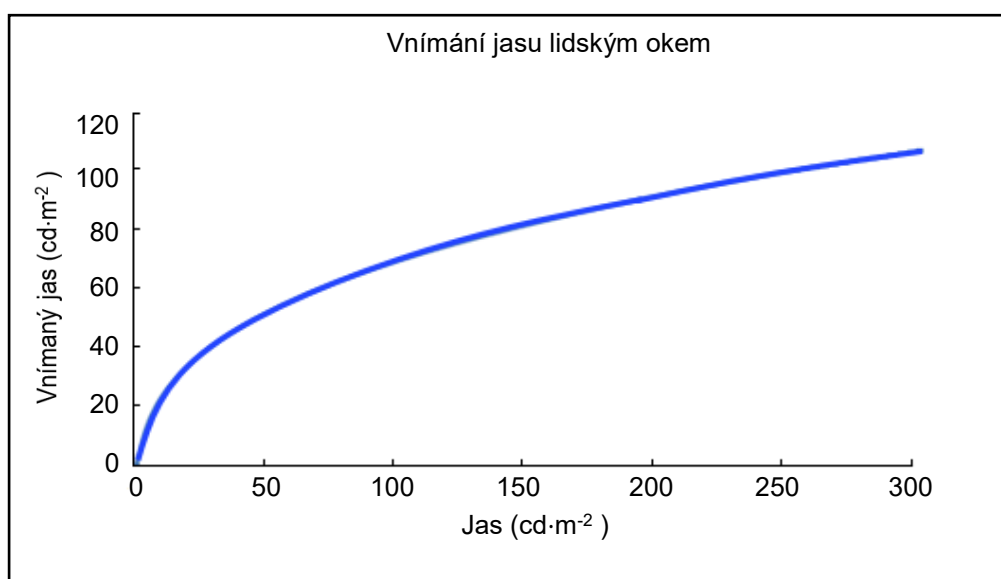
Aktuálním trendem je přechod k vysokým hustotám pixelů (viz Obr. 16). Co se týče mobilních telefonů, hodnota PPI se pohybuje kolem 250–450, pro tablety se hodnota pohybuje kolem 150–300 PPI, u notebooků je tato hodnota kolem 100–280 PPI a pro PC monitory a televizory je tato hodnota nejnižší a pohybuje se kolem 80–200 pro PC monitory a 60–130 PPI pro televizory. [24]



Obr. 16: Graf zobrazující hodnoty PPI displejů pro různé typy zařízení.

2.1.4 Jas

Jas udává svítivost monitoru při zobrazení všech pixelů v bílé barvě. Při vysoké hodnotě jasu může být problém se zobrazením černé barvy, jelikož se z ní stane šedá. Aby se objekt vykreslený na displeji nejevil vybledlý, měl by být jas displeje roven nebo mírně vyšší než jas daného objektu. V osvětlených prostorách dosahují monitory počítačů a mobilních telefonů jasu 200–300 $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$, u větších obrazovek televizorů je potřeba 500–1500 $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Je vhodné vždy volit takový jas, který je přibližně stejný jako okolí, ve kterém displej sledujeme. Ideální je volit takové osvětlení obrazovky, které difuzně osvětlí celou místnost se stejnou intenzitou. Tím se zamezí odrazům okolních předmětů, které mohou rušit pozornost. [9][10]



Obr. 17: Závislost velikosti jasu a jasu vnímaného okem. Podle [34].

Z Obr. 17 je zřejmé, že hodnota jasu vnímaná lidským okem je nižší, než která je displejem vyzářena. Je tedy nutné na displeji nastavit vyšší jas, například 250 $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$, aby ho oko zaregistrovalo jako 100 $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Pro lidské oko je ideální hodnota jasu v rozmezí 80–120 $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ pro vzdálenost přibližně 50 cm. S rostoucí vzdáleností hodnota jasu dopadajícího do oka klesá. Z tohoto důvodu je u televizních obrazovek, které jsou sledovány z větších vzdáleností nutné použití většího jasu než například u displejů notebooků. Maximálních hodnot jasu se používá převážně na přímém slunci nebo ve více osvětlené místnosti. Naopak za tmy je vhodné snížit hodnotu jasu na minimální hodnoty, aby nedocházelo k únavě očí. Hodnota jasu má vliv na vzdálenost, ze které displej pozorujeme, při nízkém jasu, není obraz zcela jasný a výsledkem mohou být kratší pozorovací vzdálenosti. Naopak při vysokých hodnotách jasu, může docházet k oslnění a pozorovacímu diskomfortu, což může vést k posunutí uživatele do větší vzdálenosti. [21][34]

2.1.5 Kontrast

Kontrast je poměr svítivosti bílé a černé barvy. Běžně udávané hodnoty kontrastu jsou ve formě poměru určitého čísla ku jedné. Vyšší hodnoty kontrastu značí i vyšší kvalitu obrazu. Pokud je kontrastní

poměr roven nebo menší jedné, není lidské oko schopno od sebe rozlišit jednotlivé barvy a obraz se jeví jako zkreslený či zcela nerozpoznatelný. Pouze vysokokontrastní displeje mají schopnost zobrazit opravdu černou, u některých se s ní lze setkat jen při vypnutí. Hodnota kontrastu je podstatná hlavně při pozorování obrazu při denním osvětlení, avšak skutečná hodnota je přibližně čtvrtinová oproti hodnotě udávané výrobcí, jelikož je měřena při speciálních laboratorních podmínkách v naprosté tmě. Tento kontrast nabývá hodnot pro monitory a televize až 4000:1 nebo 10 000:1. Reálný kontrast se pak pohybuje v hodnotách přibližně 500:1 až 1000:1.

Kontrast lze posuzovat jako statický, který je charakterizován jako poměr svítivosti černé a bílé barvy najednou na stejné ploše. Kontrastní poměr při snížení jasů zůstává přibližně stejný. Nebo kontrast dynamický, který je charakterizován měnícím se kontrastním poměrem dle zobrazovaných barev. Jedná se o poměr bílé a černé barvy na samostatných plochách. Pokud převládají tmavé barvy, dojde ke snížení jasů a tím ke ztmavení tmavých odstínů. Pokud převládá barva bílá, jas se opět zvýší a bílá barva se zobrazí jasněji. [9][10]

2.1.6 Obnovovací frekvence

Obnovovací frekvence u displeje vyjadřuje počet snímků za vteřinu, které může obrazovka zobrazit. Reálné hodnoty jsou pevně dané, jedná se o hodnoty 50, 100 a 200 Hz (60, 120, 240 Hz pro Severní Ameriku). V praxi se lze setkat s hodnotami až 400 Hz AMR (Active Motion Rate), 600 Hz MCI (Motion Clarity Index) nebo například 800 PMR (Perfect Motion Rate). Každý výrobce má svou zvláštní zkratku. Ve skutečnosti se nejedná o nic jiného, než o vkládání černého pole mezi jednotlivé snímky pro ostřejší vnímání obrazu. Jestliže je základem panel s 200 Hz, vkládáním černého pole zvedne označení televizoru na 400 Hz. Pokud je přidáno zpracování velmi výkonným procesorem, označení televizoru bude 800 Hz (výrobce může vnímat video processing jako dalších 400 Hz). Samotný panel má však stále maximálně dříve zmíněných 200 Hz.

Složením jednotlivých obrazů časových úseků vzniká pro lidský mozek plynulý obraz. Čím vyšší je tato hodnota, tím je obraz vnímán jako plynulejší. Od mezní frekvence je oko schopno zaregistrovat blikání obrazu, což očím škodí a není to pro ně přirozené. Displeje s vyšší obnovovací frekvencí také méně unavují oči. Kritický kmitočet se pohybuje v rozmezí hodnot mezi 20–50 Hz. Závisí na mnoha faktorech, například na světelné intenzitě zdroje, adaptaci oka, dráždivosti centrálního nervstva a pozorovací vzdálenosti. Kritickým kmitočtem se podrobněji zabývá Ferry-Porterův zákon. [9]

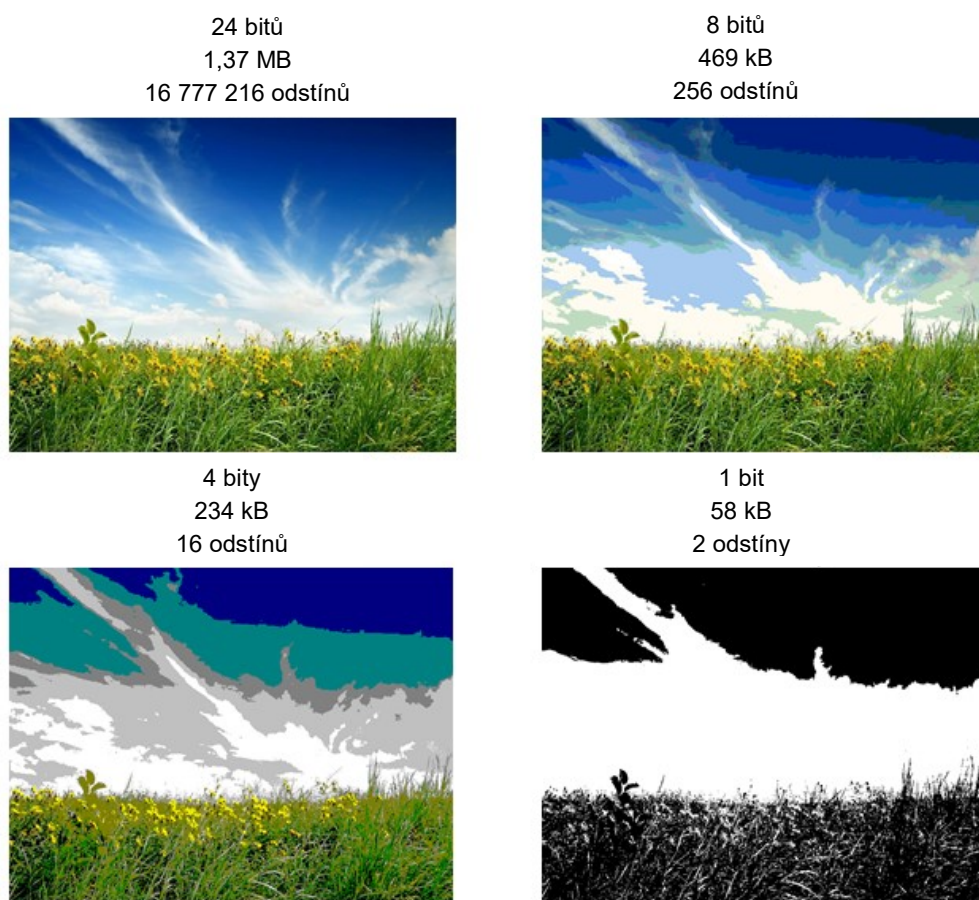
2.1.7 Barevná hloubka

Reálný objekt se může skládat z nekonečného množství odstínů. V digitální podobě však není možné tak velké množství odstínů jednotlivě realizovat, a proto se využívá tzv. aditivního míchání barev, při kterém jsou kombinovány tři základní barvy systému RGB – červená (red), zelená (green) a modrá (blue). Každý pixel je tudíž rozdělen na tři subpixely reprezentující jednu z těchto barev. Jednotlivé subpixely jsou schopny zobrazit určitý počet odstínů své barvy a ty jsou uloženy jako binární číslo o určité délce. Pokud je každý subpixel schopen zobrazit 8 odstínů barvy, je každý pixel (a tedy i celý displej) schopen zobrazit přibližně 16,777 milionů odstínů ($2^8 \cdot 2^8 \cdot 2^8 = 16,777 \cdot 10^6$). Lidské oko je schopno rozlišit až 10 milionů odstínů. [9]

V počátcích televizní a počítačové techniky byla používána monochromatická barevná hloubka (pouze černá a bílá barva). Reálně se lze setkat se 6 bitovou, 15 bitovou, 18 bitovou a 24 bitovou

barevnou hloubkou pro RGB. Ale také s 8 a 16 bitovou barevnou hloubkou. V případě 8 bitové barevné hloubky jsou jednotlivé bity rozděleny takto: 3 bity pro odstíny červené barvy, 3 bity pro odstíny zelené barvy a 2 bity pro odstíny modré barvy, jelikož je oko na modrou složku nejméně citlivé (pro 16 bitovou barevnou hloubku se nejčastěji používá systém: 5 bitů pro odstíny červené barvy, 6 bitů pro odstíny zelené barvy a 5 bitů pro odstíny modré barvy).

Vyšší hodnota barevné hloubky je více využitelná při sledování televize, zatímco při práci s displejem počítače není barevná hloubka až tolik podstatná jako jas a kontrast displeje, aby nebylo oko příliš namáháno. Je tedy vhodné volbu barevné hloubky zvolit vzhledem k těmto kritériím. Důležitým faktem je také to, že s rostoucí barevnou hloubkou, roste počet zobrazených odstínů a s tím také paměťová náročnost (viz Obr. 18). [20]



Obr. 18: Rozdílná barevná hloubka obrázku a její vliv na velikost obrázku.

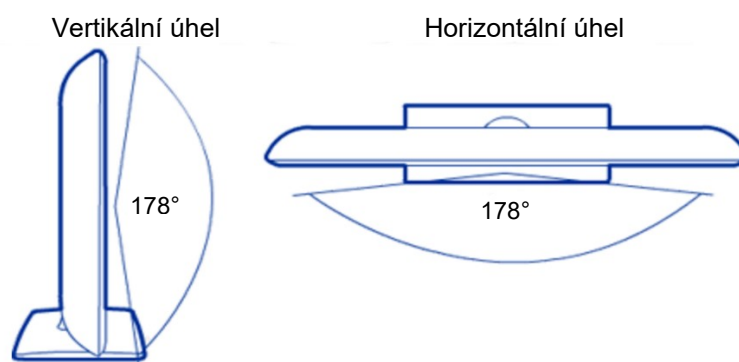
2.1.8 Doba odezvy

Doba odezvy se udává v milisekundách a je to doba, za kterou je pixel monitoru schopen změnit barvu na jinou a zase zpět. Dříve se udávala hodnota změny černé barvy na bílou (rise) a zase zpět na černou (fall). Doba odezvy je rovna součtu obou těchto hodnot. Avšak to je málo kdy potřeba, možná jen při psaní textových dokumentů. Daleko potřebnější je změna z jednoho odstínu do druhého takže se dnes nejčastěji udává změna z tmavě šedé barvy na světle šedou a zpět. Je vyžadováno, aby každý pixel reagoval co nejrychleji na změnu obrazu. Pokud je doba odezvy příliš dlouhá, jeví se obraz

u pohyblivých objektů jako rozmazaný. Nevýhodou této hodnoty je, že výrobce může zvolit odstíny, které budou mít nejrychlejší odezvu a tu uvést, jiné změny mohou být daleko delší. Ideální hodnota je kolem 15–20 ms. Tento parametr je nejvíce využitelný při sledování televize nebo hraní her, kdy není vhodné, aby byl pohyblivý obraz rozmazaný. [9][10]

2.1.9 Pozorovací úhly

Jedná se o rozmezí, ve kterém by měl být pozorovaný obraz stále stejně kvalitní jako bychom ho sledovali čelně. Kvalita obrazu se s odchylováním od kolmice k displeji může měnit. Může docházet ke snižování jasu, kontrastu, sytosti barev, šednutí barev nebo k inverzi barev. Pozorovací úhly udávané výrobcí se dnes pohybují v hodnotách 150 až 160°, ale běžně se lze setkat i s úhly 178° vertikálně i horizontálně (viz Obr. 19). [9][10]



Obr. 19: Pozorovací úhly udávané výrobcí.

Při pozorování displeje z větších úhlů než je udáváno výrobcem, dochází ke snížení jasu obrazovky a obraz se může jevit tmavší. Je to způsobeno tím, že se světlo šíří přímočaře, nejlepší variantou proto je sedět k displeji kolmo. V některých případech může dojít až k takovému ztmavení, že obraz v této části není téměř vůbec rozpoznatelný. Při pozorování z menších úhlů zase může docházet k příliš velkému jasů a obraz se může jevit jako bílý nebo v odstínech šedé barvy. Ať už ztmavováním nebo zesvětlením dochází k deformaci nebo úplné inverzi barev, obraz je nekvalitní a rozmazaný (viz Obr. 20). [35]



Obr. 20: Možné změny obrazu při změnách pozorovacích úhlů. Podle [35].

2.2 Kategorizace displejů

V dnešní době existuje několik druhů displejů a obrazovek založených na různých funkčních principech. Hlavním aspektem pro kategorizaci displejů je zdroj světla, podle kterého jsou děleny na emisivní a neemisivní. Dále jsou v této práci popsány principy CRT, LED, OLED a plazmových obrazovek a také nejčastěji používané technologie IPS a TN (viz Obr. 21 a Tab. 4).

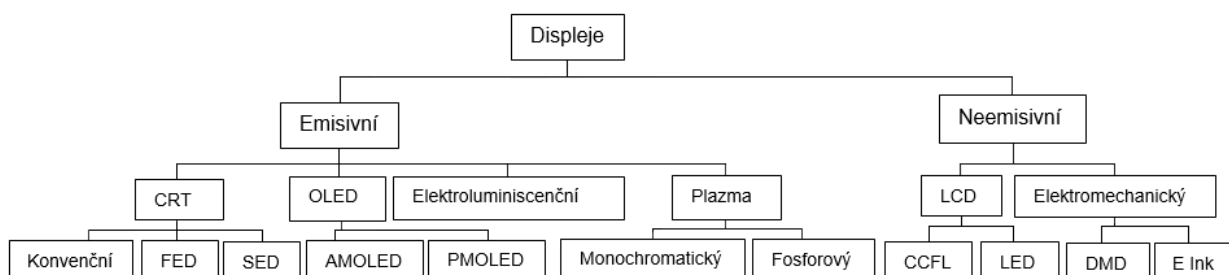
Emisivní displeje jsou ty, jejichž každý pixel emituje světlo s různou intenzitou a barvou. Pokud jas pixelu, nemění v žádném směru svou hodnotu, je nazýván Lambertian. Většina emisivních displejů je tedy Lambertian emitorem, a dosahují dobrých výsledků při pozorování displeje z různých úhlů. Díky schopnosti vyzařovat vlastní světlo mohou být tyto displeje používány ve velmi tmavém prostředí. Po vypnutí jsou displeje tmavé až zcela černé, což vede k dobrému kontrastnímu poměru.

