

**Univerzita Hradec Králové**

**Přírodovědecká fakulta**

**Katedra informatiky**

**Využit projektorů a velkoplošných obrazovek  
ve vzdělávacím procesu**

**Diplomová práce**

**Autor:** Bc. Jan Minařík

**Studijní program:** N1101 Matematika

**Studijní obor:** Učitelství matematiky pro střední školy

Učitelství pro střední školy - informatika

**Vedoucí práce:** PhDr. Michal Musílek, Ph.D.

**Hradec Králové**

**květen 2016**

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem v seznamu použité literatury uvedl všechny prameny, z kterých jsem vycházel.

V Hradci Králové dne

Bc. Jan Minařík

## Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce PhDr. Michalu Musílkovi, Ph.D. za poskytnutí dobrých rad, za ochotu a pomoc při psaní práce. Dále chci poděkovat rodině za trpělivost a podporu nejen během psaní práce, ale i během celého mého studia.

## **Anotace**

MINAŘÍK, Jan. *Využití projektorů a velkoplošných obrazovek ve vzdělávacím procesu*. Hradec Králové, 2016. Diplomová práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Hradec Králové, Vedoucí diplomové práce PhDr. Michal Musílek Ph.D.

Tato diplomová práce porovnává možnosti nasazení datových projektorů a velkoplošných obrazovek ve školách z hlediska pořizovací ceny a provozních nákladů, náročnosti údržby a také z uživatelského a didaktického hlediska.

## **Klíčová slova**

zobrazovací zařízení, projektor, displej, princip, využití, porovnání

## **Annotation**

MINAŘÍK, Jan. *The use of projectors and big-screen displays in the educational process*. Hradec Králové, 2016. Diploma thesis at Faculty of Science University of Hradec Králové, Thesis supervisor PhDr. Michal Musílek Ph.D.

This diploma thesis compares the possibility of using data projectors and big-screen display in schools in terms of purchase price and operating cost, difficulty of maintenance and so in terms of user and didactic.

## **Keywords**

display equipment, projector, display, principle, use, comparison

# Obsah

Úvod .....	9
1 Počítačový monitor .....	10
1.1 Rozdíl mezi monitorem a televizorem .....	10
2 CRT monitory .....	11
2.1 Vývoj technologie CRT .....	11
2.2 Monochromatické CRT monitory .....	12
2.3 Barevné CRT monitory .....	13
2.4 Princip funkce CRT monitorů .....	13
3 LCD monitory .....	15
3.1 Princip funkce LCD monitorů .....	15
3.2 Rozdělení LCD podle typu podsvícení .....	16
3.3 Rozdělení LCD podle adresování obrazu .....	17
3.3.1 LCD s pasivní maticí .....	17
3.3.2 LCD s aktivní maticí (TFT) .....	18
3.4 LCD podle technologie .....	18
4 Plazmové displeje .....	23
4.1 Princip funkce plazmových displejů .....	23
4.2 Technologie ALiS .....	23
5 Dotykové displeje .....	25
5.1 Rezistivní dotykové displeje .....	25
5.2 Kapacitní dotykové displeje .....	25
5.3 Dotykové displeje s infračerveným zářením .....	26
5.4 Dotykové displeje s povrchovou akustickou vlnou .....	26
6 3D obraz .....	27
6.1 Anaglyf .....	27
6.2 Lineární polarizace .....	27
6.3 Aktivní 3D projekce .....	28
6.4 Pasivní 3D projekce .....	28
6.5 Autostereoskopie .....	28
6.6 3D v praxi .....	29
7 Datové projektory .....	30
7.1 CRT projektory .....	30

7.2 LCD projektory.....	31
7.3 DLP projektory.....	32
7.4 LED projektory.....	33
7.5 LCOS projektory.....	34
7.6 Interaktivní projektory.....	35
8 Dotazník pro žáky.....	36
8.1 Otázka 1.....	36
8.2 Otázka 2.....	37
8.3 Otázka 3.....	38
8.4 Otázka 4.....	39
8.5 Otázka 5.....	40
8.6 Otázka 6.....	41
8.7 Otázka 7.....	43
9 Příklady vhodných zobrazovacích zařízení.....	45
9.1 Interaktivní projektor.....	45
9.2 Velkoplošná obrazovka.....	46
10 Doporučení pro pedagogickou praxi.....	48
Závěr.....	49
Použité zdroje.....	50
Přílohy.....	52

## **Úvod**

Tato diplomová práce se zabývá problematikou využití elektronických zobrazovacích zařízení ve vzdělávacím procesu a cílí na velkoplošné obrazovky a datové projektory. Cílem práce je porovnat možnosti nasazení datových projektorů a velkoplošných obrazovek ve školních třídách z hlediska pořizovacích, provozních a servisních nákladů, náročnosti údržby a také z uživatelského a didaktického hlediska a na základě tohoto porovnání pak formulovat několik stručných doporučení pro pedagogickou praxi. Součástí práce je empirický výzkum formou dotazníků pro žáky a studenty.



# 1 Počítačový monitor

Počítačový monitor je elektronické zobrazovací zařízení a jedna z výstupních periférií počítače. Slouží k zobrazování dat, ať už ryze textových, grafických nebo obojího typu. Může být jak samostatným kusem elektroniky, tak i nedílnou součástí jiného zařízení, jako je tomu třeba v případě notebooku, tabletu, počítačového hybridu nebo smartphonu. Počítačový monitor se sice může vizuálně podobat televizoru, ale jsou mezi nimi zásadní rozdíly.

## 1.1 Rozdíl mezi monitorem a televizorem

Na rozdíl od počítačového monitoru je televizor vždy vybaven tunerem, aby bylo možné připojit anténu a následně ladit jednotlivé kanály. Počítačový monitor tuner nepotřebuje, protože je připojen ke grafické kartě, někdy nazývané také video karta nebo zobrazovací karta, což je jedna ze základních komponent počítače, která zaručuje, že informace přicházející z počítače dorazí do monitoru co nejrychleji a v nejlepší možné kvalitě.

I v tomto případě platí, že řetěz je tak silný, jak silný je jeho nejslabší článek, pokud tedy připojíme špičkový monitor k nekvalitní grafické kartě, pak monitor nedokáže plně využít své možnosti a zobrazení nebude tak kvalitní, jako by bylo při použití lepší grafické karty, která by plně využila potenciál monitoru.

Z uživatelského hlediska je hlavní rozdíl mezi monitorem a televizorem v kvalitě obrazu. Obrazovka monitoru je přizpůsobena tomu, že ji uživatel sleduje z mnohem menší vzdálenosti, než obrazovku televizoru. Při delším sledování musí tedy co nejméně namáhat oči a zároveň musí nabídnout na stejné ploše stejné nebo vyšší rozlišení, než televizor. Nejvíce je to vidět v době masivního rozšíření Full HD televizorů, tedy obrazovek s rozlišením 1920x1080 pixelů a s úhlopříčkami vysoko nad osmdesáti centimetry. Počítačové monitory už delší dobu nabízely takové i vyšší rozlišení, ovšem při mnohem menších úhlopříčkách.

Existuje ještě jeden primárně marketingový rozdíl. Velikost úhlopříčky u televizoru se standardně udává v centimetrech, zatímco úhlopříčka monitoru se udává v palcích. Jeden palec odpovídá 2,54 centimetru. Většina výrobců ovšem neudává velikost úhlopříčky zobrazované plochy, ale velikost úhlopříčky celého monitoru. U moderních LCD displejů s velkými úhlopříčkami nebývá rozdíl až tak významný, ovšem v případě starších monitorů typu CRT, kde bývá rám obrazovky silný i několik centimetrů, je už rozdíl mezi udávanou a skutečnou úhlopříčkou značný. Samotná velikost úhlopříčky také neříká nic o vlastní velikosti zobrazované plochy. Při poměru stran například 4:3 bude plocha obrazovky větší, než v případě širokoúhlého monitoru s poměrem stran třeba 16:9, což je v době Full HD a přicházejících 2K a 4K displejů běžnější případ. V případě formátu cinemascope s poměrem stran 21:9 bude rozdíl v zobrazované ploše při stejné úhlopříčce pochopitelně ještě větší [13].

## **2 CRT monitory**

CRT monitor je tím úplně nejstarším typem počítačového monitoru. CRT je anglická zkratka pro Cathod Ray Tube, což znamená katodová trubice. Katodová trubice je uzavřená vakuová baňka obsahující urychlovač elektronů a stínítko potažené vrstvou fosforu, na kterém vzniká obraz, který nakonec monitor zobrazuje. Úplně první CRT obrazovky byly pouze jednobarevné, první z nich byla vyrobena již v roce 1926, později se rozšířily barevné obrazovky, jejichž první exemplář byl vyroben již roku 1928 [1].

### **2.1 Vývoj technologie CRT**

#### **2.1.1 Invarová obrazovka**

Nejstarší typy pracovaly s technologií invarových obrazovek, jejichž princip spočívá v dopadání paprsků usměrněných elektromagnetickým polem na stínítko přes masku omezující jejich rozptyl a pomáhající usměrnění těchto paprsků přesně na požadované místo. Tuto masku si lze představit jako desku s provrtanými otvory [13].

Každý barevný bod sestává z červené, zelené a modré barvy, maska tedy musí mít pro každý bod tři otvory, které jsou uspořádány do trojúhelníku. Právě tento trojúhelník přinesl masce název delta. První masky tohoto typu byly dost oblé, ale postupně se dařilo klenutí zmenšovat, přestože i u nejmodernějších masek je stále patrné [2].

#### **2.1.2 Trinitronová obrazovka**

Trinitronová obrazovka od firmy Sony znamenala pokrok. Její princip spočívá v nahrazení děrované masky svislými tenkými drátky, které jsou zpevněny ve dvou či třech místech drátky příčnými. Výška této obrazovky je menší než její šířka a není zde třeba tolik působit magnetickým polem na vychýlení. Proto nedochází k takovému zkreslení paprsku ve vertikálním směru a s horizontálním zkreslením si poradí drátky a tak není nutné zakřivovat obrazovku na výšku. Tyto obrazovky mají v porovnání s invarovými obrazovkami velký kontrast a poskytují dobrou ostrost obrazu i v rozích obrazovky, na druhou stranu jsou extrémně náchylné na magnetické pole. A to až do té míry, že pokud po stranách obrazovky umístíme třeba běžné stolní reproduktory, může to způsobit vychýlení paprsků, v horším případě i drátků masky. Pokud dojde k vychýlení drátků masky, jedná se o trvalé poškození. Obrazovka má tvar válce, je to vlastně výseč válce, který má čtyři metry v průměru [13].

#### **2.1.3 CromaClear obrazovka**

Pokusem o spojení kladů trinitronové a invarové obrazovky byla technologie CromaClear od firmy NEC. Principem je spoutání paprsku na výšku jako u trinitronu a přidání pevné masky odolávající magnetickým polím [13]. Maska

s podélnými otvory je náročná na výrobu a tedy i dražší, efekt však není srovnatelný s trinitronem, i když překonává kvalitou technologii invaru [2].

#### **2.1.4 FD Trinitronová obrazovka**

Technologie FD Trinitron, z anglického Flat Display Trinitron, je poslední technologií ve vývoji CRT obrazovek. Ve srovnání s původní trinitronovou technologií nabízí průměr obrazovky sto metrů. Aby bylo možné docílit ostrosti i v rozích, bylo nutné upravit vychylovací tubus obrazovky [13]. Paprsek prochází soustavou vychylovacích prvků, které doladují jeho směr, tvar a sílu [2].

## **2.2 Monochromatické CRT monitory**

Monochromatické CRT monitory jsou úplně první generací elektronických zobrazovacích zařízení, jsou to přímí předchůdci nám známých klasických barevných CRT displejů. Přestože jejich éra, která trvala od šedesátých do osmdesátých let, kdy tyto monitory vládly světu počítačů, je už dnes pouhou historií, stále se s nimi dnes ještě setkáváme možná častěji, než bychom tušili [13].

Název je složen ze slov „mono“, což znamená jedna, a „chrome“, což znamená barva, monitor je „monochrome“, tedy jednobarevný. To znamená, že má na stínítku pouze jednu barvu fosforu a v této barvě zobrazuje veškerá data. Jinou barvu zobrazit nemůže, maximálně může měnit jas jednotlivých pixelů, čímž vzniká iluze více barevných odstínů, ale ve skutečnosti jde stále jen o jednu a tu samou barvu.

Tyto monitory byly běžně k dostání ve třech variantách. Zelený, často nazývaný prostě green screen, tedy zelená obrazovka, kde byl použit zelený fosfor P1. O žlutém s jantarově žlutým fosforem P3 se říkalo, že nejméně namáhá oči, toto tvrzení však nebylo nikdy dokázáno. A nakonec bílý, kterému se někdy říkalo page white, tedy přibližně bílý jako stránka, ve kterém byl použit bílý fosfor P4, stejně jako například u starých televizorů [13].

Monochromatické CRT monitory poskytují ostřejší obraz, než barevné CRT displeje, protože každý pixel je tvořen jediným fosforovým bodem, který se nachází přesně uprostřed tohoto pixelu. U barevného CRT displeje je každý pixel tvořený třemi fosforovými body - červeným, zeleným a modrým, žádný z nich ale není přesně uprostřed pixelu [13].

Občas se stávalo, že některé monitory měly na stínítku silnější vrstvu fosforu, než bylo obvyklé, což s sebou přinášelo určité výhody, ale i nevýhody. Výhodou byly velmi jasné a díky tomu skvěle čitelné znaky, nevýhodou bylo, že při posunu textu po obrazovce nebo při jeho nahrazení jiným textem, se objevovali, podobně jako u LCD panelů s pomalou odezvou, takzvaní duchové, původní text tak ještě nějakou dobu dohasínal přes ten nový, což bylo velmi nepříjemné. V případě standardně silné vrstvy fosforu tento problém s duchy nenastával, ovšem znaky nebyly tak jasně zobrazené a čitelné a byly znatelné jednotlivé pixely. Lepší modely však

poskytovaly možnost ovládat jas a kontrast a tak si každý uživatel mohl zvolit, jestli dá přednost skvělé čitelnosti nebo absenci duchů.

