

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

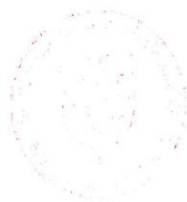
**Zobrazovací jednotky**

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vítězslav KUČERA**  
Osobní číslo: **E10B0063P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**  
Název tématu: **Zobrazovací jednotky**  
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

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

1. Seznamte se s používanými technologiemi zobrazovacích jednotek.
2. Vysvětlete principy zvolených typů zobrazovacích jednotek, diskutujte jejich hlavní výhody a nevýhody.
3. Proveďte zhodnocení cenové náročnosti počáteční investice a provozu vybraných zobrazovacích jednotek.



Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**

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

Seznam odborné literatury:

**Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Petr Havránek**


Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: **14. října 2013**

Termín odevzdání bakalářské práce: **9. června 2014**

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na popis zobrazovacích zařízení CRT, LCD, PDP a OLED displeje. U každého zobrazovacího zařízení je popsána historie, princip funkce, technologie zobrazování a výhody/nevýhody. Závěr práce je věnován zhodnocení cenové náročnosti počáteční investice a provozu jednotlivých zobrazovacích jednotek.

## **Klíčová slova**

Parametry displejů, technologie displejů, CRT, LCD, PDP, OLED, pixel ...

## **Abstract**

The presented bachelor thesis is focused on the description of CRT, LCD, PDP and OLED display devices. For each display device is described history, principle function, display technology and advantages/disadvantages. The conclusion of thesis is devoted to evaluation of the high cost of initial investment and operation of individual display units.

## **Key words**

Display parameters, display technology, CRT, LCD, PDP, OLED, pixel ...

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 9.6.2014

Kučera Vítězslav

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Petrovi Havránkovi za cenné profesionální rady, připomínky, metodické vedení práce a velmi přátelský přístup.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>10</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>1 ZÁKLADNÍ OBECNÉ PARAMETRY DISPLEJŮ</b> .....	<b>12</b>
1.1 ÚHLOPŘÍČKA .....	12
1.2 PIXEL .....	12
1.3 ROZLIŠENÍ .....	12
1.4 POMĚR STRAN .....	12
1.5 JAS .....	13
1.6 KONTRAST .....	13
1.7 DOBA ODEZVY .....	13
1.8 POZOROVACÍ ÚHLY .....	14
1.9 BAREVNÝ GAMUT .....	14
1.10 SPOTŘEBA .....	15
1.11 ŽIVOTNOST .....	16
1.12 OBNOVOVACÍ FREKVENCE .....	16
<b>2 CRT (CATHODE RAY TUBE)</b> .....	<b>17</b>
2.1 HISTORIE CRT .....	17
2.2 PRINCIP ČERNOBÍLÉ CRT .....	17
2.2.1 <i>Obrazovka s vychylováním svazku elektrostatickým polem</i> .....	19
2.2.2 <i>Obrazovka s vychylováním svazku elektromagnetickým polem</i> .....	19
2.3 PRINCIP BAREVNÉ CRT .....	20
2.3.1 <i>Obrazovka se stínící maskou typu DELTA</i> .....	21
2.3.2 <i>Obrazovka se stínící maskou typu IN LINE</i> .....	22
2.3.3 <i>Obrazovka se stínící maskou typu TRINITRON</i> .....	23
2.4 VÝHODY A NEVÝHODY CRT .....	24
<b>3 LCD (LIQUID CRYSTAL DISPLAY)</b> .....	<b>25</b>
3.1 HISTORIE LCD .....	25
3.2 PRINCIP LCD .....	26
3.3 PRINCIP ŘÍZENÍ PIXELU/SUB-PIXELU .....	28
3.3.1 <i>Pasivní matice</i> .....	28
3.3.2 <i>Aktivní matice</i> .....	28
3.4 ROZDĚLENÍ LCD TECHNOLOGIÍ .....	29
3.4.1 <i>TN (Twisted Nematic)</i> .....	29
3.4.2 <i>VA (Vertical Alignment)</i> .....	29
3.4.3 <i>IPS (In Plane Switching)</i> .....	31
3.4.4 <i>PLS (Plane to Line Switching)</i> .....	32
3.4.5 <i>Quattron</i> .....	32
3.5 REFLEXNÍ, TRANSMISIVNÍ A TRANSREFLEXIVNÍ LCD .....	33
3.5.1 <i>Reflexní LCD</i> .....	33
3.5.2 <i>Transmisivní LCD</i> .....	33
3.5.3 <i>Transreflexní LCD</i> .....	33
3.6 TECHNOLOGIE PODSVÍCENÍ LCD .....	34
3.6.1 <i>Katodová zářivka (trubice)</i> .....	34
3.6.2 <i>LED podsvícení</i> .....	36
3.7 VÝHODY A NEVÝHODY LCD .....	37



<b>4</b>	<b>PDP (PLASMA DISPLAY PANEL)</b> .....	<b>38</b>
4.1	HISTORIE PDP .....	38
4.2	PRINCIP PDP .....	38
4.3	VÝHODY A NEVÝHODY PDP .....	40
<b>5</b>	<b>OLED (ORGANIC LIGHT EMITTING DIODE)</b> .....	<b>42</b>
5.1	HISTORIE OLED .....	42
5.2	PRINCIP OLED .....	42
5.3	MATERIÁLY .....	44
5.4	PRINCIP ŘÍZENÍ PIXELU/SUB-PIXELU .....	44
5.4.1	<i>PMOLED</i> .....	44
5.4.2	<i>AMOLED</i> .....	45
5.5	TYPY OLED .....	46
5.6	VÝHODY A NEVÝHODY OLED .....	48
<b>6</b>	<b>CENOVÁ DOSTUPNOST A SPOTŘEBA</b> .....	<b>49</b>
	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>50</b>
	<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>51</b>

## Seznam symbolů a zkratek

CCFL .....	Cold Cathode Fluorescent Lamp (Studená katodová trubice)
CRT.....	Cathode Ray Tube (Katodová trubice)
EEFL.....	External Electrode Fluorescent Lamp
FFL.....	Flat Fluorescent Lamp (Plochá katodová trubice)
HCFL.....	Hot Cathode Fluorescent Lamp (Horká katodová trubice)
IPS.....	In Plane Switching
LCD .....	Liquid Crystal Display (Displej z tekutých krystalů)
LED.....	Light Emitting Diode (Luminiscenční dioda)
OLED.....	Organic Light Emitting Diode (Organická luminiscenční dioda)
PDP .....	Plasma Display Panel (Plazmový displej)
PLS.....	Plane to Line Switching
RGB .....	Red, Green, Blue (Červená, zelená modrá)
TFT .....	Thin Film Transistor (Tenký fóliový tranzistor)
TN .....	Twisted Nematic
VA.....	Vertical Alignment

## Úvod

Cílem této práce je seznámit se s technologií zobrazovacích jednotek. V současnosti existuje celá řada zobrazovacích jednotek, které se rozdělují do několika odvětví, jako jsou zobrazovací panely malých úhlopříček, projekční systémy středních úhlopříček a skládané stěny velkých úhlopříček obrazu. Z daného rozdělení jsem si vybral zobrazovací panely malých úhlopříček, pod které spadají CRT, LCD, PDP a OLED panely. Tyto zobrazovací jednotky jsem si zvolil z toho důvodu, že každý v domácnosti má alespoň jeden z těchto typů, a proto jsou mi také bližší než ostatní technologie.

V úvodu mé práce se zaměřuji na obecné parametry displejů, které definují kvalitu zobrazení. Dále uvádím rozdělení jednotlivých typů zobrazovacích jednotek, jejich historii, základní princip fungování a jejich výhody a nevýhody. Závěrem této práce je porovnání vybraných zobrazovacích jednotek z pohledu jejich cenové náročnosti na počáteční investice a jejich provoz.

# 1 Základní obecné parametry displejů

V této kapitole se seznámíme s obecnými parametry displejů, kterým se vyznačuje každý displej bez ohledu na jeho technologii zobrazení.

## 1.1 Úhlopříčka

Úhlopříčka nebo také diagonála je úsečka spojující dva nesousední vrcholy mnohoúhelníku (v našem případě čtyřúhelníku). Délka úhlopříčky udává skutečný rozměr obrazovky. Měří se v centimetrech nebo v palcích, kde jeden palec (1") je 2,54 cm. [1-3]

## 1.2 Pixel

Pixel vznikl zkrácením dvou anglických slov (picture element), která v překladu znamenají obrazový prvek. Na obrazovce tvoří nejmenší jednotku. U barevných obrazovek se pixel dělí na tři sub-pixely, kde každý z nich reprezentuje jednu základní barvu RGB (červená, zelená, modrá). Lidské oko je nedokonalý orgán a jednotlivé sub-pixely si spojí v jeden bod (pixel) o určité barvě. [3, 4]

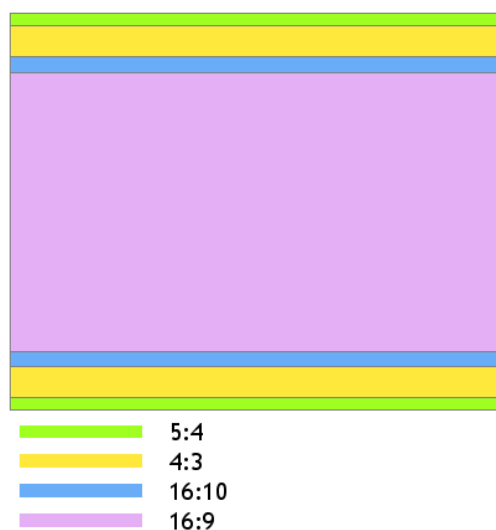
## 1.3 Rozlišení

Rozlišení displeje nám udává počet pixelů zobrazených v horizontálním směru (počet sloupců) a počet pixelů ve vertikálním směru (počet řádků). Vynásobením těchto dvou údajů dostaneme maximální rozlišení displeje (např. 1366x768 nebo 1920x1080) [1, 2, 4]

## 1.4 Poměr stran

Tento parametr určuje poměr šířky a výšky obrazu. Nejčastěji se můžeme setkat s poměry stran 5:4, 4:3, 3:2, 16:10, 16:9, ale existují i jiné poměry stran. Záleží na výrobci a daném využití obrazovky. Poměr stran nevzniknul jen tak náhodně. U prvních zobrazovačů byl poměr stran 4:3. Tento poměr stran se odvodil ze zorného pole člověka. Zorné pole člověka je přibližně ve tvaru elipsy. Do této elipsy byl vepsán čtyřstěn o největší možné ploše v poměru stran 4:3. Tato plocha dávala smysl, protože člověk v tomto výřezu zorného pole vidí nejméně. V pokroku doby zobrazovačů a s příchodem velkoplošných obrazovek se začal používat poměr stran 16:9. Tento poměr stran také souvisí se zorným polem člověka.

Rozdílem je, že čtyřtěn (místo vepsání jako v poměru stran 4:3) opíše elipsu a tak vznikne daný poměr stran 16:9. [1, 5]



Obr. 1: Poměr stran (převzato z [6])

## 1.5 Jas

Jas je měrná veličina svítivosti udávaná v kandelách na metr čtvereční [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]. U displejů změříme jas tak, že zobrazíme bílou barvu na všech pixelech na maximum a změříme celkovou svítivost. [1, 2, 7]

## 1.6 Kontrast

Kontrast je definován jako poměr svítivosti nejsvětější barvy bílé a nejtmaší barvy černé, které umožňuje displej zobrazit. Tento kontrast nazýváme jako statický při zobrazení v jednom snímku. Způsoby měření kontrastního poměru jsou velké množství. Nejčastěji udávanou hodnotou je dynamický kontrast. Jedná se o softwarové propočítávání každého snímku a řízení intenzity jasu dle zobrazované scény. Pro získání maximálního poměru dynamického kontrastu nastavíme nejsvětější bílou barvu při maximální intenzitě jasu a nejhlubší černou barvu při nulové intenzitě jasu. [1-2, 7-9]

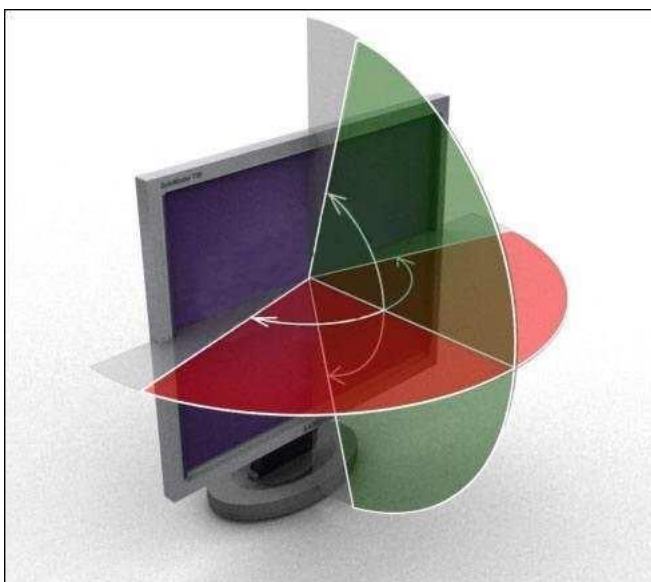
## 1.7 Doba odezvy

Doba odezvy je délka času udávaná v milisekundách (ms), za který se musí pixel změnit z jedné hodnoty na druhou. Také se můžeme setkat s termíny „rise“ či „fall“. Tato doba může určovat změnu černé barvy pixelu na bílou a naopak. Touto změnou by se jednalo o ideální

hodnotu doby odezvy. Častěji se setkáváme s udávanou hodnotou změny „grey to grey“ (šedá - šedá), která představuje změnu z tmavě šedé RGB (32,32,32) do světle šedé RGB (128,128,128) a zpět. S klesající dobou odezvy roste dynamika displeje. [1-2, 7-8]

## 1.8 Pozorovací úhly

Pozorovací úhly měříme ve stupních [°]. Tento parametr udává, do jakého úhlu lze sledovat obrazovku, aniž by kontrastní poměr jasu neklesl pod určitou specifickou hodnotu. Po překročení tohoto úhlu na displeji barvy mění svůj odstín a obraz šedne (např. při pozorování displeje ze stran, shora a zdola). Nejčastěji jsou udávány hodnoty vertikálního a horizontálního pozorovacího úhlu. [1-2], [7-8]