Neemisivní displeje nevyzařují na rozdíl od emisivních žádné světlo. Aby byla informace na těchto displejích čitelná, je potřeba dodatečného zdroje světla. Podle umístění tohoto zdroje, a tedy způsobu modulace světla z něj vycházejícího, se dělí na transmisivní, reflektivní a transflektivní.

U transmisivních displejů je zdroj světla umístěn vespod displeje (tzv. podsvětlení). Světlo vycházející ze zdroje postupně prochází jednotlivými vrstvami displeje, které jej modulují na požadovaný obraz. Nevýhodou transmisivních displejů je špatná čitelnost na přímém slunci, jelikož světlo odrážející se od povrchu displeje je mnohem jasnější než světlo z podsvětlení. Do této kategorie patří například LCD displeje.

U reflektivního displeje je zobrazení informace zprostředkováno pomocí světla z okolí. Světlo se odráží od povrchu displeje, a tak je možné vidět zobrazovanou informaci. Z toho plyne, že reflektivní displeje nemohou být používány v tmavém prostředí, avšak na přímém slunci vykazují velice dobrou čitelnost. Nejznámější zástupce reflektivních displejů je technologie E Ink, která je používána zejména ve čtečkách elektronických knih.

Transflektivní displeje jsou složeny jak z reflektivních, tak z transmisivních pixelů. Na přímém slunci se vlastnosti těchto displejů podobají reflektivním, a dosahují dobrého kontrastního poměru i ve vnějších prostorách. V tmavším prostředí se naopak jejich vlastnosti podobají displejům transmisivním. Jas podsvětlení je zvýšen natolik, aby kontrastní poměr dosahoval přijatelných hodnot a obraz byl čitelný. [9]



Obr. 21: Hierarchie technologií displejů. Podle [20]

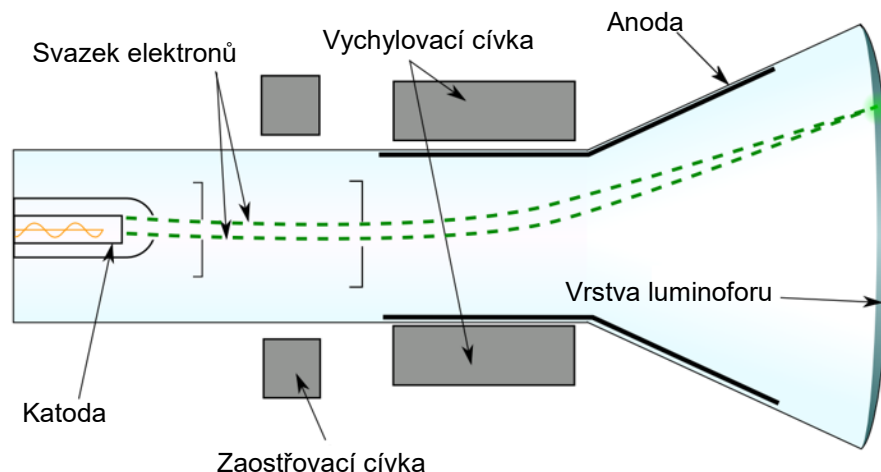
Tab. 4: Vysvětlení zkratk užívaných pro technologie displejů.

Zkratka	Anglický název	Český význam
AMOLED	Active-Matrix Organic Light-Emitting Diode	Typ OLED displeje s aktivní maticí.
CCFL	Cold Cathode Fluorescent Lamp	Podsvícení LCD displeje studenými katodovými zářivkami.
CRT	Cathode Ray Tube	Katodová trubice, tvořící obraz pomocí proudu elektronů generovaných elektr. dělem.
DMD	Dot Matrix Display	Displej tvořený maticí světelných bodů.
E INK	Electronic Ink	Plochá zobrazovací jednotka, tzv. elektronický papír.
FED	Field Emission Display	Princip podobný CRT, ale elektronové dělo nahrazeno katodovou trubicí.
LCD	Liquid Crystal Display	Displej z tekutých krystalů.
LED	Light-Emitting Diode	Podsvícení LCD displeje pomocí LED diod.
OLED	Organic Light-Emitting Diode	Typ displeje s technologií organických elektroluminiscenčních diod.
PMOLED	Passive-Matrix Organic Light-Emitting Diode	Typ OLED displeje s pasivní maticí.
SED	Surface-conduction Electron-emitter Display	Princip podobný CRT, ale místo elektr. děla má každý pixel vlastní elektronový generátor.

2.3 CRT obrazovky

CRT (Cathode Ray Tube) obrazovky sice patří mezi nejstarší, avšak mají velmi dobrý barevný kontrast a barevnou věrohodnost. V dnešní době jsou CRT obrazovky vytlačeny jinými technologiemi, jelikož je tento typ velký a těžký. Nevýhodou je také silné elektromagnetické vyzařování a vysoká spotřeba elektrické energie.

V minulosti se tyto obrazovky uplatňovaly jako monitor u stolních počítačů, televizní obrazovka nebo displej osciloskopu. Obrazovka je složená ze skleněné vakuové baňky, která je zepředu tvořena stínítkem s vrstvou luminoforu. V baňce je také umístěna katoda, která vystřeluje jednotlivé elektrony na stínítko a rozsvěcuje luminofor, ve kterém dochází k procesu zvanému luminiscence. K luminiscenci dochází pomocí excitace atomů vlivem vnější energie, nebo dopadem záření. Tato energie předá elektronům v atomech luminoforu energii a ty přejdou na vyšší energetickou hladinu atomu. V této hladině vydrží jen krátkou dobu a vrátí se zpět do původní energetické hladiny. Při návratu elektronu do původní hladiny dojde k emisi fotonu. Frekvence vyzářeného fotonu bude mít takovou hodnotu, jakou energii pro návrat musí elektron překonat. Frekvence udává barvu, tudíž podle zvolené příměsi fosforu bude získána výsledná barva luminoforu. [10]



Obr. 22: Stavba jednobarevné CRT obrazovky. Podle [10].

Aby mohla katoda vystřelovat jednotlivé elektrony, je třeba ji rozžhavit na vysokou teplotu. Řídící mřížka slouží pro rychlou změnu intenzity elektronů, a tím vykreslování různé intenzity na luminoforu. Zaostřovací cívka konverguje svazek elektronů do bodu na luminoforu o určitém průměru. Vychylovací cívky slouží k vychylování svazku tak, aby skenoval celou plochu obrazovky. Cívky jsou celkově čtyři, dvě pro horizontální a dvě pro vertikální vychýlení. Jelikož má svazek elektronů záporný náboj, stačí přivést na cívky napětí, aby došlo k vychýlení svazku (viz Obr. 22).

Tento princip platí pouze pro jednobarevné obrazovky, pro barevné obrazovky je třeba přidat další dvě elektronová děla, jelikož barevný obraz je tvořen systémem RGB. Změněno je i stínítko, které je složeno ze tří různých luminoforů, které se po dopadu elektronů ze tří elektronových děl rozsvítí ve třech barvách podle RGB systému. Spojením červené, zelené a modré barvy vznikne výsledný barevný bod. Před stínítkem je umístěna maska pro oddělení paprsků pro červenou, zelenou a modrou část obrazu. [10]

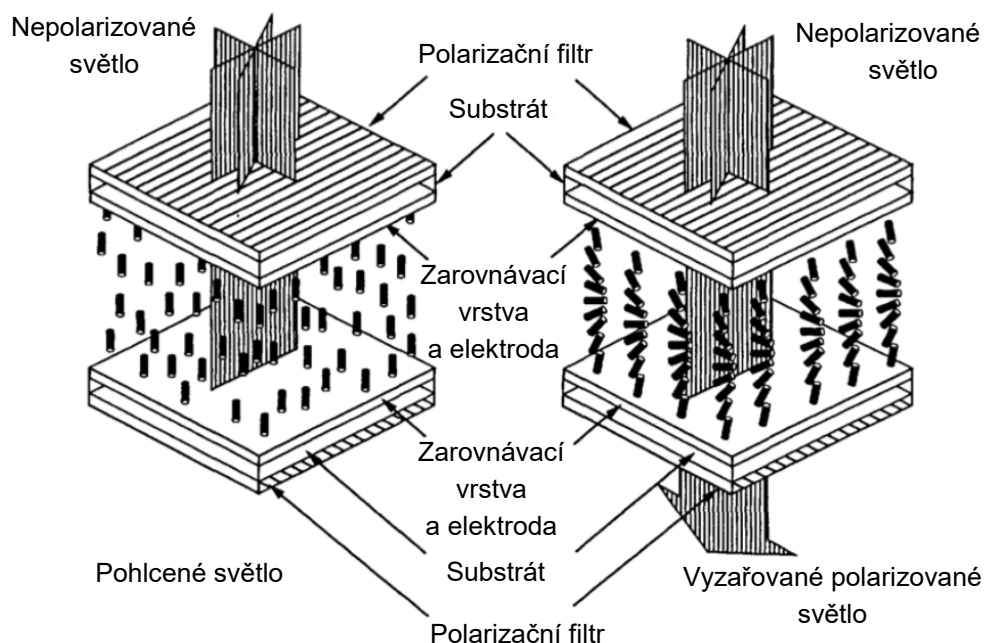
2.4 LCD displeje

LCD je zkratka anglického označení Liquid Crystal Display, tedy displej z tekutých krystalů. Tekuté krystaly jsou mezifází mezi kapalným a pevným skupenstvím. Jsou tekuté jako kapaliny, ale optické a elektromagnetické vlastnosti odpovídají pevným látkám. Vlivem tepla či elektrického pole dokáží měnit svou průhlednost nebo barvu. Prakticky se krystaly využívají v mezomorfním stavu², kdy si zachovávají krystalické uspořádání. V závislosti na poloze molekul dochází ke změně polarizace světla, které jimi prochází. Většina molekul jsou dipóly, které mají v elektrickém poli snahu se otočit ve směru tohoto pole, a právě toho je využíváno u LCD displejů (viz Obr. 23).

LCD displeje lze rozdělit do třech kategorií reflexní (odrazný), transmisní (propustný) nebo transflektivní. Struktura je u všech podobná, rozdíl je pouze v použitém světle. LCD displeje jsou opticky pasivní a pro svou činnost potřebují zdroj světla. Reflexní využívá okolního světla, které prochází LCD panelem a poté se odráží zpátky od odrazné zadní plochy. Transmisivní displej má

² Mezomorfní stav je teplotní rozpětí mezi táním a přeměnou na izotropní kapalinu. [12]

průhledný zadní polarizér, neodráží okolní světlo, využívá tedy aktivního podsvícení pomocí světelného zdroje. Tyto displeje jsou nejlépe čitelné ve tmě, na rozdíl od předchozího typu. Transflektní kombinuje obě metody. Pokud je okolní osvětlení dobré, využívá odrazu od zadní plochy, pokud je okolní osvětlení nízké, využívá aktivního podsvícení. [10][12][13]



Obr. 23: Schématické zobrazení principu LCD displeje. Technologie TN LCD (vlevo) a IPS LCD (vpravo). Podle [9].

Jak už bylo dříve zmíněno, reflexivní displeje využívají okolního světla, které prochází polarizátorem. Druhý polarizátor je pootočen o 90° a krystal tak musí o tuto hodnotu pootočit i lineárně polarizované světlo. K tomuto jevu dojde jen v tom případě, že není připojené napětí. Pokud napětí připojené je, nedojde k pootočení lineární polarizace, světlo neprojde druhým polarizátorem a vznikne tmavý segment. U transmisivních displejů je princip obdobný, pouze je reflexní vrstva nahrazena zdrojem světla. Je však potřeba dbát na to, aby byly podsvíceny konstantně a nevznikala místa s různou intenzitou svítivosti. Původně se k podsvícení používaly zářivky CCFL (Cold Cathode Fluorescent Lamp), u nejdražších variant bylo použito až 16 trubic. Dnes se však nejčastěji používají LED diody, které jsou méně energeticky náročné a mají delší životnost. Výhodou těchto displejů je nízká spotřeba a rozměr. Jedná se o velmi ploché displeje, původně používané v noteboocích. [10]

2.4.1 CCFL technologie

Nejdříve se u LCD panelů se používaly studené katodové zářivky, označované zkratkou CCFL (Cold Cathode Fluorescent Lamp). V displeji jich může být několik nad sebou, nebo může být trubice umístěna na boku displeje, kdy je světlo rozváděno světlovodem a odráženo reflexní vrstvou tak, aby bylo podsvětlení co nejrovnoměrnější. U této technologie však nešla regulovat intenzita svitu a barvy se jevily jako vybledlé, obzvláště černá barva se vykreslila v odstínech šedé. Alternativou se proto stala technologie podsvícení LED diodami, která přináší řadu výhod (viz Obr. 24). [23]

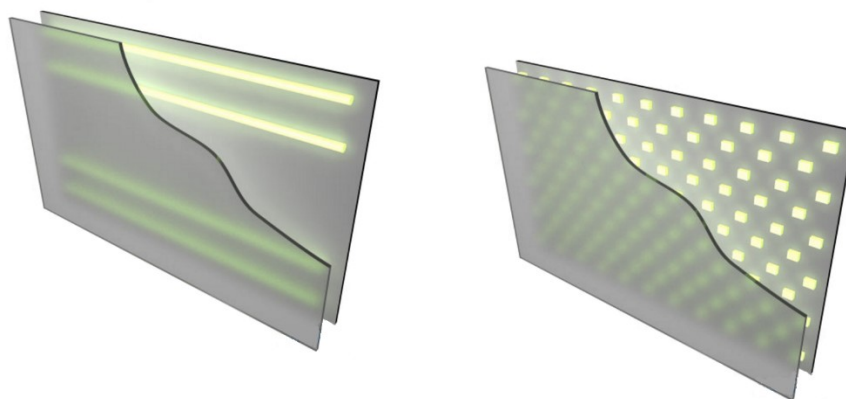
2.4.2 LED technologie

Někteří výrobci často používají termín LED displeje, nejedná se však přímo o LED displeje, ale pouze o technologii podsvícení LCD displeje pomocí diod LED (Light Emitting Diode). V případě pravé LED TV (nebo monitoru) by byl každý bod tvořen třemi nebo čtyřmi LED diodami (jako například u velkoplošných obrazovek), avšak na takové použití u monitorů nebo televizí jsou zatím LED moc velké.

Výhodou této technologie je možnost lépe kontrolovat úroveň jasu, zvýšit kontrast obrazu a také dobrá viditelnost na přímém slunci. Diody, které se starají o podsvícení, je možné zhasnout a zobrazit skutečnou černou, ale také širší barevné spektrum. Další výhodou je snížení spotřeby elektrické energie asi o 40 % a možnost vyrábět ještě tenčí LCD panely. Za pozornost stojí také životnost LED, která je nejméně dvojnásobná oproti CCFL. Důležité také je, že čím větší je rozteč mezi jednotlivými diodami, tím větší je nutná minimální pozorovací vzdálenost.

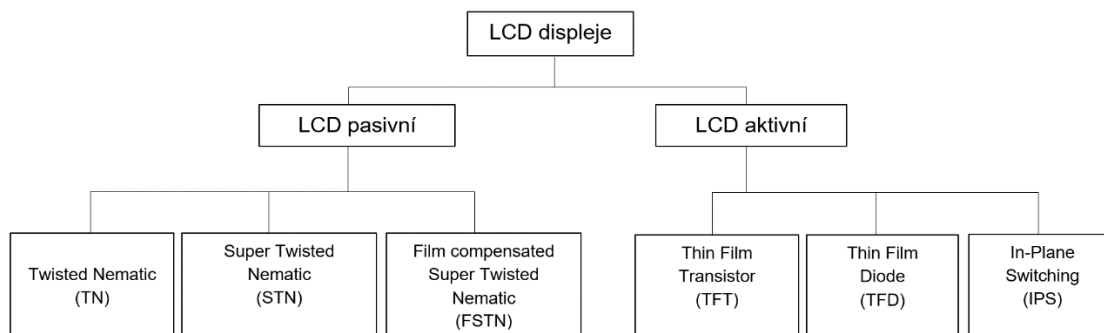
Způsobů podsvícení LED je více, nejčastěji se používá RGB LED, Direct LED a Edge LED. RGB LED technologie, má diody rozmístěny maticově po celé ploše panelu. Pro podsvícení se používají čtyři samostatné LED diody (červená, modrá, dvě zelené). Díky tomu lze dosáhnout většího barevného spektra a pomocí místního ztlumení sytější odstíny černé barvy.

Direct LED je podobná technologie, avšak použité diody jsou pouze bílé a barevný prostor není tak široký. Direct LED se používá u televizorů. Edge LED technologie má diody umístěny pouze na boční straně, nikoli na panelu. Světlo je po ploše rozváděno speciálními světlovody s odraznými ploškami. Výhodou je rovnoměrné podsvícení, malá šířka panelů a je možné použít menší počet diod, s čímž je spojena nižší výrobní cena. Nemají však možnost vypnout LED v některých částech, protože diody umístěné v rohu musí svítit stále. [23]



Obr. 24: Podsvícení transmisivního displeje pomocí zářivek (vlevo) a pomocí LED diod (vpravo). Podle [10].

LCD displeje lze dále rozdělit dle druhu matice, která je mezi polarizačními filtry (viz Obr. 25). Matice může být aktivní nebo pasivní. Jednodušší je pasivní matice, tvořená dvěma substráty skla, jeden substrát tvoří sloupce a druhý řady. Ty jsou napojeny na obvody, které přivádějí elektrický náboj k určitému bodu dané řady a sloupce. Aktivní matice jsou složitější, tvořená tenkovrstvými tranzistory. Lze tak přesně ovládat velikost napětí na krystalech a tím i jas displeje. Nejčastěji jsou dnes používány TN a IPS technologie, které budou popsány níže. [20][23]



Obr. 25: Přehled používaných aktivních a pasivních matic u LCD displejů. Podle [23].