Přestože se jednobarevný displej může jevit jako překonaný, není tomu tak. Například na počítačových pokladnách a pokladních systémech jsou tyto monitory stále hojně využívány, především kvůli svému vynikajícímu ostrému obrazu a z toho vyplývající snadné a pohodlné čitelnosti všech zobrazených znaků [13].

### **2.3 Barevné CRT monitory**

Barevné CRT monitory jsou dalším stupněm vývoje CRT monitorů i přesto, že neposkytují tak ostrý obraz, jako monochromatické CRT monitorů. V počátcích se masově rozšířil zvláště model IBM 5153, což byl úplně první barevný monitor tohoto výrobce. Nabízel úhlopříčku 13 palců, obnovovací frekvenci až 60 Hz a byl kompatibilní s PC sestavou 5150 a u této sestavy byl i upřednostňován před standardně dodávaným monochromatickým monitorem 5151 v případě, že byl počítač využíván především pro grafické zobrazení nebo pro hry, které vyžadovaly barevné zobrazení. Byl ovšem navržen pro práci s grafickou kartou CGA, zkratka z anglického Color Graphic Adapter, která sice dokázala na displeji zobrazovat až 16 barev, ovšem pro každý znak byla k dispozici matice pouze 8x8 bodů, text byl tedy zobrazován méně detailně, než na monochromatickém monitoru při použití grafické karty MDA. Každá barva byla tvořena kombinací digitálních výstupů červené, zelené a modré barvy a jejich intenzity[13]. Tento typ monitorů se obecně nazývá RGB monitory, z anglických slov Red, Green, Blue. Existovaly i další RGB monitory kompatibilní se sestavou IBM, ale některé dokázaly zobrazit pouze 8 barev[13].

Následující model, monitor IBM 5154, měl opět třináctipalcový displej a zvládl pracovat ve dvou režimech s obnovovací frekvencí až 60 Hz. V prvním zvládl 16 barev při rozlišení 640x200 pixelů, ve druhém pak dokonce 64 barev při rozlišení 640x350 pixelů. Tento monitor byl navržen tak, aby využil do té doby zcela nevídané možnosti grafické karty EGA, z anglického Enhanced Graphic Adapter, která dokázala na monitoru zobrazit 25 nebo 43 řádků po 80 znacích, grafiku v rozlišení 640x350 pixelů a 64 barev, z nichž 16 bylo současně zobrazitelných. Největší výhodou spojení tohoto monitoru s touto grafickou kartou spočívala v tom, že může být využit k práci se software napsaným nejen přímo pro rozhraní EGA, ale i pro starší CGA [13].

Přestože základní princip CRT monitorů zůstával stejný, jejich technické parametry se postupně zlepšovaly.

### **2.4 Princip funkce CRT monitorů**

CRT monitory fungují na principu luminiscence, kdy je z každé katody vystřelován paprsek elektronů, který dopadá na luminofor, kde se mění ve světlo. Barevné

monitory mají tři barvy luminoforu - červenou, zelenou a modrou a každou z nich obsluhuje jedno elektronové dělo, jde tedy o svazek tří paprsků elektronů. Barevný bod na stínítku monitoru vzniká po dopadu paprsku na luminiscenční bod, kombinací intenzit vyzařování jednotlivých složek RGB dostaneme unikátní zabarvení bodu. Tento bod je tak malý, že lidské oko není schopno rozeznat jeho jednotlivé složky a tak vidíme každý bod jako jednu barvu. V jednom okamžiku je obsloužena pouze jedna trojice luminoforů, proto musí být svazek paprsků vychylován vychylovacími cívkami, aby se rozzářily všechny body na obrazovce. Luminofory pouze bliknou a velmi rychle pohasínají, musí se tato procedura opakovat pořád dokola, jednotlivé body se přitom vykreslují zleva doprava a shora dolů. Z počtu překreslení jednoho řádku odvozujeme horizontální frekvenci, z počtu překreslení všech řádků, tedy celé obrazovky, pak frekvenci vertikální. Protože se elektrony vzájemně odpuzují, čímž se obraz rozostřuje, je v monitoru umístěna kovová maska, která usměrňuje elektrony na požadované místo [13].

CRT monitory poskytují přesné a realistické podání barev spolu s velkými pozorovacími úhly, stejně jako velkou ostrost obrazu a vysoký kontrastní poměr. Mají také minimální dobu odezvy, což eliminuje hrozbu rozmazání obrazu při rychlém pohybu, jak je tomu často například ve hrách nebo filmech.

Tyto monitory ovšem mají velké rozměry a hmotnost, mají poměrně vysokou spotřebu energie a jsou velmi citlivé na magnetické pole. Pokud navíc CRT monitor není plochý, může dojít i ke geometrickému zkreslení obrazu a ztrátě ostrosti především v rozích obrazovky a je také náchylný k nepříjemným odleskům. Tyto monitory mohou mít negativní vliv i na lidský zrak. Mají totiž určitou obnovovací frekvenci, která vyjadřuje, kolikrát za sekundu displej blikne, a je-li tato frekvence příliš nízká, dochází k rychlé únavě očí a při dlouhodobém používání i k poškození zraku, kterému neprospívá ani vyzařování elektromagnetického záření [13].

## 3 LCD monitory

LCD technologie je v odvětví počítačových monitorů a displejů dnes nejvyužívanější, technologie CRT byla prakticky vytlačena. I LCD prodělává různá vylepšení za účelem poskytnutí maximální kvality obrazu. Samotná zkratka LCD z anglického Liquid Crystal Display znamená displej z tekutých krystalů. Právě elektromagnetické vlastnosti těchto krystalů jsou základem této technologie.

### 3.1 Princip funkce LCD monitorů

Každý obrazový bod je ohraničen dvěma polarizačními filtry, jejichž osy polarizace jsou na sebe navzájem kolmé, barevným filtrem pro červenou, zelenou a modrou barvu a dále dvěma vyrovnávacími vrstvami. Vše je umístěno mezi tenkými skleněnými panely [13].

Krystaly bodu jsou řízeny tranzistory, které kontrolují velikost napětí procházejícího mezi vyrovnávacími vrstvami [4]. Díky elektrickému poli dochází ke změně molekulární struktury tekutých krystalů, což ovlivňuje natočení jejich částic do různých poloh, což určuje množství procházejícího světla a svit jednotlivých pixelů. Toto stočení částic se nazývá anglicky twist, proto se technologie, na jejímž principu je celá technologie postavena, jmenuje Twisted Nematic.

Obvody pro určitý pixel mohou selhat, krystaly se pak už nebudou natáčet a tento pixel ztratí schopnost změnit svůj stav a svit. Takový pixel se nazývá mrtvý pixel.

Kdyby mezi polarizačními filtry žádné krystaly nebyly, světlo by prošlo pouze prvním filtrem, polarizovalo by se a díky kolmé ose polarizace druhého filtru by bylo zcela zablokováno a pixel by nesvítil [13].

Mezi polarizačními filtry je umístěna ještě matice, která může být v závislosti na technologii aktivní nebo pasivní [13].

V počátcích technologie LCD byly jednotlivé pixely velké a zvládaly pouze dva stavy, buď svítily anebo nesvítily. Obraz byl tedy pouze jednobarevný, displeje byly monochromatické. Dnes mohou krystaly nabývat obrovského množství navzájem různých stavů a tak u barevných monitorů, kde se každý pixel skládá ze tří subpixelů – červeného, zeleného a modrého, lze dosáhnout až milionů různých barevných odstínů.

LCD displeje je možné rozdělit do několika skupin, podle typu podsvícení existují LCD transmisivní, reflexní nebo transreflexní, podle typu adresování obrazu pak LCD s pasivní nebo aktivní maticí, podle technologie pak MVA, IPS a další.

## **3.2 Rozdělení LCD podle typu podsvícení**

### **3.2.1 Transmisivní LCD**

Transmisivní neboli propustné displeje potřebují další zdroj světla pro podsvícení obrazovky, který je umístěn za vlastním panelem. K podsvícení se využívají CCFL z anglického Cold Cathode Fluorescent Lamps, což jsou zářivky se studenou katodou, které vyzařují UV světlo, které se na fluorescenční vrstvě přemění na viditelné bílé světlo [13].

Mezi hlavní výhody transmisivních LCD patří jejich vysoký kontrast, velká barevná hloubka, velmi dobrá čitelnost zobrazovaných dat, jasnost při nedostatku světla a možnost dosáhnout vysokého rozlišení.

K nevýhodám patří velmi špatná čitelnost při přebytku světla, například na přímém slunci a také to, že dodatečné osvětlení spotřebovává velkou část energie ze zdroje, přestože jde o problém, který částečně vyřešila technologie LED z anglického Light Emitting Diode, která využívá k podsvícení displeje efektivní úsporné LED diody místo fluorescenčních trubic.

### **3.2.2 Reflexní LCD**

Reflexní displeje jsou vybaveny speciální reflexní vrstvou, která odráží vnější světlo, nemají tedy žádné vlastní podsvícení. Reflexní LCD jsou v podstatě přesným opakem propustných displejů a i jejich vlastnosti jsou díky tomu přesně opačné. Tyto displeje můžeme najít například na některých kapesních kalkulačkách.

Výhodou reflexních displejů je jasnost a dobrá čitelnost při dostatku nebo přebytku okolního světla, díky absenci vlastního podsvícení mají mnohem nižší spotřebu energie a díky tomu jsou skvělé pro použití v přístrojích na baterie.

Za běžných světelných podmínek nebo při nedostatku světla je ovšem jejich obraz dost nevýrazný a zobrazovaná data nejsou moc dobře čitelná.

### **3.2.3 Transreflexní LCD**

Transreflexní displej je hybrid mezi transmisivním a reflexním displejem, který slučuje klady obou typů. Tyto displeje mají jak reflexní vrstvu, tak i vlastní podsvícení a zařízení jsou vybavena spínačem, kterým lze přepínat mezi oběma režimy [13].

Transreflexní LCD jsou dobře čitelné za jakýchkoli světelných podmínek, mají dobré podání barev a také umožňují optimalizovat spotřebu energie. Mají ale slabší ostrost obrazu i pozorovací úhly a ani jejich rozlišení nedosahuje možností transmisivních displejů. Tyto displeje se objevují u některých přenosných počítačů, jejich výrobní náklady jsou ovšem poměrně vysoké.

## 3.3 Rozdělení LCD podle adresování obrazu

### 3.3.1 LCD s pasivní maticí

Displeje s pasivní maticí jsou v rámci LCD starší technologií. Monochromatické LCD s pasivní maticí byly standardem na většině prvních přenosných počítačů, a to i přesto, že některé laptopy v té době měly plazmové displeje, a udržely se tam až do poloviny devadesátých let, kdy se staly na všech laptopech standardem barevné displeje s aktivní maticí. Displej s pasivní maticí byl použit i na kapesní herní konzoli Game Boy od firmy Nintendo. Komerčně neúspěšný Macintosh Portable od společnosti Apple, který spatřil světlo světa v roce 1989, byl jedním z prvních zařízení, který využíval LCD s aktivní maticí, jeho displej byl i přesto pouze jednobarevný [13].

Přesto se LCD s pasivní maticí využívají i dnes, především v oblasti přenosných elektronických zařízení, kde je plně dostačující zobrazení v nižší kvalitě ve srovnání například s Full HD počítačovým monitorem, kde je vyžadována dobrá čitelnost na přímém světle za současných nízkých výrobních nákladů a minimální spotřeby energie samotného displeje z důvodu maximální výdrže baterie. Toho se často dosahuje absencí vlastního podsvícení a použitím například reflexního typu displeje.

Matice displeje je vlastně mřížka, ve které má každý pixel jednoznačně určené souřadnice, tedy místo kde se nachází, a z těchto pixelů je složena plocha displeje. K zobrazení daného pixelu dojde aktivací elektrody v příslušném řádku a sloupci matice. Pro každý řádek existuje právě jedna horizontální elektroda a pro každý sloupec právě jedna vertikální elektroda. Požadovaný obraz se pak vytvoří z jednotlivých pixelů postupně tak, že se nejdříve aktivuje vždy řádek, jehož pixely se mají zobrazovat, a to přivedením napětí na příslušnou horizontální elektrodu, a následně se aktivují jednotlivé sloupce přivedením napětí na příslušné vertikální elektrody, což reguluje intenzitu svitu příslušného pixelu [13]. Poté se aktivuje další řádek a tento proces se zopakuje.

Skutečnost, že jednotlivé body jsou adresovány přímo pomocí horizontálních a vertikálních elektrod má za následek vznik přeslechů, rozsvícení jednoho obrazového bodu totiž negativním způsobem ovlivňuje jas okolních bodů, zejména bodů v tomtéž řádku. LCD s pasivní maticí charakterizuje nízká rychlost odezvy, díky tomu jsou tyto displeje nevhodné pro zobrazování jakýchkoliv rychle se měnících scén, tedy například videa. Jejich další nevýhoda vyplývá z technických limitů. Jelikož není technicky možné naprosto přesně regulovat proud procházející jednotlivými body, jsou na displejích tohoto typu často patrné postupně slábnoucí horizontální a vertikální čárky, které se rozebíhají od vybraného pixelu. Za účelem eliminace typických nevýhod LCD s pasivní maticí byly vyvíjeny jiné adresovací mechanismy, jako například DSTN z anglického Double Scan Twisted Nematic, který je dnes nejpoužívanějším mechanismem pro adresování pasivních matic.



Celý LCD panel je při použití technologie DSTN horizontálně rozdělen na dvě poloviny a jejich obrazové body jsou zobrazovány paralelně. To umožňuje použití krystalů s menší setrvačností, což ve srovnání s klasickým Twisted Nematic displejem zkracuje dobu odezvy [13].