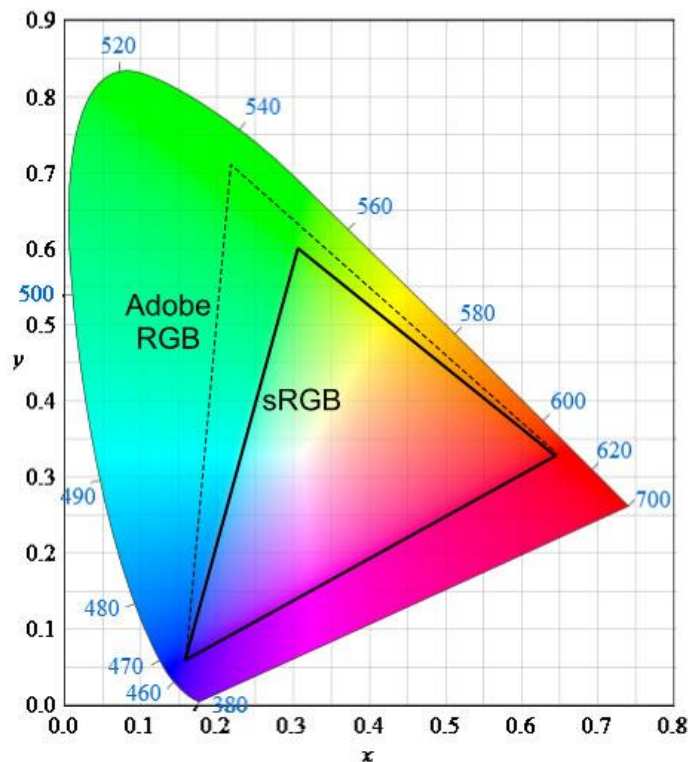


Obr. 2: Pozorovací úhly (převzato z [7])

## 1.9 Barevný gamut

Gamut představuje množinu zobrazitelných barev z určitého barevného prostoru, které je určité zařízení schopno reprodukovat. Jelikož lidské oko reaguje na tři základní barvy RGB (červená, zelená, modrá), tak byl zkonstruován Mezinárodní kolorimetrickou organizací v roce 1931 barevný model CIE 1931. Pokud se zadíváme na tento barevný model (obr. 3), všimneme si, že v horní části diagramu plocha zelené barvy převyšuje nad červenou a modrou. Je to dáno tím, že lidské oko reaguje na zelenou barvu citlivěji, než na ostatní barvy. V tomto barevném prostoru je gamut ohraničen takzvaným kolorimetrickým trojúhelníkem. Na vrcholech tohoto trojúhelníka jsou definovány základní barvy RGB. Barvy ležící mimo tuto oblast kolorimetrického trojúhelníka, nemohou být schopné daným zařízením zobrazeny.

Existuje mnoho různých standardizovaných gamutů pro různé přístroje a jejich použití. V barevném prostoru CIE 1931 jsou vyznačené dva typy standardizovaného gamutu, sRGB a Adobe RGB. Kolorimetrický trojúhelník sRGB pokrývá 35% z plochy barevného prostoru. Stal se standardem vytvořený kooperativně společnostmi HP a Microsoft v roce 1996 pro použití na monitory, tiskárny a internet. Adobe RGB byl vyvinut společností Adobe Systems v roce 1998. Plocha tohoto trojúhelníku, pokrývala zhruba 50% barevného prostoru. Tento gamut více odpovídá vlastnostem lidského oka díky většímu zastoupení zelené barvy. Dalším zastoupením barevného prostoru je gamut typu NTSC, který pokrývá 54% tohoto prostoru. Často se používá u televizorů a monitorů jako referenční hodnota, která vyjadřuje, kolik procent plochy z viditelné oblasti kolorimetrického trojúhelníka daný panel je schopen reprodukovat.[7-8, 10-12]



Obr. 3: Barevný prostor CIE 1931 s gamuty sRGB a Adobe RGB (převzato z [7])

## 1.10 Spotřeba

Spotřeba displeje se určí jako součin příkonu ve watttech a doby provozu v hodinách. Tento parametr se udává ve Watt-hodinách. [13]

## 1.11 Životnost

Životnost displeje je doba, při které maximální jas provozu displeje klesne na polovinu původní hodnoty. Udává se v hodinách. [7]

## 1.12 Obnovovací frekvence

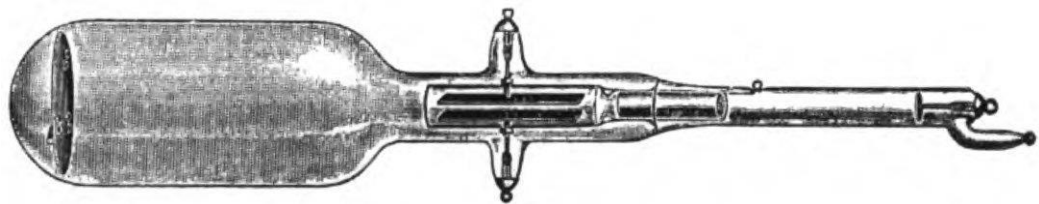
Obnovovací frekvence je parametr udávaný v hercích (Hz), který určuje rychlost s jakou je schopný CRT zobrazovač vykreslit obraz. Aby lidské oko nezachytilo tzv. „blikání“ obrazu, tak minimální frekvence by měla být kolem 75-85 Hz. Blikání CRT zobrazovače může způsobovat únavu očí či dokonce bolest hlavy. To znamená, že čím vyšší bude obnovovací frekvence, tím lépe. Obnovovací frekvence je vlastnost, která závisí na rozlišení obrazu. [2, 14]



## 2 CRT (Cathode Ray Tube)

### 2.1 Historie CRT

V roce 1897 německý vědec Karl Ferdinand Braun sestrojil katodovou trubici, také známou jako Braunovo trubici. Jednalo se o Crookovo trubici vylepšenou luminiscenčním stínítkem. Zařízení na sledování elektrických veličin nazval katodový osciloskop. V roce 1907 ruský vědec Boris Rosing vylepšil Braunovo trubici mechanickým zařízením, stávajícího se z otočných čoček a zrcadel pro příjem videosignálu. Tato technologie umožňovala zobrazit hrubé geometrické tvary a ukázala směr, jakým se může vývoj dále zaobírat. Bylo jasné, že Braunova trubice měla velký přínos. Převratem se stal vynález roku 1923, který si Vladimír Kosma Zworykin nechal patentovat. Zařízení s vychylovacími cívkami nazval ikonoskop, který společně s Braunovo trubicí znamenaly začátek ve vývoji CRT obrazovek. [15-16]



Obr. 4: Braunova trubice (převzato z [16])

### 2.2 Princip černobílé CRT

Zkratka CRT (Cathode Ray Tube) v překladu znamená katodová trubice, kterou si můžeme představit jako prázdnou vzduchotěsnou baňku. Odstranění vzduchu z obrazovek slouží k tomu, aby molekuly vzduchu nebránily v pohybu elektronům. Obrazovky také můžeme nazvat jako optické elektronky, ve kterých dochází k přeměně elektrického signálu na signál optický. Používá se zde princip katodoluminiscence. Obrazovky obsahují několik funkčně stejných částí bez ohledu na jejich konkrétní provedení nebo použití. [17-19]

Ve vyčerpané baňce, se v užší části zvané hrdlo nachází systém elektrod obrazovky, kde na konci hrdla je patice k připojení na elektroniku přístroje. Na druhém širším konci baňky je z vnitřní strany nanese luminiscenční vrstva (luminofor), která tvoří stínítko obrazovky. Luminofor je látka, která po předchozím dodání energie vyzařuje světlo. Celý proces začíná v hrdle obrazovky, kde se nachází nepřímě žhavicí katoda, která může být uložena osově

nebo příčně, jejíž čelní plocha musí být uzpůsobena k emisi hustého elektronového paprsku. Po zahřátí se z katody uvolní emise elektronů, která prochází Wehneltovým válcem, též se taky nazývá řídicí elektroda, první mřížka nebo filtr. Wehneltův válec nacházející se v těsné blízkosti překrývající katodu je tvořen trubicí, která je uzavřena clonkou s otvorem o průměru asi 1mm. Tato řídicí elektroda se záporným potenciálem proti katodě má za úkol řídit proud elektronů a její změnou napětí lze měnit množství elektronů ve svazku a tím nastavovat jas stopy. Této dvojici (katoda a řídicí elektroda) se říká emisní systém. Další skupinou je urychlovací a ostřicí systém skládající se ze soustavy elektrod (anod), které mají proti katodě kladný potenciál, díky němuž jsou elektrony přitahovány a vystřelovány velkou rychlostí na stínítko. Mezi první anodou a řídicí elektrodou se vytvoří elektronová čočka, která dráhy elektronů vystupujících z otvoru řídicí elektrody uspořádá do úzkého osového svazku tak, že se trajektorie těchto elektronů protínají v jednom bodě tzv. „křížišti“. To je bod, ve kterém elektronový svazek má nejmenší průřez. Speciální funkci má následující anoda, která má na starost zaostřování elektronových svazků. Poslední anoda, která má největší kladný potenciál, než předchozí anody, slouží k urychlování elektronových svazků. Elektronové svazky se pomocí vychylovacího systému odkloní do požadovaného místa na stínítku, kde po dopadu na luminofor vzniká zářící bod. Tento vychylovací systém se rozděluje na dva typy – vychylování elektrostatickým polem a elektromagnetickým polem. Při vychylování elektronového paprsku se na stínítku vytváří světelná stopa. K tomu, abychom viděli při pohybu světelného bodu po stínítku plynulou čáru, nám přispívá setrvačnost lidského zraku a také světelná setrvačnost luminoforu (dosvit). Paprsek elektronového svazku zahájí vykreslování obrazu v levém horním rohu obrazovky, postupně se posouvá do pravého horního rohu, vypne se na určitý čas, za který elektronové dělo mění zaměření elektronových svazků, poklesne o jeden řádek a znovu vykresluje zleva doprava. Po vykreslení celé obrazovky vychylovací cívky přemístí paprsek z dolního pravého rohu do horního levého rohu a vykreslovací cyklus může začít znovu. [17-19]

Tato poslední anoda vykonává ještě další funkci. Pomocí pružných kontaktů je spojena s obrazovkou, na který je z vnitřní strany kuželovité části baňky od míst, kde končí soustava elektrod elektronové trysky až ke stínítku pokryta grafitovým povlakem u starších obrazovek, u novějších obrazovek kysličníkem železa. Tento povlak působí jako kolektor pro elektrony sekundárně emitované při dopadu svazku na luminofor. Pokud by tyto elektrony nebyly odsávány tímto kolektorem, dopadly by pozvolna zpět na stínítko, nabily ho záporně a tím by znemožnily dopad dalšího elektronového svazku na luminofor a vznik světelné stopy.

Odsáváním sekundárně emitovaných elektronů se po krátké době nabije povrch stínítka na plné anodové napětí, na kterém se sekundární emisí automaticky stabilizuje. Televizní obrazovky mají na svém povrchu větší část vodivého povlaku i z vnější strany spojenou se zemí. Tento vodivý povlak s vodivým povlakem na vnitřní straně baňky obrazovky tvoří kondenzátor, který přispívá k vyhlazení vysokého anodového napětí. [17-19]

### **2.2.1 Obrazovka s vychylováním svazku elektrostatickým polem**

Tento druh vychylování se používá zejména v osciloskopech pro jeho malý úhel vychýlení, který činí pouze  $30^\circ$ . Obrazovky jsou vybaveny dvěma páry vychylovacích desek ve směru vertikálním a druhý pár ve směru horizontálním. Při průletu elektronového svazku prostorem mezi těmito deskami určí elektrostatické pole jednotlivým elektronům zrychlení a tím změni jeho přímočarý pohyb na parabolický. Po opuštění elektronů z prostoru mezi deskami, kde už na ně nepůsobí elektrostatické pole, tvoří tečnu k parabolické dráze a tím jejich pohyb je opět přímočarý mířící ke stínítku obrazovky. [17-19]

### **2.2.2 Obrazovka s vychylováním svazku elektromagnetickým polem**

U elektromagnetického vychylování úhel vychýlení elektronového svazku činí až  $110^\circ$ . Díky většímu úhlu vychylování tato technika umožňuje menší hloubkový rozměr obrazovky, ale není ji možné využít pro vysoké frekvence zobrazování. To však společně s vyšší citlivostí na elektromagnetické rušení, snižuje možnosti jejich použití v osciloskopech. [17-19]

Vychylovací systém je tvořen dvěma páry vychylovacích cívek, které se nasazují na hrdlo obrazovky v místě, kde se skleněná baňka začíná rozšiřovat. První pár cívek pro vychylování elektronového svazku ve vertikálním směru je navinut na feritovém prstenci a nasazen na hrdlo baňky. Druhý pár cívek pro vychylování v horizontálním směru není vinut na feritu, ale je vhodně tvarován do (tzv. sedlového tvaru). Jelikož se tento pár cívek nasazuje na první pár cívek, jeho sedlový tvar dopomůže k tomu, aby cívky přilehly těsně k baňce a vytvářely magnetické pole potřebného prostorového rozložení. Při průletu elektronového svazku elektromagnetické pole vytvořené průchodem proudu přes páry těchto cívek vychýlí svazek v horizontálním nebo vertikálním směru. To způsobí změnu jeho přímočarého pohybu na pohyb po kružnici. V místě, kde opouští elektronový svazek elektromagnetické pole, tvoří tečnu ke kružnici a jeho pohyb se mění na přímočarý, který dále pokračuje na povrch stínítka. [17-19]