2.4.3 TN LCD

Twisted Nematic technologie využívá nematických krystalů. V neseprnutém stavu jsou krystaly díky zarovnávacím vrstvám zformovány do šroubovice s direktorem lišícím se u krajních krystalů o úhel 90° . V seprnutém stavu se díky vlivu elektrického pole natočí molekuly krystalů paralelně. To vede k přeuspořádání optických os molekul a snížení efektu dvojlomnosti. Rovina polarizovaného světla tedy není stáčena o 90° a světlo je pohlceno analyzátozem. Díky nízkým nákladům na výrobu se jedná o nejrozšířenější technologii LCD. Výhodou je také dobrá doba odezvy, avšak špatné pozorovací úhly. [9]

2.4.4 IPS LCD

Díky klesající ceně se stávají In-Plane Switching technologie alternativou TN LCD. Podobně jako u TN technologie jsou tekuté krystaly stočeny do šroubovice s natočením direktoru o 90° , avšak elektrody nejsou umístěny ve vrstvách nad sebou, ale v rovině (viz Obr. 23). V neseprnutém stavu jsou tekuté krystaly v několika rovinách, polarizované světlo tak není vůbec stáčeno a pohlceno analyzátozem. Až po přivedení elektrického proudu jsou krystaly displeje stočeny do šroubovice. Při poruše tranzistoru subpixelu se daný subpixel jeví jako tmavý. Působí tak méně rušivě než vadný subpixel TN LCD. Výhodou jsou větší pozorovací úhly a vylepšené podání barev. [9]

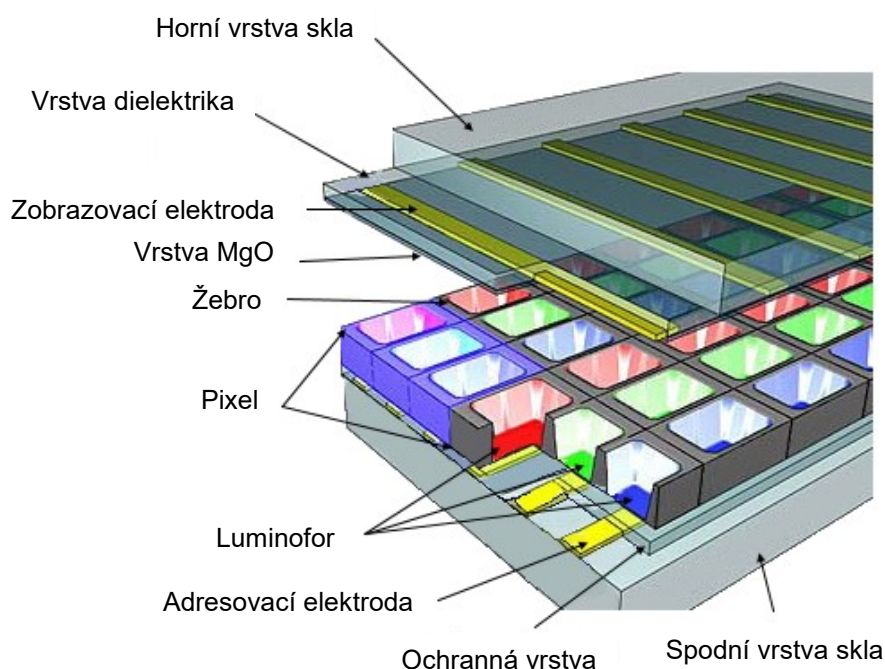
2.5 Plazmové displeje

Plazmové displeje jsou ploché zobrazovací zařízení, odvozené od technologie využívající malé buňky s elektricky nabitými částicemi. Plazma bývá často nazývána čtvrtým skupenstvím, jelikož se skládá z iontů a elementárních částic a nelze ji tak zařadit mezi pevné látky, kapaliny ani plyny. [13]

V klidovém stavu se v těchto displejích nachází směs vzácných plynů (argon, neon, xenon), do které se pustí elektrický proud a dojde ke vzniku volných elektronů. Srážky mezi elektrony a částicemi plynu způsobí, že některé atomy plynu ztratí své elektrony a dochází ke vzniku kladně nabitých iontů. Vzniká tak plazma a elektrony. Ve vytvořeném elektrickém poli, se jednotlivé nabitě částice pohybují ke svým opačným pólům (plynové ionty k záporně a elektrony ke kladně nabitému pólu). V plazmě tedy dochází k velkému počtu pohybů, až začne docházet ke srážení částic. To způsobí, že se plynové ionty dostávají do excitovaného stavu a dojde k uvolnění fotonu, tedy světla. Energie fotonu je však tak velká,

že je vyzářena ve formě ultrafialového záření, které je lidskému oku neviditelné. Proto je každá obrazovka zevnitř pokrytá vrstvou luminoforu, který způsobuje, že po vstřebání ultrafialového záření dojde k vyzáření viditelného světla. Z toho vyplývá, že plazmové displeje jsou aktivní a své světlo samy vyzařují. [13]

Celý displej je tvořen maticí fluorescentních buněk (pixelů), které jsou ovládány elektrodami (viz Obr. 26). Buňky jsou uzavřeny mezi dvěma tenkými skleněnými tabulkami. Adresovací elektroda je umístěna na zadní stěně buňky, dvě transparentní zobrazovací elektrody leží na přední stěně. Tyto dvě elektrody jsou izolovány a chráněny vrstvou oxidu hořečnatého. U barevných displejů se všechny pixely skládají ze tří subpixelů, z červeného, zeleného a modrého. [13]



Obr. 26: Struktura plazmového displeje. Podle [13].

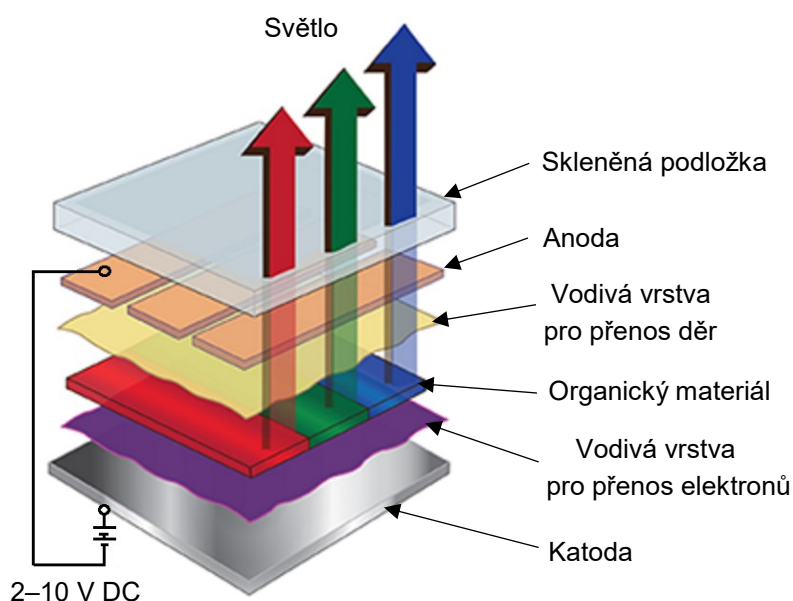
Do obou zobrazovacích elektrod je pouštěno střídavé napětí a poté indukován výboj, který začne ionizovat plyn a vytvářet plazmu. Střídavý proud způsobí změnu polarity. Po vzniku plazmy získají nabitě částice díky elektrickému poli kinetickou energii a naráží do sebe. Vzácné plyny jsou přivedeny do excitovaného stavu a po návratu elektronu do svého orbitalu uvolní ultrafialové záření. Pak excitují i atomy luminoforu, které uvolní viditelné světlo. V každém pixelu jsou tři různé luminofory, jejichž kombinací vzniká výsledná barva. Intenzita každého subpixelu je dána počtem a šířkou napěťových pulsů, které dostává buňka během každého snímku. [13]

Protože plazma displeje samy vyzařují světlo, mají vynikající pozorovací úhly, a lze je tak vyrábět s velkou úhlopříčkou. Méně kvalitní displeje mají problémy s kontrastem. Důvodem je to, že napětí mezi zobrazovacími elektrodami je udržováno pod prahem ionizace, aby měla obrazovka dostatečně rychlou odezvu. Avšak k minimální ionizaci dochází i bez napětí na adresovací elektrodě, což omezuje schopnost zobrazit nejtmaší odstíny a tím snižuje kontrast. Dalším problémem je neschopnost dokonale zobrazovat stupnici šedi. V tmavých scénách se barvy blízké černé slévají v jednu a přechody nejsou zcela plynulé. Nevhodnost plazma displejů pro použití s počítači je dána roztečí bodů, která zatím není

menší než 0,3 mm. Další problém nastává s tzv. paměťovým efektem, a je tak nutná častější změna obrazu. Proto je stále nejlepší využití těchto obrazovek jako HD TV a pro prezentační účely. [13]

2.6 OLED displeje

Jedna z nejnovějších zobrazovacích technologií jsou právě OLED (Organic Light Emitting Diode) displeje využívající principu organických elektroluminiscenčních diod. Vrstva organické látky je vložena mezi několik vrstev, na jedné straně je to katoda a na druhé straně anoda. Katoda přivádí přes vodivou vrstvu do organické látky elektrony a anoda přivádí přes vodivou vrstvu k organické látce „díry“ (viz Obr. 27). Díky tomuto procesu bude docházet k emisi fotonů. [10]



Obr. 27: Struktura OLED displeje. Podle [13].

Volný elektron při nárazu do jiného elektronu atomu organické látky předá elektronu svoji energii. Energie poslouží k přesunu elektronu z valenční vrstvy atomu do energetické hladiny vodivosti. Elektron však nemá dostatek energie, aby v této energetické hladině setrval. Po krátké chvíli přeskóčí zpět do valenční vrstvy, přičemž dojde k vyzaření fotonu. Takto vznikne světelné záření displeje. Intenzitu vyzařování lze měnit velikostí proudu mezi jednotlivými elektrodami. Abychom vytvořili jednotlivé barvy vyzařovaného světla z organické látky, je třeba látku chemicky upravit. Výhodou těchto látek je jednoduché nanesení a také to, že po nanesení zůstává látka stále pružná, je tak možné vyrábět pružné a průhledné displeje. [10]

Řízení displeje je pomocí pasivní matice jednotlivých elektrod. Od toho nesou tyto displeje název PMOLED (Passive Matrix OLED). Displeje AMOLED (Active Matrix OLED) s aktivní maticí elektrod se používají u grafických displejů. Tato technologie je mnohem složitější a tedy i nákladnější. V dnešní době se již s technologií OLED začínají objevovat i televize s vysokým rozlišením. Výhodou této technologie je plná barevná škála, rychlá odezva, vysoký jas a kontrast, nízké provozní napětí a velmi široký zobrazovací úhel. Nevýhodou barevných displejů je to, že materiály pro různé barvy stárnou jinak a díky tomu dochází ke změně barevného podání. [10]

2.7 Srovnání jednotlivých technologií

Každá výše zmíněná technologie má svá pozitiva a hodí se pro různorodé využití. Výběr technologie u televizí je dosti subjektivní a pro každého je podstatná jiná vlastnost. Obecně platí, že plazmové televize poskytují sytější a přirozenější barvy, avšak na úkor kratší životnosti, kdy dochází k vypalování bodů. Výhodou jsou také velké pozorovací úhly. U LCD displejů je povrchová vrstva plastová a ne skleněná jako u plazmových obrazů, což způsobuje méně realistický obraz. Navíc při změnách pozorovacích úhlů dochází ke změně kvality obrazu. Nedostatkem je také pomalejší odezva a tím horší zpracování pohybových scén. Výhodou je lepší regulace intenzity jasu obrazu a nedochází k odrazení odlesků umělého osvětlení. V dnešní době se vlastnosti OLED displejů podobají vlastnostem plazmových displejů, navíc jsou ještě užší. Jedná se o nejvyspělejší stupeň displejů, jehož nevýhodou je vysoká cena (viz Tab. 5).

Při výběru displeje pro monitory PC nebo notebooku je vhodné si uvědomit, které aktivity jsou nejčastěji provozovány. Při klasické kancelářské práci technologie není úplně rozhodující, důležitější je se zaměřit na úhlopříčku a správně nastavený úhel displeje. Pro sledování videa nebo hraní her jsou vhodné displeje s krátkou dobou odezvy, což splňují LCD displeje s TN technologií. Pro zpracování grafiky však LCD displeje nejsou úplně vhodné, jelikož je zobrazení nepřesné. Nejvhodnější variantou je IPS technologie nebo výběr displeje s vysokou hodnotou PPI. IPS technologie jsou využívány i v mobilních telefonech, jelikož kombinují kvalitní barevné podání, velké pozorovací úhly, vysoký kontrast a rychlé odezvy.

Tab. 5: Výhody a nevýhody jednotlivých technologií.

	CRT	LCD	Plazma	OLED
Výhody	+ kvalita obrazu + podání barev + cena	+ spotřeba + rozměr + jas	+ pozorovací úhly + velké úhlopříčky + podání barev	+ pozorovací úhly + podání barev + jas
Nevýhody	– magnetizace – spotřeba – rozměry a váha	– pozorovací úhly – podání barev – vadné pixely	– kontrast – vypalování bodů – spotřeba	– životnost – cena

2.8 Technické a legislativní požadavky na displeje

Jako každé elektronické zařízení, musí i displeje splňovat určité požadavky. Obecně musí obrazovky a displeje splňovat následující:

1. *Všechny výrobky musí splňovat požadavky Zákona č. 22/1997 o technických požadavcích na výrobky. [27]*
2. *Všechny výrobky musí splňovat požadavky Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/95/ES ze dne 27. ledna 2003 o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních (RoHS Directive) transponované Zákonem č. 185/2001 o odpadech. [27]*

Například podsvícení LCD monitorů nesmí obsahovat v průměru více než 3,5 mg rtuti na lampu, avšak tato podmínka se nevztahuje na monitory nebo obrazovky s úhlopříčkou delší než 101 cm. [27]

3. *ČSN ISO 80416-4 – Základní pravidla pro grafické značky pro použití na předmětech – Část 4: Směrnice pro přizpůsobení grafických značek k použití na obrazovkách a displejích (ikony).* [25]

Tato norma se v několika částech zaměřuje na základní pravidla používaná při tvorbě grafických značek, včetně tloušťky čar, tvaru a užití šipek, negačních prvků, a použití základního obrazce, které slouží jako návod pro tvorbu grafických značek. [25]

4. *ČSN EN ISO 9241-391 – Ergonomie systémových interakcí člověka - Část 391: Požadavky, analýza a zkušební metody pro prokázání shody pro omezení negativních účinků fotosenzitivity.* [25]

Tato norma stanovuje požadavky a doporučení pro snížení záchvatů způsobených fotosenzitivitou, při prohlížení obrázků na elektronických displejích. Požadavky a doporučení v této části slouží k ochraně jedinců, kteří jsou fotosenzitivní a kteří jsou proto náchylní k záchvatům vyvolaných blikajícími světly a pravidelnými vzory, včetně opakujících se obrazů. [25]

5. *ČSN EN ISO 9241-300 – Ergonomie systémových interakcí člověka - Část 300: Úvod k požadavkům na elektronické zobrazovací displeje.* [25]

Norma stanovuje požadavky na ergonomické navrhování elektronických zobrazovacích displejů. Tyto požadavky jsou stanoveny jako výkonové specifikace zaměřené na zajištění vhodných podmínek zobrazení pro uživatele s normálním nebo přizpůsobeným zrakem. [25]

6. *ČSN EN ISO 9241-302 – Ergonomie systémových interakcí člověka – Část 302: Terminologie pro elektronické zobrazovací displeje.* [25]

Poskytuje komplexní terminologii pro elektronické zobrazovací displeje a vysvětluje pojmy a definice používané v ostatních částech ČSN EN ISO 9241. [25]

7. *ČSN EN ISO 9241-303 – Ergonomie systémových interakcí člověka – Část 303: Požadavky na elektronické zobrazovací displeje.* [25]

Tato část stanovuje požadavky na kvalitu zobrazení elektronických displejů a poskytuje pro to příslušná vodítka. Ta jsou uvedena ve formě všeobecně použitelných (nezávislých na technologii) výkonových specifikací a doporučení, které zaručí efektivní a komfortní podmínky zobrazení.

Nezahrnuje však problémy týkající se dostupnosti pro osoby s postižením, avšak bere v úvahu zrak starších osob a může být použita odborníky, kteří se zabývají zhoršením zraku v určitých podmínkách. [25]

8. *ČSN EN ISO 9241-304 – Ergonomie systémových interakcí člověka - Část 304: Zkušební metody uživatelské výkonnosti pro elektronické zobrazovací displeje.* [25]

Norma zajišťuje, aby displej splňoval minimální vizuální požadavky na ergonomii. To se však vztahuje pouze na vizuální atributy a není řešena ergonomie nebo použitelnost celého výrobku, který poskytuje vizuální zobrazení. [25]

9. *ČSN EN ISO 9241-305 – Ergonomie systémových interakcí člověka – Část 305: Optické laboratorní zkušební metody pro elektronické zobrazovací displeje.* [25]

V této normě jsou stanoveny optické zkušební a expertní pozorovací metody pro použití k predikci výkonnosti displeje. [25]

10. *ČSN EN ISO 9241-306 – Ergonomie systémových interakcí člověka - Část 306: Terénní hodnotící metody pro elektronické zobrazovací displeje.* [25]

Norma stanovuje optické, geometrické a vizuální metody pro kontrolu a posouzení displejů v různých kontextech užívání. [25]

11. *ČSN EN ISO 9241-307 – Ergonomie systémových interakcí člověka – Část 307: Analýza a ověřovací zkušební metody pro elektronické zobrazovací displeje.* [25]

Tato norma zavádí zkušební metody pro analýzu různých zobrazovacích technologií. Využívá postupy měření ČSN EN ISO 9241-305 a obecné požadavky normy ČSN EN ISO 9241-303. [25]

2.8.1 Zdravotnické displeje

Zdravotnické displeje se nejčastěji používají pro určování diagnóz, sledování průběhu operace, mamografické nebo náhledové displeje pro posouzení diagnóz, ale také pro komunikaci mezi zdravotnickým personálem. Převážně se dnes používají LCD displeje s minimálním rozlišením XGA 1024 × 768 po UHD (4K) 3840 × 2160 (viz Tab. 6). Běžné monitory nelze ve zdravotnictví použít, jelikož musí splňovat řadu parametrů, které klasické displeje nesplňují. Součástí musí být speciální video vstupy pro připojení lékařských přístrojů (C-Video, S-Video) a krytí čelního panelu IP65 (prachotěsný a chráněný před jakoukoliv pomůckou a chráněný proti vodním proudům – voda míří 6,3mm tryskou ve všech úhlech při průtoku 12,5 l/min při tlaku 30 kN/m² po dobu 3 minut ze vzdálenosti 3 metry). Nutná je absolutní stabilita obrazu a barevného podání a automatické kalibrace dle DICOM. Dále musí diagnostické zdravotnické displeje splňovat certifikace Medical Device Directive (CE-MDD), pro nejnáročnější použití ve zdravotnictví. Musí být zdravotně nezávadné, z materiálu na bázi silikonu, odolné vůči dezinfekčním prostředkům a snadno omyvatelné. Z hlediska zobrazení informace jsou zdravotnické displeje schopny zobrazit informace s vysokou přesností a ostrostí obrazu, navíc je nutný antireflexní potah proti odrazům vnějšího osvětlení. Gamma funkce rozlišuje monochromatické a barevné obrazy a dokáže je zobrazit vždy v optimálním jasu. Na rozdíl od běžných displejů, dosahují zdravotnické displeje jasu minimálně 400 cd·m⁻². Důležitým parametrem je také to, že zdravotnické displeje mají uzavřenou řídicí smyčku, která udržuje stabilní maximální jas od

studeného startu až k úplnému zahřátí (u CCFL technologií může trvat zahřátí až 2 hodiny). Proto je na zadní straně displeje poblíž vstupního zdroje namontováno zařízení, které monitoruje jas. Skutečný výstup je porovnán s požadovanou špičkovou hodnotou a pro řídicí obvod je generován korekční signál. Časté bývá zobrazení dvou obrazů na jednom monitoru ze dvou rozdílných zdrojů. [26][36][39]

Tab. 6: Doporučené parametry displeje pro různá oddělení. Podle [39].