Displeje s pasivní maticí pracují na principu technologie TN z anglického Twisted Nematic, technologie STN z anglického Super Twisted Nematic, případně na principu pozdější technologie DSTN z anglického Double Super Twisted Nematic, která využívá dvojitou vrstvu STN, což řeší problém, který nastával u STN, a to sice problém změny barvy při změně pozorovacího úhlu. Některé pasivní LCD pracující s technologií CSTN z anglického Color Super Twisted Nematic, jsou to tedy barevné STN. Barvy se získávají použitím vnitřních barevných filtrů, pro každou barvu je zde právě jeden filtr [13].

### **3.3.2 LCD s aktivní maticí (TFT)**

LCD s aktivní maticí jsou v rámci technologie LCD novější technologií a dnes se již v oblasti počítačových monitorů a obrazovek LCD televizorů staly standardem. Někdy se také označují jako TFT displeje, protože pracují na technologii TFT z anglického sousloví Thin Film Transistor. Tyto displeje byly vyvinuty z důvodu eliminace problémů, které provázely pasivní LCD, první z nich byl představen v roce 1980 firmou Seiko-Epson. Nabízejí špičkový obraz s vysokým rozlišením, který je dalšími moderními technologiemi stále vylepšován [13].

Monochromatické TFT displeje mají každý obrazový bod ovládaný právě jedním příslušným tranzistorem, který funguje jako spínač a ovládá svítivost daného pixelu [13]. To ve srovnání s LCD s pasivní maticí podstatně snižuje reakční dobu obrazu a zároveň šetří energii, díky tomu jsou TFT displeje vhodné pro zobrazování videa. Tyto TF tranzistory také navzájem izolují jednotlivé pixely, což odstraňuje přeslechy, což byl typický nedostatek LCD s pasivní maticí. Ve srovnání s LCD s pasivní maticí mají TFT displeje také větší pozorovací úhel a celkově čistší, ostřejší a jasnější obraz.

Barevné TFT displeje jsou ale na druhé straně také mnohem náročnější na výrobu, protože každý pixel je zde tvořen třemi subpixely, pro každou ze základních barev jedním. Pro výrobu barevného TFT displeje s rozlišením Full HD, tedy 1920x1080 pixelů, je potřeba 6 220 800 TF tranzistorů [13].

## **3.4 LCD podle technologie**

### **3.4.1 Technologie TN**

LCD využívající technologii TN jsou nejstarším typem LCD panelů. Pracují s nízkým provozním napětím, což snižuje spotřebu energie, a proto se výborně hodí pro použití na přístrojích napájených z baterií. I díky tomu mohla technologie LCD v podstatě ovládnout pole přenosné elektroniky. Tato technologie v zásadě

přivedla LCD displeje do praxe, což vedlo k jejich masivní expanzi a LCD tak začaly rychle vytlačovat technologii CRT [13].

K hlavním výhodám displejů typu LCD TN patří vysoká rychlost odezvy a nízké výrobní náklady. Jejich hlavní nevýhodou jsou především malé pozorovací úhly a problém takzvaných mrtvých pixelů, které u tohoto typu LCD trvale svítí, u jiných typů zůstávají tmavé. Ani podání barev nebývá moc kvalitní, takže se LCD TN panely nehodí pro grafickou práci. Obvykle totiž poskytují pouze šestibitové barvy a zbylé pouze interpolují pomocí FRC z anglického Frame Rate Control [13].

Technologie FRC využívá nedokonalosti lidského oka a rychlosti panelů. Pokud panel nedokáže určitou barvu zobrazit, tak ji v jednom snímku zobrazí například světlejší a v dalším naopak tmavší [13]. Ve výsledku si oko tyto dvě různé barvy spojí do jedné a vidí vlastně správnou barvu [5].

Tento princip funguje do chvíle, než dojde k situaci, že daný pixel v bezprostředně následujícím snímku musí změnit barvu. V takovém okamžiku neexistuje prostor pro druhý „opravný“ snímek, displej tedy nedokáže zobrazit požadovanou barvu a výsledné zobrazení je nepřesné.

#### **3.4.2 Technologie TN+Film**

Technologie TN+Film, jak plyne z názvu, vychází z technologie TN a vylepšuje ji. Na povrchu displeje, zpravidla nejbližší ke uživateli, je nanášena vrstva, která při pohledu ze strany láme světlo z displeje, takže jsou tekuté krystaly vidět jakoby z výhodnějšího úhlu. Díky tomu se významně zvětšují pozorovací úhly [13].

#### **3.4.3 Technologie STN**

Další evolucí technologie TN je technologie STN. Zatímco u klasických displejů typu TN se molekuly tekutých krystalů mezi polarizačními filtry stáčely o 90 stupňů, zde se stáčejí o více než 180 stupňů. Jednotlivé pixely jsou u těchto displejů citlivější na napětí, než je tomu u původních TN panelů. Mají totiž svou danou prahovou hodnotu napětí, kdy pokud je napětí na určitém pixelu vyšší, než je prahová hodnota napětí, pak je pixel aktivován a svítí a naopak pokud je nižší než prahová hodnota, pak je neaktivován a nesvítí. Protože stejně jako u technologie TN dochází k přeslechům mezi aktivovanými a neaktivovanými pixely, je u těchto displejů nutné je mnohem přesněji řídit. Aktivované pixely tak musejí mít napětí vždy vyšší, než je prahová hodnota napětí, a neaktivované pixely naopak vždy nižší, než je prahová hodnota [13].

LCD panely pracující s technologií STN nabízejí větší kontrast a širší pozorovací úhly, obojího je přitom dosaženo právě větším stočením molekul tekutých krystalů. Technologie STN ve srovnání s původní technologií TN rovněž umožňuje pasivní adresování při mnohem vyšším rozlišení displeje. Její hlavní nevýhodou je větší barevné zkreslení oproti TN v důsledku výraznějšího lomu světla při větším

stočení molekul tekutých krystalů. Další nevýhody jako je například pomalý čas odezvy jsou typické pro všechny LCD s pasivní maticí [13].

#### **3.4.4 Technologie DSTN**

Technologie DSTN dále vylepšuje technologii TN, jde konkrétně o vylepšenou technologii STN. Její princip spočívá v tom, že se umístí jakoby dva STN displeje na sebe, odtud plyne i název Double Super Twisted Nematic. První displej je aktivní a vytváří obraz, druhý je pasivní a koriguje chybu, která vzniká lomem světla na první vrstvě. To umožňuje dosáhnout vyššího kontrastu obrazu a zároveň zlepšuje i podání barev. Pomalý čas odezvy však přetrvává [13].

#### **3.4.5 Technologie IPS**

Technologie IPS z anglického sousloví „In Plane Switching“, což znamená „přepínání v ploše“, se objevila v roce 1996 a vyvinula ji společnost Hitachi. Původní označení bylo S-TFT, z anglického sousloví „Super Thin Film Transistor“, toto označení však ještě neurčovalo novou technologii jako takovou. Až o dva roky později, v roce 1998, přišla opět společnost Hitachi s mírně upravenou technologií S-IPS z anglického sousloví „Super In Plane Switching“, která významným způsobem zlepšila odezvu displeje a poskytovala velké pozorovací úhly i velmi dobré podání barev [13].

Další vylepšení technologie IPS se pod názvem „Advanced Super In Plane Switching“, tedy AS-IPS, objevilo v roce 2002 a významně vylepšilo zobrazení barev a kontrast. O další vylepšení kontrastu obrazu se o dva roky později postarala technologie IPS-Provectus a v roce 2007 přišlo další zlepšení kontrastu a zobrazení bílé barvy pod názvem „Horizontal In Plane Switching“, tedy H-IPS, na svědomí ho měla společnost LG [13].

Zhruba ve stejné době se objevila technologie „Economy In Plane Switching“, tedy e-IPS, která je ekonomickou variantou H-IPS, proto bývá někdy označována jako AH-IPS. LCD panely založené na této technologii mají menší pozorovací úhly, než klasické H-IPS a obvykle poskytují pouze šestibitové barvy, využívají tedy technologie Frame Rate Control [13].

Další technologie, jako je například „Ultra Horizontal In Plane Switching“, tedy UH-IPS, dále zlepšovaly kontrast a jas displeje při snižování spotřeby energie, protože lépe využily jeho plochu, všechny tyto technologie pocházejí od společnosti LG. Dalším krokem vpřed byla technologie P-IPS z anglického sousloví „Professional In Plane Switching“, která nabídla desetibitové odstíny na jeden barevný kanál, což ve výsledku znamená třicetibitové barvy, často se ovšem těchto deseti bitů dosahovalo pomocí Frame Rate Control z klasických osmi bitů. Desetibitový panel ovšem běžný uživatel stejně nevyužije, například grafické uživatelské rozhraní Aero, které je použito například v operačním systému Windows 7, desetibitové panely nepodporuje. Také technologie P-IPS byla vyvinuta společností LG [13].

Technologie IPS poskytuje věrné zobrazení barev, nabízí široké pozorovací úhly a slušnou rychlost odezvy. Mrtvé pixely navíc u IPS nesvítí, což je další velká výhoda, výsledný obraz je mnohem méně rušen.

Za specifickou nevýhodu těchto displejů lze označit fakt, že na nich nelze dosáhnout dokonale černé barvy, přes černou totiž vždy prosvítá malé množství světla, což může způsobovat problémy například při práci s grafikou při nedostatku okolního světla. Tmavé barvy jsou také při pohledu ze strany mírně zkreslené do modro-fialova. Ve srovnání s technologií MVA mají IPS panely také menší kontrast a nižší jas [13].

#### **3.4.6 Technologie PLS**

S technologií PLS z anglického „Plane to Line Switching“ přišla společnost Samsung, která do té doby nenabízela panely nejvyšší třídy pro profesionální využití. Měla sice vlastní LCD panely typu PVA, které byly velmi kvalitní, ale kvalit panelů IPS od Phillipsu a LG nedosahovaly. Pravděpodobně jako součást marketingové strategie navíc Samsung přeskočil označení PLS a rovnou se vrhnul na „Super Plane to Line Switching“, což je technologie odvozená z PLS. LCD panely typu PLS nabízejí lepší kontrast, než LCD panely typu H-IPS, zároveň mají nižší spotřebu energie a mají poměrně nízké výrobní náklady [13].

#### **3.4.7 Technologie MVA**

Technologie MVA z anglického sousloví „Multidomain Vertical Aligment“ spatřila světlo světa v roce 1997, na svědomí ji měla společnost Fujitsu. Přišla z důvodu vysoké ceny v té době již existující technologie IPS a zároveň zastaralosti a nedokonalosti technologie TN. Společnosti Fujitsu tak šlo především o to, aby se jí podařilo vyrobit LCD, které bude mít dobré vlastnosti a zároveň bude jeho cena nižší, než u LCD pracující na principu technologie IPS. LCD panely typu MVA poskytují velmi dobrý jas a kontrast, stejně jako vysoké pozorovací úhly a krátký čas odezvy, plán tedy vyšel [13].

I technologie MVA procházela evolucí. Prvním upgradem, který ve srovnání s původní technologií MVA vylepšoval kontrast, pozorovací úhly i podání barev, byly technologie Premium „Multidomain Vertical Aligment“, tedy P-MVA a „Advanced Multidomain Vertical Aligment“, tedy A-MVA, obě tyto technologie vyvinula společnost AU Optronics. K celkovému vylepšení obrazu přispělo i využití další technologie zvané OverDrive, která se někdy označuje také jako RTC z anglického sousloví Response Time Compensation. Tekutý krystal se totiž při malé změně napětí natáčí jen pomalu, při použití OverDrive se natáčí rychleji, ale je potřeba ho mít neustále pod kontrolou a toto rychlejší natáčení včas zastavit. Pokud by se totiž nepodařilo zastavit natáčení včas, byl by vidět krátký překmit do jiné barvy. Tyto překmity v důsledku nesprávně přizpůsobené elektroniky jsou častým problémem u starších levných displejů typu MVA. Následně vstoupila do

hry ještě společnost Chi-Mei Optoelectronics se svou vlastní technologií nazvanou „Super Multidomain Vertical Alignment“, tedy S-MVA [13].

Nezávisle na technologii MVA přišly společnosti Sony a Samsung s technologií, kterou nazvaly „Paternet Vertical Alignment“, tedy PVA a s její odnoží „Super Paternet Vertical Alignment“, tedy S-PVA. PVA je levnější varianta technologie S-PVA, proto se zde často používají pouze šestibitové barvy v kombinaci s Frame Rate Control a celkově tato technologie cílí na nižší až nižší střední třídu panelů, technologie S-PVA naopak cílí na vyšší střední až vyšší třídu panelů [13].

Panely typu PVA nabízejí ve srovnání s typem MVA větší pozorovací úhly, mají také lepší kontrast a věrnější zobrazení černé barvy. Dnes už však všechny technologie na bázi Vertical Alignment ustupují a často jsou nahrazovány e-IPS, která se jeví jako nejvhodnější pro masové nasazení. V roce 2009 společnost Samsung přinesla na trh ekonomické panely typu cPVA, které jsou velmi podobné právě panelům e-IPS. Ty mají lepší kontrast a jas, ale většinou používají pouze šestibitové barvy v kombinaci s Frame Rate Control [13].

#### **3.4.8 IGZO**

Zkratka IGZO z anglického sousloví „Indium Gallium Zinc Oxide“ není označení pro novou technologii v oblasti LCD panelů, ale značí pouze použití odlišného materiálu pro ovládání tekutých krystalů. Tento materiál má podstatné výhody. Panel je méně energeticky náročný, protože IGZO nepotřebuje napětí pro udržení stavu, potřebuje pouze impuls pro změnu stavu z 0 na 1. Díky tomu se sníží příkon LCD nebo OLED [6]. Lze také vyrábět menší tranzistory, což umožní vyšší rozlišení displeje při jeho stejné ploše a tyto tranzistory na bázi IGZO navíc mají rychlejší reakční dobu, což potenciálně může snížit čas odezvy displeje, přestože čas odezvy závisí i na vlastnostech tekutých krystalů. Je tedy možné řídit technologii OverDrive mnohem přesněji [13].