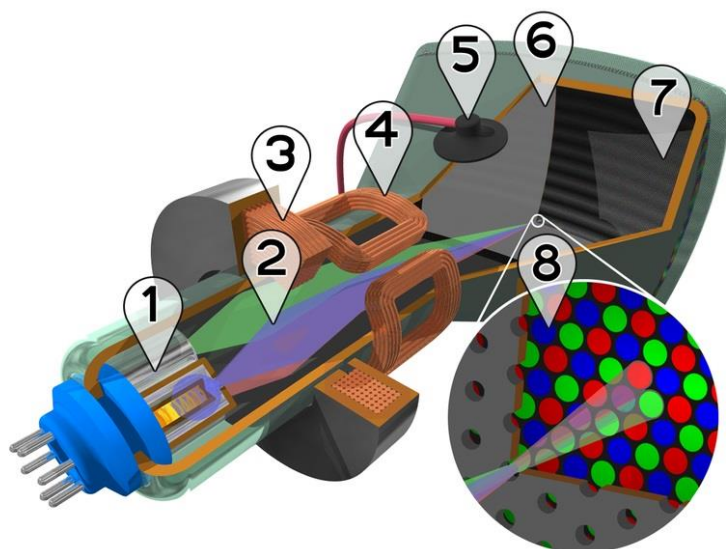
## 2.3 Princip Barevné CRT

Barevné obrazovky jsou konstruovány na podobném principu jako černobílé s jedním rozdílem, a to že v hrdle místo jedné elektronové trysky jsou zde tři samostatné trysky ovládané nezávislými signály základních barev RGB. Všechny elektrody ležící uvnitř hrdla těchto trysek kromě katod jsou společné pro všechny tři svazky (paprsky). [17-19]

Základní podstatou barevné obrazovky je požadavek, aby elektronové svazky ze tří trysek dopadaly na konkrétní luminoforové plošky dané barvy. Tento požadavek pro zasažení dané barvy luminoforu je umožněn stínicí maskou umístěnou v malé vzdálenosti (asi 17 mm) před stínítkem. Stínicí maska je vyrobena z kovového plátu, ve kterém jsou prostřednictvím kyseliny vypáleny malé dírky, kterými paprsek prochází. Jelikož průřez paprsku je několikrát větší než rozměry otvoru ve stínítku, dochází k nežádoucímu střetnutí paprsku s mřížkou. Během této operace se stínítko zahřívá, to způsobuje jeho roztahování a paprskům znemožňuje správné umístění do otvoru. Aby se tomu předcházelo, musí být maska vyrobena z takového materiálu, který odolává tepelné roztažnosti a působení magnetického pole. Pokud by tak nebylo, tyto dva jevy by způsobily nesprávný dopad paprsku na daný luminofor, což by porušilo čistotu barev na stínítku. [17-19]

Pro větší přesnost a lepšího zaostření paprsků je maska mírně zakulacená, což také napomáhá předvídat a korigovat pohyb elektronového svazku při roztahování. Stínicí maska propustí jenom tu část svazku, která je zaostřená přesně. Důvodem zakulacení masky je také zakulacení čelního skla obrazovky. Tímto způsobem a pomocí signálového napětí přivedeného na modulační elektrodu trysky pro získání jasu dané základní barvy dochází k rozsvícení jednoho bodu na obrazovce. Kombinací těchto jednotlivých barevných složek bodu pak dostaneme určenou barvu. [17-19]

Barevné obrazovky dělíme na typy DELTA, IN LINE a TRINITRON, které se liší uspořádáním rozložením trysek v hrdle baňky, otvory ve stínicí masce a rozmístěním luminoforových plošek na stínítku. [17-19]



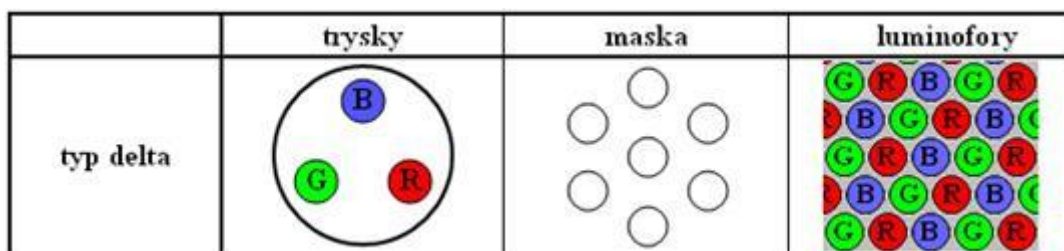
1. Elektronové dělo (emitor)
2. Svazky elektronů
3. Zaostřovací destičky
4. Vychylovací destičky
5. Připojení anody
6. Maska pro oddělení paprsků pro červenou, zelenou a modrou část zobrazovaného obrazu
7. Luminiforová vrstva s červenými, zelenými a modrými oblastmi
8. Detail luminiforové vrstvy, nanesené z vnitřní strany obrazovky

Obr. 5: Schematický průřez barevnou CRT (převzato z [14])

### 2.3.1 Obrazovka se stínící maskou typu DELTA

Jedním z nejstarších typů barevné obrazovky, který byl patentován v roce 1938 pro reprodukci barevného televizního obrazu, bylo provedení DELTA. Tento název byl zvolen kvůli uspořádání elektronových trysek do vrcholů rovnostranného trojúhelníka, který svým geometrickým tvarem připomínal velké řecké písmeno delta ( $\Delta$ ). Do tohoto tvaru jsou také uspořádané kruhové otvory v masce a stejným způsobem i luminiforové plošky na stínítku obrazovky, ve kterých leží v každém vrcholu rovnostranného trojúhelníka jedna ze základních barev RGB. [17-20]

Nevýhodou této obrazovky se stínící maskou typu DELTA je nedokonalá čistota barev, velká plocha, která je tvořena kovem masky způsobující větší náchylnost k tepelné roztažnosti a vnější magnetické vlivy způsobené zemským magnetismem. Proto je obrazovka stíněná a vybavená vestavěnou nebo vnější demagnetizační cívkou, která se aktivuje při každém zapnutí televize. Na druhou stranu mají dobrou rozlišovací schopnost na úkor jasů a to má za následek menší kontrast. [17-20]

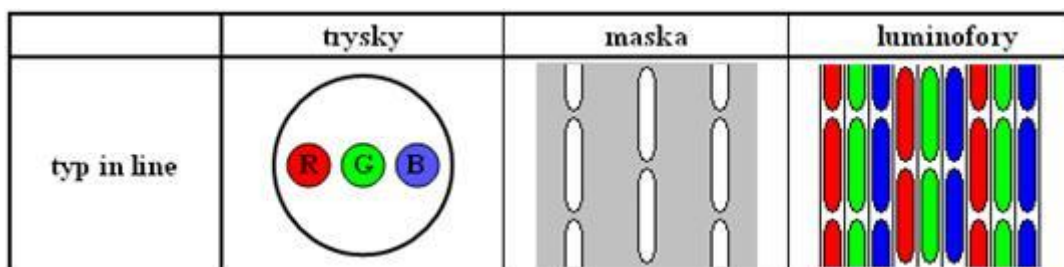


Obr. 6: Typ DELTA (převzato z[20])

### 2.3.2 Obrazovka se stínící maskou typu IN LINE

Na konci 70. let se výrobcům televizních obrazovek povedla vyrobít obrazovka, která měla lepší parametry než její předchůdce typ DELTA. Podle seřazení elektronových trysek do vodorovné roviny vznik název IN LINE. Při pohledu od patice obrazovky levé trysce náleží signál pro modrou barvu, pravé trysce náleží signál pro červenou barvu a prostřední trysce náleží signál zelené barvy. Krajiní trysky jsou mírně natočeny do sbíhavého směru tak, aby osy tří paprsků protínaly otvor ve stínící masce. Maska je tvořená obdélníkovými (oválnými) otvory s delší hranou ve svislém směru. Po průchodu paprsků maskou dopadá každý paprsek na luminofor své barvy. Luminofory na stínítku obrazovky jsou tvořeny trojicí oválných plošek základních barev RGB, které jsou ve svislých pásech pod sebou. Jsou dva způsoby, jak mohou být umístěny luminoforové plošky svislých pásů. Prvním z nich je umístění luminoforových pásů vedle sebe tak, že se přímo dotýkají. Oválný otvor v masce a aktivní svítící ploška luminoforu je užší, než samotný pás luminoforových plošek. U druhého způsobu je oválný otvor v masce širší, než plocha luminoforových pásů. To znamená, že paprsek zasáhne plochu i sousedního luminoforu a proto se mezi jednotlivé pásy vkládají černé proužky, které tyto pásy oddělují. Pomocí tohoto oddělení černými proužky dostaneme lepší čistotu barev a větší kontrast barevného obrazu. Aby se dosáhlo ještě lepší hodnoty čistoty barev, je paprsek zformovaný tak, že od všech tří trysek vytvoří čárové ohnisko právě v oválném otvoru masky, a tím na plošky jednotlivých luminoforů dopadá více elektronů než u typu DELTA. Další zvětšení kontrastu získáme pigmentováním modře a červeně svítících luminoforů. To je dosaženo tak, že zrníčka těchto luminoforů fungují jako filtry, které dokážou propustit své vlastní světelné záření a pohlcovat okolní dopadající světlo z vnějších zdrojů. [17, 18, 21]

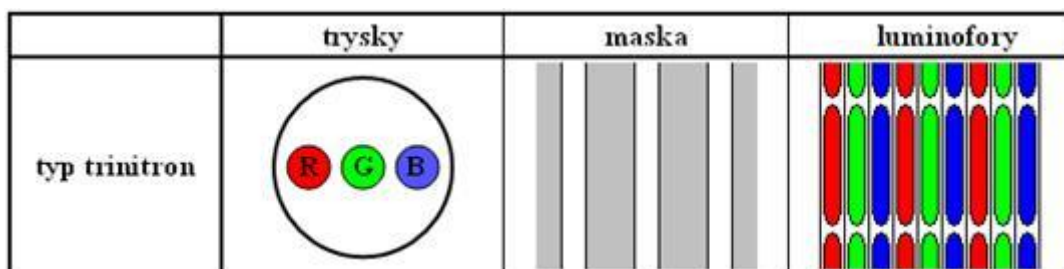
Pomocí lepšího uspořádání luminoforových pásů se lépe využila plocha stínítka a tím se zvýšil i jas obrazu. [17, 18, 21]



Obr. 7: Typ IN-LINE (převzato z [21])

### 2.3.3 Obrazovka se stínící maskou typu TRINITRON

Tento typ obrazovky uvedla na trh japonská firma SONY v roce 1968. Jednalo se o nejkvalitnější typ vakuových obrazovek. TRINITRON má stejné uspořádání elektronových trysek ve vodorovné rovině, jako typ IN LINE. Rozdílem je naklonění krajních trysek tak, aby se paprsky sbíhaly uprostřed elektrostatické čočky, která je zaostřuje a pošle je dál ke stínítku, kde se vzájemně rozbíhají. Aby paprsky správně dopadali na stínítko, tomu napomáhá i jinak řešený fokusační systém, který je společný pro všechny tři svazky tzv. PAN FOCUS. Obsahuje elektrostatické konvergenční elektrody včetně dělené elektrody pro rychlostní modulaci. Než paprsky dorazí ke stínítku, jsou vychylovány pomocí elektrostatického pole konvergenčních elektrod zpět k ose po parabole tak, aby se protnulý na konvergenční mřížce. Konvergenční mřížka nahrazuje stínící masku, která je tvořena vertikálními souvislými mezerami v plechu o tloušťce 0,1 mm. Mřížka je napnutá na svislém napínacím rámu a je vyztužena vodorovnými tenkými dráty. Díky této mřížce má obrazovka TRINITRONU válcový tvar masky a stínítka, než předchozí typy sférických obrazovek. Stínítko je tvořeno souvislými svislými proužky luminoforů základních barev RGB, které jsou odděleny předělem černé barvy pro zajištění lepšího kontrastu obrazu. Větší kontrast lze získat i snížením propustnosti čelního skla až o 50%. Tyto obrazovky se vyznačují velkým jasnem (lepší průchodnost konvergenční mřížky), kontrastem, čistotou barev a konvergencí. [17, 18, 22]



Obr. 8: Typ TRINITRON (převzato z[22])

## 2.4 Výhody a nevýhody CRT

### Výhody

Mezi hlavní výhody CRT obrazovek patří ostrost obrazu a věrohodné podání barev. Další výhody nalezneme ve vysokém jas, kontrastu a malé době odezvy. CRT obrazovky mají výborné pozorovací úhly. Jsou spolehlivé a schopné zobrazit nativně několik rozlišení při různé obnovovací frekvenci. [17-19]

### Nevýhody

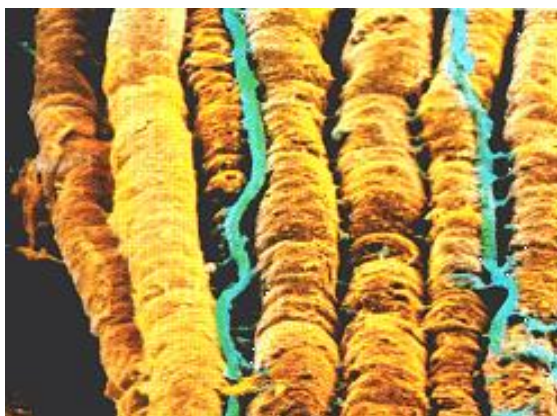
Nevýhodou jsou velké geometrické rozměry a to převážně hloubka. Další nevýhodou je hmotnost a spotřeba elektrické energie. CRT obrazovky jsou ovlivnitelné vnějším magnetickým polem. Při nízké obnovovací frekvenci problikává obraz a poškozují zrak. Nevýhodou je i vyzařování elektromagnetického záření, které škodí lidskému zdraví. [17-19]



## 3 LCD (Liquid Crystal Display)

### 3.1 Historie LCD

Všechno začalo ve druhé polovině 19. Století, kde trojice chemiků Mettenheimer, Virchow a Valentin experimentovali se vzorkem nervového vlákna, respektive s látkou známou jako „myelin“, která se vyskytuje v lidském těle a pokrývá nervová vlákna. Vzorek vložili do vody, která s nervovým vláknem vytvořila zajímavou substanci. Ze začátku nevěděli, jaké by mohla mít další využití, až jednoho dne na vytvořenou substanci použily polarizované světlo a hned jim bylo jasné, že vytvořili něco převratného. Tímto okamžikem se dá pokládat prvopočátek tekutých krystalů. Netušili, že se jedná o jinou fázi vlákna a ani nevěděli co s touto látkou dělat dál. Téměř 40 let trvalo, přesněji v roce 1877, než německý fyzik Otto Lehmann začal zkoumat látku se svým polarizačním mikroskopem a měřit teplotu v místech pozorování. Tímto pozorováním zjistil zajímavou věc a to, že jedna fáze při přechodu z kapalně do tuhé vytvoří mezifázi. Tato mezifáze byla nazvána fáze tekutých krystalů (liquid crystal phase). Později v roce 1888 rakouský botanik a chemik Friedrich Reinitzer dělal pokus tavením organické látky podobné cholesterolu, která se při teplotě 145,5°C chovala jako tekutý krystal a až při teplotě 178,5°C zkapalněla. Tímto pokusem Friedrich Reinitzer potvrdil akorát to, na co Otto Lehmann přišel před 11 lety. Po roce 1888 začala éra výzkumu a vývoje tekutých krystalů a vznikla celá řada významných teoretických prací. [23, 24, 25]