Oddělení/přístroj	Velikost displeje v palcích	Minimální rozlišení
PET	19,0–20,1	1600 × 1200
MRI/CT	19,0–20,8	1536 × 2048
Mamografie	21,3	2048 × 2560
Ultrazvuk	18,0–19,0	1280 × 1024
Radiologie	20,8–21,3	1536 × 2048

1. ČSN EN 60601-1-2 ED. 2 – Zdravotnické elektrické přístroje. Část 1-2: Všeobecné požadavky na bezpečnost. [25]

Všeobecné normy jsou platné pro zdravotnické elektrické přístroje, pro které určují specifické vlastnosti. Kromě toho je rozšířen rozsah platnosti mimo zdravotnické elektrické přístroje i na zdravotnické elektrické systémy. Norma se vztahuje k základním definicím, bezpečnosti, nezbytné funkčnosti a procesům řízení rizik. [25]

2. ČSN EN 60601-1-2 ED. 2 – Zdravotnické elektrické přístroje - Část 1-2: Všeobecné požadavky na základní bezpečnost a nezbytnou funkčnost - Skupinová norma: Elektromagnetická kompatibilita - Požadavky a zkoušky. [25]

Předmět této skupinové normy specifikuje všeobecné požadavky a zkoušky elektromagnetické kompatibility zdravotnických elektrických přístrojů a zdravotnických elektrických systémů. Jsou doplňujícími požadavky všeobecné normy, slouží jako základní požadavky zvláštních norem. [25]

3. ČSN EN 60601-1-2 ED. 3 – Zdravotnické elektrické přístroje - Část 1-2: Obecné požadavky na základní bezpečnost a nezbytnou funkčnost - Skupinová norma: Elektromagnetická rušení - Požadavky a zkoušky. [25]

Norma stanovuje základní bezpečnost a nezbytnou funkčnost zdravotnických elektrických přístrojů a zdravotnických elektrických systémů v přítomnosti elektromagnetických rušení a pro elektromagnetická rušení vyzařovaná těmito přístroji a systémy. Specifikuje zkušební úroveň odolnosti pro bezpečnost zdravotnických elektrických přístrojů a systémů určených svým výrobcem pro použití v prostředí profesionálních zdravotnických zařízení. [25]

Výrobci zdravotnických displejů mohou získat certifikaci CE, při splnění výše uvedených požadavků. Jedná se o nezávislé ověření posouzení shody výrobku s požadavky příslušných nařízení vlády: CE 0120 (MDD 93/42/EEC), třída II – Directive of Medical Devices (Směrnice lékařských zařízení) nebo CE 2014/30/EU – Electromagnetic Compatibility (Elektromagnetická kompatibilita). [26][36][25]

3 Popis řešení

Cílem bakalářské práce je určení vhodné pozorovací vzdálenosti vzhledem k prováděným činnostem pro zdravé oči. V první části jsou výpočty provedené pro určení maximální vzdálenosti při práci s displejem počítače nebo notebooku, kdy není třeba vidět obraz jako jednolitý celek, ale je potřeba rozlišit jednotlivé pixely (práce s grafickými programy). Ve druhé části je proveden výpočet pro zpracování textu, kdy je potřeba rozlišit písmena (zpracování textu, obsluha mobilního telefonu). Ve třetí části jsou provedeny výpočty jak pro displeje počítačů nebo notebooků, tak pro televize s cílem určit rozsah minimální a maximální vzdálenosti pro sledování filmů a pořadů právě tak, aby oko nebylo schopno rozlišit jednotlivé pixely a nedocházelo k narušení komfortu při sledování displeje (obraz dopadal do nejostřejšího místa vidění). Všechny výpočty platí při 100% zobrazení. Dále jsou provedeny výpočty pro krátkozraké a dalekozraké oči, které slouží spíše pro zajímavost, jelikož při velkých dioptrických vadách jsou výsledné vzdálenosti nereálné a je nutné použít korekční pomůcky. V poslední části je provedeno porovnání vypočtených hodnot s hodnotami udávanými výrobci.

3.1 Vstupní parametry

Vstupní parametry, které je potřeba znát pro určení vhodné pozorovací vzdálenosti jsou tyto: velikost úhlopříčky, rozlišení daného displeje a také pozorovací úhel. Pozorovací úhel byl zvolen vertikální, který je z hlediska pozorování displeje využíván více. Především při práci s textem využívá oko hlavně vertikální úhel. Při provedení výpočtů pomocí horizontálních úhlů, byly výsledné vzdálenosti příliš velké, v běžných prostorách neuskutečnitelné a některé detaily by se jevily jako rozmazané nebo by okem nebyly vůbec zaznamenány.

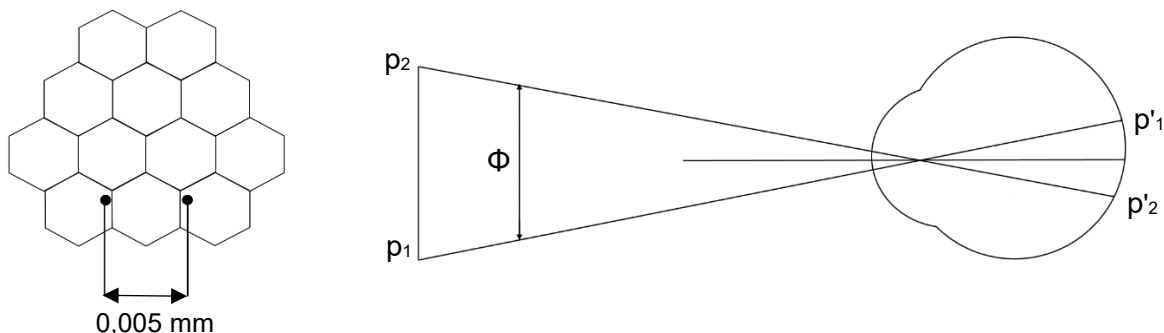
3.2 Určení vzdáleností pro zpracování grafiky

Pokud je potřeba rozlišení jednotlivých pixelů, například při práci s různorodými grafickými programy, je nutné najít takový rozsah vzdáleností, kdy od sebe oko dokáže rozeznat dva co nejbližší ležící body (pixely). Určení minimální vzdálenosti je velmi individuální a závislé především na věku jedince. Jak už bylo zmíněno dříve, jedná se o tzv. blízký bod (*punctum proximum*). Je to nejbližší bod, který vidí oko ostře při maximální akomodaci. Stářím klesá elasticita čočky, tedy i akomodační schopnost a blízký bod se vzdaluje (viz Tab. 7).

Tab. 7: Průměrná poloha blízkého bodu v závislosti na věku. Podle [7].

Věk (roky)	Vzdálenost blízkého bodu (cm)
10	7,1
15	8,3
20	10,0
25	11,8
30	14,3
35	18,2
40	22,2
45	28,6
50	40,0
55	66,6
60	100,0

Maximální vzdálenost je pak možné určit v případě, že je znám maximální úhel, pod kterým lze rozlišit dva vedle sebe ležící body. Tyto body lze vzájemně odlišit pouze tehdy, pokud je na sítnici mezi jejich obrazy, alespoň jeden světlem nezasažený čípek (viz Obr. 28). Průměr čípku je asi 0,005 mm, vzdálenost sítnice od obrazového uzlového bodu oka je 17 mm. Úhlová vzdálenost dvou ještě rozlišitelných bodů, tedy *minimum separabile* lze odvodit ze vzorce (2). Podle [7].

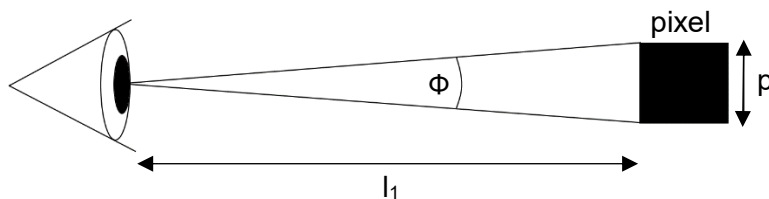


Obr. 28: Rozlišovací mez oka, velikost jednoho světlem nezasaženého čípku (vlevo). Dva pixely p_1, p_2 od sebe vzdálené l' , tvoří na sítnici obrazy p'_1, p'_2 a oko je od sebe dokáže rozlišit. Podle [7].

$$\Phi = \frac{d}{l} = \frac{0,005}{17} = 0,0003 \text{ rad} = 1' \quad (2)$$

kde: d – průměr čípku v mm
 l – vzdálenost sítnice od obrazového uzlového bodu oka v mm
 Φ – *minimum separabile* v jednotkách radián nebo úhlová minuta

Pro odvození vzorce pro výpočet maximální vzdálenosti je kromě Φ dále nutné znát úhlopříčku displeje v centimetrech u , horizontální rozlišení x a vertikální rozlišení y .



Obr. 29: Schéma pro výpočet maximální vzdálenosti pro rozlišení pixelů, l_1 je hledaná vzdálenost, Φ je *minimum separabile* a p je velikost strany pixelu.

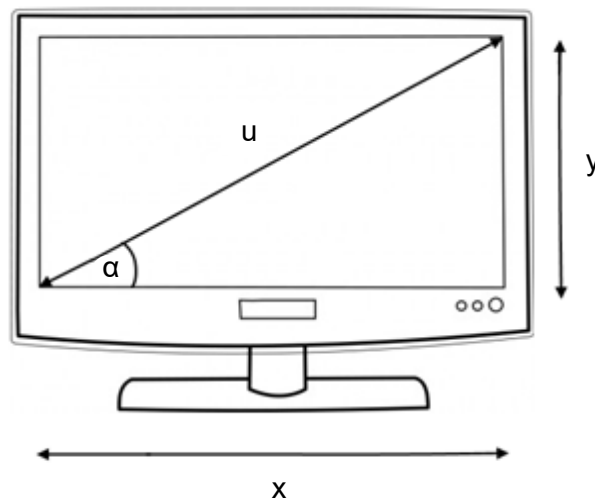
Vzhledem k malé velikosti pixelu, lze vyjádřit vzdálenost l_1 (viz Obr. 29.) pomocí obloukové míry. Velikost rovinného úhlu v radiánech je pak definována jako poměr délky oblouku kružnice, vyřátého rameny úhlu k poloměru kružnice dle vzorce (3) a vzdálenost l_1 je odvozena pomocí vzorce (4).

$$\Phi = \frac{p}{l_1} \quad (3)$$

$$l_1 = \frac{p}{\Phi} \quad (4)$$

kde: l_1 – je hledaná vzdálenost v cm
 p – velikost strany pixelu v cm
 Φ – úhlová vzdálenost dvou ještě rozlišitelných bodů, rovnající se jedné úhlové minutě

Jelikož je velikost strany pixelu p u každého displeje proměnná je nutné ji vypočítat (dle Obr. 30). K výpočtu velikosti p lze použít goniometrickou funkci sinus, viz vzorec (5).



Obr. 30: Schéma displeje se zakreslenými parametry.

$$\sin \alpha = \frac{y \cdot p}{u} \quad (5)$$

Úpravou zlomku získáme vzorec pro výpočet velikosti strany pixelu p , viz vzorec (6).

$$p = \frac{u \cdot \sin \alpha}{y} \quad (6)$$

kde: p – velikost strany pixelu v cm
 u – úhlopříčka displeje v cm
 y – vertikální rozlišení displeje
 α – úhel, který svírá úhlopříčka s horizontální stranou displeje ve stupních

Velikost $\sin \alpha$ lze určit kombinací goniometrické funkce a Pythagorovy věty dle vzorce (7).

$$\sin \alpha = \frac{y}{u_p} = \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (7)$$

kde: u_p – počet pixelů v úhlopříčce
 x – horizontální rozlišení displeje
 y – vertikální rozlišení displeje
 α – úhel, který svírá úhlopříčka s horizontální stranou displeje ve stupních

Po dosazení proměnných za $\sin \alpha$ vypadá vzorec pro výpočet velikosti strany pixelu p podle vzorce (8).

$$p = \frac{u \cdot \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}}}{y} = \frac{u}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (8)$$

kde: p – velikost strany pixelu v cm
 u – úhlopříčka displeje v cm
 x – horizontální rozlišení displeje
 y – vertikální rozlišení displeje

Pro výpočet vzdálenosti l_1 je potřeba dosadit do vzorce (4), vzorec pro výpočet velikost pixelu p , viz vzorec (9).

$$l_1 = \frac{p}{\Phi} = \frac{u}{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \Phi} \quad (9)$$

kde: l_1 – je hledaná vzdálenost v cm
 p – velikost strany pixelu v cm
 u – úhlopříčka displeje v cm
 x – horizontální rozlišení displeje
 y – vertikální rozlišení displeje
 Φ – úhlová vzdálenost dvou ještě rozlišitelných bodů, rovnající se jedné úhlové minutě

Do výsledného vzorce (9) nakonec zbývá dosadit za Φ velikost $1'$, což se rovná $1/60$ úhlu. Avšak je potřeba tento úhel vynásobit $180/\pi$, aby byl převeden ze stupňové míry na radiány, viz vzorec (10).

$$l_1 = \frac{u}{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \left(\frac{1}{60} \cdot \frac{\pi}{180}\right)} \quad (10)$$

kde: l_1 – je hledaná vzdálenost v cm
 u – úhlopříčka displeje v cm
 x – horizontální rozlišení displeje
 y – vertikální rozlišení displeje
 Φ – úhlová vzdálenost dvou ještě rozlišitelných bodů, rovnající se jedné úhlové minutě

Příklad výpočtu pro zpracování grafiky:

- Určení maximální vzdálenosti displeje mobilního telefonu s úhlopříčkou 13,2 cm a s rozlišením 1280×720 , kdy je ještě oko schopno od sebe rozeznat dva pixely při 100% zobrazení, viz vzorec (11).

$$l_1 = \frac{u}{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \Phi} = \frac{13,2}{\sqrt{1280^2 + 720^2} \cdot \left(\frac{1}{60} \cdot \frac{\pi}{180}\right)} = 30,9 \text{ cm} \quad (11)$$

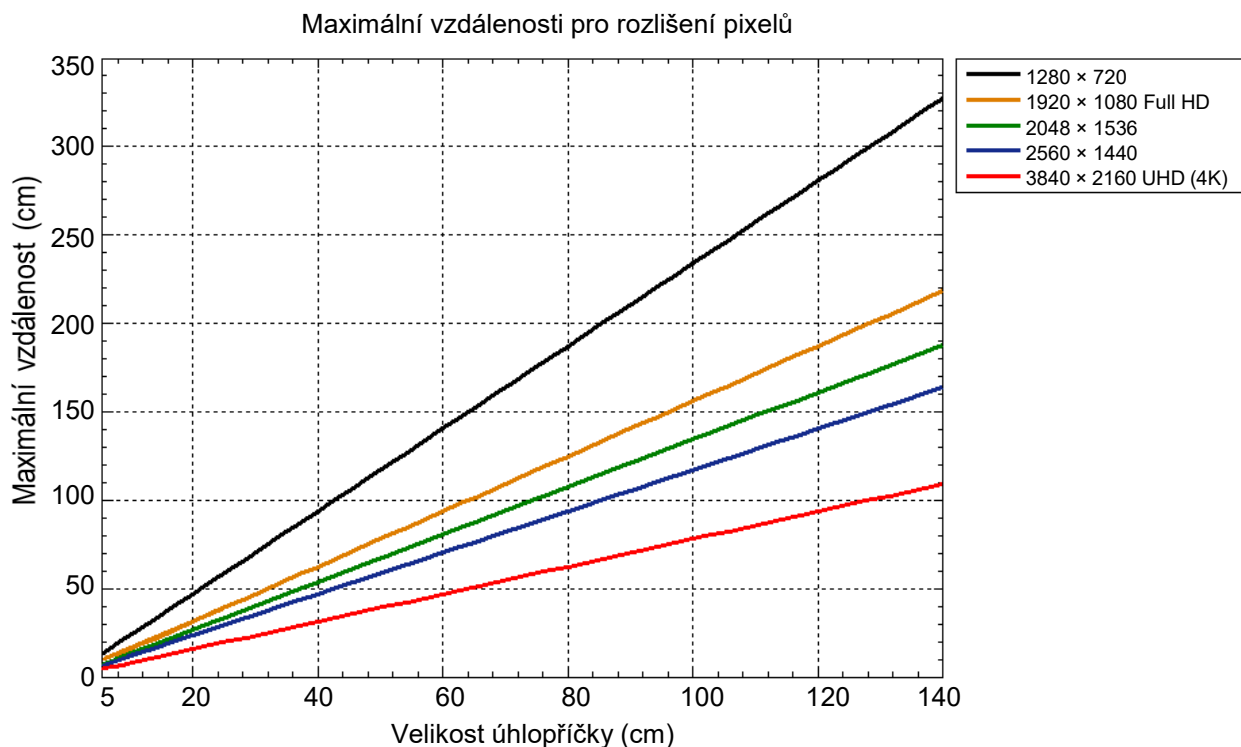
- Určení maximální vzdálenosti displeje notebooku s úhlopříčkou 39,6 cm a s rozlišením 1366×768 , kdy je ještě oko schopno od sebe rozeznat dva pixely při 100% zobrazení, viz vzorec (12).

$$l_1 = \frac{u}{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \Phi} = \frac{39,6}{\sqrt{1366^2 + 768^2} \cdot \left(\frac{1}{60} \cdot \frac{\pi}{180}\right)} = 86,9 \text{ cm} \quad (12)$$

- Určení maximální vzdálenosti displeje počítače s úhlopříčkou 61,5 cm a s rozlišením 1920×1200 , kdy je oko ještě schopno od sebe rozeznat dva pixely při 100% zobrazení, viz vzorec (13).

$$l_1 = \frac{u}{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \Phi} = \frac{61,5}{\sqrt{1920^2 + 1200^2} \cdot \left(\frac{1}{60} \cdot \frac{\pi}{180}\right)} = 93,4 \text{ cm} \quad (13)$$

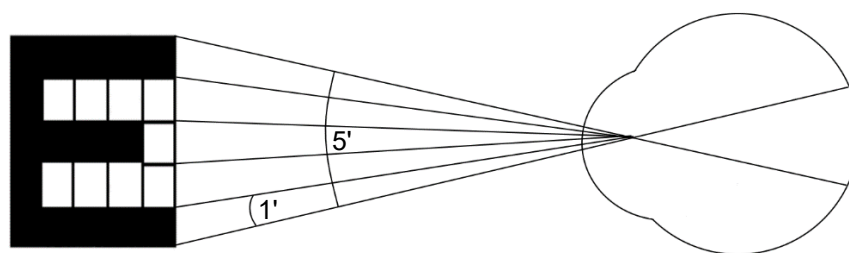
- kde:
- l_1 – je hledaná vzdálenost v cm
 - u – úhlopříčka displeje v cm
 - x – horizontální rozlišení displeje
 - y – vertikální rozlišení displeje
 - Φ – úhlová vzdálenost dvou ještě rozlišitelných bodů, rovnající se jedné úhlové minutě



Obr. 31: Zobrazení maximální vzdálenosti pro rozlišení pixelů v závislosti na velikosti úhlopříčky pro vybrané druhy rozlišení.