## 4 Plazmové displeje

Nejčastěji se dnes s plazmovými displeji setkáme u velkoplošných televizorů. Historicky první plazmovou televizi s úhlopříčkou 42" uvedla na trh společnost Fujitsu již v roce 1996 za cenu, která se pohybovala kolem 15 tisíc dolarů [13].

Plazmový displej sestává z matice fluorescentních buněk naplněných zředěným plynem, který se napětím mezi elektrodami ionizuje, čímž vzniká plazma, které jsou ovládány sítí elektrod a jsou uzavřené mezi dvěma tenkými skleněnými tabulkami. Každá buňka obsahuje kondenzátor a tři elektrody, jednu adresovací a dvě transparentní, kterým se někdy říká těž výbojové. Adresovací elektroda se nachází na zadní stěně buňky, zatímco dvě transparentní zobrazovací elektrody jsou na přední stěně buňky, jsou navzájem izolovány a chráněny vrstvou oxidu hořečnatého.

Matice buněk sestává z horizontálních řádků, které jsou tvořeny adresovacími elektrodami, a z vertikálních sloupců tvořených zobrazovacími elektrodami. Každou buňku matice je možné adresovat zvlášť. U barevných plazmových displejů je každý pixel tvořen třemi barevnými subpixely, pro každou ze základních barev právě jedním [13].

### 4.1 Princip funkce plazmových displejů

Proces tvorby obrazu probíhá u plazmového displeje tak, že se na obě zobrazovací elektrody přivede střídavé napětí, což způsobí vznik výboje, který začne ionizovat plyn a vytvářet plazmu. Výboj je sice ihned zastaven oxidem hořečnatým, ale protože střídavý proud mění svou polaritu, může ionizace pokračovat a je zajištěn stálý výboj. Napětí na zobrazovacích elektrodách se udržuje těsně pod hranicí, kdy začíná probíhat ionizace, proto ke vzniku plazmatu může dojít i při malém zvýšení napětí a adresovací elektrodě [13].

Částice při vzniku plazmy uvolňují ultrafialové záření, které je však okem neviditelné. Na přední straně každé buňky je proto vrstva luminoforů, které následně uvolňují tři základní barvy ve viditelném spektru. Výsledné barvy pixelu je dosaženo kombinací intenzit těchto tří barev [13].

Ovládání intenzity funguje na principu modulace pulsního kódu, která slouží k převedení analogového signálu na binární slovo s pevně danou délkou [6]. Tato modulace se označuje jako PCM z anglického sousloví „Pulse Code Modulation“ [13]. Díky PCM jsou plazmové displeje plně digitální [13].

### 4.2 Technologie ALiS

S technologií ALiS z anglického sousloví Alternate Lighting of Surfaces přišla v roce 1998 společnost Fujitsu za účelem zvýšení rozlišení plazmových obrazovek. V případě klasické plazmové obrazovky je každý pixel ovládán dvěma elektrodami, které mají mezi sebou daný rozstup z důvodu eliminace rušení. Mezery mezi

jednotlivými dvojicemi elektrod ale nemají žádnou zobrazovací funkci, takže jsou víceméně na obtíž a nejenže snižují jas celého displeje, ale také doslova zabírají místo pro případné vyšší rozlišení obrazovky. U technologie ALiS mají všechny elektrody navzájem stejné rozestupy, což zmenšuje celkovou plochu mezer v ploše displeje, každá elektroda ale ovládá dva řádky a proto se v každém snímku musí vystřídat zobrazení lichého a sudého řádku. Využívá se zde i mezer mezi elektrodami, které se vždy jednou během jednoho snímku využijí pro zobrazení, čímž je dosaženo dvojnásobného rozlišení. To má pozitivní dopad i na životnost obrazovky, protože každá buňka je využívána pro zobrazení stejného obrazu jen polovinu času oproti klasickému plazmovému displeji. Výrobní náklady se navíc nezvyšují a proto se technologie ALiS nesmírně ujala [13].

Plazmové displeje nabízejí velké pozorovací úhly, proto jsou vhodné například pro prezentační účely, také poskytují věrné podání černé barvy a jsou schopny zobrazovat plně 24 bitové barvy. Plazmové obrazovky navíc nepotřebují podsvícení obrazu, protože svítí samy o sobě. Další výhodou je zvláště u obrazovek s větší úhlopříčkou úspora místa, protože plazmová obrazovka je velmi tenká [13].

Nevýhodou plazmových displejů patří horší kontrast, především u méně kvalitních typů. U starších plazmových obrazovek také docházelo k slévání tmavých odstínů a přechody mezi nimi nebyly plynulé. Ve srovnání s LCD panely je životnost plazmových displejů nižší a rozteč jednotlivých pixelů je vyšší [13].

## 5 Dotykové displeje

Dotykový displej má schopnost detekovat dotek a lokalizovat místo na zobrazovací ploše, kde k němu došlo. Ve srovnání s klasickým ovládním pomocí touchpadu, trackballu nebo myši umožňují dotykové obrazovky uživatelům mnohem těsnější kontakt se zobrazovanými daty, ti navíc nemusí držet v ruce žádné další ovládací zařízení. Dotykové displeje se používají především na poli tabletů, chytrých mobilních telefonů, přenosných autonavigací, ale objevují se i u notebooků, počítačových hybridů a v poslední době zažívají boom i v oblasti osobních automobilů, nejen na palubních počítačích, ale dokonce i na klíčích k dálkově ovládanému centrálnímu zamykání, jako v případě aktuálního BMW řady 7. Dotykové displeje lze rozdělit do několika skupin podle použité technologie.

### 5.1 Rezistivní dotykové displeje

Nejčastějším typem dotykových displejů jsou rezistivní displeje, nazývané též odporové. Tyto displeje mají na povrchu pružnou membránu, která je z vnitřní strany pokryta tenkou průhlednou kovovou vrstvou, pod kterou se nachází průhledná pevná vodivá vrstva a mezi nimi je tenká mezera navzájem izolující tyto vrstvy. Obě vrstvy jsou připojeny k řídicímu a vyhodnocovacímu modulu [7]. Ve chvíli, kdy se uživatel dotkne obrazovky, se pružná membrána prohne, horní vrstva se přitiskne na vrstvu spodní a začne mezi nimi procházet elektrický proud. Na základě velikosti tohoto proudu kontroler určí místo, kde k dotyku došlo.

Přestože základní princip činnosti rezistivního dotykového displeje zůstává stejný, existuje několik variant této technologie. Nejstarší původní technologie se nazývá čtyřvodičová, ta byla následně vylepšena na pětivodičovou, což zvýšilo životnost displeje. Nejvyspělejší varianta rezistivní dotykové technologie, která zpřesňuje ovládní obrazovky, je technologie osmivodičová [13].

Rezistivní dotykové displeje mají vysokou rychlost reakce a vysoké rozlišení, což umožňuje přesnější ovládní dotykových panelů. Další výhodou této technologie je fakt, že tyto displeje reagují na tlak, proto je možné je ovládat téměř jakýmkoli předmětem, přičemž funkci neovlivňuje ani světlo, ani voda, dokonce ani prach nebo jiné nečistoty. Rezistivní dotykové displeje také mají nízkou spotřebu energie a zároveň nízké výrobní náklady. Existuje zde ale riziko poškození odporové vrstvy ostrým předmětem, což způsobí, že dotykový displej přestane fungovat. Další nevýhodou je, že takováto dotyková obrazovka propouští pouze 80% světla [13].

### 5.2 Kapacitní dotykové displeje

Princip technologie kapacitních dotykových displejů je založen na přirozené vodivosti lidského těla. Povrch tohoto typu displeje je pokryt vodivou vrstvou a ve chvíli, kdy se uživatel dotkne displeje prstem, vznikne mezi displejem a prstem kapacita a díky tomu následně dojde k uzavření elektrického obvodu. Kontroler potom analyzuje kapacity a určí místo na displeji, kde se prst uživatele nachází.



Existuje i modifikovaná technologie kapacitního dotykového displeje, která pracuje na jeho principu, ovšem elektrické pole je zde vyzařováno do okolí. Největší přínos této modifikace spočívá v tom, že tento typ displeje může fungovat například za tenkou vrstvou plexiskla, což mnohonásobně zvýší jeho odolnost proti mechanickému poškození [13].

Kapacitní dotykové displeje jsou vysoce mechanicky odolné a případné nečistoty na povrchu displeje nijak neovlivňují jejich funkci. Mají taky vysokou propustnost světla, která dosahuje až 90%.

Nevýhodou tohoto typu dotykového displeje je fakt, že vzhledem k principu reaguje displej pouze na dotek elektricky vodivým předmětem a proto ho nelze ovládat například plastovým ukazovátkem [13].

### **5.3 Dotykové displeje s infračerveným zářením**

Funkce dotykových obrazovek s infračerveným zářením spočívá v husté síti infračervených paprsků vysílaných z diody na fototranzistor. Když se uživatel obrazovky dotkne, paprsek se přeruší a podle toho, kde se přeruší, displej následně rozezná, kde k dotyku došlo [13].

Hlavní výhodou dotykových displejů s infračerveným zářením je to, že obraz není překryt žádnou další vrstvou a mají tak vysokou propustnost světla. Infračervený systém lze navíc vyrobit jako jakýsi rám, který je následně možno připevnit na libovolný monitor. Pokud se tento rám připevní na standardní monitor, výsledkem bude dotyková obrazovka. Tyto displeje jsou ovšem méně přesné a díky tomu se příliš nehodí pro práci například s dotykovým perem [13].

### **5.4 Dotykové displeje s povrchovou akustickou vlnou**

Tyto dotykové displeje, které se označují také jako SAW, z anglického sousloví „Surface Acoustic Wave“, jsou již velmi sofistikované a jejich princip spočívá v šíření signálu po ploše displeje. V rozích obrazovky se nacházejí vysílače a přijímače, které vysílají a přijímají vlnění s frekvencí několika MHz. Když se uživatel displeje dotkne, toto vlnění se změní a řídicí jednotka podle této změny následně vyhodnotí místo, kde k dotyku došlo [13].

Technologie SAW poskytuje vysoké dotykové rozlišení, vysokou mechanickou odolnost a má rovněž vysokou propustnost světla, je ale také velmi citlivá na nečistoty na povrchu dotykového displeje. I malé nečistoty totiž mohou pohlcovat akustické vlnění, což způsobí, že na ploše displeje vzniknou hluchá místa. Tyto displeje je také nutné ovládat pomocí prstů nebo kožených ukazovátek, protože tvrdá ukazovátka na tomto typu dotykových obrazovek nefungují.

## 6 3D obraz

Základem všech 3D technologií poskytujících trojrozměrný obraz je stereopse, což je schopnost lidského mozku vytvořit hloubkový vjem spojením obrazů, které jsou viděny levým a pravým okem [13].

Vzhledem k odlišné poloze obou očí je obraz viděný levým okem mírně odlišný od obrazu viděného pravým okem.

### 6.1 Anaglyf

První metodou zprostředkovávající trojrozměrný obraz byl anaglyf. Princip spočívá v tom, že každý snímek obsahuje dva stejné obrazy, jeden je zbarven červeně a druhý modrozeleně, avšak tyto obrazy se nepřekrývají úplně přesně, ale jsou mírně posunuty. Takový snímek je rozmazaný a má nerealistické barvy, ale při použití brýlí s barevnými skly se jednotlivé obrazy pro každé oko separují. Červené sklo brýlí totiž propouští k oku pouze červenou barvu obrazu a modrozelené pouze modrozelenou. Díky tomu vidí každé oko jiný obraz, a protože jsou tyto obrazy navzájem mírně odlišné, vzniká dojem hloubky výsledného obrazu [13].

Pomocí této technologie bylo možné sledovat i filmy, které se natáčely dvěma kamerami umístěnými vedle sebe a následně byly promítány dvěma projektory, přičemž jeden promítal na plátno červený obraz a druhý obraz modrozelený. Promítané obrazy byly na plátně vůči sobě lehce posunuty, takže diváci mohli při nasazení barevných brýlí sledovat film trojrozměrně [13].

Tato technologie byla relativně levná, avšak díky tehdejší technice se masově neujala, poskytovala totiž mlhavý a roztřesený obraz, který měl špatné podání barev, bylo nutné nenaklánět hlavu na stranu a navíc se díky nedokonalému filtrování obrazů objevovali duchové. Technologie anaglyfu byla díky tomu vytlačena do ústraní a neujala se [13].

### 6.2 Lineární polarizace

Polarizovaný stereoskopický film se zrodil v roce 1936 pod rukama Edwina H. Landa a využívá sofistikovanější princip, než předchozí metoda [8]. V tomto případě jsou k projekci filmu také využívány dva projektory, jeden promítá obraz polarizovaný horizontálně a druhý polarizovaný vertikálně. Brýle propouštějí do jednoho oka obraz polarizovaný horizontálně a druhý vertikálně a promítá se na stříbrné nebo hliníkové plátno, protože tento materiál nemění polarizaci odraženého světla.

Technologie lineární polarizace byla nicméně velmi náročná na synchronizaci projektorů, polarizační filtry v brýlích navíc snižují jas obrazu a v případě naklonění hlavy na stranu polarizace selhává a objevují se duchové. Cirkulárně polarizovaná projekce sice problém s duchy později vyřešila, ostatní nevýhody této technologie ovšem přetrvávaly [13].