Obr. 9: Nervová vlákna (převzato z [23])

V roce 1922 v Paříži Georges Freidel přispěl dalším významným objevem, když experimentoval s tekutými krystaly. Byl první, kdo zjistil, že molekuly tekutých krystalů po vložení do elektrického pole se orientují ve směru souhlasně s ním. Po dalších experimentech

navrhl klasifikační schéma pro dělení krystalů na nematic, smectic a cholesteric, které se používá dodnes. Poté Carl Oseen pracoval na elastických vlastnostech tekutých krystalů. Jeho výsledky, kterých dosáhnul z výzkumu, byly využity v teorii kontinua Angličana F. C. Franka. Tato teorie tvoří dnes jednu ze základních teorií popisu tekutých krystalů. [23, 24, 25]

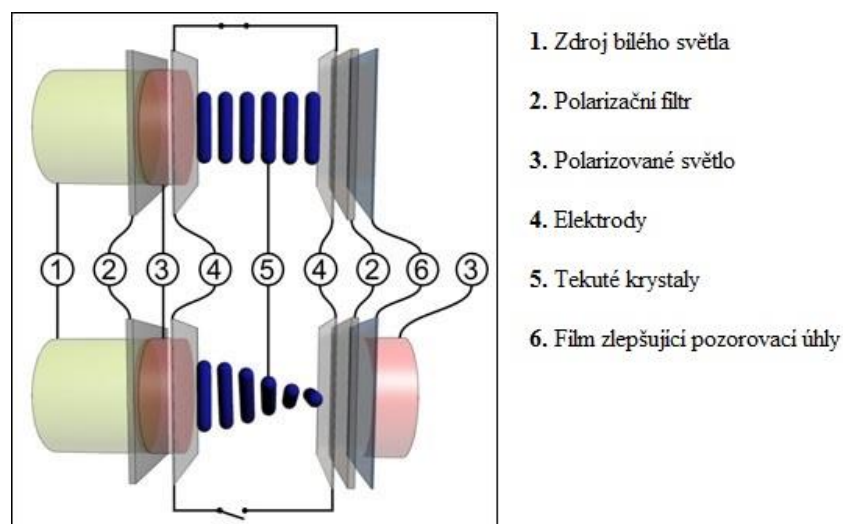
Tímto okamžikem by už mohlo dojít k masovému rozšíření, ale tomu bránil jeden problém. Tekuté krystaly byly velice citlivé na změnu teploty a mimo jiné, než své provozní teploty se chovaly chaoticky. Po příchodu 2. světové války roku 1939 se o tekuté krystaly dlouho nikdo nezajímal, až do roku 1962, kdy ve výzkumu pokračoval George William Gray, který publikoval knihu s názvem „Molekulární struktura a vlastnosti krystalů“. Během těchto 60. let byl konečně objeven takový tekutý krystal, který měl potřebnou teplotní stabilitu. V roce 1963 Richard Williams, pracovníkem výzkumných laboratoří RCA, objevil, že světlo procházející tenkou vrstvou tekutého krystalu je ohýbáno podle jeho krystalické struktury. V těchto laboratořích také pracoval George Harry Heilmeier, který pomocí tohoto objevu o pět let později vyrobil první displej z tekutých krystalů. V roce 1973 byla Japonskou firmou SHARP uvedena první kalkulačka s LCD displejem. LCD displeje se začaly rozrůstat a masově používat pro různá měřicí zařízení a digitální techniku. Postupem času se zdokonalovaly, zjemňovaly a snižovala se energetická náročnost na otočení krystalu. Doposud se vyráběly jenom černobílé displeje. Až v době 80. let se začaly vyrábět barevné displeje, které pomocí desek polarizovaly světlo tak, aby v každých sousedních třech krystalech procházela základní barva RGB modelu. [23, 24, 25]

### 3.2 Princip LCD

Jak už bylo řečeno, základní látkou LCD zobrazovačů jsou tekuté krystaly založené na využití změn optických vlastností v závislosti na změnách elektrického pole, které na ně působí. LCD panel se skládá z několika vrstev poskládaných na sobě. Základem LCD panelů jsou dvě skleněné destičky, kde se mezi nimi nachází nematický tekutý krystal a distanční vložka pro zajištění konstantní mezery. Molekuly krystalu mají protáhlý tvar a jejich uspořádání je podobné spirále. Po naskládání více molekul krystalu na sebe můžeme dostat spirálu, která se otočí o  $360^\circ$ , ale pro LCD panely stačí úhel otočení  $90^\circ$ . Na skleněných destičkách je z vnitřní strany nanášena drážkovaná vrstva oxidu křemičitého, která způsobuje u krajních molekul tekutého krystalu stejnou orientaci ve směru drážek. Pomocí těchto drážek, které jsou na obou destičkách na sebe vzájemně kolmé, dostaneme správně

orientovanou spirálu. Další částí jsou průhledné vodivé elektrody pro přívod napětí, které jsou napařeny z vnitřní části skleněných destiček. Na povrchy z vnějších stran skleněných destiček se přiloží polarizační filtry s navzájem kolmou polarizací, které jsou ve stejném směru jako drážky na vnitřní straně destiček. Poslední částí je zdroj světla, který se umísťuje do zadní části LCD panelu. Světlo jak ho známe je elektromagnetické záření a kmitá všemi směry. Polarizační filtr umístěný před zdrojem světla propustí světlo pouze v horizontálním směru. Světlo narazí na tekutý krystal, jehož první molekula je ve stejném směru jako polarizované světlo. To dále pokračuje spirálou tekutého krystalu, pomocí něhož se přetočí o 90°. Světlo projde vertikálním polarizačním filtrem a zobrazovač svítí. [18, 19, 26]

Pokud přivedeme na elektrody zdroj střídavého napětí, změní se struktura tekutého krystalu, kde molekuly nebudou pootočené do spirály, ale budou ve směru elektrického pole protékaného proudu, tzv. „napříměny“. To znamená, že přicházející světlo z polarizačního filtru v horizontálním směru nebude přetočeno pomocí tekutého krystalu a tím neprojde přes vertikální polarizační filtr. Zobrazovač zůstává tmavý. Je zřejmé, že postavení molekul tekutého krystalu ovládá průchod světla. V praxi nestačí mezní stavy světlo projde/neprojde. Pro jeho regulaci určujeme velikost připojeného napětí k elektrodám, tím ovládáme natočení krystalu a množství propuštěného světla. Pomocí toho měníme jas na zobrazovači. Takto funguje princip černobílého displeje. [18, 19, 26]



Obr. 10: Princip natáčení krystalů TN (převzato z [26])

Barevné obrazovky fungují na stejném principu jako černobílé. Rozdílem je, že jeden obrazový bod (pixel) je rozdělen na tři sub-body (sub-pixely), kde každý z nich reprezentuje jednu základní barvu z barevného modelu RGB. Filtry pro jednotlivé barvy jsou umístěny

z vnitřní strany skleněných destiček blíže k vertikálnímu polarizačnímu filtru. Na každý sub-pixel je zvlášť přivedena elektroda pro regulaci napětí. Tím můžeme nastavovat jas jednotlivých barev. Po průchodu světla a složení sub-pixelů v jeden bod, dostáváme výslednou barvu. [18, 19, 26]

### 3.3 Princip řízení pixelu/sub-pixelu

Pro řízení pixelů/sub-pixelů se u LCD využívá pasivní a aktivní matice.

#### 3.3.1 Pasivní matice

LCD zobrazovače s pasivní maticí jsou tvořeny pomocí mřížky vodičů (průhledných elektrod), které jsou umístěny mezi skleněnými destičkami. Na první destičce jsou v horizontálním směru (řádky), na druhé destičce jsou ve vertikálním směru (sloupce). Průsečíky řádků a sloupců tvoří obrazový bod. Pokud přivedeme napětí na určitý řádek a určitý sloupec bude uzemněný, vznikne elektrické pole, které změní stav tekutého krystalu a průchod světla. Opakováním tohoto procesu vznikne na zobrazovači obraz. Problém nastává při nárůstu počtu řádků a sloupců, jelikož s vyšší hustotou obrazových bodů musí být velikost elektrody redukována a velikost napětí narůstá. Na zobrazovači se to projeví méně ostrým obrazem, kdy se z jediného rozsvíceného obrazového bodu postupně rozbíhají slábnoucí čárky do sousedních horizontálních a vertikálních obrazových bodů. Takto aktivní rozsvícený obrazový bod narušuje své okolí, které je „částečně aktivní“ a to se jeví snížením kontrastu a horší kvalitou obrazu. Při změně napětí se obrazové body přepínají pomalu, čímž se v rychlých změnách obrazu a v pohyblivých scénách ztrácejí detaily. Tato technologie je však oproti TFT o dost jednodušší, levnější a používá se zejména pro levné přístroje. [18, 19]

#### 3.3.2 Aktivní matice

Aktivní matice je založená na modernější technologii TFT (Thin Film Transistor), přeloženo jako „tenký fóliový tranzistor“, která má eliminovat problémy pasivní matice. Do každého obrazového bodu je přidán tranzistor, který udržuje napětí mezi oběma plochami skleněných destiček a tím aktivně reguluje natočení tekutého krystalu. U barevného zobrazovače se přidává tranzistor pro každý sub-bod (sub-pixel) zvlášť. Díky této technologii stačí pro řízení tranzistorů menší proud na ovládání svítivosti obrazových bodů a tím klesá doba odezvy zobrazovače, protože tekutý krystal může být zapínán a vypínán mnohem

rychleji. Pomocí kondenzátoru, který pomáhá tranzistoru lépe regulovat proud lze dosáhnout většího jasů a kontrastu, než u pasivní matice. [18, 19]

### 3.4 Rozdělení LCD technologií

LCD technologie se rozděluje na různé principy natáčení molekul tekutých krystalů, které ovlivňují jas, barevné podání, dobu odezvy a další parametry.

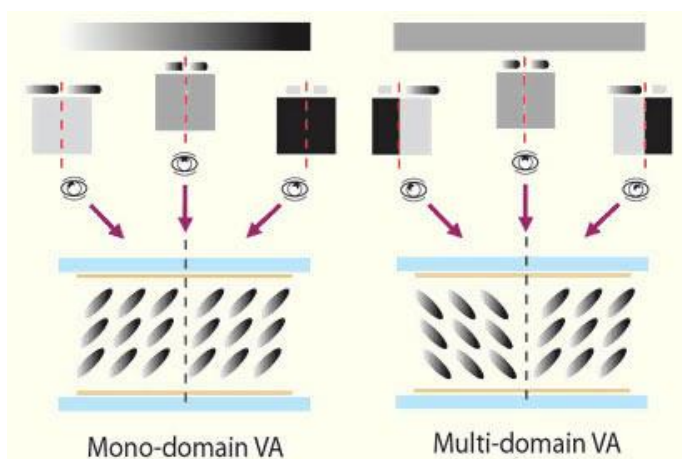
#### 3.4.1 TN (Twisted Nematic)

TN panely doposud patří mezi nejstarší a pro jejich nízkou cenu i k nejrozšířenější technologii zobrazení v LCD displejích. Základní princip TN panelu byl popsán výše v obecném popisu LCD (obr. 10). Tato technologie se vyznačovala obdélníkovým pixelem a různými pozorovacími úhly v horizontálním a vertikálním směru, které oproti jiným technologiím nejsou tak velké. Horizontální úhel je značně větší a při pohledu z boku dochází k posunu barev do žluta. U vertikálního úhlu dochází při pohledu ze spodu ke ztmavnutí obrazu a barvy přechází do inverze, naopak pohled shora má za následek zesvětlení obrazu. Dnešní TN panely mají čtvercový pixel a tím stejné pozorovací úhly v obou směrech. Pro vylepšení pozorovacích úhlů se přidává tzv. „film“. Je to optická vrstva, která se nachází nejbližší k pozorovateli a pracuje na principu lomu světla. Podání barev je oproti jiným technologiím nejhorší. To je zapříčiněno spirálovým natočením molekul krystalů uvnitř každého sub-pixelu, které je velmi složité. Toto uspořádání má za následek vysoké nepřesnosti ve výrobě, které způsobují nerovnoměrný průchod světla jednotlivými pixely. Další nevýhodou této technologie byla doba odezvy, která se v minulosti pohybovala v desítkách milisekund, a to způsobovalo neostrý obraz. Dnes se tyto hodnoty značně vylepšily a pohybují se v milisekundách. Poslední nevýhodou je tzv. mrtvý pixel/sub-pixel, který neustále svítí a při práci to může působit rušivě. Tyto panely jsou hlavně určeny pro kancelářskou činnost, kde není požadavek na věrné zobrazení barev a pro svojí nízkou dobu odezvy se hodí pro hraní počítačových her. [26, 27, 28]

#### 3.4.2 VA (Vertical Alignment)

V roce 1996 společnost Fujitsu představila technologii VA, založenou na myšlence orientovat molekuly vertikálně. Molekuly se otáčely pouze o 45° a tím vylepšily kontrast a dobu odezvy. Problémem však byla velká světlost bodu závislá na úhlu pozorování a to dokonce i na pohledu z levé či z pravé strany. To zapříčinilo uspořádání podlouhlých molekul