3.3 Určení vzdáleností pro zpracování textu

Při práci s textem je důležité, aby bylo oko schopno zaznamenat písmeno. Minimální vzdálenost je jako v předchozím případě dána vzdáleností *punctum proximum* a také je závislá na věku uživatele. Maximální vzdálenost je dle Snellena t_a , pokud písmeno dopadá do oka pod úhlem 5 úhlových minut (viz Obr. 32). Tato hodnota je však hraniční, vhodná pro krátkou dobu trvající diagnostické účely. Pro dlouhodobé využití je určen úhel 20 úhlových minut. [36]



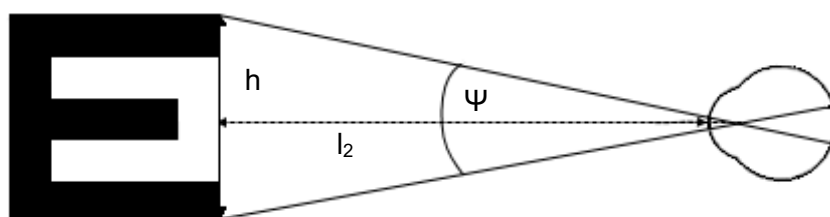
Obr. 32: Úhel, pod kterým dopadá do oka jednotlivé písmeno dle Snellena. Podle [7].

Obecný vzorec je pak odvozen pomocí funkce tangens, nutné je pro určení výpočtu znát velikost písmena (dle Obr. 33). Tuto informaci lze získat pomocí převodu kdy body (points) převedeme na cm. Jednotlivé písmeno může být dle rozlišení složeno z různého počtu pixelů, což však nemá vliv na výpočet, jelikož velikost v cm by měla být vždy stejná. Uvedené výpočty jsou provedeny pro font Arial systému Windows. Tyto velikosti mohou být u ostatních systému nebo fontů definovány jako menší při stejném číselném rozlišení a výsledná vzdálenost se může mírně lišit. Daná velikost písma zahrnuje

malá a velká písmena, akcentovou linii (diakritiku), horní dotažnici (písmena b, d, f, h, k, l,) i spodní dotažnici (písmena g, j, p, q, y). V minulosti, kdy převažovaly tištěné zdroje, se pro definici bodu písma používala 1/72 palce. V dnešní době je jeden bod písma definován jako 1/100 palce, viz vzorec (14). Velikost písma 11 bodů by tak měla mít velikost při 100% zobrazení 0,3 cm ($11 \cdot 0,0254 \text{ cm} = 0,3 \text{ cm}$), viz vzorec (14). Velikost písma na mobilních telefonech se průměrně pohybuje kolem velikosti 6 bodů ($6 \cdot 0,0254 \text{ cm} = 0,2 \text{ cm}$), viz vzorec (14). [40]

$$1 \text{ bod (point)} = \frac{1}{100} \text{ palce} = 0,0254 \text{ cm} \quad (14)$$

kde: bod (point) = velikost jednoho bodu písma v počítačové grafice



Obr. 33: Schéma pro výpočet vzdálenosti pro práci s textem, kde Ψ je úhel, pod kterým je písmeno čitelné, l_2 je hledaná vzdálenost a h je výška písma.

Výsledný výpočet je pak odvozen následovně dle vzorce (15).

$$\operatorname{tg} \frac{\Psi}{2} = \frac{h}{2 l_2} \quad (15)$$

kde: h – výška písma v cm
 l_2 – hledaná vzdálenost v cm
 Ψ – úhel čitelnosti písma

Úpravou zlomku lze získat vzorec pro výpočet vzdálenosti l_2 odvozeno ve vzorci (16).

$$l_2 = \frac{h}{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\Psi}{2}} \quad (16)$$

kde: h – výška písma v cm
 l_2 – hledaná vzdálenost v cm
 Ψ – úhel čitelnosti písma

Příklad výpočtu pro práci s textem:

- Určení optimální vzdálenosti displeje mobilního telefonu pro práci s textem, kdy je velikost písma 6 bodů ($6 \cdot 0,0254 \text{ cm} = 0,2 \text{ cm}$) při 100% zobrazení, viz vzorec (17).

$$l_2 = \frac{h}{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\psi}{2}} = \frac{0,2}{\operatorname{tg} \frac{20}{60}} = 34,4 \text{ cm} \quad (17)$$

- Určení optimální vzdálenosti displeje počítače při práci s textem, kdy je velikost písma 11 bodů ($12 \cdot 0,0254 \text{ cm} = 0,4 \text{ cm}$) při 100% zobrazení, viz vzorec (18)

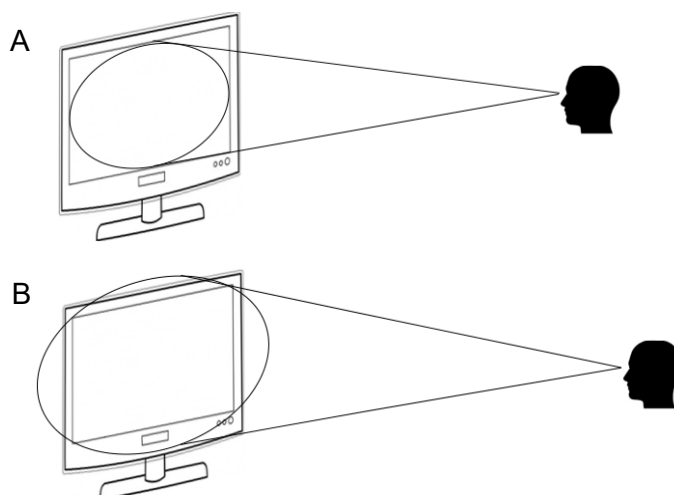
$$l_2 = \frac{h}{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\psi}{2}} = \frac{0,3}{\operatorname{tg} \frac{20}{60}} = 51,6 \text{ cm} \quad (18)$$

kde: h – výška písmena v cm
 l_2 – hledaná vzdálenost v cm
 ψ – úhel čitelnosti písmena

3.4 Určení vzdáleností pro sledování televize

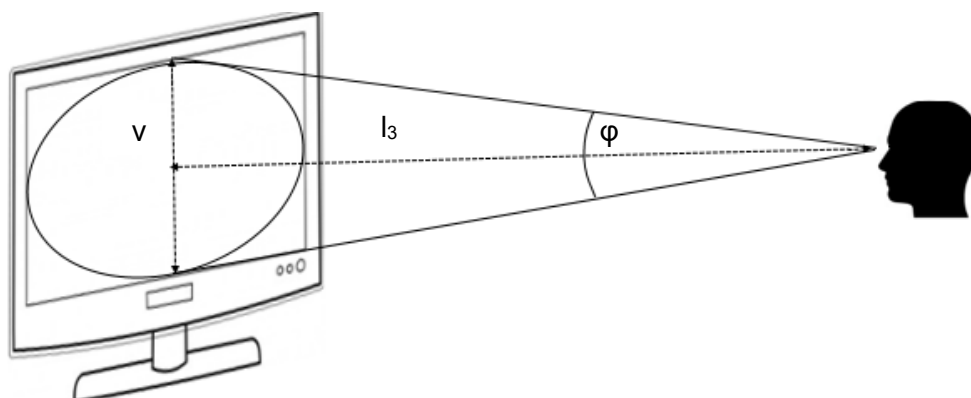
Sledování televize je v dnešní době pro většinu lidí jednou z nejoblíbenějších a nejčastějších činností. Následující vzorec může pomoci při volbě vhodné vzdálenosti vzhledem k velikosti a poměrům stran televize. Vzorec je založen na faktu, že oblast nejostřejšího vidění je ve vertikálním směru $4\text{--}8^\circ$. Určení minimální vzdálenosti je tedy provedeno po dosažení hodnoty úhlu 8° a maximální vzdálenosti po dosažení hodnoty 4° . Dále by minimální vzdálenost měla být větší než maximální vzdálenost pro rozlišení pixelů, což všechny vzdálenosti splňují, a není tak třeba brát ohled na rozlišení, ale na poměry stran tak, aby zorné pole zabíralo většinu displeje.

K výpočtu lze přistupovat dvěma způsoby. První přístup je ten, kdy centrální zorné pole zabírá pouze středovou část obrazovky a nezabírá rohy, viz Obr. 34 varianta A. Druhý způsob je ten, kdy zorné pole zabírá celou obrazovku včetně rohů, ale navíc i okrajové části pozadí, viz Obr. 34 varianta B. Pro výpočet byla vybrána varianta A, z důvodu, že většina důležitých informací se nachází ve středu displeje, zatímco v rozích se nachází pouze nepodstatné informace či pozadí prostředí. Navíc u varianty B by bylo oko zbytečně zatěžováno pozadím za displejem.



Obr. 34: Zorné pole oka zabírá pouze středovou část displeje (varianta A). Zorné pole zabírá celý displej včetně rohů (varianta B).

Následující vzorec je odvozen dle Obr. 35, kdy pozorovatel sedí kolmo k displeji televize a jeho oči jsou v úrovni středu displeje.



Obr. 35: Schéma pro odvození vzorce pro určení vhodné pozorovací vzdálenosti televize. l_3 je hledaná vzdálenost, φ je úhel nejostřejšího vidění a v je výška televize.

Základní vzorec je odvozen pomocí goniometrické funkce tangens a výšky televize dle vzorce (19).

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = \frac{v}{2 \cdot l_3} \quad (19)$$

kde: l_3 – hledaná vzdálenost v cm
 v – výška televize v cm
 φ – pozorovací úhel nabývající hodnot 4–8°

Úpravou zlomku lze získat vzorec pro výpočet vzdálenosti l_3 odvozeno ve vzorci (20).

$$l_3 = \frac{v}{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} \quad (20)$$

kde: l_3 – hledaná vzdálenost v cm
 v – výška televize v cm
 φ – pozorovací úhel nabývající hodnot 4–8°

Velikost výšky v lze vypočítat pomocí poměrů dle vzorce (21).

$$\frac{u}{u_p} = \frac{v}{y} \quad (21)$$

kde: u – velikost úhlopříčky v cm
 u_p – počet pixelů v úhlopříčce
 v – výška televize v cm
 y – vertikální rozlišení displeje

Počet pixelů v úhlopříčce u_p lze vypočítat pomocí Pythagorovy věty odvozené ze vzorce (22).

$$u_p = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (22)$$

kde: u_p – počet pixelů v úhlopříčce
 x – horizontální rozlišení displeje
 y – vertikální rozlišení displeje

Po dosazení do vzorce (22) lze výšku odvodit dle vzorce (23).

$$v = \frac{u \cdot y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (23)$$

kde: u – velikost úhlopříčky v cm
 v – výška televize v cm
 x – horizontální rozlišení displeje
 y – vertikální rozlišení displeje

Pro výpočet vzdálenosti l_3 stačí do základního vzorce (20) dosadit vzorec pro výpočet velikosti výšky v , viz vzorec (24).

$$l_3 = \frac{u \cdot y}{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} \quad (24)$$

kde: l_3 – hledaná vzdálenost v cm
 u – velikost úhlopříčky v cm
 v – výška televize v cm
 x – horizontální rozlišení displeje
 y – vertikální rozlišení displeje
 φ – pozorovací úhel nabývající hodnot 4–8°

Příklad výpočtu pro sledování televize:

- Určení minimální vzdálenosti, vzorec (25) a maximální vzdálenosti, vzorec (26) pro displej mobilního telefonu s úhlopříčkou 13,2 cm a s rozlišením 1280 × 720, kdy oko nedokáže rozlišit jednotlivé pixely a není tak narušen sledovací komfort při 100% zobrazení.

Minimální vzdálenost:

$$l_3 = \frac{u \cdot y}{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} = \frac{13,2 \cdot 720}{\sqrt{1280^2 + 720^2} \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} (4^\circ)} = 46,3 \text{ cm} \quad (25)$$

Maximální vzdálenost:

$$l_3 = \frac{u \cdot y}{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} = \frac{13,2 \cdot 720}{\sqrt{1280^2 + 720^2} \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} (2^\circ)} = 92,7 \text{ cm} \quad (26)$$

- Určení minimální vzdálenosti, vzorec (27) a maximální vzdálenosti, vzorec (28) pro displej notebooku s úhlopříčkou 39,6 cm a s rozlišením 1366 × 768, kdy oko nedokáže rozlišit jednotlivé pixely a není tak narušen sledovací komfort při 100% zobrazení.

Minimální vzdálenost:

$$l_3 = \frac{u \cdot y}{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} = \frac{39,6 \cdot 768}{\sqrt{1366^2 + 768^2} \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} (4^\circ)} = 138,8 \text{ cm} \quad (27)$$

Maximální vzdálenost:

$$l_3 = \frac{u \cdot y}{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} = \frac{39,6 \cdot 768}{\sqrt{1366^2 + 768^2} \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} (2^\circ)} = 277,9 \text{ cm} \quad (28)$$

- Určení minimální vzdálenosti, vzorec (29) a maximální vzdálenosti, vzorec (30) pro displej televize s úhlopříčkou 81 cm a s rozlišením 1920 × 1080, kdy oko nedokáže rozlišit jednotlivé pixely a není tak narušen sledovací komfort při 100% zobrazení.