### 6.3 Aktivní 3D projekce

V případě aktivní trojrozměrné projekce obrazovka postupně zobrazuje obrazy v plném rozlišení pro každé oko zvlášť a s frekvencí aspoň 120 Hz, výsledný trojrozměrný obraz má tak frekvenci 60 Hz a jeví se spíše jako by byl až za obrazovkou, tedy v hloubce. Pro jeho sledování jsou nutné synchronizované zatmívací brýle, které ve chvíli, kdy se zobrazuje obraz pro levé oko, aktivně zakryjí pravé oko a naopak, proto vždy každé oko vidí jen to, co vidět má. Pro střídavé zatmavování obou očí ovšem tyto brýle potřebují zdroj energie a díky tomu bývají poměrně drahé a těžké, takže jsou pro diváka poměrně nekomfortní. Navíc díky tomuto zatmavování a šedozelenému nádechu skel klesá světlost výsledného trojrozměrného obrazu a blikání může některým uživatelům způsobovat problémy při delším sledování, navíc je také pro nejlepší dojem z trojrozměrného obrazu potřeba sledovat projekci z místa proti středu obrazovky, jakékoliv odchýlení negativně ovlivňuje výsledný dojem [13].

### 6.4 Pasivní 3D projekce

Princip pasivní trojrozměrné projekce se podobá principu Anaglyfu. Brýle zde filtrují signál tak, že do jednoho oka propustí pouze vertikální a do druhého pouze horizontální signál. Tyto brýle jsou pasivní, tedy nijak neblinkají a díky tomu, že nepotřebují žádný zdroj energie, tak jsou nejen mnohem lehčí, což se příznivě projeví na komfortu diváka, ale zároveň jsou i mnohem levnější. Další významnou výhodou pasivní 3D projekce je to, že není nutné projekci sledovat z místa proti středu obrazovky. Obraz se navíc u pasivního 3D jeví jak za plochou obrazovky, tak i před ní, navíc má velmi kvalitní podání barev. Díky polarizaci je výsledný obraz stále o něco tmavší, než bez brýlí, ale tento rozdíl lze určitým způsobem kompenzovat zvýšením jasu celé obrazovky.

### 6.5 Autostereoskopie

Nutnost použít jakékoliv brýle, ať už aktivní nebo pasivní, s sebou vždy nese určitý diskomfort pro uživatele, v některých případech dokonce i komplikace. Často bývá problém například vůbec dostat vlastní dioptrické brýle do stereoskopických brýlí. Technologie autostereoskopie poskytuje trojrozměrný obraz i bez použití speciálních brýlí a existuje ve dvou variantách.

První varianta spočívá v rozmístění pixelů na obrazovce tak, že z určitého místa je část z nich vidět jedním okem a zbytek druhým okem, což vytvoří prostorový efekt. Obrazovka poskytuje obraz pro obě oči a takzvaná paralaxní bariéra, což je filtr, který odstíní pro každé oko konkrétní sloupce pixelů a tak každé oko vidí pouze to, co má [13].

Druhá varianta obsahuje lentikulární čočky, které lámou světlo pod určitým úhlem do levého nebo do pravého oka [13].

Technologie autostereoskopie je pro tvorbu trojrozměrného obrazu na první pohled ideální, ale přesto má své nevýhody. Největší z nich jsou malé pozorovací úhly, což znemožňuje sledování trojrozměrného obrazu více lidmi najednou například z gauče nebo z kinosálu, další nevýhoda spočívá ve snížení jasů obrazovky.

## **6.6 3D v praxi**

V současnosti se již s trojrozměrným obrazem můžeme setkat i v domácnostech díky postupnému zlevňování 3D televizorů, které jsou ovšem stále dražší, než televizory bez podpory 3D technologie. K dostání je též řada 3D monitorů, takže si na své přijdou i hráči počítačových her a časem by se podpora 3D mohla stát i v oblasti počítačových monitorů, televizorů, chytrých mobilních telefonů a tabletů standardem.

## 7 Datové projektory

Datový projektor je elektronické zařízení, které přenáší přijímaný video signál získaný obvykle z přenosného počítače na promítací plochu, kterou je nejčastěji promítací plátno, zeď nebo tabule, k čemuž využívá sadu čoček a velmi silný zdroj světla. Nejčastěji se využívá při prezentacích nebo výuce, zrovna tak u některých domácích kin pro sledování filmů na velké ploše [13].

Nejstaršími zařízeními, která by mohla být označena za projektory, jsou promítačky filmových pásek, diapozitivů nebo zpětné projektory. Tyto přístroje mohou promítat obraz pouze z pevných médií, tedy z filmových pásek, z diapozitivů nebo z fólie, ovšem nemohou převést elektronický signál na obraz a ten následně promítnout. Díky tomu se za první skutečné projektory označují až CRT projektory [13].

### 7.1 CRT projektory

CRT technologie je nejstarší technologií v oblasti projektorů, dnes se používá spíše výjimečně a prakticky pouze na místech, kde je projektor nainstalován permanentně. Kromě rozměrů a hmotnosti takového projektoru bývá proces jeho seřízení a kalibrace všech tří jeho barevných výstupů tak, aby výsledný obraz odpovídal našim představám, velmi složitý a zdlouhavý, pro nezkušeného uživatele může být tento problém dokonce prakticky neřešitelný a navíc ve chvíli, kdy dojde k jakémukoli posunutí projektoru, je nutné celý nastavovací proces začít úplně znovu [13].

Hlavní rozdíl mezi CRT projektorem a CRT monitorem je v tom, že CRT monitor má pouze jednu katodovou trubici, zatímco CRT projektor má tyto trubice tři a každá z nich generuje obraz v jiné barvě RGB, což umožňuje dosáhnout větší svítivosti. Každá barva totiž může díky odděleným trubicím svítit naplno, zatímco v případě CRT monitoru je světelný výkon pro každou barvu třetinový.

Základem CRT projektorů jsou tři katodové trubice s vysokým jasnem podobné těm, které můžeme najít ve starších typech běžných televizních přijímačů nebo počítačových monitorů, které generují obraz a skrze optickou soustavu jej následně promítají na projekční plochu, kterou je nejčastěji promítací plátno. Každá trubice promítá vstupní video signál v jedné ze tří základních barev RGB, vzniká tak červený, zelený a modrý obraz najednou, jejich kombinací přímo na projekční ploše vzniká výsledný obraz. Díky tomu je také možné dosáhnout téměř libovolné barvy obrazu [13].

CRT projektory poskytují velmi kvalitní podání barev, především podání černé barvy je velmi věrné. Zvládají také vysoká rozlišení, přestože Full HD rozlišení je již dnes standardem i na jiných typech projektorů. Další výhodou je vysoký kontrast obrazu, mají nízký čas odezvy a kladem je i absence duhového efektu. CRT projektory jsou také velmi spolehlivé.

Nevýhoda CRT projektorů spočívá v rozměrnosti, vysoké hmotnosti a v podstatně složitějším procesu montáže, seřízení a kalibrace, ve srovnání s projektory typu LCD nebo DLP, což má zásadní dopad na možnou oblast použití. Spotřeba energie je také poměrně vysoká a svítivost nízká. U méně kvalitních zařízení může docházet k tomu, že se jednotlivé obrazy na plátně nepřekrývají tak, jak by měly, ale některý z nich je mírně posunutý, případně může dojít také k zakřivení geometrie v rozích obrazu [13].

## 7.2 LCD projektory

Hlavním impulsem pro vývoj LCD projektorů byl nejzásadnější nedostatek CRT projektorů, tedy nízká svítivost. Samotný název „LCD projektor“ je vlastně u většiny současných barevných LCD projektorů nepřesný, obvykle používaná technologie se totiž správně jmenuje 3LCD kvůli použití tří LCD displejů, pro každou barvu je uvnitř projektoru instalován právě jeden. První 3LCD projektor byl VPJ-700 od firmy Epson [13].

LCD projektory se od LCD monitorů liší především v tom, že LCD monitory zobrazují všechny barvy jediným LCD panelem, který poskytuje své rozlišení na relativně velké ploše, zatímco LCD projektory mají obvykle zabudovány tři malé LCD panely a každý z nich přitom poskytuje rozlišení srovnatelné s LCD monitorem, ale na nesrovnatelně menší ploše. Pro každou základní barvu je zde právě jeden LCD panel. To proto, že výroba takto malých LCD panelů, které by zvládly zobrazovat všechny barvy najednou při potřebné svítivosti, by byla nesmírně náročná a dvě ze tří barev by byly vždy na každém pixelu pohlceny, což by v důsledku způsobovalo velké zahřívání LCD panelu [13].

Pro generování světla se v LCD projektorech využívá výkonná metal-halidová lampa, ta je schopna vytvořit velmi intenzivní světlo s naprosto ideálním barevným tónem při poměrně dlouhé životnosti. Toto bílé světlo se následně směřuje na optický hranol, kde se obraz rozkládá na červenou, zelenou a modrou složku a následně každá z nich putuje k příslušným LCD panelům. Každý panel pak zobrazí obraz v jedné barvě RGB, následně se všechny složky obrazu složí na soustavě optických hranolů a kompletní obraz vyjde jako jeden svazek ven z projekčního objektivu projektoru a dopadne na projekční plochu.

LCD projektory jsou jejich relativně málo hlučné a poskytují věrné podání barev. Obraz je ostrý a jasný, svítivost je vyšší, než u projektorů typu CRT. K duhovému efektu u LCD projektorů nedochází a především modely s nižší svítivostí nabízejí i velmi dobrou životnost.

LCD projektory ovšem stárnou a jejich LCD displeje se vypalují. Čím delší dobu slouží, tím nižší je kvalita poskytovaného obrazu a stejně, jako v případě LCD monitorů, se navíc mohou objevit mrtvé pixely. Přestože LCD projektory mají prachový filtr, který brání vniknutí prachu, jsou i přesto náchylné na prašné prostředí.

## 7.3 DLP projektory

Technologie DLP z anglického Digital Light Processing pochází z dílen společnosti Texas Instruments [13]. Zaregistrována byla již v roce 1987, avšak do masivního použití se dostala až s příchodem projektorů určených pro běžné použití [9].

DLP projektory jsou technicky nejzajímavější a existují ve dvou verzích. První verze pracuje se třemi čipy, pro každou ze základních barev právě jedním, druhá verze používá pouze jeden čip. Na povrchu každého čipu jsou pixely nanесeny ve formě mikroskopických zrcátek, která se mohou velmi rychle otáčet, čímž vytvoří obraz a světlo se odrazí buď skrz optiku projektoru ven, nebo do rohu komory, kde je pohlceno. Na rozdíl od projektorů typu LCD je zde mnohem složitější proces regulace svítu a jeho intenzity vzhledem k tomu, že zrcadla v jeden okamžik buď světlo odrážejí, nebo neodrážejí. Proto je odstín barvy ovládán tak, že zrcátko v jeden okamžik odráží světlo do čočky a v druhý okamžik na chladič, který odvádí zbytkové teplo, které je produkováno lampou. V případě, že se zrcadlo dokáže dostatečně rychle otočit tak, aby odráželo světlo na čočku a následně na chladič, není pozorovatelné blikání obrazu [13].

### 7.3.1 Jednočipové DLP

Jednočipové DLP projektory využívají dvě metody pro generování barev. Jednodušší z nich je založena na LED osvětlení. Po velmi krátkou dobu svítí vždy jedna základní barva, která je následně regulována na zrcátkách, následně svítí druhá barva, která je také na zrcátkách regulována a nakonec svítí poslední barva a celý tento cyklus se neustále opakuje [13]. Druhá metoda pracuje s barevným filtrem, který je umístěn na kruhové ploše, která velmi rychle rotuje. Na této ploše jsou vedle sebe umístěny tři základní barvy, některé projektory mají část kotouče dokonce průhlednou pro zvýšení jasů a někteří výrobci používají i kotoučky, které kromě základních barev obsahují i barvu žlutou. Synchronizaci mezi čipem a barevným filtrem provádí procesor v projektoru. Když je na filtru určitá barva, na čipu se příslušně nastaví zrcátka a tím i odpovídající pixely. Protože celý proces probíhá na vysokých frekvencích, výsledný obraz se na promítací ploše jeví jako statický. Některé projektory zvládnou otočit filtrem třikrát během jednoho snímku a některé dokonce ještě k tomu zdvojují jednotlivé barvy, což umožňuje provádět až šest změn barvy během jednoho snímku [10]. Především u starších jednočipových DLP projektorů dochází díky principu zobrazení k duhovému efektu, a to především při zobrazování světlých objektů na tmavém pozadí [13]. Tento efekt vypadá tak, že se tmavé pozadí bezprostředně vedle světlých objektů zabarvuje základní barvou a toto zabarvení navíc není statické, ale jeho barva se několikrát za vteřinu mění mezi jednotlivými základními barvami, tedy z červené do zelené a do modré a zpět [13]. Tento efekt může divákům způsobovat například problémy s bolestí hlavy nebo s únavou očí.

Duhový efekt však lze potlačit například zvýšením počtu barevných změn během jednoho snímku nebo využitím Archimédovy spirály, která nahrazuje standardní

rozvržení filtrů na kruhovém kotouči, případně také LED výbojkami. Žádný z těchto způsobů ovšem duhový efekt zcela potlačit nedokáže.

Tento typ projektorů najde uplatnění především v kancelářích, případně v sestavách domácích kin, přičemž obě tato použití mají svá specifika.

Jednočipové DLP projektory, které jsou určeny pro použití v sestavách domácích kin, nabízejí především perfektní a přesné podání barev spolu s vynikajícím kontrastem, navíc s časem v provozu neklesá kvalita poskytovaného obrazu. Také jejich provozní hlučnost bývá nízká a příliš často netrpí mrtvými pixely. Jejich světelná technika je navíc poměrně spolehlivá a díky tomu tyto projektory nevyžadují příliš častou údržbu. K nevýhodám těchto projektorů patří především duhový efekt, menší svítivost a vyšší cena.