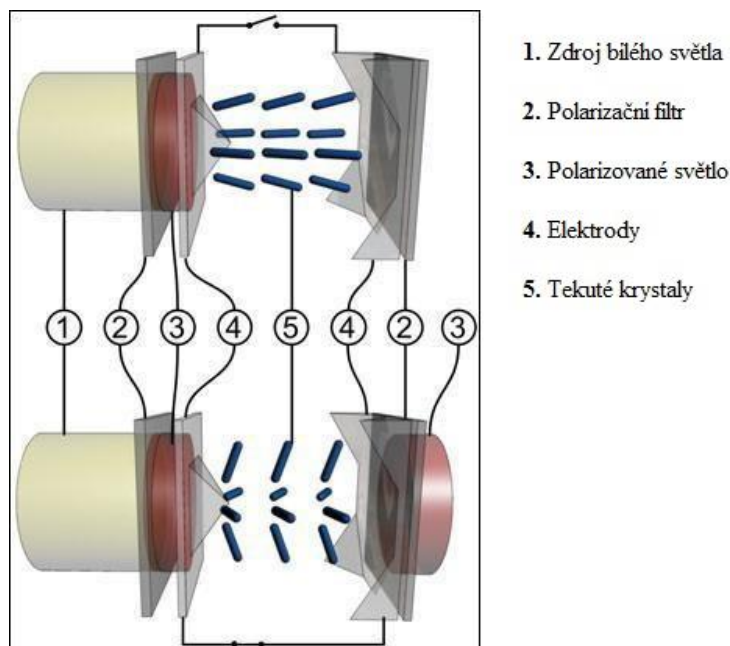
do mono-domén (mono-domain), které se při natočení odchýlily mimo zorné pole uživatele, a v podstatě byla vidět jen část těchto molekul. Tento problém v roce 1998 vyřešila společnost Fujitsu vylepšením původní VA na technologii MVA (Multi-Domain Vertical Alignment), více-doménové molekuly. Pomocí této technologie byly buňky rozděleny na domény, ve kterých se molekuly orientovaly tak, aby docházelo k optické vzájemné kompenzaci (obr. 11). Tímto zlepšením uživatel viděl obraz z obou stran stejně. [27, 28, 29]



Obr. 11: Orientace domén (převzato z [28])

Technologii MVA používá i výrobce Samsung pod označením PVA (Patterned Vertical Alignment) a SHARP pod označením ASV. Dnešní panely této technologie VA nabízejí plno různých variant (např. S-MVA, S-PVA, Prem.MVA apod.), které se liší počtem domén a jejich uspořádáním. Tyto varianty vylepšují pozorovací úhly, podání barev, kontrast a dobu odezvy. [27, 28, 29]

Princip MVA (obr. 12) je založen na čtvercovém pixelu o čtyřech doménách, které jsou uspořádány stromečkovitě. K tomuto uspořádání dopomáhá specifický tvar elektrod zajišťující všude stejnou vrstvu molekul krystalů a to zaručuje rovnoměrný průchod světla. Pokud není přivedeno napětí, molekuly jsou rovnoběžné se směrem šíření světla a koncový polarizační filtr světlo nepropustí dál (obr. 12 horní část). Tím pádem nefunkční „mrtvý“ pixel/sub-pixel zůstává černý a není to tak rušivé, jako svítící pixel/sub-pixel u TN. Po přivedení napětí na elektrody se molekuly stromečkovitého uspořádání rozevírají, tím umožní průchod světla přes molekuly krystalu, které pokračuje dál, až světlo projde koncovým polarizačním filtrem (obr. 12 dolní část). Na displeji se zobrazí svítící bod. [27, 28, 29]



Obr. 12: Princip natáčení krystalů MVA (převzato z [26])

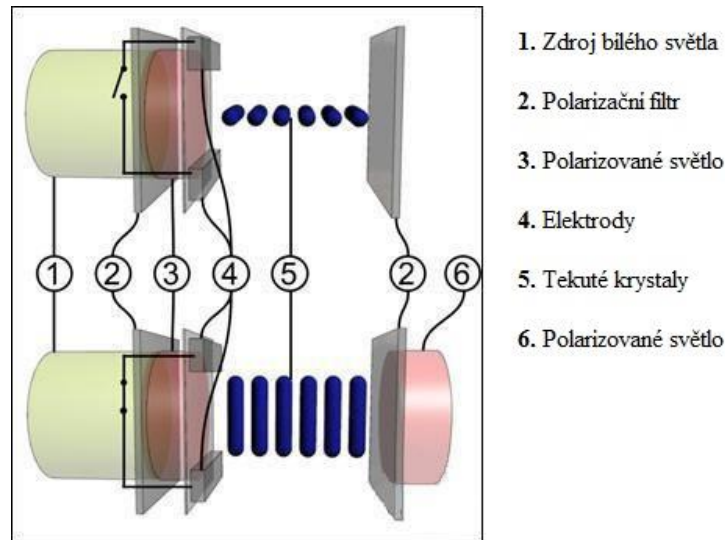
Výhodou této technologie je kratší doba odezvy způsobená polovičním natáčením molekul krystalu oproti TN, které se natáčely o  $90^\circ$ . Další výhodou jsou malé ztráty při průchodu světla polarizačními filtry a věrné podání barev. To doprovází vynikající kontrast a podání černé barvy, která je téměř stejná s vypnutým panelem. Nechybí ani široké pozorovací úhly stejné v obou směrech dosažené za pomoci čtvercového pixelu. Tomu všemu dopomáhají elektrody se specifickým tvarem a uspořádání molekul krystalů. [26, 27, 28 ]

### 3.4.3 IPS (In Plane Switching)

Technologii IPS vyvinula společnost Hitachi v roce 1996, aby odstranila nedostatky TN a vylepšila barevné podání s kontrastem a pozorovací úhly. Jak je už slyšet z názvu, IPS (In Plane Switching) znamená přepínání v ploše, což napovídá, že elektrody jsou umístěny ve stejné rovině, která se nachází na spodní desce. V základním stavu, kdy není přivedeno na elektrody napětí, jsou molekuly tekutých krystalů rovnoběžné s rovinou a polarizační filtry nepropouští světlo (obr. 13). To je výhoda i pro vadný pixel/sub-pixel, který zůstává tmavý. Teprve poté, co se přivede napětí na elektrody, se molekuly krystalu natočí až o  $90^\circ$  a umožní průchod světla přes polarizační filtry. Díky lepšímu uspořádání molekul je možné získat lepší podání barev a pozorovací úhly. Na druhou stranu má tato technologie i své nevýhody. Jelikož jsou řídicí elektrody umístěny v jedné rovině, tak zabírají větší plochu pixelu/sub-pixelu než u technologie TN nebo xVA, a obraz potom působí hrubším dojmem (více je vidět mřížka mezi pixely). Další problém způsobený elektrodami je slabší elektrické pole, které



působí na krajní molekuly krystalu (nejdále vzdálené od elektrod) a způsobují nedokonalé dotočení molekul krystalu. Ve výsledku propustí pixel/sub-pixel celkově méně světla a to má dopad na nižší jas a kontrast. [27, 28, 29]



Obr. 13: Princip natáčení krystalu IPS (převzato z [26])

První panely s technologií IPS byly poměrně pomalé. Proto byly vylepšovány jako MVA o různé varianty (např. S-IPS, AS-IPS, H-IPS atd.), které zlepšovaly dobu odezvy, kontrast a další parametry. [27, 28, 29]

#### 3.4.4 PLS (Plane to Line Switching)

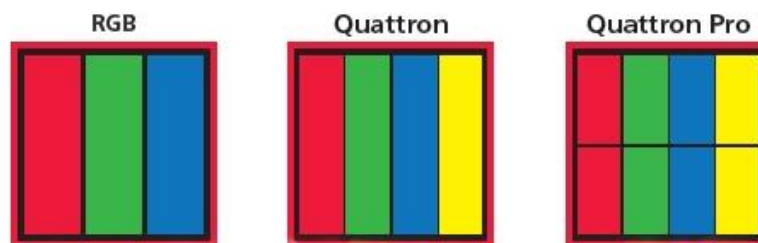
Technologie PLS byla vyvinuta ve společnosti Samsung, která se liší oproti ostatním technologiím. Jedná se o technologii založenou na stejném principu jako IPS. Společnost Samsung tvrdí, že PLS má vylepšené pozorovací úhly, lepší podání barev a jas, než dosavadní panely IPS. Také se může pochlubit nižšími náklady na výrobu. [27,30]

#### 3.4.5 Quattron

S novou technologií Quattron přišla japonská společnost Sharp v roce 2009. Běžné panely používají pro zobrazení základní barvy modelu RGB (červená, zelená, modrá). Quattron k těmto základním barvám RGB přidal navíc žlutou (Yellow) a vytvořil technologii čtyř barev RGBY. Přidáním žlutého sub-pixelu rozšířil barevnou škálu, zjemnil obraz a zkvalitnil detaily díky věrnějšímu reprodukování barev. Zejména při vykreslování žluté, zelené a modré, a také u odstínu hnědé je vidět největší rozdíl oproti klasické RGB technologii. Druhá generace RGBY pod názvem Quattron Pro se od první liší počtem sub-



pixelů. Stávající 4 sub-pixely byly rozděleny na polovinu a tak vzniklo osm nezávisle řízených sub-pixelů. Tato technologie nabízí 16,5 milionů sub-pixelů při rozlišení 1920x1080, což je o 10 milionů více než u RGB. [31, 32]



Obr. 14: Rozdíly pixelů (převzato z [32])

## 3.5 Reflexní, Transmisivní a Transreflexivní LCD

### 3.5.1 Reflexní LCD

Reflexní LCD funguje bez nutnosti vnitřního podsvícení. Display získává světlo z vnějšího zdroje, které dále propouští na reflexní vrstvu umístěnou za zadním polarizačním filtrem a odrazí ho zpět skrz display k uživateli. Pokud není přivedeno napětí, displej zůstává prázdný (všechno světlo je propuštěno) a nezobrazí se žádná informace. Po přivedení napětí tekuté krystaly změni svoji orientaci, světlo neprojde na reflexní vrstvu, a na displeji se vykreslí daná informace. Je zřejmé, že tento druh displejů nejlépe funguje za denního osvětlení nebo v dostatečně osvětlených prostorech. Při používání za tmy nic nevidíme. Svoje umístění si našel v kalkulačkách, v digitálních hodinkách a v mnoha dalších zařízeních. [33]

### 3.5.2 Transmisivní LCD

Tento druh displejů je opakem reflexních LCD. Ke své funkci potřebují vnitřní zdroj světla, který se nachází pod displejem. Nejlépe jsou vidět za šera, nebo úplné tmy. Využívají se pro televizory, PC monitory, mobilní telefony a další přístroje. [33]

### 3.5.3 Transreflexní LCD

Transreflexní LCD je kombinací předchozích dvou typů displejů. Za zadním polarizačním filtrem se nachází polopropustná vrstva, která může světlo propouštět i odrážet. Z toho plyne, že při okolním osvětlení se světlo odráží od polopropustné vrstvy a displej

funguje jako reflexivní. V případě nedokonalého vnějšího osvětlení je použit vnitřní zdroj světla, který prochází skrz polopropustnou vrstvu a displej funguje jako transmisivní. [33]

### 3.6 Technologie podsvícení LCD

LCD panely pro svoji činnost s výjimkou reflexních displejů potřebují podsvícení. Kvalita podsvícení je velmi důležitá, jelikož výrazně ovlivňuje jas, barevné podání, ale také i životnost displeje. Hlavní způsoby podsvícení jsou pomocí katodových zářivek nebo LED diod. [34]

#### 3.6.1 Katodová zářivka (trubice)

Jeden ze starších způsobů pro podsvícení LCD panelů se zejména využívalo světelných tenkých trubice. Na trubice byl kladen velký zřetel, aby svítily rovnoměrně po své celé délce, a to jasně bílou barvou o teplotě kolem 6000K. U levnějších panelů se nejčastěji používá systém dvou nebo více trubic, což vede k nerovnoměrnému podsvícení. Pro dokonalejší podsvícení se používají světlovody, které rozvádí světlo z trubic a pomocí reflexní vrstvy je odráží tak, aby bylo na displeji co nejrovnoměrněji rozprostřeno. Životnost trubic se udává jako hodnota, která oznamuje dobu, za kterou trubice dosáhne poloviční svítivosti, a to činí obvykle 50 000 hodin. U dražších panelů zejména pro profesionální účely se používá systém přímého podsvícení, což je více trubic nad sebou, například až 14. Díky většímu počtu trubic je zajištěno rovnoměrné podsvícení a není potřeba rozvádět světlo světlovodem. Výhodou je i delší životnost, kde každá trubice není tak namáhána jako při použití dvou trubic. U profesionálních panelů se udává doba životnosti 30 000 hodin, a je to doba, než začne trubice stárnout. [34, 35]

Nevýhodou této technologie je tedy to, že intenzita světla je konstantní a nelze jí místně regulovat. To má dopad na barvy, které se jeví trochu vybledle, kde například černá není černá, ale může se jevit jako šedá. [34]

#### CCFL (Cold Cathode Fluorescent Lamp)

Jedná se o uzavřenou skleněnou trubici (baňku), kde na jejich koncích jsou přivedeny elektrody, které prochází skrze trubici dovnitř. Trubice je vyplněna inertními plyny, převážně argonem a neonem, ale také s malým přídavkem rtuti. Na povrch vnitřních stěn trubice je

nanesen luminofor, který zajišťuje přeměnu energie elektrického výboje na viditelné světlo. Po přivedení napětí na elektrody začne směsice plynů ionizovat a to umožní protékání proudu mezi elektrodami. Ionizovaný plyn vyzáří ultrafialové světlo, které se po dopadu na luminofor částečně přemění na viditelné světlo. Výsledná barva světla záleží na množství a poměru daných plynů a luminoforu. [36]

### **EEFL (External Electrode Fluorescent Lamp)**

Tato trubice pracuje na stejném principu jako CCFL s rozdílem, že elektrody jsou umístěné na vnějších stranách konců trubic a neprocházejí skrze sklo. Díky tomu je levnější výroba a hlavně nevznikají problémy s možností uniku plynu. Při provozu EEFL trubice se uvolňuje méně tepla, tím se tolik neopotřebovávají elektrody a luminofor, a to přispívá k delší životnosti trubice. Výhodou je vysoká účinnost a jas, ale také poskytuje větší šetrnost k přírodě při menším obsahu rtuti než jako u typu CCFL. Tento typ trubic se používá pro panely s větší úhlopříčkou od 32" a výš. [36]