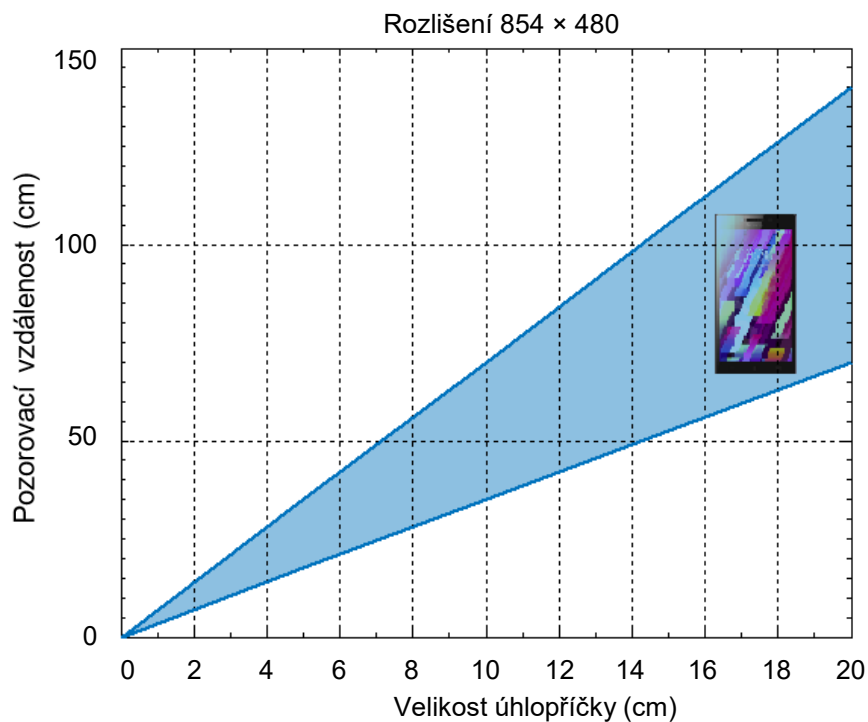
Minimální vzdálenost:

$$l_3 = \frac{u \cdot y}{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} = \frac{81 \cdot 1080}{\sqrt{1920^2 + 1080^2} \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} (4^\circ)} = 283,9 \text{ cm} \quad (29)$$

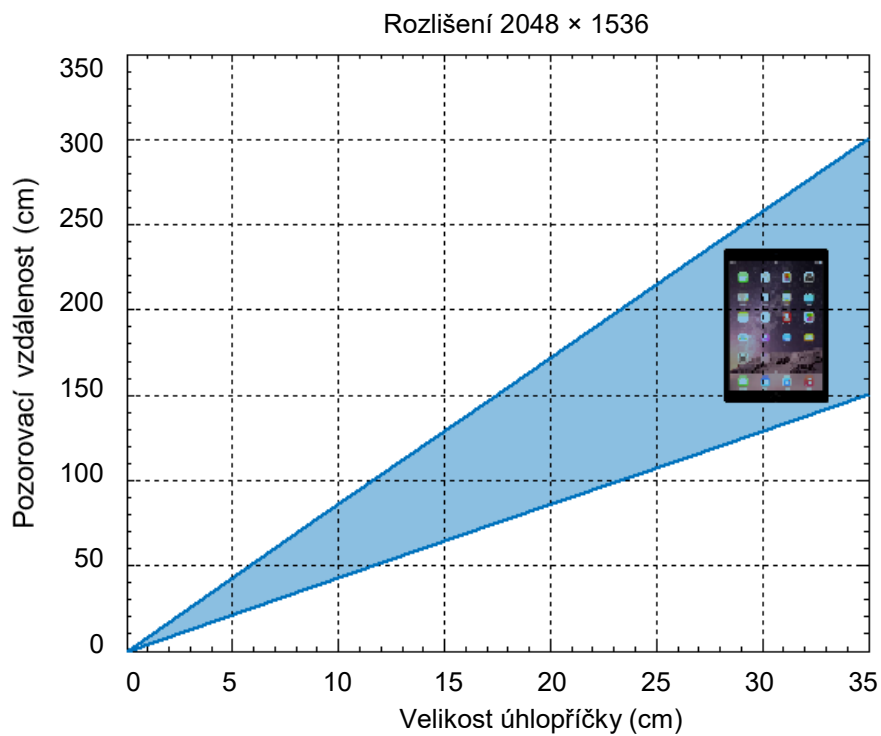
Maximální vzdálenost:

$$l_3 = \frac{u \cdot y}{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} = \frac{81 \cdot 1080}{\sqrt{1920^2 + 1080^2} \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} (2^\circ)} = 568,6 \text{ cm} \quad (30)$$

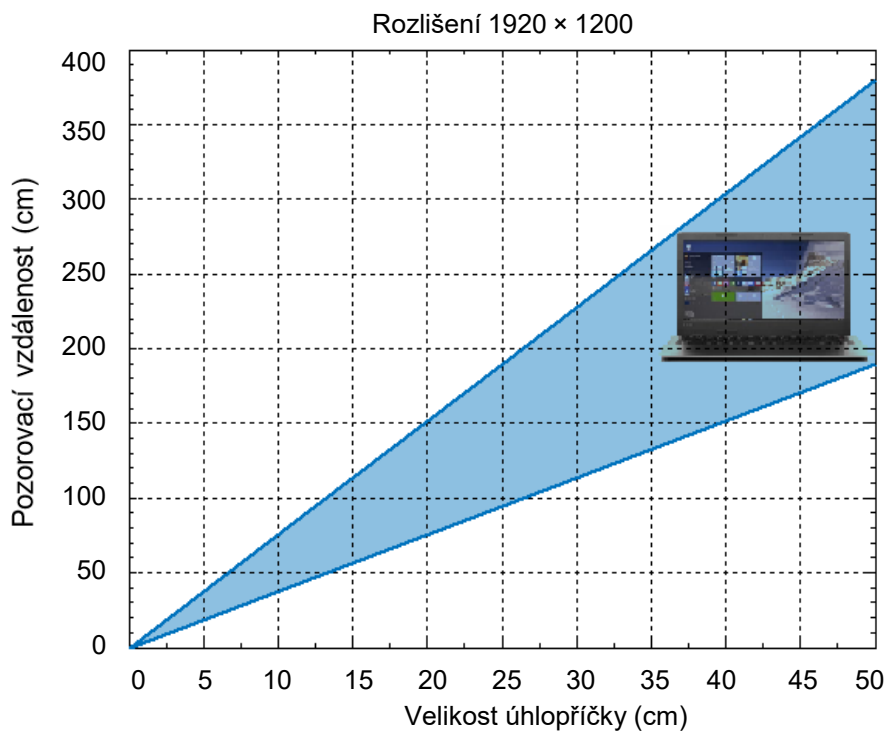
- kde:
- l_3 – hledaná vzdálenost v cm
 - u – velikost úhlopříčky v cm
 - v – výška televize v cm
 - x – horizontální rozlišení displeje
 - y – vertikální rozlišení displeje
 - φ – pozorovací úhel nabývající hodnot 4–8°



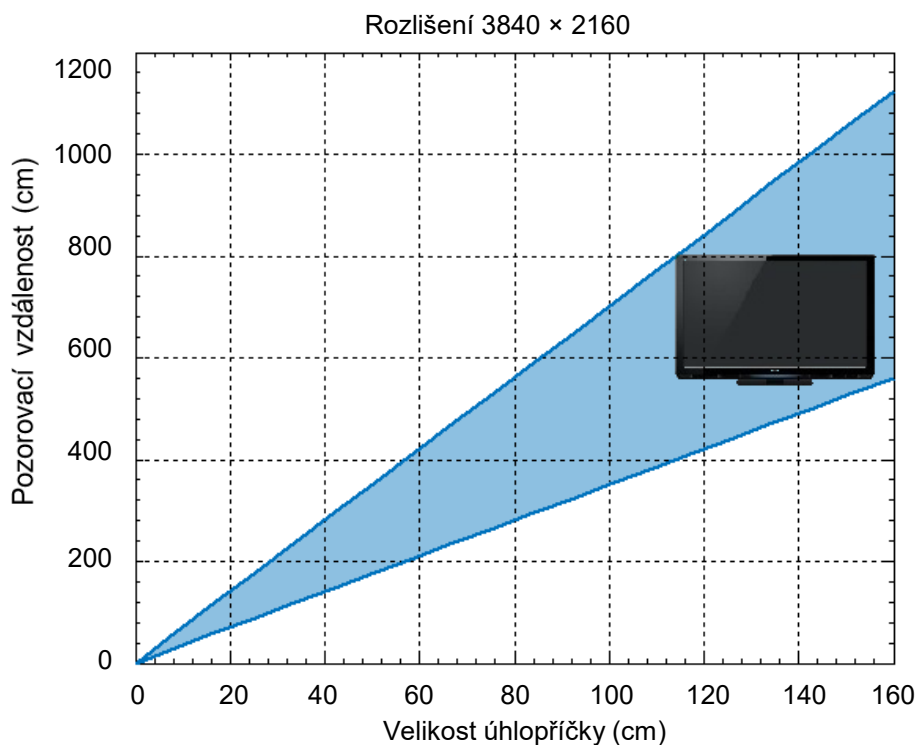
Obr. 36: Graf rozsahů minimálních a maximálních vzdáleností pro sledování displeje mobilního telefonu bez narušení sledovacího komfortu pro rozlišení 854 × 480 při 100% zobrazení.



Obr. 37: Graf rozsahů minimálních a maximálních vzdáleností pro sledování displeje tabletu bez narušení sledovacího komfortu pro rozlišení 2048 × 1536 při 100% zobrazení.



Obr. 38: Graf rozsahů minimálních a maximálních vzdáleností pro sledování displeje notebooku bez narušení sledovacího komfortu pro rozlišení 1920 × 1200 při 100% zobrazení.



Obr. 39: Graf rozsahů minimálních a maximálních vzdáleností pro sledování displeje televizoru bez narušení sledovacího komfortu pro rozlišení 3840 × 2160 při 100% zobrazení.

3.5 Vliv dalekozrakosti a krátkozrakosti na vzdálenost

Dalekozrakost na výsledné vzdálenosti příliš velký vliv nemá. Pouze u příliš krátkých vzdáleností (například v případech u minimální vzdálenosti pro rozlišení jednotlivých pixelů nebo při zpracování textu). Roli může hrát pouze vzdálenost blízkého bodu, který se však přibližně mění s přibývajícím věkem. Výpočet pro dalekozrakost má své limity, jelikož některé vzdálenosti mohou být delší než ruka uživatele a nejsou tím pádem v praxi využitelné, je nutno použít korekčních pomůcek. Krátkozrakost naopak nemá vliv na minimální hodnotu, ale maximální hodnota bude nižší. Také v druhém případě pro sledování displeje bez narušení sledovacího komfortu budou vzdálenosti nižší. Výpočet je tedy proveden tak, že výsledná vzdálenost pro krátkozrakost je vynásobena Snellenovým zlomkem (viz Tab. 8) a pro dalekozrakost vydělena Snellenovým zlomkem (viz Tab. 9).

Snellenův zlomek udává hodnotu, která určuje ostrost zraku při sledování Snellenovy tabule. V jeho čitateli se nachází vzdálenost, ve které se člověk nachází a v jeho jmenovateli je hodnota vzdálenosti, ve které by stál člověk se zdravým zrakem. Například zlomek 3/6 znamená, že daný člověk přečte písmeno ze tří metrů písmeno, které by člověk se zdravým zrakem přečetl z šesti metrů. [16]

Tab. 8: Srovnání hodnoty visu a odpovídající hodnoty deficitu dioptrií pro krátkozrakost. Tyto hodnoty jsou přibližným odhadem, u každého člověka se mohou mírně lišit. Visus 6/6 může nabývat 0 nebo -0,25 dioptrií. Vyšší hodnoty je těžké určit, jelikož hodně závisí na jednotlivci. Podle [17].

Hodnota visu	Přibližný deficit dioptrií
6/6 = 1,00	0,00
6/6 = 1,00	-0,25
6/9 = 0,67	-0,50
6/12 = 0,50	-0,75
6/15 = 0,40	-1,00
6/30 = 0,20	-1,50
6/45 = 0,13	-2,00
6/60 = 0,10	-2,50
6/75 = 0,08	-3,00
6/90 = 0,06	-3,50
6/120 = 0,05	-4,00
6/150 = 0,04	-5,00
6/180 = 0,03	-6,00

Pokud je tedy potřeba vypočítat maximální vzdálenost pro krátkozrakého člověka, stačí celý vzorec vynásobit hodnotou visu s , která odpovídá požadovanému deficitu dioptrií, viz vzorce (31), (32) a (33).

$$l_1 = \frac{u}{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \Phi} \cdot s \quad (31)$$

kde: l_1 – je hledaná vzdálenost v cm
 s – hodnota visu
 u – úhlopříčka displeje v cm
 x – horizontální rozlišení displeje
 y – vertikální rozlišení displeje
 Φ – úhlová vzdálenost dvou ještě rozlišitelných bodů, rovnající se jedné úhlové minutě

$$l_2 = \frac{h}{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\Psi}{2}} \cdot s \quad (32)$$

kde: h – výška písmena v cm
 l_2 – hledaná vzdálenost v cm
 s – hodnota visu
 Ψ – úhel čitelnosti písmena

$$l_3 = \frac{u \cdot y}{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} \cdot s \quad (33)$$

kde: l_3 – hledaná vzdálenost v cm
 s – hodnota visu
 u – velikost úhlopříčky v cm
 v – výška televize v cm
 x – horizontální rozlišení displeje
 y – vertikální rozlišení displeje
 φ – pozorovací úhel nabývající hodnot 4–8°

Příklad výpočtu pro zpracování grafiky:

- Určení maximální vzdálenosti pro člověka s –1 dioptrií pro displej notebooku s úhlopříčkou 39,6 cm a s rozlišením 1366 × 768, kdy je ještě oko schopno od sebe rozeznat dva pixely při 100% zobrazení, viz vzorec (34).

$$l_1 = \frac{u}{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \Phi} \cdot s = \frac{39,6}{\sqrt{1366^2 + 768^2} \cdot \left(\frac{1}{60} \cdot \frac{\pi}{180}\right)} \cdot 0,4 = 34,8 \text{ cm} \quad (34)$$

- Určení maximální vzdálenosti pro člověka s –0,5 dioptrií pro displej počítače s úhlopříčkou 61,5 cm a s rozlišením 1920 × 1200, kdy je ještě oko schopno od sebe rozeznat dva pixely při 100% zobrazení, viz vzorec (35).

$$l_1 = \frac{u}{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \Phi} \cdot s = \frac{61,5}{\sqrt{1920^2 + 1200^2} \cdot \left(\frac{1}{60} \cdot \frac{\pi}{180}\right)} \cdot 0,67 = 62,6 \text{ cm} \quad (35)$$

kde: l_1 – hledaná vzdálenost v cm
 s – hodnota visu
 u – velikost úhlopříčky v cm
 v – výška televize v cm
 x – horizontální rozlišení displeje
 y – vertikální rozlišení displeje
 Φ – úhlová vzdálenost dvou ještě rozlišitelných bodů, rovnající se jedné úhlové minutě

Příklad výpočtu pro zpracování textu:

- Určení maximální vzdálenosti displeje mobilního telefonu pro práci s textem, kdy je velikost písma 6 bodů ($6 \cdot 0,0254 \text{ cm} = 0,2 \text{ cm}$), při 100% zobrazení a deficitu $-0,5$ dioptrie, viz vzorec (36).

$$l_2 = \frac{h}{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\Psi}{2}} \cdot s = \frac{0,2}{\operatorname{tg} \frac{20}{60}} \cdot 0,67 = 23,1 \text{ cm} \quad (36)$$

- Určení maximální vzdálenosti displeje počítače pro práci s textem, kdy je velikost písma 12 bodů ($11 \cdot 0,0254 \text{ cm} = 0,3 \text{ cm}$) při 100% zobrazení a deficitu $-0,75$ dioptrie, viz vzorec (37).

$$l_2 = \frac{h}{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\Psi}{2}} \cdot s = \frac{0,3}{\operatorname{tg} \frac{20}{60}} \cdot 0,5 = 25,8 \text{ cm} \quad (37)$$

kde: h – výška písma v cm
 l_2 – hledaná vzdálenost v cm
 Ψ – úhel čitelnosti písma

Příklad výpočtu pro sledování televize:

- Určení minimální vzdálenosti, vzorec (38) a maximální vzdálenosti, vzorec (39) pro člověka s $-0,5$ dioptrií pro displej notebooku s úhlopříčkou 39,6 cm a s rozlišením 1366×768 , kdy oko nedokáže rozlišit jednotlivé pixely a není tak narušen sledovací komfort při 100% zobrazení.

Minimální vzdálenost:

$$l_3 = \frac{u \cdot y}{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} \cdot s = \frac{39,6 \cdot 768}{\sqrt{1366^2 + 768^2} \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} (4^\circ)} \cdot 0,67 = 93 \text{ cm} \quad (38)$$

Maximální vzdálenost:

$$l_3 = \frac{u \cdot y}{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} \cdot s = \frac{39,6 \cdot 768}{\sqrt{1366^2 + 768^2} \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} (2^\circ)} \cdot 0,67 = 186 \text{ cm} \quad (39)$$

- Určení minimální vzdálenosti, vzorec (40) a maximální vzdálenosti, vzorec (41) pro člověka s -1 dioptrií pro displej televize s úhlopříčkou 81 cm a s rozlišením 1920 × 1080, kdy oko nedokáže rozlišit jednotlivé pixely a není tak narušen sledovací komfort při 100% zobrazení.

Minimální vzdálenost:

$$l_3 = \frac{u \cdot y}{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} \cdot s = \frac{81 \cdot 1080}{\sqrt{1920^2 + 1080^2} \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} (4^\circ)} \cdot 0,4 = 113 \text{ cm} \quad (40)$$

Maximální vzdálenost:

$$l_3 = \frac{u \cdot y}{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} \cdot s = \frac{81 \cdot 1080}{\sqrt{1920^2 + 1080^2} \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} (2^\circ)} \cdot 0,4 = 227 \text{ cm} \quad (41)$$

kde: l_3 – hledaná vzdálenost v cm
 s – hodnota visu
 u – velikost úhlopříčky v cm
 v – výška televize v cm
 x – horizontální rozlišení displeje
 y – vertikální rozlišení displeje
 φ – pozorovací úhel nabývající hodnot 4–8°

Tab. 9: Srovnání hodnoty visu a odpovídající hodnoty deficitu dioptrií pro dalekozrakost v závislosti na věku. Tyto hodnoty jsou přibližným odhadem, u každého člověka se mohou mírně lišit. Podle [38].