Výhoda jednočipových DLP projektorů, které jsou určeny primárně pro použití v kancelářích, je především vyšší jas obrazu v porovnání s DLP projektory pro domácí kina. Poskytují vysoký kontrast obrazu, jejich provozní hlučnost je nízká, jsou spolehlivé a po stránce údržby poměrně nenáročné. S časem v provozu se nesnižuje kvalita obrazu a navíc je tento typ projektorů levnější, než projektory určené pro domácí kina. Podání barev ovšem není tak věrné, jako u projektorů pro domácí kina a duhový efekt je výraznější.

### **7.3.2 Tříčipové DLP**

Jednočipové projektory typu DLP trpěly technickými nedostatky, bylo tedy potřeba přijít s novým principem projekce. Tříčipové DLP projektory generují všechny tři barvy RGB současně, nemusí tedy mezi nimi přepínat. Tříčipová DLP technologie naprosto vylučuje vznik duhového efektu, světlo z lampy se na optickém hranolu rozdělí na červenou, zelenou a modrou složku, ty se pomocí zrcadel následně odráží na jednotlivé čipy a každý čip tak obsluhuje pouze jednu z přidělených základních barev spektra. Díky tomu může projektor podstatně lépe zpracovat výsledný obraz, protože za jeden snímek nemusí čip neustále přepínat mezi několika barvami, ale má vždy jeden celý snímek k tomu, aby nastavil "pixely" do potřebné polohy [9]. S tříčipovými DLP projektory se dnes setkáme v moderních digitálních kinech.

Tříčipových DLP projektory poskytují vynikající, kontrastní a velmi detailní obraz s věrným podáním barev a vyšším jasnem oproti jednočipové DLP technologii. Tyto projektory jsou na druhé straně velmi rozměrné, jejich provozní hlučnost nepatří k nejnižším a jejich lampa nevydrží příliš dlouho. Dalším negativem tříčipové DLP technologie je vyšší cena projektorů.

### **7.4 LED projektory**

LED projektory pracují na stejném principu jako DLP projektory, ale zdrojem světla jsou zde LED diody místo lampy. Tyto projektory mají nízkou spotřebu



energie díky absenci lampy a jsou také mnohem méně rozměrné. Disponují ovšem velmi nízkou světelností ve srovnání s DLP projektory.

## 7.5 LCOS projektory

Poměrně nová technologie na poli projektorů se označuje LCOS z anglického Liquid Crystal on Silicon. Technologie LCOS se ovšem více využívá v odvětví projekčních televizorů, než v odvětví projektorů. Poskytuje totiž mnohem vyšší rozlišení ve srovnání s běžnými LCD projekčními televizory a dokonce i ve srovnání s plazmovými televizory. Projekční televize typu LCOS je tak mnohem levnější a i její výroba je mnohem levnější [13].

LCOS projektory fungují na principu kombinace toho nejlepšího z technologií LCD a DLP projektorů. Lampa vytváří světlo, to se následně na optickém hranolu rozděljuje na červenou, zelenou a modrou složku, tyto složky pak dopadají na LCOS displej, od kterého se odrazí, podobně jako v případě DLP projektorů. Obraz na displeji je v šedých odstínech. V případě černé barvy se světlo neodrazí, čím světlejší barva, tím více světla se od displeje odrazí [11]. Odražené světlo všech tří barevných složek se následně na hranolu spojuje a vyjde z projektoru na promítací plochu.

Technologie LCOS je prakticky stejná, jako DLP, ale je zde stejně jako u LCD použita vrstva tekutých krystalů místo odrazových zrcadel, které u technologie DLP ovládajících svět jednotlivých pixelů [13]. Hlavní rozdíl oproti LCD ale spočívá v samotném principu, kdy u LCD projektoru světlo přes tekuté krystaly prochází, u LCOS je tekutý krystal nanesený na vrstvě silikonového čipu, který má na svém povrchu vysoce reflexivní vrstvu odrážející světlo [9].

Stejně jako u technologie DLP mohou být také projektory typu LCOS postaveny buď jednočipovou, nebo tří-čipovou technologií, přičemž princip zobrazení je naprosto totožný s technologií DLP. U tří-čipových systémů se všechny barvy generují současně na třech různých čipech a následně se skládají v optickém hranolu [9], jednočipový systém naproti tomu generuje vždy jednu barevnou složku skrze rotační barevný filtr. Princip se zakládá na nedokonalosti lidského oka, které nevidí rychle se střídající barvy. U projektorů typu LCOS dochází k duhovému efektu [13].

LCOS projektory nabízejí vysoké rozlišení, vynikající podání barev a vysoký kontrast, tříčipové LCOS projektory navíc netrpí duhovým efektem. Výsledný obraz je plně srovnatelný projekcí filmu v kině.

LCOS projektory jsou ovšem poměrně drahé a mrtvé pixely jsou mnohem více viditelné a více ruší obraz, než u ostatních typů projektorů.

## **7.6 Interaktivní projektory**

Interaktivní projektory vytvářejí obraz, který je ovládaný dotykem. Vznikly jako alternativa interaktivních tabulí, které jsou poměrně drahé a ve většině případů jednoúčelové. Tyto projektory jsou levnější a mohou fungovat i samostatně prakticky kdekoliv. Hlavní výhodou oproti klasickým projektorům je možnost provádění změn v zobrazovaných datech bez nutnosti přecházení k počítači, je tedy možné přímo na projekční ploše například otevírat jednotlivé obrázky z webové galerie nebo napsat poznámku do prezentace. Interaktivní projektor v sobě má zabudovaný snímač, který snímá polohu elektronického pera, které je součástí balení, což umožňuje uživateli pracovat s tímto perem podobně, jako s myší u počítače. Dotykový obraz jako takový lze promítat prakticky kamkoliv, tedy například na stěnu místnosti, omezení představuje spíše pohyb pera po takovém povrchu, výhodnější je proto promítání na tabuli [14].

## 8 Dotazník pro žáky

Dotazník pro žáky se skládá ze sedmi uzavřených otázek, které jsou formulovány tak, aby bylo vyplňování dotazníků proveditelné v relativně krátkém čase, například na začátku vyučovací hodiny, a zároveň tak, aby co nejlépe vystihovaly pohled žáka na problematiku využívání zobrazovacích zařízení při vyučovacích hodinách. Přestože je formulace uzavřených otázek většinou komplikovanější, než formulace otevřených otázek, zvolil jsem pro dotazník nakonec uzavřené otázky. Jednak proto, aby bylo možné výsledky přesněji zpracovat a zároveň kvůli již zmíněné možnosti zvládnout vyplnit dotazníky během nejvýše pěti minut na začátku nebo na konci vyučovací hodiny. Tak bylo možné získat názory celé třídy za celkem minimálního narušení vzdělávacího procesu, pro rozdání, vyplňování a vybírání dotazníků jsem totiž využíval času, kdy vyučující zapisoval do třídní knihy. Celkový počet respondentů je 111, protože bylo odevzdáno 111 použitelných dotazníků; dalších 8 odevzdaných dotazníků nebylo možné do výzkumu zařadit, protože neobsahovaly odpovědi na všechny otázky.

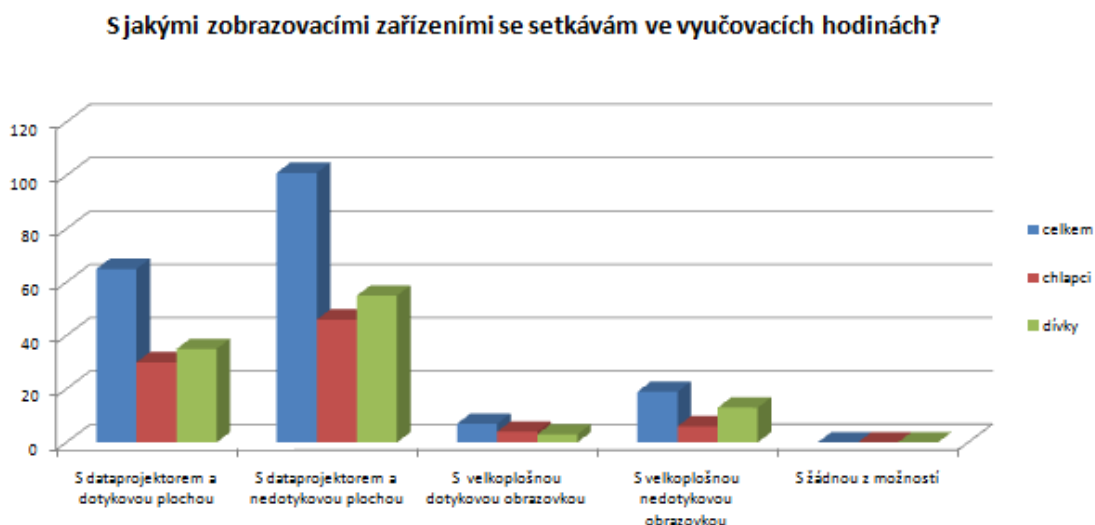
### 8.1 Otázka 1

Text otázky je formulován takto: „S jakými zobrazovacími zařízeními se setkávám ve vyučovacích hodinách?“ Tato otázka umožňuje volbu více odpovědí, z tohoto důvodu je označena hvězdičkou a pod vlastním textem otázky je uvedeno, že lze vybrat více odpovědí. Možnost volby více odpovědí, tedy formu výčtové otázky, jsem zde zvolil proto, že v dané učebně, kde jsem dotazníky rozdával, může být pro projekci využíván například datový projektor s dotykovou plochou, ovšem v jiné učebně téže školy může být využívána například velkoplošná obrazovka.

Možnosti odpovědí jsou následující:

- a) s dataprojektorem a dotykovou plochou
- b) s dataprojektorem a nedotykovou plochou (plátno/stěna),
- c) s velkoplošnou dotykovou obrazovkou,
- d) s velkoplošnou nedotykovou obrazovkou,
- e) s žádnou z možností/projekci při vyučovacích hodinách nevyužíváme

Výsledky zobrazuje přiložený graf:



**Graf 1 – Používaná zobrazovací zařízení**

Odpovědi na první otázku dotazníku ukazují, že nejčastějším typem zobrazovacího zařízení ve vyučování je klasická kombinace projektoru a nedotykové plochy. Poměrně často se objevuje i kombinace projektoru a nedotykové plochy. Méně častá je velkoplošná nedotyková obrazovka a ještě méně často se objevuje velkoplošná dotyková obrazovka. Nikdo z respondentů však neodpověděl, že by se projekce při vyučování nepoužívala vůbec.

## 8.2 Otázka 2

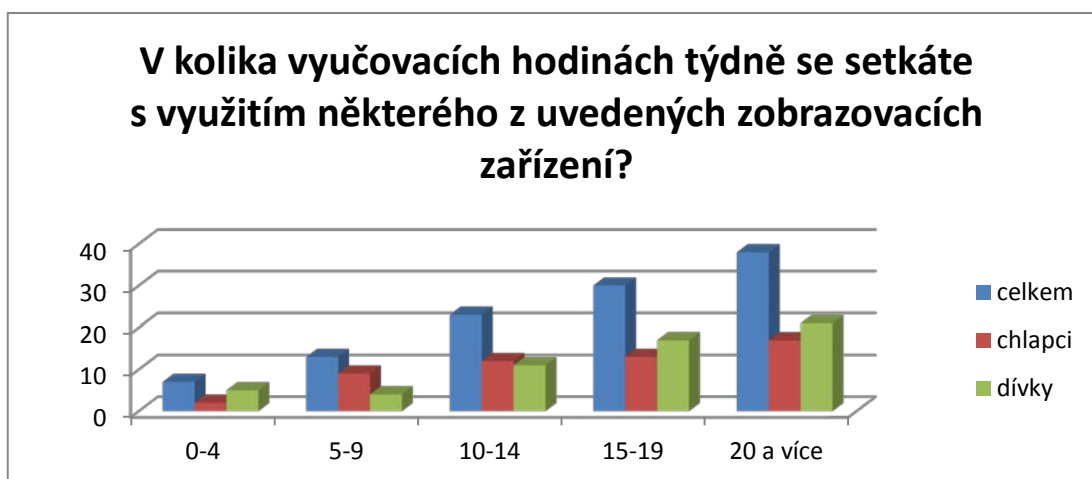
Tato otázka umožňuje výběr pouze jedné odpovědi, jedná se o standardní výběrovou otázku. Text zní takto: „V kolika vyučovacích hodinách týdně se setkáte s využitím některého z uvedených zobrazovacích zařízení?“

K této otázce jsem podával vysvětlující komentář. Protože je velmi pravděpodobné, že každý týden bude počet vyučovacích hodin s využitím zobrazovacích zařízení jiný, volba odpovědi by se měla vztahovat k průměru.

Možné odpovědi jsou tyto:

- a) 0-4
- b) 5-9
- c) 10-14
- d) 15-19
- e) 20 a více

Výsledky ukazuje graf:



**Graf 2 – Četnost používání zobrazovacích zařízení**

Z odpovědí na druhou otázku je zřejmé, že se zobrazovací technika využívá poměrně hojně, 38 respondentů odpovědělo, že se promítá při dvaceti a více vyučovacích hodinách týdně, 30 respondentů uvádí průměrně 15-19 vyučovacích hodin s využitím zobrazovací techniky týdně.