### **HCFL (Hot Cathode Fluorescent Lamp)**

HCFL trubice funguje na podobném principu jako předchozí dvě technologie. Na svých koncích má elektrody, které procházejí skrze sklo a každá je uvnitř spojena wolframovým vláknem. Rozdílem je, že vlákno se musí nejprve zahřát pomocí procházejícího proudu, aby mohla trubice pracovat. [36]

### **FFL (Flat Fluorescent Lamp)**

Na začátku roku 2000 se objevila technologie FFL, která byla odlišná od předchozích technologií. Největší rozdíl byl ve tvaru, který nepředstavoval trubici, ale tenký plochý obdélník. Tento světelný zdroj měl životnost až 100 000 hodin, oproti trubicím CCFL měl rovnoměrné osvětlení a nepoužíval pro náplň žádnou rtuť. Přes všechny dobré vlastnosti měla tato technologie i své nedostatky a tím největším byla až dvojnásobná spotřeba energie oproti CCFL. Tento faktor byl zásadní pro mnohé zákazníky a tak v roce 2006 klesnul pokrok ve vývoji, až tato technologie do roku 2008 prakticky vymizela. [36]

### 3.6.2 LED podsvícení

Podsvícení LED (Light Emitting Diode), v překladu „diody emitující světlo“ přináší řadu výhod pro LCD panely. Proti katodové trubici mají LED větší jas a kontrast, a to díky možné regulaci každé diody zvlášť nebo jejich skupin. Lze dosáhnout skutečné černé barvy pomocí utlumení či úplné zhasnutí diod. Další výhodou je lepší účinnost diod, která umožní širší barevné podání a snížení spotřeby elektrické energie přibližně o 40%. Oproti CCFL trubicím mají diody dvojnásobnou životnost, změna stavu zapnout/vypnout je rychlejší a jsou ekologičtější, jelikož neobsahují rtuť. S technologií LED je možno vyrábět i tenčí panely. LCD panely můžeme podsvítit několika způsoby. [34, 37]

#### RGB LED

RGB LED technologie využívá maticové rozmístění diod pod celou plochou LCD panelu. Pro podsvícení se používá soustava čtyř LED diod v barvách červené, modré a dvě zelené. Díky barevnému podsvícení společně s dalšími technologiemi lze získat větší barevné podání (gamut), které je využito pro profesionální panely. Tato technologie produkuje sytější a čistší odstíny černé barvy, která se docílí ztlumením nebo úplným zhasnutím konkrétní skupinou diod tzv. „local dimming“. [34, 37]

#### Direct LED

Tato technologie je obdobná jako RGB LED, ale místo barevných diod se zde používají bílé diody. Rozdílem je menší barevný prostor, který použitím bílých diod nelze dosahovat takových hodnot jako u RGB LED. Také zde lze využít funkci „local dimming“. [34, 37]

#### Edge LED

V tomto případě podsvětlovací diody nejsou umístěny za LCD panelem jako u předchozích dvou technologií, ale svoje místo našly po obvodu panelu. Vyzařované světlo z diod je pomocí speciální světlovodivé reflexní desky rovnoměrně rozptýleno po celém panelu a odraženo na obrazovku. Edge LED panely se vyznačují svojí tloušťkou, která je velmi tenká (pod 1cm) a svojí cenou při menším počtu diod. Nevýhodou je, že nelze použít funkci „local dimming“, kvůli rozmístění diod po obvodu panelu. V současnosti výrobci

pokročily s technologií tak daleko, že rozdíl mezi Edge LED a RGB LED je prakticky neznatelný. [34, 37]

### **3.7 Výhody a nevýhody LCD**

#### **Výhody**

LCD panely se vyznačují nízkou spotřebou a vysokou dobou životnosti, kterou ještě více docílily pomocí LED podsvícení. Díky LED podsvícení se LCD panely ztenčily a snížila se jim hmotnost. Také dosahují vyššího jasů, lepšího barevného podání a zobrazování černé barvy. Výhodou je širší nabídka v rozměrech úhlopříčky oproti PDP. LCD panely dohánějí parametry PDP technologie. Lze je pověsit na zeď. [18, 19, 29]

#### **Nevýhody**

Při použití CCFL podsvícení mají displeje horší pozorovací úhly a podání černé barvy. Doba odezvy je delší než u PDP. U technologie TN mrtvý pixel svítí, což působí při práci rušivě. [18, 19, 29]

## 4 PDP (Plasma Display Panel)

### 4.1 Historie PDP

V roce 1936 maďarský fyzik a inženýr Kálmán Tihanyi popsal princip plazmové technologie. Jednalo se o první návrh ploché obrazovky, která měla odstranit nevýhodu hloubky CRT obrazovek. Než došlo k sestrojení plazmového panelu, uběhlo necelých 30 let. Až v roce 1964 studenti z University of Illinois at Urbana-Champaign zrealizovali první monochromatickou plazmovou obrazovku pro počítačový systém PLATO, který vykresloval obraz v černo-oranžové barvě. Tyto panely byly velmi populární do konce 70. let, než je vytlačila levnější CRT technologie. Dalším kdo se prosadil v odvětví této technologie, byla společnost Burroughs Corporation, která představila displej s označením Panaplex. Tyto displeje se rozšířily do mnoha elektrických spotřebičů, kterými byly kalkulačky, budíky, pokladny či hrací automaty, kde působily a dominovaly řadu let. Po příchodu LED v devadesátých letech displeje Panaplex ztratily svoji nadvládu. LED se stala populární díky své nízké spotřebě a flexibilitě, nicméně displeje Panaplex si v určitém odvětví udržel pozici pro výhodu vysokého jasu. V osmdesátých letech se o technologii plazma zajímala i IBM, která představila v roce 1983 19" černo-oranžovou monochromatickou obrazovku. Vzhledem k silné konkurenci ze strany černobílých LCD displejů se IBM rozhodla továrnu pro výrobu plazmových obrazovek uzavřít. V devadesátých letech v roce 1992 společnost Fujitsu představila barevný displej s úhlopříčkou 21". Jednalo se o hybrid vytvořený na plazmové technologii. V roce 1997 Fujitsu představila 42" plazmový displej o rozlišení 852x480. Ve stejném roce se připojila společnost Philips a Pioneer se stejnou úhlopříčkou. Od tohoto roku se plazmové televize začínaly rozrůstat a běžně prodávat. [38]

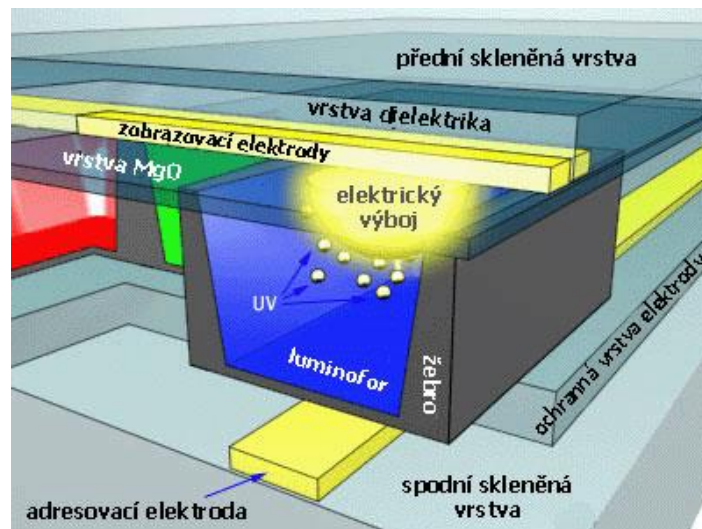
### 4.2 Princip PDP

Pro pochopení funkce plazmové televize si nejdříve musíme objasnit, co to vůbec plazma je. Hmota, tak jak jí známe, se skládá z atomů, kdežto plazma je skupenství složené z iontů a elementárních částic. Jelikož se nedá plazma zařadit mezi plyny, kapaliny ani pevné látky, je označována někdy čtvrtým skupenstvím. Plazma, která se využívá v plazmových obrazovkách, se skládá ze směsi vzácných plynů, jako je argon, neon nebo xenon, které tvoří elektroneutrální atomy. Pro vytvoření plazmy do směsice plynů přivedeme elektrickou energii, která dopomůže uvolnit mnoho volných elektronů. Volné elektrony zapříčiní srážky

s částicemi plynu, plyn ztratí své elektrony a tím vznikají kladně nabitě ionty. Spolu s elektrony vznikne právě zmíněná plazma. [39]

Uvolněné jednotlivé nabitě částice pomocí vytvořeného elektrického pole se začnou pohybovat, respektive přitahovat ke svým dvěma opačným pólům. Kladné ionty jsou přitahovány k záporně nabitému pólu, kdežto elektrony jsou přitahovány ke kladně nabitému pólu. Tento hromadný pohyb přemísťování způsobí srážení částic, které zapříčiní dostávání plynových iontů do excitovaného stavu a tím vznikne uvolnění fotonu ve formě ultrafialového záření. Toto záření je pro lidské oko neviditelné a k jeho převedení do světelného spektra lidského oka použijeme stejný princip jako u CRT obrazovek. Každá obrazová buňka vyplněná plazmou je zevnitř pokryta luminoforem. Luminofor vstřebá dopadající ultrafialové záření a převede ho na viditelné světlo. [39]

Obrazovka plazma displeje se skládá z matrice miniaturních fluorescentních buněk známé jako pixely. Každá buňka je osazena malým kondenzátorem se třemi elektrodami a uzavřena mezi dvě tenké tabulky skla. Elektroda pro adresování se nachází na zadní stěně buňky, zatímco zbylé dvě průhledné zobrazovací elektrody zaujímají místo na přední stěně buňky. Elektrody na přední stěně jsou odděleny dielektrikem a chráněny vrstvou oxidu hořečnatého MgO. Pixely tvoří matici se sítí elektrod, kde horizontální elektrody (řádky) zastávají funkci adresování a vertikální elektrody (sloupce) jsou pro zobrazování. U barevných plazma displejů je každý pixel složen ze tří sub-pixelů o základní barvě RGB. Jednotlivé sub-pixely jsou ovládány samostatně. Když přivedeme střídavé napětí do zobrazovacích elektrod, je indukován výboj, který zapříčiní ionizaci plynu a tím se začne vytvářet plazma. Dielektrikum společně s oxidem hořečnatým výboj zastaví, ale vlivem střídavého napětí dojde ke změně polarity, kdy ionizace plynu pokračuje dál, a výboj stále udržuje. Přivedené napětí na zobrazovacích elektrodách je udržováno těsně pod úrovní, kdy vzniká plazma, a samotný přechod pro přeměnu plynu na plazmu zajišťuje jenom už malé napětí na adresovacích elektrodách. Pro následující opakování celého cyklu je nutno přivést na zobrazovací elektrody malé napětí, které v buňce vyvolá neutralizaci náboje a cyklus může proběhnout znovu. Čas potřebný pro neutralizaci výboje a přípravu buňky na následující cyklus je nazýván dobou odezvy. [39, 40]



Obr. 15: Schéma jedné buňky PDP (převzato z [39])

Pro získání výsledné barvy pixelu musí být každý sub-pixel řízen zvlášť v mnoha úrovních intenzity. K tomu slouží pulzně-kódová modulace, která na elektrody sub-pixelů přivádí pulzní napětí. Počet a šířku napěťových pulzů získá sub-pixel během každého snímku. Délka trvání každého snímku je rozdělena na několik kratších úseků nazývané jako podsnímky. Sub-pixely, které mají svítit po dobu trvání podsnímku, jsou pomocí zobrazovacích elektrod přednabity na konkrétní napětí, a během doby zobrazení přivádíme napětí na celý displej pomocí adresovacích elektrod. Ve výsledku to znamená rozsvícení jen přednabitých sub-pixelů s intenzitou danou úrovní nabití. [39, 40]

### 4.3 Výhody a nevýhody PDP

#### Výhody

Plazma displej se vyznačuje vysokým jasem a kontrastem díky tomu, že sám emituje světlo. Podání barev je sytější a přirozenější. Další výhodou je přesná geometrie obrazu a nízká odezva, která zajišťuje plynulost obrazu. Velmi dobré jsou i pozorovací úhly. Lze je zavěsit na zeď. [38, 39, 40]

#### Nevýhody

Vyšší spotřeba elektrické energie a hmotnost než u LCD. Problémy s degradací a vypalováním luminoforů při statickém obrazu. PDP mají složitou technologii výroby a kratší



dobu životnosti proti LCD. Další nevýhodou je vyrábění PDP displejů s menšími úhlopříčkami, protože jednotlivé buňky nelze více zmenšit. [38, 39, 40]

## 5 OLED (Organic Light Emitting Diode)

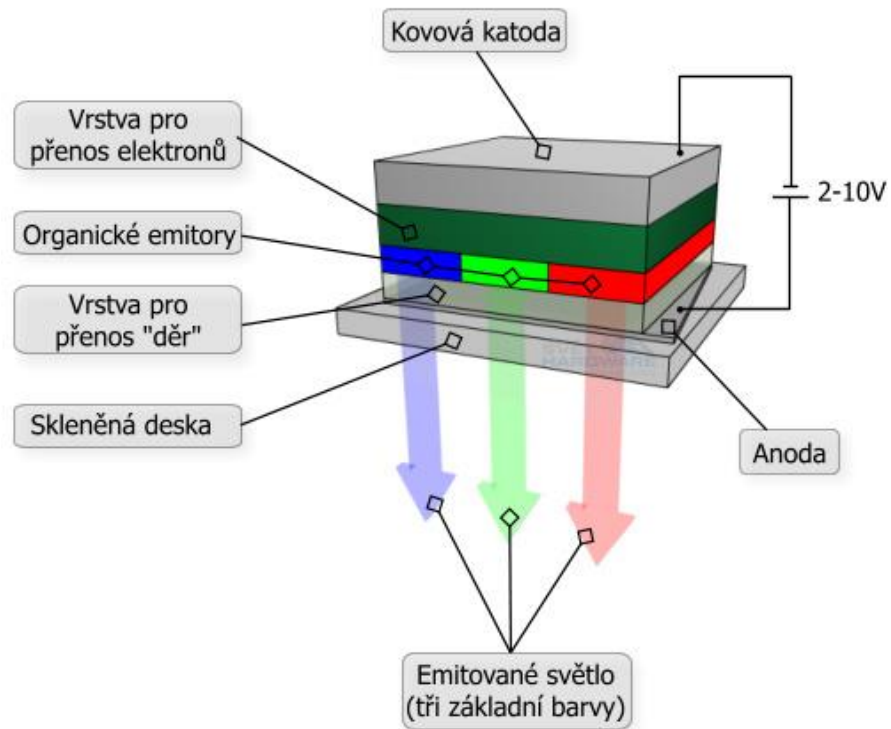
### 5.1 Historie OLED

Historie této technologie sahá až do 50. let dvacátého století, když ve Francii na Univerzitě v Nancy prováděly pokusy s elektroluminiscenčními organickými materiály. Po přivedení napětí na tento materiál došlo ke krátkému záblesku světla a to nastartovalo vývoj pro budoucí OLED technologii. Na vývoji se podílela celá řada vědců z mnoha vyhlášených pracovišť po celém světě. Během plynoucí doby byly uskutečněny značné pokroky, až do roku 1975, kdy si nechal Roger Partridge patentovat elektroluminiscenční film z polymeru o pouhé tloušťce 2,2 mikrometrů. Po dvanácti letech v roce 1987 firma Eastman Kodak použila první zařízení na principu OLED. [41]