Hodnota visu	Věk 5–24 let	Věk 25–35 let	Věk nad 35 let
6/6 = 1,00	+2,00	+1,25	+1,00
6/7 = 0,86	+3,00	+1,75	+1,25
6/9 = 0,67	+3,25	+2,50	+1,50
6/12 = 0,50	+3,75	+3,00	+1,75
6/15 = 0,40	+4,25	+3,50	+2,00
6/21 = 0,29	+4,75	+4,00	+2,50

Pokud je tedy potřeba vypočítat maximální vzdálenost pro krátkozrakého člověka, stačí celý vzorec vydělit hodnotou visu s , která odpovídá požadovanému deficitu dioptrií, viz vzorce (42) a (43).

$$l_1 = \frac{u}{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \Phi} / s \quad (42)$$

kde: l_1 – je hledaná vzdálenost v cm
 s – hodnota visu
 u – úhlopříčka displeje v cm
 x – horizontální rozlišení displeje
 y – vertikální rozlišení displeje
 Φ – úhlová vzdálenost dvou ještě rozlišitelných bodů, rovnající se jedné úhlové minutě

$$l_2 = \frac{h}{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\Psi}{2}} / s \quad (43)$$

kde: h – výška písmena v cm
 l_2 – hledaná vzdálenost v cm
 s – hodnota visu

Příklad výpočtu pro zpracování grafiky:

- Určení maximální vzdálenosti pro člověka nad 35 let s +1,25 dioptrií pro displej notebooku s úhlopříčkou 39,6 cm a s rozlišením 1366 × 768, kdy je ještě oko schopno od sebe rozeznat dva pixely při 100% zobrazení, viz vzorec (44).

$$l_1 = \frac{u}{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \Phi} / s = \frac{39,6}{\sqrt{1366^2 + 768^2} \cdot \left(\frac{1}{60} \cdot \frac{\pi}{180}\right)} / 0,86 = 101 \text{ cm} \quad (44)$$

- Určení maximální vzdálenosti pro člověka nad 35 let s +1,50 dioptrií pro displej počítače s úhlopříčkou 61,5 cm a s rozlišením 1920 × 1200, kdy je ještě oko schopno od sebe rozeznat dva pixely při 100% zobrazení, viz vzorec (45).

$$l_1 = \frac{u}{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \Phi} / s = \frac{61,5}{\sqrt{1920^2 + 1200^2} \cdot \left(\frac{1}{60} \cdot \frac{\pi}{180}\right)} / 0,67 = 139,7 \text{ cm} \quad (45)$$

kde: l_1 – hledaná vzdálenost v cm
 s – hodnota visu
 u – velikost úhlopříčky v cm
 v – výška televize v cm
 x – horizontální rozlišení displeje
 y – vertikální rozlišení displeje
 Φ – úhlová vzdálenost dvou ještě rozlišitelných bodů, rovnající se jedné úhlové minutě

Příklad výpočtu pro zpracování textu:

- Určení maximální vzdálenosti displeje mobilního telefonu pro práci s textem, kdy je velikost písma 6 bodů ($6 \cdot 0,0254 \text{ cm} = 0,2 \text{ cm}$), při 100% zobrazení a deficitu +1,25 dioptrie pro člověka nad 35 let, viz vzorec (46).

$$l_2 = \frac{h}{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\Psi}{2}} / s = \frac{0,2}{\operatorname{tg} \frac{20}{60}} / 0,86 = 40,0 \text{ cm} \quad (46)$$

- Určení maximální vzdálenosti displeje počítače pro práci s textem, kdy je velikost písma 12 bodů ($12 \cdot 0,0254 \text{ cm} = 0,3$) při 100% zobrazení a deficitu +1,75 dioptrie pro člověka nad 35 let, viz vzorec (47).

$$l_2 = \frac{h}{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\Psi}{2}} / s = \frac{0,3}{\operatorname{tg} \frac{20}{60}} / 0,5 = 103,2 \text{ cm} \quad (47)$$

kde: h – výška písma v cm
 l_2 – hledaná vzdálenost v cm
 Ψ – úhel čitelnosti písma

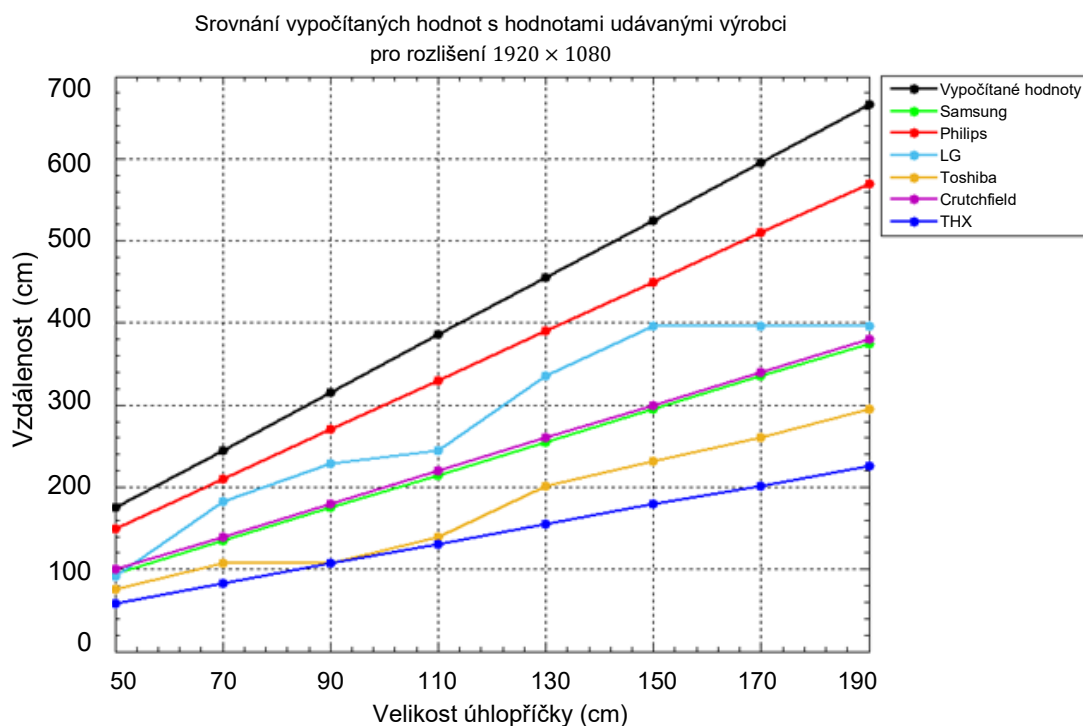
3.6 Porovnání výsledků s hodnotami udávanými výrobci

Porovnání vypočtených hodnot bylo provedeno pro výrobce displejů, u kterých byly dostupné pozorovací vzdálenosti a také s hodnotami udávanými pozorovacími standardy THX. Hodnoty jsou vztaženy k rozlišení 1920×1080 pro rozsah úhlopříček 50 – 190 cm. Výsledná vzdálenost byla vypočítána pomocí hodnoty úhlu 8° , jelikož se tato hodnota jeví jako ideální vzhledem k vlastnostem oka i prostorovým možnostem.

Výrobce Samsung udává ideální rozsah hodnot, pro srovnání byla vybrána prostřední hodnota z daného rozsahu. Philips udává jako ideální vzdálenost trojnásobek úhlopříčky displeje. LG udává přesnou vzdálenost, ale pokud je úhlopříčka displeje větší než 140 cm, vzdálenost se nezvětšuje a jako ideální je brána hodnota 396 cm. Toshiba doporučuje výpočet minimální vzdálenosti vynásobením velikosti úhlopříčky koeficientem 1,2 a následně vydělit 12. Maximální vzdálenost obdobně, ale koeficient je 1,9. V tabulce je zaznamenána prostřední hodnota tohoto rozsahu. Crutchfield udává jako ideální rozsah 1,5 až 2,5 násobek úhlopříčky, v tabulce tak opět je prostřední hodnota rozsahu. Posledním parametrem je hodnota standardu THX, která je získána tak, že úhlopříčka displeje je vydělena číslem 0,84 (viz Tab. 10). [28][29][30][31][32][33]

Tab. 10: Srovnání vypočtených hodnot vzdáleností s hodnotami udávanými výrobcí pro rozlišení 1920 × 1080. Podle [28][29][30][31][32][33]

Úhlopříčka (cm)	Vypočítané hodnoty (cm)	Samsung (cm)	Philips (cm)	LG (cm)	Toshiba (cm)	Crutchfield (cm)	THX (cm)
50	175	95	150	91	76	100	59
70	245	135	210	183	108	140	83
90	315	175	270	229	108	180	107
110	386	215	330	244	139	220	131
130	455	255	390	335	201	260	155
150	525	295	450	396	232	300	179
170	596	335	510	396	260	340	202
190	666	375	570	396	295	380	226



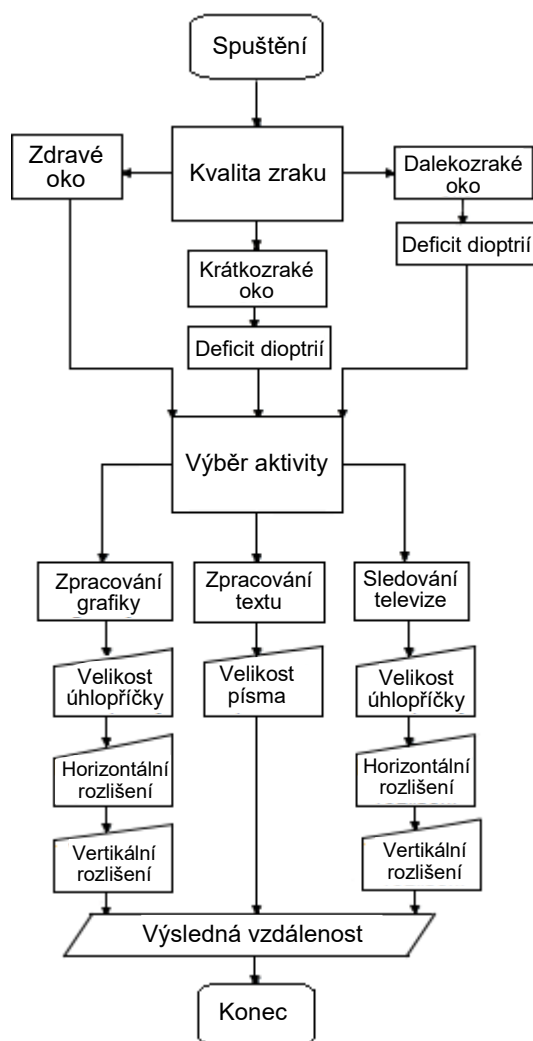
Obr. 40: Graf zobrazující porovnání vypočtených hodnot vzdáleností s hodnotami udávanými výrobcí pro rozlišení 1920 × 1080.

Pro porovnání byly vybrány toto rozlišení, jelikož hodnoty vzdáleností byly dostupné u největšího počtu výrobců. Z výsledků je patrné, že výsledky byly nejvíce podobné se vzdálenostmi udávanými výrobcem Philips, u zbylých pěti výrobců byly výsledky výrazně odlišné, v některých případech až poloviční (viz Obr. 40).

3.7 Program pro vyhodnocení vhodné vzdálenosti na základě vstupních parametrů displeje

Program pro určení pozorovací vzdálenosti pro displeje vzhledem k prováděné pracovní činnosti a kvality zraku byl vytvořen formou GUI v prostředí Microsoft Visual Studio Ultimate 2013 v programovacím jazyce C#. Jazyk C# je vhodný pro tvorbu databázových programů, webových aplikací, webových služeb, formulářových aplikací a softwaru pro mobilní zařízení.

Po spuštění aplikace si uživatel může zvolit kvalitu zraku (zdravé oko, krátkozraké oko, dalekozraké oko). Hodnoty koeficientu u krátkozrakého oka se v závislosti na věku mírně liší, pro výpočet byly zvoleny koeficienty pro věkovou skupinu 25–35 let. Pokud má uživatel příliš nízkou hodnotu dioptrie (krátkozraké oko) nebo příliš vysokou hodnotu dioptrie (dalekozraké oko), vypočítané vzdálenosti jsou samozřejmě v praxi nerealizovatelné a slouží spíše pro zajímavost (při těchto hodnotách dioptrií musí mít uživatel korekční pomůcky a zvolit zdravé oko). Dále si může uživatel vybrat ze tří činností: zpracování grafiky, zpracování textu, sledování televize (viz Obr. 41).



Obr. 41: Diagram programu.

Při volbě zpracování textu musí uživatel zadat velikost úhlopříčky displeje a rozlišení. Výstupem je pak maximální vzdálenost, ve které může uživatel sedět, aby ještě rozlišil jednotlivé pixely (minimální vzdálenost je dána polohou blízkého bodu, tedy nejmenší vzdálenost, na kterou dokáže uživatel vidět ostře, což je individuální). Při zpracování textu volí uživatel pouze velikost písma v bodech (points), jelikož je důležité, aby text dopadal do oka pod určitým úhlem, a vlastnosti displeje nejsou příliš rozhodující. Výstupem je optimální vzdálenost. Pro sledování televize opět uživatel zadá velikost úhlopříčky televize a rozlišení. Výstupem je pak optimální vzdálenost (pro výpočet byl použit úhel 8°, aby obraz dopadal do žluté skvrny, a aby oko zachytilo veškeré detaily, což u nižších hodnot úhlů nemusí být zaručeno). Pro ukončení programu slouží tlačítko konec. Výsledky jsou platné při 100% zobrazení.

Ukázka načtení zadaných hodnot uživatelem a následný výpočet pomocí vzorce Obr. 42 a ošetření neplatného vstupu Obr. 43.

```
// zpracovani grafiky
case 0:
    // zkusi ziskat cisla z textboxu a vypocitat vysledek
    if (GetValueFrom(textBoxDiagonal, out diagonal) &&
        GetValueFrom(textBoxHorizontalResolution, out horizontalRes) &&
        GetValueFrom(textBoxVerticalResolution, out verticalRes))
    {
        // vzorec
        double length = Math.Sqrt(horizontalRes * horizontalRes + verticalRes * verticalRes);
        result = diagonal / (length * (Math.PI / 10800.0));
        break;
    }
    else
    {
        // pokud nezada uzivatel nekterou pozadovanou hodnotu
        //nebo zada cislo mensi nebo rovne 0 nebo zada text zobrazi se chybova hlaska
        ShowWrongDataMessage();
        return;
    }
}
```

Obr. 42: Ukázka jednoho ze vzorců.

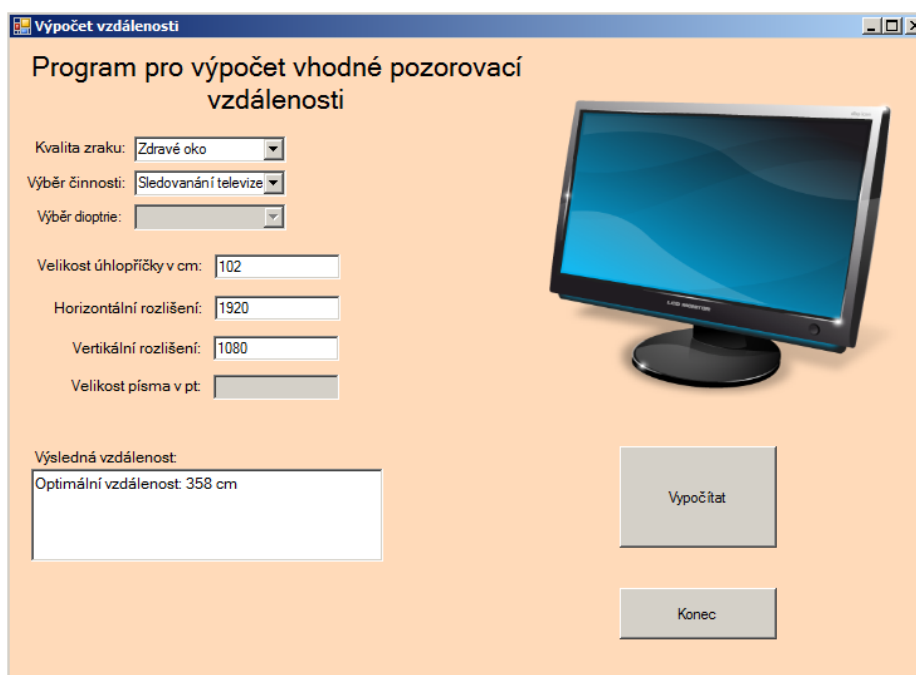
```
// metoda na ziskani hodnoty z textboxu-podminka true/false, vraci true v pripade uspechu, jinak false
7 references
private bool GetValueFrom(TextBox textBox, out double value)
{
    // jestlize se nepodarilo vyparsovat cislo (vstupem je text a ne cislo) nebo je cislo mensi nebo rovno 0
    if (!Double.TryParse(textBox.Text, out value) || value <= 0.0)
        return false;

    return true;
}

// zobrazi se chybove okenko a nastavi chybovy text
3 references
private void ShowWrongDataMessage()
{
    MessageBox.Show("Chybná vstupní hodnota");
    textBoxResult.Text = "Chybná vstupní hodnota";
}
}
```

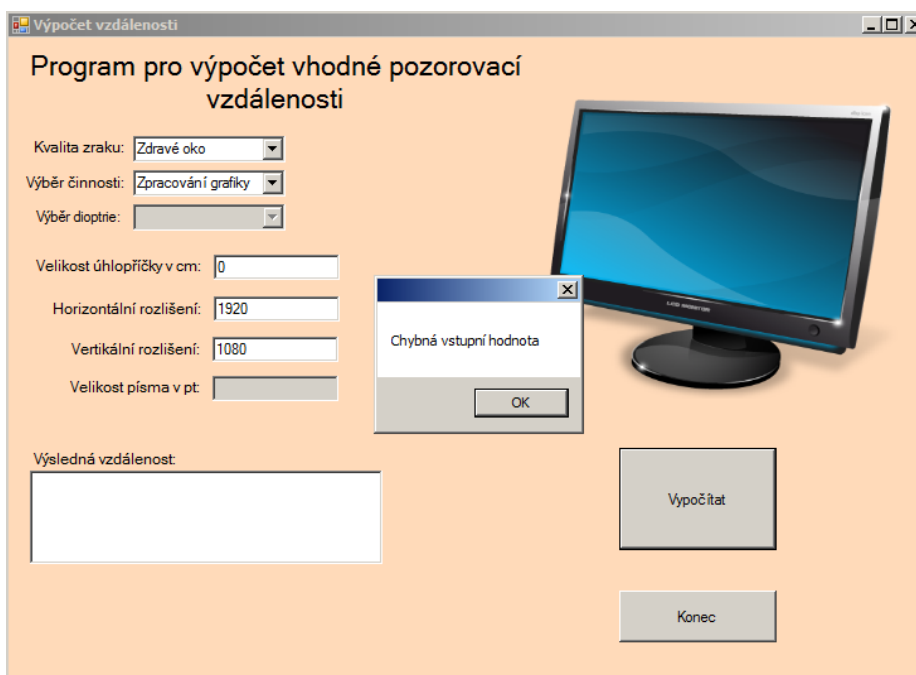
Obr. 43: Ošetření neplatného vstupu.

Ukázka výpočtu pomocí programu pro zdravé oči pro sledování televize s úhlopříčkou 102 cm a pro rozlišení 1920 × 1080 při 100% zobrazení na Obr. 44.



Obr. 44: Výpočet pomocí programu.

Ukázka chybového hlášení v daném programu při zadání špatné vstupní hodnoty (konkrétně 0) pro výpočet na Obr. 45.



Obr. 45: Ošetření špatné vstupní hodnoty.

Zhodnocení dosažených výsledků práce

V praktické části této práce jsem se zabývala výpočtem vhodných pozorovacích vzdáleností pro tři druhy aktivit. První výpočet je proveden pro určení vhodné minimální a maximální vzdálenosti pro zpracování grafiky na počítači nebo notebooku, kdy je potřeba rozlišit jednotlivé pixely. Je tedy nutné najít takový rozsah vzdáleností, kdy je oko schopno od sebe rozeznat dva co nejbližší ležící body. Určení minimální vzdálenosti je velmi individuální a závislé především na věku jedince. Jedná se o tzv. blízký bod (*punctum proximum*). Je to nejbližší bod, který vidí oko ostře při maximální akomodaci. Maximální vzdálenost je pak možné určit v případě, že je znám maximální úhel, pod kterým lze rozlišit dva vedle sebe ležící body. Tyto body lze vzájemně odlišit pouze tehdy, pokud je na sítnici mezi jejich obrazy, alespoň jeden světlem nezasazený čípek. Výsledný úhel je pak roven jedné úhlové minutě.