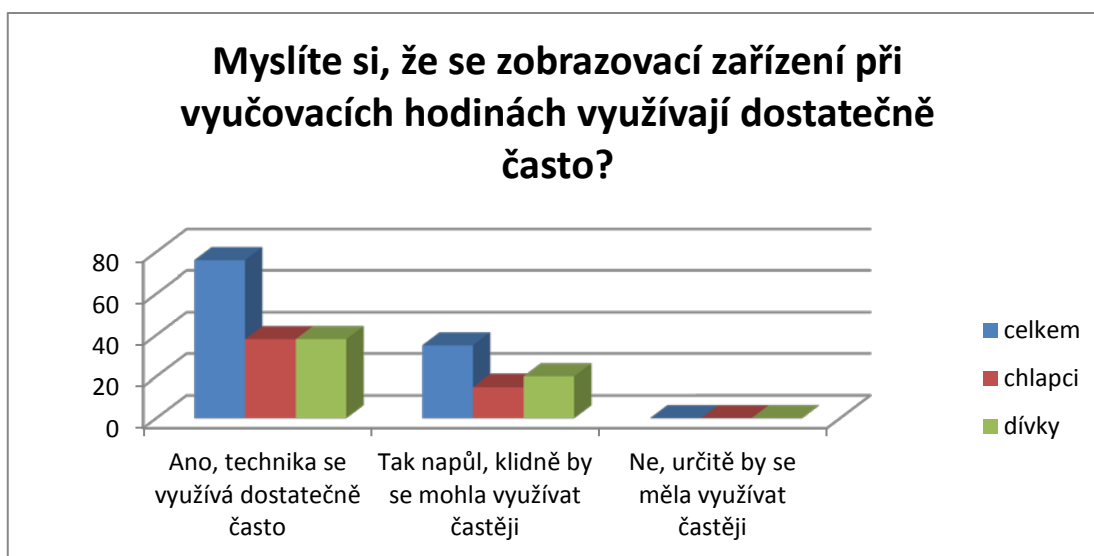
### **8.3 Otázka 3**

Tato otázka je v podstatě modifikovanou variantou standardní trichotomické otázky. Do dotazníku jsem ji zahrnul proto, abych získal představu o tom, jestli si žáci myslí, že jsou možnosti zobrazovacích zařízení při vyučovacích hodinách dostatečně využívány. Text otázky jsem formuloval takto: „Myslíte si, že se zobrazovací zařízení při vyučovacích hodinách využívají dostatečně často?“

Vzhledem k tomu, že se jedná o dotazník pro žáky, odpovědi záměrně nejsou formulovány tak stroze, jako v případě klasické trichotomické otázky. Možnosti odpovědi jsou tyto:

- a) ano, technika se využívá dostatečně často
- b) tak napůl, klidně by se mohla využívat častěji
- c) ne, určitě by se měla využívat častěji

Výsledky zobrazuje přiložený graf:



**Graf 3 – Názory na četnost používání zobrazovacích zařízení**

V celém vzorku se nenašel nikdo, kdo by si myslel, že zobrazovací zařízení jsou ve vyučování využívána nedostatečně, naopak výrazná většina respondentů tvrdí, že je tato technika využívána dostatečně často.

#### **8.4 Otázka 4**

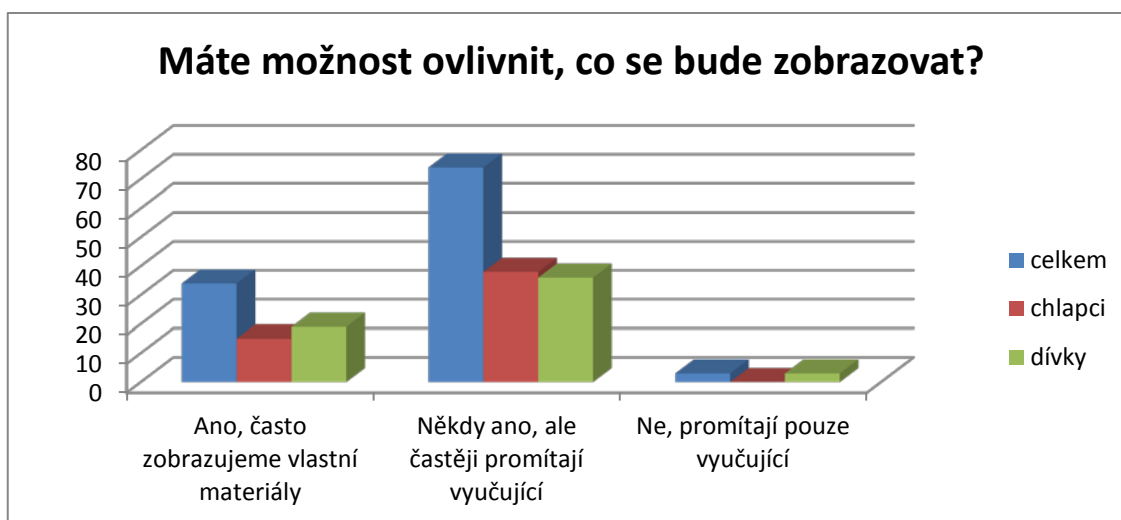
Také tato otázka je modifikovanou variantou trichotomické otázky. Text otázky je formulován takto: „Máte možnost ovlivnit, co se bude zobrazovat?“

Zde se mi jednalo o zjištění, jestli i žáci mohou aspoň občas promítat své materiály nebo jestli vyučující žáci a jejich práci k projektoru vůbec nepouští.

Na tuto otázku lze odpovědět následujícími třemi způsoby:

- a) ano, často zobrazujeme vlastní materiály (např. prezentace, referáty nebo domácí úkoly)
- b) někdy ano, ale častěji promítají vyučující
- c) ne, promítají pouze vyučující

Výsledky jsou vidět v grafu:



Graf 4 – Možnost ovlivnit, co se bude zobrazovat

Na otázku, zda mají žáci možnost ovlivnit, co se bude promítat, odpověděla výrazná většina respondentů, že někdy ano, ale častěji promítá vyučující. Tři respondenti uvedli, že možnost ovlivnění projekce nemají, že technika je plně v moci vyučujícího.

## 8.5 Otázka 5

Jedná se o standardní výběrovou otázku, její text otázky jsem formuloval takto: „Jak často míváte problémy se čtením nebo rozpoznáváním zobrazovaných informací?“

Tuto otázku jsem do dotazníku zařadil proto, že z vlastní zkušenosti vím, že v některých případech není promítaný text dobře čitelný a to i z bezprostřední blízkosti, například z první lavice, což způsobuje řadu problémů.

Možnosti odpovědí jsou následující:

- a) nikdy
- b) výjimečně
- c) často
- d) téměř vždy
- e) vždy

Výsledky ukazuje graf:



Graf 5 – Problémy se čtením

Ohledně problémů se čtením nebo rozpoznáváním zobrazovaných informací se výrazná většina respondentů vyjádřila, že takové problémy mívají pouze výjimečně, 22 z nich dokonce zvolilo možnost "nikdy". Nikdo z respondentů nevedl, že by měl problémy se čtením vždy.

## 8.6 Otázka 6

Text šesté otázky je formulován takto: „Jaká zobrazovací zařízení Vám z různých důvodů nejvíce vyhovují?“ Tato otázka umožňuje volbu více odpovědí, proto je označena hvězdičkou a pod vlastním textem otázky je doslova uvedeno „Lze vybrat více odpovědí“. Zde jsem formu výčtové otázky zvolil z toho důvodu, že některým žákům může více vyhovovat například velkoplošná obrazovka v dotykové i nedotykové variantě, zatímco jiní žáci mohou preferovat například jakoukoliv dotykovou technologii a další zase primárně datový projektor, ať už s dotykovou nebo nedotykovou variantou.

Za odpověď lze zvolit tyto možnosti:

- dataprojektor a dotyková plocha
- dataprojektor a nedotyková plocha (plátno/stěna)
- velkoplošná dotyková obrazovka
- velkoplošná nedotyková obrazovka
- nemůžu porovnat, mám zkušenosti pouze s jednou z možností nebo se žádnou z nich



Výsledky ukazuje graf:



Graf 6 – Oblíbenost zobrazovacích zařízení

Nejoblíbenější ze zobrazovacích zařízení je mezi žáky dataprojektor s dotykovou plochou, v těsném závěsu je dataprojektor s nedotykovou plochou, s velkým odstupem potom následuje velkoplošná dotyková obrazovka. Z výsledků plyne, že ať už se promíná na čemkoliv, vždy je populárnější dotyková varianta řešení.

Odpovědi na otázku 6 podle věku respondentů ukazují, že čtyři žáci do 15 let včetně nemohou porovnat, které zařízení jim při výuce nejvíce vyhovuje, protože mají zkušenosti pouze s jedním z nich. Ze žáků od 16 do 17 let včetně nemohou zobrazovací zařízení objektivně porovnat 3 respondenti, starší žáci pak již možnost srovnání mají.

Výsledky ukazuje tabulka a graf.



Graf - Oblíbenost zobrazovacích zařízení dle věku žáků a studentů

Tabulka 1 - Oblíbenost zobrazovacích zařízení dle věku žáků a studentů

Otázka 6 podle věku respondentů	do 15	16-17	18-20
Dataprojektor a dotyková plocha	16	30	16
Dataprojektor a nedotyková plocha	17	26	17
Velkoplošná dotyková obrazovka	2	5	7
Velkoplošná nedotyková obrazovka	2	3	1
Nemůžu porovnat	4	3	0

Věk respondentů počítám z uvedeného roku narození, jedná se o věk, kterého žák dosáhl nebo dosáhne v kalendářním roce 2016.

### 8.7 Otázka 7

Poslední otázka dotazníku pro žáky je opět modifikovanou variantou trichotomické otázky. Text zní takto: „Preferujete vyučovací hodiny s nasazením zobrazovací techniky nebo dáváte přednost hodinám bez použití této techniky?“

Tuto otázku jsem do dotazníku zařadil proto, abych zjistil, jak se sami žáci k využití zobrazovací techniky při hodinách staví.

Možné odpovědi jsou tyto:

- mám raději vyučovací hodiny s nasazením zobrazovací techniky
- je mi to jedno
- mám raději hodiny bez využití techniky

Výsledky ukazuje graf:



**Graf 8 – Nasazení vs. nenasazení zobrazovací techniky**

Preference vyučovacích hodin s využitím zobrazovací techniky je zřejmá, 75 respondentů má raději hodiny, kde se tato technika využívá, 5 respondentů ovšem odpovědělo, že mají raději hodiny, při kterých se tato zařízení nevyužívají. Čtyři z nich jsou přitom ve věku do 15 let.

## 9 Příklady vhodných zobrazovacích zařízení

Existuje velmi široká nabídka přístrojů, při jejich výběru je nutno zohlednit celou řadu parametrů. Mezi nejdůležitější patří celková velikost obrazu, která je dána zejména úhlopříčkou a poměrem stran, a zřetelnost obrazu, která je dána zejména rozlišením a kontrastním poměrem. Neméně podstatná jsou ekonomická a ekologická hlediska, tedy zejména celková spotřeba, životnost a délka záruční doby, náročnost na údržbu a servis.

### 9.1 Interaktivní projektor

Padne-li rozhodnutí vybavit třídu interaktivním projektorem, nabízí se model EB-595Wi od firmy Epson. Je to 3LCD projektor, má nativní rozlišení WXGA, tedy 1366x768 pixelů pro poměr stran 16 :9 a 1280x800 pixelů pro poměr stran 16 :10, což je výhodné vzhledem k běžnému použití širokoúhlých displejů u současných notebooků. Zařízení má také HDMI vstup. Poznámky lze do obrazu vkládat buď prsty, nebo dvěma dotykovými pery s rychlou odezvou, což umožňuje nezávisle pracovat učiteli i žákovi, případně dvěma žákům, každý z nich přitom může mít pero různě nastavené.



Obrázek 1 – Interaktivní projektor Epson EB-595Wi

Lampa má životnost až 6000 hodin v úsporném režimu, ve standardním pak 4000 hodin, přístroj je možné zapnout a ihned používat, není třeba čekat na jeho zahřátí a funkce bezdrátového připojení umožňuje sdílení obrazu z celé řady chytrých zařízení. Projektor je také vybaven 16W reproduktorem. Hmotnost zařízení je 5,5 kg, spotřeba energie je 358 W, v ekonomickém módu pak 270 W, v pohotovostním 0,33 W. Záruka na přístroj je standardní 2 roky, záruka na lampu 12 měsíců nebo

1000 hodin. Projektor je kompatibilní s operačními systémy Linux, Mac OS X, Windows 7 a Windows 8. Úhlopříčka promítaného obrazu se pohybuje mezi 60 a 100 palci, kontrastní poměr je 10 000:1.

Nejlevněji tento projektor nabízí internetový obchod Promítací technika.cz za 56 650,-Kč, druhou nejlevnější nabídku nabízí Videoprojektory.cz – 56 799,-Kč, za třetí nejnižší cenu je tento projektor k mání na Optima.cz, za 56 970,-Kč.

Novou originální lampu nabízí server Epson.cz za 1 941,-Kč, vzduchový filtr pak stojí 631,-Kč. Čištění a celkovou údržbu bych vzhledem k ceně zařízení a obvyklé ceně těchto servisních úkonů doporučil přenechat profesionálům.

## 9.2 Velkoplošná obrazovka

Pokud padne volba na velkoplošnou obrazovku, ideální volbou se jeví displej s úhlopříčkou nad 150 centimetrů, což odpovídá 60 palcům, tedy nejmenšímu rozměru obrazu promítaného výše uvedeným interaktivním projektorem. Zajímavou volbou by mohl být model Samsung UE60J6272.



Obrázek 2 – Velkoplošná obrazovka Samsung UE60J6272

Většina těchto velkoplošných televizí má totiž všechny možné funkce, které se v prostředí školní třídy nejspíše nevyužijí, zato výrazně zvyšují cenu zařízení. Tento typ tak například nepodporuje jakýkoliv 3D obraz, stejně jako 4K rozlišení, má ovšem HDMI vstup, takže je možné zařízení připojit k počítači jako externí

monitor. Samozřejmostí je USB slot, nechybí také Wi-Fi a Bluetooth. Úhlopříčka displeje je 152 centimetrů, průměrná spotřeba energie činí 85 W.

Nejlevnější nabídka pochází ze serveru Inter-Store.cz, cena je 25 471,-Kč, druhá nejlevnější nabídka je na serveru Elektrochrám.cz s cenou 25 989,-Kč, stejnou cenu nabízí i server RZ Technic.cz.

Tento přístroj v sériovém provedení nepodporuje dotykové ovládání, je ovšem možné dokoupit dotykový rámeček od externího výrobce. Například server Kobe.cz nabízí dotykový rám s úhlopříčkou 65 palců za cenu 14 339,-Kč.