### 5.2 Princip OLED

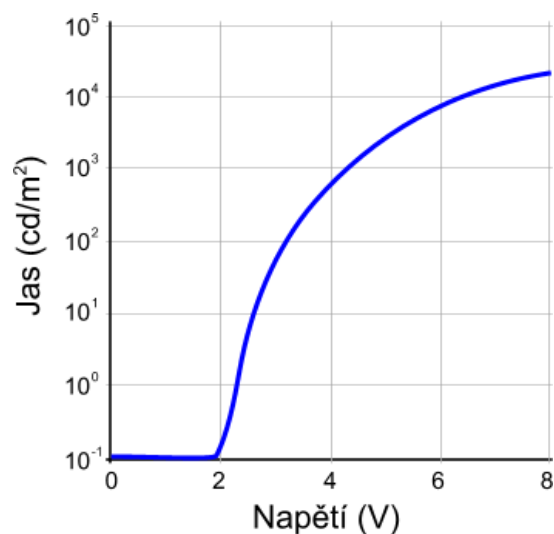
OLED technologie z anglického názvu Organic Light Emitting Diode po přeložení znamená organická elektroluminiscenční dioda. Pokud bychom vynechali v názvu slovo „Organic“, jednalo by se jenom o normální svítící LED diodu. Díky onu organickému materiálu lze vyrobit LEDky reálně malých rozměrů a nanášet je rovnou na základní materiál. Tak jako u ostatních technologií se i u OLED jeden pixel skládá ze tří sub-pixelů o barvách RGB (červená, zelená, modrá). Každý sub-pixel svítí nezávisle zvlášť svojí barvou a lidské oko si je spojí v jeden zářící bod o určité barvě. [42]

OLED oproti ostatním technologiím je založena v podstatě na velice jednoduchém principu. Přivedením stejnosměrného napětí na organický materiál začne vyzařovat světlo dané barvy. Pokud naskládáme dostatečný počet těchto miniaturních LEDek do matice, vznikne nám jednoduchý OLED displej. Stejnosměrné napětí od 2-10 V je přivedeno mezi katodu a anodu, a tím začne sub-pixel svítit. Skrz vodivou vrstvu pro přenos elektronů jsou jednotlivé organické emitory napájeny pomocí kovové katody. Vrstva pro přenos elektronů zajišťuje, aby přivedené napětí se dostalo do správného sub-pixelu. Na opačné straně se nachází anoda, ve které se vytvářejí elektronové díry a přes vrstvu pro přenos děr jsou přenášeny do jednotlivých organických emitorech. Jednoduše tedy můžeme říci, že elektrony proudí z katody přes vodivou vrstvu do jednotlivých sub-pixelů organického materiálu, který vyzáří fotony o určité vlnové délce (barvě). [42]



Obr. 16: Struktura OLED pixelu (převzato z [42])

Nesmírnou výhodou této technologie je, že displeje se můžou vyrobit zrcadlové, průhledné a dokonce i ohebné. Všechno záleží jenom, na jaký materiál se nanese organická látka. Další výhodou je velmi kvalitní podání černé barvy. Ta je vytvořena tak, že když se na elektrody sub-pixelu nepřivede žádné napětí, tak prostě nesvítí. To je dáno i pro zbytkové napětí od 0-2 V, které neemituje žádné elektrony. Proto můžeme říci, že OLED displeje mají nekonečný kontrast. [42]



Obr. 17: Závislost jasu na přivedeném napětí (převzato z [42])

Napětí působící na organický materiál není lineární k intenzitě emitovaného světla viz. (obr. 17). Hranice jasů dosahuje až  $100\,000\text{ cd/m}^2$ , což je značně vysoká hodnota. Jelikož tato hodnota znázorňuje jas u samotného organického materiálu, hodnota jasů u displeje bude výrazně nižší. Je to způsobeno tím, že samostatné pixely či sub-pixely nepokrývají celou plochu displeje, ale jsou mezi nimi mezery. Ale i tak je zde stále nadměrná rezerva. [42]

### 5.3 Materiály

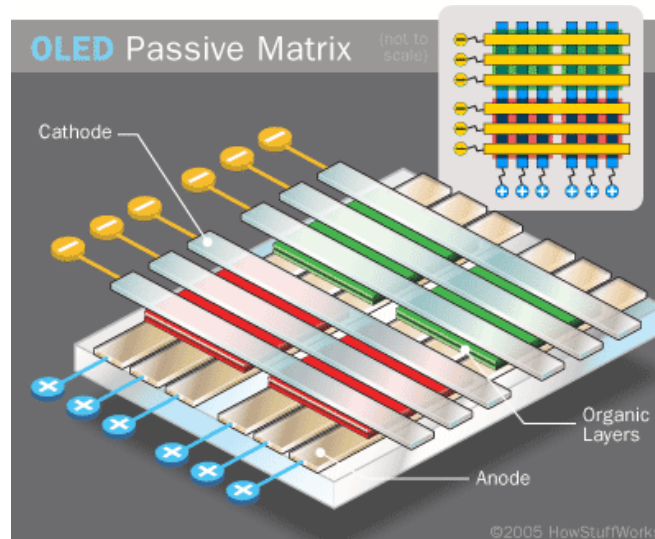
Základním stavebním kamenem je již zmíněný organický materiál. Pro výrobu se používá Polyphenylevevinylen (R-PPV) nebo Polyfluoren (PF). Oba materiály sami vyzařují světlo a jsou umístěny v jednotlivých buňkách v matici. Výhodou je jejich snadná aplikace do displejů. Organický materiál je nanášen na katodu, překryt vrstvou pro přenos děr (Polyanilinem či Polythylenedioxythiophnem), překryt anodou a potom krycím sklem či průsvitným plastem. Výhodou je, že organický materiál po nanášení si zachovává svoji pružnost, a tím není problém vyrobit ohebný displej. Další výhodou je i možnost vyrobit různé tvary sub-pixelů. Jejich tloušťka je 200x menší než tloušťka lidského vlasu, a proto jsou displeje omezeny jenom šířkou fólie, na které jsou nanášené. Pro vyzařování různých barev polymeru je upraveno jeho chemické složení. [42]

### 5.4 Princip řízení pixelu/sub-pixelu

U OLED technologie pro řízení pixelů/sub-pixelů se používá pasivní nebo aktivní matice, která je obdobná jako u LCD technologie.

#### 5.4.1 PMOLED

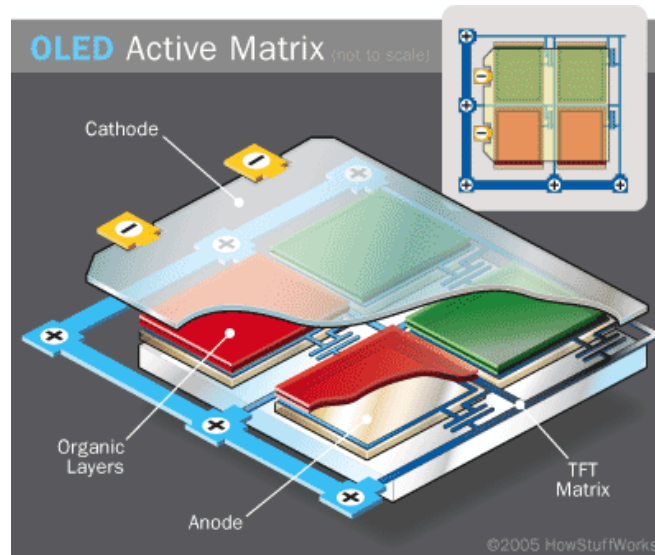
Technologie PMOLED z anglického názvu Passive Matrix OLED označuje pasivní matici. Pro ovládání pixelů/sub-pixelů představuje pasivní matice jednodušší strukturu jako u LCD. Matice pixelů/sub-pixelů je tvořena řádky a sloupci, které představují řídicí elektrody pro anodu a katodu. V místě křížení se mezi nimi nachází pixel/sub-pixel tvořící organický materiál. Po přivedení napájení na jednu z anod a současně katod začne daný pixel/sub-pixel v místě křížení svítit. Nevýhodou je, že sousední pixely/sub-pixely se vzájemně ovlivňují, tím může docházet k jejich změnám jasů, a proto se musí vhodně regulovat časování a množství procházejícího proudu. Tato technologie řízení je vhodná pro nenáročný grafický zobrazování a displeje se statickým obrazem. [43]



Obr. 18: Struktura PMOLED (převzato z [43])

### 5.4.2 AMOLED

Dalším typem pro řízení pixelů/sub-pixelů je aktivní matice (Active Matrix OLED), která je používána pro displeje s vysokým rozlišením a grafickými nároky. Struktura je obdobná jako u TFT LCD displejů. Katoda tvoří sjednocenou vrstvu pro všechny pixely/sub-pixely dohromady. Anoda je samostatná pro každý pixel/sub-pixel zvlášť. Každý pixel/sub-pixel má dva tranzistory a kondenzátor, což umožňuje nezávislé adresování, řízení jasu a rychlosti zhasínání a rozsvícení. Jeden tranzistor řídí nabíjení a vybíjení kondenzátoru, a druhý má funkci jako napěťový stabilizátor pro udržování konstantní velikosti proudu. To zamezuje blikání bodů, které mají svítit po několika jdoucích cyklech za sebou. Tato technologie proti PMOLED má lepší dobu odezvy, ostřejší obraz a menší spotřebu elektrické energie. Nevýhodou jsou vyšší výrobní náklady způsobené složitější strukturou displeje. [43]



Obr. 19: Struktura AMOLED (převzato z [43])

## 5.5 Typy OLED

### Super AMOLED

Jedná se o vylepšený displej původní AMOLED technologie. Tyto displeje se převážně používají v mobilních dotykových telefonech. Displej se sám o sobě skládá z několika vrstev, ke kterým se přidává vrstva dotyková. U AMOLED jsou to vrstvy řízení, organického materiálu, dotykové technologie a krycího skla. Super AMOLED dotykovou vrstvu začlenil přímo do displeje. Díky začlenění ubyla jedna vrstva, která na přímém slunečním světle vytvářela odlesky, a také se ztenčil displej. Další výhodou bylo zlepšení jasu, podání barev a nižší spotřeba elektrické energie. K tomu dopomáhá i technologie PenTile, která přidává do RGB navíc bílou barvu s použitím dvou sub-pixelů na pixel. [44, 45]

### Super AMOLED Plus

Tento displej je dalším vylepšením svého předchůdce. Používá technologii Real Stripe s 50% navýšením sub-pixelů RGB. Díky navýšení sub-pixelů vytváří ostřejší a méně zrnitý obraz. Vyniká vyšším jasnem, životností a účinností. [45]

### SOLED (Stock OLED)

Dalším možným uspořádáním jednotlivých sub-pixelů nám umožňuje technologie SOLED. Ostatní displeje tvoří pixel ze tří sub-pixelů základních barev RGB poskládaných

vedle sebe. Díky tomu, že OLED je průhledný a sám vyzařuje světlo, lze naskládat jednotlivé sub-pixely na sebe. Smíchaná barva působí velmi přirozeně a lze docílit daleko věrnějšího obrazu. [46]

### **PHOLED (Phosphorescent OLED)**

Tato technologie dosahuje čtyřikrát větší účinnosti než normální OLED a dokáže přeměnit až 100% elektrické energie na bílé světlo pomocí principu elektrické fosforescence. Díky tak velké účinnosti a nízké spotřebě na jeden pixel je technologie PHOLED vhodná pro podsvícení displejů s velkou úhlopříčkou. [47]

### **WOLED (White OLED)**

White OLED technologie byla vynalezena pro získání účinného zdroje bílého světla s co nejmenší spotřebou pro nahrazení současných žárovek a zářivek. Bílá barva záření je tvořena z RGB proužků, kde u každého z nich lze měnit intenzitu osvětlení a teplotu barev. Jejich účinnost dosahuje 30 lm/W. [47]

### **FOLED (Flexible OLED)**

Jedná se o typ displeje, kde organická vrstva je nanášena na pružný materiál v podobě plastické nebo kovové fólie. Díky flexibilitě lze displej lépe přizpůsobit povrchu, na který je umístěn. Pružný materiál lépe odolává nárazům, pádům, prasknutí či přelomení. Tyto displeje mají velmi tenkou strukturu a menší hmotnost. Pro jejich vhodné parametry by našli uplatnění jako přenosná zařízení typu mobilní telefon, mp3 přehrávač nebo také obrazovky s velkou úhlopříčkou, které se snadno zavěsí na jakékoli místo. [47]

### **TOLED (Transparent OLED)**

Tato technologie umožňuje vyrobit téměř průhledný displej s průchodností světla až 80%. Dovoluje to transparentní katoda, anoda a substrát v podobě skleněné destičky nebo plastové fólie. Díky této struktuře lze vyzařovat světlo na jedné straně (top-emitting OLED), nebo na obou stranách (top-and-bottom-emitting OLED). Uplatnění této technologie by se mohlo

využívat pro zobrazení informace v zorném poli pozorovatele. Například jako čelní skla automobilů, brýle nebo hledí helmy. [47]

## 5.6 Výhody a nevýhody OLED

### Výhody

OLED technologie sama emituje světlo a díky tomu vytváří věrnější, ostřejší a živější podání barev. Homogenita obrazu nemá konkurenci mezi ostatními panely. Další obrovskou výhodou je přesná geometrie, vysoký jas, nekonečný kontrast díky absolutní černé a hloubka obrazu. Pozorovací úhly zde v podstatě neexistují. Doba odezvy je menší než 0,01 ms, kde takto malou hodnotu nemá lidské oko šanci zpozorovat. Tím, že OLED nepotřebují žádný přídatný zdroj světla a sami světlo vyzařují, je dělá lehčími a tenčími. To umožňuje snadnější použití v aplikacích. Lze vytvořit jakékoli tvary pixelu/sub-pixelu a nanést je na různé substráty. [48]

### Nevýhody

Největší nevýhodou je zatím životnost displeje, která je menší než u LCD a PDP. Jednotlivé barvy RGB degradují s rozdílnou dobou, kde nejkratší životnost má modrá barva. S rozdílným stárnutím barev to může mít následek na barevné podání. Problém lze vyřešit v podobě změny jasu každé RGB barvy podle křivky stárnutí. [48]



## 6 Cenová dostupnost a spotřeba

V této kapitole se budu věnovat porovnávání energetické náročnosti vybraných typů zobrazovacích jednotek, jejich pořizovací ceny a předpokládaného denního provozu tři a pět hodin v jednom kalendářním roku a to z důvodu změny cen elektřiny a jednotlivých vybraných zobrazovacích panelů.