Druhý typ výpočtu je proveden pro práci s textem tak, aby oko bylo schopno rozlišit jednotlivá písmena, ale aby oko nebylo příliš zbytečně namáháno. Může se jednat o zpracování textu na počítači nebo o obsluhu mobilního telefonu. Optimální úhel je dle Snellena ten, pokud písmeno dopadá do oka pod úhlem 5 úhlových minut. Tato hodnota je však hraniční, vhodná pro krátkou dobu trvající diagnostické účely. Pro dlouhodobé využití je určen úhel 20 úhlových minut. Třetí typ výpočtu je proveden pro displeje počítačů, notebooků a televizí s cílem určit rozsah minimální a maximální vzdálenosti pro sledování filmů tak, aby nedocházelo k narušení sledovacího komfortu. Tím je myšleno, aby oko nebylo schopno rozeznat jednotlivé pixely a celý obraz displeje dopadal do zorného pole oka. Je také důležité, aby celá výška obrazovky dopadala do oblasti nejostřejšího vidění, čímž je žlutá skvrna. Toho je docíleno v případě, že obraz dopadá do oka pod úhlem 4–8°. Z výsledků je patrné, že optimální hodnota úhlu je 8°, jelikož hodnota 4° je hodně hraniční, lidské oko sice vidí obraz jako takový, ale nemusí vidět podstatné detaily obrazu.

Dále jsem vytvořila vzorec pro výpočet vzdálenosti v případě krátkozrakého nebo dalekozrakého uživatele. Výpočet je tedy proveden tak, že výsledná vzdálenost je vynásobena (krátkozrakost) nebo vydělena (dalekozrakost) Snellenovým zlomkem. Snellenův zlomek udává hodnotu, která určuje ostrost zraku při sledování Snellenovy tabule. V jeho čitateli se nachází vzdálenost, ve které se člověk nachází a v jeho jmenovateli je hodnota vzdálenosti, ve které by stál člověk se zdravým zrakem. Například zlomek 3/6 znamená, že daný člověk přečte písmeno ze tří metrů písmeno, které by člověk se zdravým zrakem přečetl z šesti metrů. K danému deficitu dioptrií je přiřazen daný koeficient zlomku, se kterým se počítá ve vzorci. Pokud má však uživatel příliš nízkou hodnotu dioptrie (krátkozraké oko) nebo příliš vysokou hodnotu dioptrie (dalekozraké oko), vypočítané vzdálenosti jsou samozřejmě v praxi nerealizovatelné a slouží spíše pro zajímavost a je třeba použít korekční pomůcky. Ke všem vzorcům jsem provedla vzorové příklady výpočtů. Všechny výsledky jsou platné při 100% zobrazení.

Vypočtené hodnoty jsem porovnávala s hodnotami udávanými výrobcem pro rozlišení 1920 × 1080, jelikož tyto hodnoty byly dostupné u největšího počtu výrobců. Z výsledků je patrné, že vypočítané hodnoty vzdáleností byly nejvíce podobné se vzdálenostmi udávanými výrobcem Philips, u zbylých pěti výrobců byly výsledky výrazně odlišné, v některých případech až poloviční.

Nakonec jsem vytvořila program pro určení pozorovací vzdálenosti pro displeje vzhledem k prováděné pracovní činnosti a kvalitě zraku formou GUI v prostředí Microsoft Visual Studio Ultimate 2013 v programovacím jazyce C#. Program funguje na základě zadání vstupních parametrů jako kvalita zraku, typ prováděné činnosti a vlastností displeje (velikost úhlopříčky, vertikální a horizontální rozlišení, velikost písma).

Závěr

Elektronika a výpočetní techniky se v dnešní době stále více a také stále rychleji vyvíjí. K tomu neodmyslitelně patří i vývoj zařízení jako jsou monitory, displeje, ale také televize a mobilní telefony. Většina lidí tráví obsluhou těchto zařízení mnoho času a je proto dobré zvolit vhodnou vzdálenost, aby zbytečně nedocházelo k únavě očí.

Výrobci televizí, displejů a obrazovek většinou vhodnou pozorovací vzdálenost udávají, nemusí se řídit žádnou normou, která by určovala minimální a maximální pozorovací vzdálenosti. Existují však organizace jako SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers), ATSC (Advanced Television Systems Committee) nebo NTSC (National Television Systems Committee), které stanovují doporučené vzdálenosti, avšak každý výrobce má svá kritéria dle, kterých stanovuje optimální pozorovací vzdálenost. Může se jednat například o ekonomické vlivy, míru vtáhnutí diváka do děje, přízpůsobení se co nejširšímu spektru lidí a co nejširšímu spektru kvality zraku lidí.

Tato práce bere v úvahu pouze vlastnosti lidského oka tak, aby divák nemusel hlavu pootáčet, zaklánět nebo, aby se oko zbytečně neunavilo, pokud by divák seděl příliš blízko nebo naopak pokud by seděl příliš daleko vlivem zbytečně zdlouhavé akomodace. Aby byly výpočty funkční, je důležitým faktorem také to, aby divák seděl k displeji kolmo, jeho oči by měly být v úrovni středu obrazovky a jas obrazovky by měl být přibližně stejný jako jas okolí. Ve tmě je dobré jas displeje snížit na co nejnižší hodnoty, aby se oko zbytečně neunavovalo a vysoké hodnoty jasu používat pouze v hodně osvětlených místnostech nebo na přímém slunečním světle. Také je důležité, aby se intenzita světla v místnosti zbytečně často neměnila a bylo zamezeno odleskům okolních předmětů.

Pro určení vhodných vzdáleností bylo nejdříve nutné nastudování stavby a funkce oka optických vlastností oka, kde jsem se zaměřila především na zřakovou ostrost oka, zorné pole a akomodaci. Obsahem druhé části byly vlastnosti současných displejů a obrazovek, zde jsem popisovala obecné vlastnosti jako je úhlopříčka displeje, pozorovací úhly, hustotu grafických bodů a další. Také jsem popsala princip a základní charakteristiky CRT, LCD, plazmových a OLED displejů. Nakonec teoretické části jsem zpracovala legislativní a technické požadavky na displeje a také jsem porovnála, vlastnosti konvenčního displeje a zdravotnického displeje. Nakonec jsem vytvořila vzorce pro určení vhodné pozorovací vzdálenosti pro zpracování grafiky, zpracování textu a sledování televize. Pro srovnání jsem vytvořila vzorce pro krátkozraké a dalekozraké oko. Vypočítané hodnoty jsem srovnala s hodnotami udávanými výrobcem a pro zjednodušení výpočtů jsem vytvořila program pro výpočet vzdáleností na základě vstupních parametrů.

Do budoucna by bylo vhodné pro zvýšení přesnosti do výpočtů zahrnout další vlastnosti displeje jako je například jas nebo kontrast. Také by bylo dobré při dalších výpočtech zohlednit světelné podmínky okolí, případně vytvořit výpočty i pro 3D zobrazení. Pro statistické vyhodnocení by bylo zajímavé vytvořit průzkum mezi uživateli televizí a monitorů. Bylo by tak možné porovnat, zda uživatelé používají vzdálenosti udávané výrobcem, nebo zda volí vzdálenosti dle subjektivního pocitu nebo například prostorovým možností. V neposlední řadě by bylo možné porovnat, zda se výsledné vypočítané vzdálenosti vhodné pro oči přibližují vzdálenostem užívaných v praxi.

Literatura

- [1] *Lidské tělo: srozumitelný a zevrubný průvodce po strukturách a funkcích lidského organismu*. 2. vyd. Bratislava: Gemini, 1992. ISBN 80-852-6559-1.
- [2] Zrakový orgán: Informační web týkající se všeho spojeného se zrakem, očními vadami a péčí o zrak. *Zrak.cz* [online]. 2016 [cit. 2016-06-06]. Dostupné z: <http://zrak.cz/o-vasem-zraku/zrakovy-organ.html>
- [3] NAŇKA, Ondřej, Miloslava ELIŠKOVÁ a Oldřich ELIŠKA. *Přehled anatomie*. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Galén. ISBN 978-80-7262-612-0.
- [4] Anatomie lidského oka. *OPTIKA Hana Šafariková* [online]. Vsetín, 2012 [cit. 2016-06-12]. Dostupné z: <http://www.optika-safarikova.cz/oko.html>
- [5] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Fyziologie oka a vidění*. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-0786-1.
- [6] *SVĚTLO* [online]. 2003, **2003**(4) [cit. 2016-06-27]. ISSN 1212-0812. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/zrak-a-videni--16756>
- [7] HAJDA, Jaromír. *Optika a optické přístroje: určeno pracovníkům s optickými přístroji, pro lékařov a studujících na odb. a vys. školách*. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1956. Edícia strojárскеj literatúry (SVTL).
- [8] SILBERNAGL, Stefan a Agamemnon DESPOPOULOS. *Atlas fyziologie člověka*. 2. čes. vyd. podle 3. něm., přeprac. a rozš. Praha: Grada, 1993. ISBN 80-856-2379-X.
- [9] HRUŠKA, Daniel. *Technologie displejů a principy jejich činnosti* [online]. Brno, 2011 [cit. 2016-07-17]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/325063/fi_b/thesis.pdf. Bakalářská práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce RNDr. Jaroslav Pelikán, Ph.D.
- [10] PONEC, Jan. *Optické přístroje 2* [online]. Olomouc, 2012 [cit. 2016-07-17]. Dostupné z: <http://optics.upol.cz/userfiles/file/Skripta%20OP%202.pdf>. Univerzita Palackého v Olomouci.
- [11] Ještě jednou k LCD: Kde se vzaly konkrétní poměry stran? *Diiit.cz: DEEP IN IT* [online]. Praha: CDR server s.r.o., c1998-2016 [cit. 2016-07-18]. Dostupné z: <http://diiit.cz/clanek/pomer-stran-led>
- [12] MATOUŠEK, David. *Práce s inteligentními displeji LCD*. Praha: BEN - technická literatura, 2006-. ISBN 80-730-0121-7.
- [13] ZIKMUND, Petr. *Vlastnosti a využití displejů* [online]. Zlín, 2006 [cit. 2016-08-07]. Dostupné z: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/2177/zikmund_2006_bp.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.

- [14] Zorné pole. *Encyklopedie fyziky* [online]. Jaroslav Reichl, Martin Všeticka, c2006-2016 [cit. 2016-08-24]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/488-zorne-pole>
- [15] Vision: The Fovea Centralis. *HyperPhysics* [online]. Atlanta: Carl R. Nave, 2012 [cit. 2016-08-24]. Dostupné z: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/vision/retina.html>
- [16] Pandemie krátkozrakosti. *Zázraky medicíny*. Brno: Extra Publishing, s. r. o., 2016, **2016(9)**, 26-31. ISSN 2464-7659.
- [17] KŘÍŽ, Pavel. *Zraková ostrost* [online]. Brno, 2007 [cit. 2016-09-02]. Dostupné z: is.muni.cz/th/176794/lf_b/Bakalarka-Zrak.Ostrost.doc. Bakalářská práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce MUDr. Jan Richter.
- [18] BENEŠ, Jiří. *Základy lékařské biofyziky*. 3., upr. vyd. Praha: Karolinum, 2011. ISBN 978-80-246-2034-3.
- [19] GANONG, William F. *Přehled lékařské fyziologie*. Dvacáté vydání. Praha: Galén, c2005. ISBN 80-726-2311-7.
- [20] ROBERT L. MYERS. *Display interfaces fundamentals and standards*. 1st. Chichester: Wiley, 2002. ISBN 978-047-0855-768.
- [21] ZEMANOVÁ, Petra a Zuzana RUČKOVÁ. *Jak si zachovat zdraví u počítače: od týmu odborných lékařů a terapeutů*. Vyd. 1. Praha: Computer Press, c2001. Kancelář (Computer Press). ISBN 80-722-6546-6.
- [22] DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice elektroniky: Optoelektronika a optoelektronické prvky*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-730-0184-5.
- [23] TROUSIL, Pavel. Bližší pohled na LED. *CHIP* [online]. Praha: BURDA Praha, spol. s r.o., 2009, **2009(12)**, 30-31 [cit. 2016-11-04]. Dostupné z: <http://www.chip.cz/soubory/dokumenty/5dd58a2dc904e5504c8be19be367eeb1.pdf>
- [24] Význam hustoty pixelů – základního faktoru při výběru obrazovek v době rozmachu rozlišení 4K. *EIZO* [online]. Praha: EIZO Europe GmbH o.s., 2016 [cit. 2016-11-11]. Dostupné z: https://www.eizo.cz/fileadmin/content/download/pdf/whitepaper/cz/Pixel_density_4K_CZ.pdf
- [25] *Normy ČSN - Bezpečnostní tabulky* [online]. Hradec Králové: Ing. Jiří Řezníček, c2005-2015 [cit. 2016-11-19]. Dostupné z: <http://www.technicke-normy-csn.cz/>
- [26] Zdravotnické displeje. *Průmyslové počítače a speciální IT systémy - AutoCont IPC* [online]. Ostrava: AutoCont IPC a.s., c2016 [cit. 2016-11-12]. Dostupné z: <https://www.autocont-ipc.cz/produkty/medicinska-technika/zdravotnicke-displeje/>
- [27] Instrukce k implementaci části „osobní počítače, notebooky a monitory“ metodiky pro nákup výpočetní techniky. *SEVEN* [online]. Praha: SEVEN Energy s.r.o., c2013 [cit. 2016-11-19]. Dostupné z: <http://www.svn.cz/assets/files/informacni-materialy/2011/instrukce-k-implementaci-casti-osobni-pocitace-notebooky-a-monitory-metodiky-pro-nakup-vypocetni-techniky.pdf>

- [28] Put your Smart TV in the best spot. *LG Electronics* [online]. LG Electronics, Inc., c2016 [cit. 2016-11-25]. Dostupné z: <http://www.lg.com/us/support/answers/smart-tvs2014/best-spot>
- [29] Recommended TV Viewing Distance Chart. *Toshiba: Laptops, Ultrabooks, HD Televisions and TVs, Blu-ray/DVD Players and Camcorders for Home, School & Business* [online]. Toshiba America Information Systems, Inc., c2016 [cit. 2016-11-25]. Dostupné z: <http://us.toshiba.com/tv/research-center/shopping-guides/recommended-tv-viewing-distance>
- [30] Tips for Buying a Cool TV: Part 1: Size and Viewing Distance. *Samsung Global Newsroom* [online]. SAMSUNG, c2011-2016 [cit. 2016-11-25]. Dostupné z: <https://news.samsung.com/global/hot-tips-for-buying-a-cool-tv-part-1-size-and-viewing-distance>
- [31] TV sizes and viewing distance. *Crutchfield Corporation* [online]. Crutchfield New Media, LLC, c1996-2016 [cit. 2016-11-25]. Dostupné z: http://www.crutchfield.com/S-rxUv2AxwTie/learn/learningcenter/home/TV_placement.html
- [32] HDTV Set Up. *THX Ltd.* [online]. San Francisco (California): THX Ltd., c2016 [cit. 2016-11-25]. Dostupné z: <http://www.thx.com/consumer/home-entertainment/home-theater/hdtv-set-up/>
- [33] TP VISION EUROPE B. V. *Uživatelský manuál Philips*. 2016.
- [34] LED Brightness to your eye, Gamma correction – No!. *HP LED Shield* [online]. Peter Jakobs, 2013 [cit. 2017-01-09]. Dostupné z: <https://ledshield.wordpress.com/2012/11/13/led-brightness-to-your-eye-gamma-correction-no/>
- [35] Review Dell Vostro 3460 Notebook. *Notebook Check* [online]. Austria: Notebookcheck Publishing, 2016 [cit. 2017-01-11]. Dostupné z: <http://www.notebookcheck.net/Review-Dell-Vostro-3460-Notebook.81509.0.html>
- [36] WEINGER, Matthew Bret., Daryle. GARDNER-BONNEAU, Michael E. WIKLUND a Lori M. KELLY. *Handbook of human factors in medical device design*. 2nd. Boca Raton, FL: CRC Press, c2011. ISBN 978-080-5856-279.
- [37] What Is 20/20 Vision? How Convert Diopters To 20/20 Scales. *How To Improve Your Eyesight* [online]. 2017 [cit. 2017-01-13]. Dostupné z: <http://www.improveeyesighthq.com/20-20-vision.html>
- [38] Conversion Chart: Refractive State to “estimated” Visual Acuity. *Redding Medical* [online]. Reisterstown (State of Maryland): Redding Medical, c2013 [cit. 2017-01-14]. Dostupné z: <https://www.reddingmedical.com/documents/Spot%20VS100%20Vision%20Screener,%20Conversion%20Chart%20&%20Instructions.pdf>
- [39] Requirements for Medical Imaging Monitors. *EHR, PACS, IHE, DICOM, & HL7 Training and Consulting - OTech, Inc.* [online]. Denton: Ken Compton, c2017 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: https://otechimg.com/publications/pdf/wp_medical_image_monitors.pdf
- [40] VELIČKA, R.: Ústní sdělení, dne 24. dubna 2017, VŠB – Technická univerzita Ostrava.

Seznam příloh

- I. Příloha na CD-ROM – výsledné soubory textové a programové složky bakalářské práce

Adresářová struktura přiloženého CD-ROM

- */BAR0359/Program/Urceni_vzdalenosti.docx* – zdrojový kód programu
- */BAR0359/Program/Urceni_vzdalenosti.exe* – aplikace pro spuštění programu
- */BAR0359/Program/Urceni_vzdalenosti.rar* – veškeré soubory programu pro spuštění v prostředí Microsoft Visual Studio Ultimate 2013
- */BAR0359/Text/Manual_Philips.pdf* – manuál k televizoru výrobce Philips
- */BAR0359/Text/Urceni_vhodne_pozorovaci_vzdalenosti_pro_displeje_s_ohledem_na_fyziologii_oka_BAR0359.pdf* – text tiskové verze bakalářské práce