## 10 Doporučení pro pedagogickou praxi

Na základě výsledků dotazníkového šetření a na základě dostupných informací bych ve třídách upřednostnil velkoplošné televize před projektory. Hlavním důvodem nejsou ani tak pořizovací a provozní náklady, jako spíše všechny starosti spojené se servisem projektorů. I kdyby byla pořizovací cena interaktivního projektoru srovnatelná s pořizovací cenou velkoplošné televize včetně dotykového rámečku, stále má televize minimální nároky na údržbu a řádově nižší spotřebu energie. Pokud by navíc byla televize připojena k počítači jako externí monitor, ovládání zobrazovaných dat by bylo poměrně intuitivní. Z didaktického hlediska by určitě pomohlo dodatečné vybavení těchto obrazovek dotykovými rámečky, dotykovou technologii žáci při vyplňování dotazníků preferovali a učitel by při nutnosti změnit zobrazovaná data nemusel nutně přecházet k počítači, což by mu poskytlo větší svobodu pohybu během výkladu.

S přihlédnutím k výsledkům dotazníkového šetření a orientačního průzkumu trhu lze dále formulovat následující doporučení:

- S ohledem na dobrou viditelnost zobrazovaných dat z celé třídy lze za minimální rozměr považovat zařízení s úhlopříčkou obrazu 60 palců.
- Vzhledem k dnešnímu širokoúhlému standardu notebooků lze preferovat širokoúhlé zobrazení 16:9 nebo 16:10.
- Jas a kontrast musí umožnit pohodlné sledování obrazu i bez nutnosti zatemnění učebny.
- Vzhledem k nižší pořizovací ceně a téměř bezúdržbovému provozu se jeví jako výhodnější použití velkoplošných obrazovek, než datových projektorů.
- Přes vyšší cenu je vhodné zajistit interaktivitu prostřednictvím dotykové plochy, ať už je sériovou součástí zařízení nebo jeho doplňkem.

## **Závěr**

Práce se zabývala problematikou nasazení datových projektorů a velkoplošných obrazovek ve školách. Podařilo se porovnat datové projektory a velkoplošné obrazovky po stránce všech souvisejících nákladů, náročnosti na údržbu i z didaktického a uživatelského hlediska a základě tohoto porovnání i výpovědí studentů v dotaznících formulovat několik univerzálních stručných doporučení pro pedagogickou praxi.



## Použité zdroje

- [1] OLIVKA, Petr a Tomáš KOTULA. *Zobrazovací jednotky počítačů - monitory: Studijní materiál pro předmět Architektury počítačů* [online]. Ostrava, 2010. [cit. 2013-05-07]. Dostupné z:  
<http://poli.cs.vsb.cz/edu/arp/down/monitory.pdf>
- [2] TESAR, Jiří. CRT monitory. In: *Průvodce hardwarem* [online]. 2002 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z:  
[http://www.pf.jcu.cz/stru/katedry/fyzika/prof/Tesar/diplomky/pruvodce\\_hw/komponenty/zobraz-zarizeni/monitor/crt.htm](http://www.pf.jcu.cz/stru/katedry/fyzika/prof/Tesar/diplomky/pruvodce_hw/komponenty/zobraz-zarizeni/monitor/crt.htm)
- [3] JAVIER. Monitores. *MME Primero* [online]. [cit. 2013-05-07]. Dostupné z:  
<http://javiermme.blogspot.cz/2012/03/monitores.html>
- [4] BRNA, Branislav. Technologie LCD pro notebooky. *Notebook* [online]. 2006 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z:  
<http://notebook.cz/clanky/technologie/2006/LCD>
- [5] KOVAČ, Pavel. Technologie LCD panelů. *Svět hardware* [online]. 2013 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z:  
<http://www.svethardware.cz/technologie-lcd-panelu/14465>
- [6] KABÁT, Zdeněk. Technologie: Plazma displeje. *Svět hardware* [online]. 2003 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z:  
<http://www.svethardware.cz/technologie-plazma-displeje/8874>
- [7] SNÁŠEL, Jaroslav. Už vím, jak fungují dotykové displeje. *Mobil Mania* [online]. 2004 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z:  
<http://www.mobilmania.cz/uz-vim-jak-funguji-dotykove-displeje/a-1108570>
- [8] ZUBATÝ, Pavel. Dlouhá cesta k 3D televizi. *TV Freak* [online]. 2010 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z:  
<http://www.tvfreak.cz/dlouha-cesta-k-3d-televizi/3803>
- [9] KUCHAR, Martin. Technologie projektorů a jejich kvality. *PC Tuning* [online]. 2008 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z:  
[http://pctuning.tyden.cz/hardware/monitory-lcd-panely/12213-technologie-projektoru\\_a\\_jejich\\_kvality](http://pctuning.tyden.cz/hardware/monitory-lcd-panely/12213-technologie-projektoru_a_jejich_kvality)
- [10] BOČEK, Pavel. Technikálie: Jak pracují digitální projektory. *CNews* [online]. 2012 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z:  
<http://pcrady.cnews.cz/clanky/technikalie-jak-pracuji-digitalni-projektory>

- [11] KOLÁČEK, Michal a Petr PAPEŽ. Projektory: technologie promítání obrazu. *TV Freak* [online]. 2008 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <http://www.tvfreak.cz/projektory-technologie-promitani-obrazu/2737>
- [12] HORÁK, Jaroslav. *Hardware: učebnice pro pokročilé*. 4. aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2007, 360 s. ISBN 978-80-251-1741-5.
- [13] MINAŘÍK, Jan. *Elektronická zobrazovací zařízení od počátků po současné trendy*. Hradec Králové, 2013.
- [14] Co je interaktivní projektor, jak funguje,.. *Interaktivní projektory.cz* [online]. c2010-2014 [cit. 2016-06-27]. Dostupné z: <http://www.interaktivni-projektory.cz/vse-o-interaktivnich-projektorech/>

# Přílohy

## Příloha č.1 – Přehled odpovědí všech respondentů

Odovědi:	otázka 1	otázka 2	otázka 3	otázka 4	otázka 5	otázka 6	otázka 7	pohlaví	věk
respondent 1	b	c	a	a	c	e	b	chlapec	15
respondent 2	a,b	e	a	b	c	a,b	a	dívka	18
respondent 3	b	e	b	a	b	a	a	dívka	17
respondent 4	a,b	d	a	a	c	a,b	a	dívka	18
respondent 5	a,b	d	a	b	b	b	a	dívka	18
respondent 6	b,d	e	b	b	c	a,b	a	chlapec	14
respondent 7	b	e	a	b	b	a	b	chlapec	14
respondent 8	b	e	a	b	b	b	a	chlapec	14
respondent 9	b,d	e	a	b	a	b,d	b	dívka	15
respondent 10	a,b	e	b	b	b	b	a	dívka	17
respondent 11	b,d	e	b	b	b	a	b	dívka	14
respondent 12	b,d	e	a	b	b	a	a	dívka	15
respondent 13	b	e	a	b	a	b	a	chlapec	14
respondent 14	b	e	a	a	b	e	b	chlapec	14
respondent 15	b	e	b	b	b	a	a	chlapec	14
respondent 16	b,d	e	a	b	b	b	b	dívka	15
respondent 17	b	c	b	a	b	b,d	a	chlapec	15
respondent 18	b	c	b	b	b	b	a	dívka	15
respondent 19	b	b	a	b	b	b	b	dívka	14
respondent 20	b	a	b	a	b	a,b	a	dívka	14
respondent 21	b	c	b	b	a	a,b	b	dívka	14
respondent 22	b	d	b	a	b	e	a	dívka	15
respondent 23	b	c	b	c	d	c	a	dívka	15
respondent 24	b	c	b	b	b	a	a	chlapec	15
respondent 25	a,c	e	a	a	b	a,c	a	dívka	14
respondent 26	b	d	b	b	a	b	a	dívka	15
respondent 27	a,b	e	a	a	b	a,b	a	dívka	14
respondent 28	a	b	a	b	b	a	a	chlapec	16
respondent 29	a,b	d	a	b	b	a,b	a	dívka	17
respondent 30	a	c	b	b	b	a,c	a	chlapec	16
respondent 31	a,b	c	a	b	b	b	a	dívka	16
respondent 32	a,b	c	b	b	b	b,c	a	dívka	18
respondent 33	a,b	d	a	b	b	b	a	dívka	19
respondent 34	a,b,d	d	a	a	b	a	a	dívka	18
respondent 35	a,b	b	b	b	b	a	b	dívka	18
respondent 36	a,b	d	a	a	a	a,b	a	chlapec	19
respondent 37	b	c	a	b	c	b	a	chlapec	19
respondent 38	a	e	a	b	b	a	a	chlapec	19

respondent 39	a,b,d	e	a	b	b	b	b	dívka	19
respondent 40	b	e	a	b	b	a	a	chlapec	19
respondent 41	b	d	a	b	b	c	a	dívka	19
respondent 42	b	e	a	b	b	a	a	chlapec	19
respondent 43	b	b	b	b	b	a	b	dívka	16
respondent 44	a,b	d	a	a	a	a	a	dívka	16
respondent 45	a,d	d	b	a	b	c	a	chlapec	16
respondent 46	a,b	e	a	a	b	b,d	a	chlapec	17
respondent 47	b	e	a	b	b	b,e	a	dívka	16
respondent 48	a,b	e	a	b	b	a,b	c	dívka	15
respondent 49	a,b	d	a	b	c	b	a	dívka	16
respondent 50	b	d	a	b	b	a	a	chlapec	15
respondent 51	a,b,d	e	a	a	b	a	a	dívka	15
respondent 52	a,b,d	e	a	a	b	a	a	dívka	16
respondent 53	b	d	a	a	a	b	a	chlapec	16
respondent 54	a,b	b	a	a	b	b	c	dívka	16
respondent 55	a,b	a	b	c	b	a,c	a	dívka	17
respondent 56	b	e	a	a	a	b	a	chlapec	17
respondent 57	a	a	b	a	b	e	a	dívka	17
respondent 58	a,b	e	a	a	b	a,b	b	dívka	18
respondent 59	a,b,c	d	a	a	a	b,c	b	dívka	18
respondent 60	a,b,d	d	a	b	b	a,b	a	chlapec	16
respondent 61	b	b	b	b	b	a,c	b	chlapec	17
respondent 62	a,b,c,d	c	a	b	b	a,b,c	b	chlapec	17
respondent 63	a,b	a	b	a	b	a	b	dívka	16
respondent 64	a,b	d	a	a	b	a,b	a	dívka	16
respondent 65	a,b,c	c	b	b	a	b,c	a	dívka	19
respondent 66	a,b	e	b	a	b	a,b	b	dívka	19
respondent 67	a,b,d	c	a	b	b	a,b	a	dívka	19
respondent 68	b,d	d	a	b	b	a	a	dívka	16
respondent 69	b	a	a	a	b	e	b	dívka	15
respondent 70	a,b	a	a	a	b	b	c	chlapec	15
respondent 71	b	d	b	b	b	a	b	chlapec	14
respondent 72	b	b	a	a	b	b	b	chlapec	15
respondent 73	b	b	a	b	a	b	c	chlapec	14
respondent 74	a,b	e	a	a	b	a	b	dívka	15
respondent 75	b	d	b	b	b	b	c	dívka	15
respondent 76	a,b	b	a	b	a	a	b	chlapec	15
respondent 77	a	c	a	b	b	a	a	chlapec	16
respondent 78	a,b	d	b	b	b	a	a	chlapec	17
respondent 79	a,b	c	a	a	a	a,b	a	chlapec	16
respondent 80	b	b	b	b	b	b	b	chlapec	17
respondent 81	b	c	a	b	a	e	a	dívka	16
respondent 82	b	d	b	b	b	a	a	chlapec	17
respondent 83	b	d	a	b	c	b	a	chlapec	16

respondent 84	a,b	c	a	a	b	b	a	chlapec	16
respondent 85	a,b	d	b	b	b	a	a	chlapec	17
respondent 86	b	d	a	b	a	b	a	dívka	16
respondent 87	a,b	d	a	b	a	b	a	chlapec	16
respondent 88	b	d	a	b	b	a	a	chlapec	16
respondent 89	b	c	b	c	b	a	a	dívka	16
respondent 90	a,b	c	a	a	b	a,b	a	chlapec	17
respondent 91	a,b,c,d	a	b	b	b	a,d	a	chlapec	17
respondent 92	a,b	c	a	b	a	b	a	chlapec	16
respondent 93	b,d	d	a	b	c	b	b	dívka	17
respondent 94	a,d	d	a	b	c	a	a	dívka	17
respondent 95	b	e	a	b	a	b	a	dívka	17
respondent 96	a,b,d	e	a	b	b	a,d	a	chlapec	17
respondent 97	a,b	e	b	b	a	b	b	chlapec	17
respondent 98	a	b	a	b	b	a	b	chlapec	17
respondent 99	a,b	e	a	a	a	a,b	b	chlapec	16
respondent 100	a,b,d	e	a	b	c	a	a	dívka	18
respondent 101	a,b	e	a	b	b	b	b	dívka	18
respondent 102	a,b	e	a	b	b	a	a	chlapec	18
respondent 103	a,b	e	a	b	b	a	a	dívka	18
respondent 104	a,b	e	a	b	a	b	b	chlapec	18
respondent 105	a,b	d	a	b	b	b,c	a	chlapec	18
respondent 106	a	b	a	a	a	a	a	chlapec	17
respondent 107	a,b	c	a	b	b	a,b	b	dívka	17
respondent 108	a,b	b	a	b	c	a,b,c,d	b	chlapec	18
respondent 109	a,b	c	b	b	c	b	a	dívka	17
respondent 110	a,b,c	e	a	b	b	a,c	a	chlapec	18
respondent 111	a,b,c	c	b	b	b	a	a	chlapec	17