Cenu 3,85 Kč jedné kilowathodiny (kWh) elektrické energie jsem vypočítal jako průměrnou ze sazby D25d. Celková cena se skládá ze tří složek a to ceny elektrické energie, distribuce a související služby.

Pro výpočet spotřeby zobrazovacího panelu musíme zjistit příkon, který bývá uveden na štítku nebo v návodu k použití. Spotřebu vypočteme jako součin příkonu a počtu hodin. Výpočet ukážu na příkladu CRT zobrazovací jednotky značky Panasonic TX – 36PL35P. Příkon televize je 125 W a doba provozu 3 hodiny denně. Celková spotřeba za jeden rok, který má 365 dní, činí 136875 Wh (125 W x 3 hodiny x 365 dní). Při ceně 3,85 Kč (3,85 Kč x 136,875 kWh) to znamená 527 Kč za jeden kalendářní rok. Stejným postupem výpočtu jsem pokračoval v následující tabulce pro vybrané zobrazovací jednotky.

Typ	Značka	Úhlopříčka (cm)	Příkon (W)	Cena panelu (Kč)	Spotřeba za rok při sledování 3 hodin denně (kWh)	Cena za rok při sledování 3 hodin denně (Kč)	Spotřeba za rok při sledování 5 hodin denně (kWh)	Cena za rok při sledování 5 hodin denně (Kč)
CRT	Panasonic TX36PL35P	96	125	30 040 (rok 2005)	136,9	527	228,1	878,3
LCD	Samsung UE32H5500AW	80	72	10 990	78,8	303,5	131,4	505,89
	Samsung UE40H6270SSXXH	102	115	16 990	125,9	358,9	209,9	598,1
	Samsung UE55H6200AW	140	156	31 990	170,8	657,7	284,7	1096,1
PDP	Panasonic TXP42GT60	106	315	19 990	345	1328	575	2213,3
	Panasonic TXP55VT60	140	460	33 990	503,7	1939	839,5	3232
OLED	LG 55EA980V	140	100	129 990	109,5	421,6	182,5	702,6

Tab. 1: Energetická náročnost jednotlivých zobrazovacích panelů

## Závěr

Pro porovnání jsem do této práce zařadil CRT jednotu, která se už využívá jenom okrajově tam, kde je zapotřebí kvalitní podání barev. V současné době jsou na trhu nejrozšířenější zobrazovací jednotky LCD a PDP. Technologie PDP se používá u zobrazovacích jednotek s velkou úhlopříčkou. LCD technologie lze použít jak pro malé tak pro velké úhlopříčky. Z tabulky vyplývá, že pokud budeme porovnávat zobrazovací jednotky se stejnou úhlopříčkou a standartními funkcemi je výhodnější LCD.

Na trhu je nepřehledné množství různých zobrazovacích jednotek, které se liší délkou úhlopříčky, dobou odezvy, barevným podáním, úhlem pozorování, kontrastem, podáním černé barvy, spotřebou elektrické energie a dalším množstvím funkcí. Při výběru se běžný zákazník rozhoduje především podle velikostí úhlopříčky, spotřebou elektrické energie, kvalitou obrazu a ceny.

Tato práce ukazuje, že vývoj bude směřovat ke zdokonalování OLED zobrazovacích jednotek, které mají velice nízkou energetickou spotřebu a vysokou kvalitu obrazu. Lze těžko předvídat, jak rychle tento vývoj bude probíhat a za jak dlouhou dobu bude zvládnuta hromadná výroba, která z těchto jednotek udělá cenově dostupný produkt. Proto nelze porovnávat předcházející zobrazovací jednotky na dobu jejich životnosti, protože za tuto dobu morálně i technicky zastarají.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] KLIMEŠ, František. *Moderní zobrazovací jednotky*. Praha, 2012. Bakalářská práce. Bankovní institut vysoká škola, a.s., Katedra matematiky, statistiky a informačních technologií. Vedoucí práce Ing. Bohuslav Růžička, CSc
- [2] ZIKMUND, Petr. *Vlastnosti a využití displejů*. Zlín, 2006. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky, Ústav elektrotechniky a měření. Vedoucí práce doc. RNDr Vojtěch Křesálek, CSc.
- [3] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: *Úhlopříčka* [online]. 15.1.2014 [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/%C3%9Ahlop%C5%99%C3%AD%C4%8Dka>
- [4] ENDRLE, Pavel. *Konec zmatků v rozlišení displejů [přehled]* [online]. 18.5.2012 [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: <http://www.mobilmania.cz/clanky/konec-zmatku-v-rozlišení-displeju-prehled/sc-3-a-1319962/default.aspx>
- [5] SOUČEK, Jiří. *Ještě jednou k LCD: Kde se vzaly konkrétní poměry stran?* [online]. 16.4.2012 [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: <http://diit.cz/clanek/pomer-stran-lcd>
- [6] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: *Display-Ratios.Gif*. [online]. [cit. 2014-01-05]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Display-ratios.gif>
- [7] KOVÁČ, Pavel. *Technologie LCD panelů* [online]. 8.2.2013 [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: <http://www.svethardware.cz/technologie-lcd-panelu/14465>
- [8] PETRÁŠEK, Jan. *Návrh pracoviště pro měření optických parametrů zobrazovacích panelů*. Plzeň, 2010. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací. Vedoucí práce Ing. Ivo Veřtát.
- [9] Wikipedia: The Free Encyclopedia: *Contrast ratio* [online]. 25.2.2014 [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Contrast\\_ratio](http://en.wikipedia.org/wiki/Contrast_ratio)
- [10] TEZAUER, Radka. *Barevné prostory* [online]. 17.11.2003 [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: <http://www.paladix.cz/clanky/barevne-prostory.html>
- [11] Wikipedia: The Free Encyclopedia: *Gamut*. [online]. 12.4.2014 [cit. 2014-01-05]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Gamut>
- [12] VEŘTÁT, Ivo. *Audiovizuální technika: (cvičení)*. Plzeň, 26.2.2013 Západočeská univerzita, Fakulta elektrotechnická, Katedra aplikované elektrotechniky a telekomunikací.
- [13] Výpočet spotřeby elektrické energie (elektriny) v domácnosti. . [online]. 9.9.2013 [cit. 2014-01-06]. Dostupné z: <http://www.elektracek.cz/vypocet-spotreby-elektricke-energie/>
- [14] LÁNÍČEK, Petr. *Jak fungují monitory (CRT, LCD a plazma)* [online]. 24.8.2009 [cit.

- 2014-07-01]. Dostupné z: <http://www.cnews.cz/clanky/jak-funguji-monitory-crt-lcd-plazma>
- [15] BELLIS, Mary. *Karl Braun: Cathode Ray Tube* [online]. 24.8.2009 [cit. 2014-08-01]. Dostupné z: [http://inventors.about.com/od/bstartinventors/a/Karl\\_Braun.htm](http://inventors.about.com/od/bstartinventors/a/Karl_Braun.htm)
- [16] Bairdtelevision. Boris Lvovich Rosing. In: bairdtelevision.com [online]. 2011 [cit. 2014-02-05]. Dostupné z: <http://www.bairdtelevision.com/rosing.html>
- [17] MAŤÁTKO, Jan. *ELEKTRONIKA*. 6. vyd. Praha: IDEA SERVIS, 2005.
- [18] BEZDĚK, Miloslav. *ELEKTRONIKA II*. 2. vyd. České Budějovice: KOPP, 2006.
- [19] OLIVKA, Petr a Tomáš KOTULA. *Zobrazovací jednotky počítačů - monitory* [online]. 2010 [cit. 2014-02-05]. Dostupné z: <http://poli.cs.vsb.cz/edu/arp/down/monitory.pdf>
- [20] REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. *Encyklopedie fyziky: Typ delta* [online]. [cit. 2014-02-08]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1307-typ-delta>
- [21] REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. *Encyklopedie fyziky: Typ in line* [online]. [cit. 2014-02-08]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1307-typ-delta>
- [22] REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. *Encyklopedie fyziky: Typ trinitron* [online]. [cit. 2014-02-08]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1309-typ-trinitron>
- [23] KOVÁČ, Pavel. *Tekuté krystaly - Jako všechno začalo?* [online]. 21.7.2005 [cit. 2014-06-08]. Dostupné z: <http://www.svethardware.cz/tekute-krystaly-jak-to-vsechno-zacalo/12311>
- [24] LCD Monitory a Televize: *Historie a vývoj LCD (kalkulačky, displeje, ploché obrazovky)* [online]. 21.7.2005 [cit. 2014-10-08]. Dostupné z: <http://www.lcd-monitory.net/historie/>
- [25] Wikipedia: The Free Encyclopedia: *Liquid-crystal display* [online]. 24.5.2004 [cit. 2014-13-08]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Liquid-crystal\\_display#History](http://en.wikipedia.org/wiki/Liquid-crystal_display#History)
- [26] KOVÁČ, Pavel. *Plazma vs. LCD: souboj technologií: Plazma vs. LCD: souboj technologií* [online]. 27.11.2008 [cit. 2014-18-02]. Dostupné z: <http://www.tvfreak.cz/plazma-vs-lcd-souboj-technologie/2768>
- [27] KOVÁČ, Pavel. *Technologie LCD panelů: Popis jednotlivých technologií* [online]. 8.2.2013 [cit. 2014-20-02]. Dostupné z: <http://www.svethardware.cz/technologie-lcd-panelu/14465-2>
- [28] KWOLEK, Jirka. *Pctuning: Průvodce plochými panely: TN, IPS, MVA, který je lepší?* [online]. 16.5.2005 [cit. 2014-23-02]. Dostupné z: [http://pctuning.tyden.cz/index.php?option=com\\_content&task=view&id=4509&Itemid=47](http://pctuning.tyden.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=4509&Itemid=47)

- [29] JIRÁSKO, Tomáš. *PC World: Technologie TFT LCD* [online]. 8.2005 [cit. 2014-28-02]. Dostupné z: [http://www.gljs.sk/~sjiricek/inf/pcworld/tft\\_lcd.html](http://www.gljs.sk/~sjiricek/inf/pcworld/tft_lcd.html)
- [30] *Electronista: Samsung PLS improves on IPS displays like iPad's, costs less* [online]. 1.12.2010 [cit. 2014-03-03]. Dostupné z: [http://www.gljs.sk/~sjiricek/inf/pcworld/tft\\_lcd.html](http://www.gljs.sk/~sjiricek/inf/pcworld/tft_lcd.html)
- [31] *SHARP: Technologie Quattron* [online]. [cit. 2014-03-06]. Dostupné z: [http://www.sharp.cz/sharp/apps/cz/aquos-quattron-2010-3d/en/product/quattron\\_technology.php](http://www.sharp.cz/sharp/apps/cz/aquos-quattron-2010-3d/en/product/quattron_technology.php)
- [32] PUK, Jaromír. *AVmania: Nová řada televizorů Sharp UQ10 s technologií Quattron Pro* [online]. 23.3.2014 [cit. 2014-03-09]. Dostupné z: [avmania.e15.cz/nova-rada-televizoru-sharp-uj10-s-technologie-quattron-pro-je-zde](http://avmania.e15.cz/nova-rada-televizoru-sharp-uj10-s-technologie-quattron-pro-je-zde)
- [33] DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice elektroniky 3. díl: Optoelektronika*. Praha: BEN - technická literatura, 2005.
- [34] TROUSIL, Pavel. *CHIP: Bližší pohled na LED* [online]. [cit. 2014-03-12]. Dostupné z: <http://www.chip.cz/casopis-chip/earchiv/vydani/r-2009/chip-12-2009/blizsi-led/>
- [35] KOVÁČ, Pavel. *Technologie LCD panelů* [online]. 8.2.2013 [cit. 2014-03-18]. Dostupné z: <http://www.svethardware.cz/technologie-lcd-panelu/14465>
- [36] LIGMAJER, Tomáš. *Technologie podsvícení LCD televizorů* [online]. 27.6.2011 [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: <http://www.tvfreak.cz/technologie-podsviceni-lcd-televizoru/4352>
- [37] LIGMAJER, Tomáš. *Technologie podsvícení LCD televizorů: Nástup LED podsvícení* [online]. 27.6.2011 [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: <http://www.tvfreak.cz/technologie-podsviceni-lcd-televizoru/4352>
- [38] Wikipedia: The Free Encyclopedia: *Plasma display* [online]. 6.6.2014 [cit. 2014-03-26]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Plasma\\_Display](http://en.wikipedia.org/wiki/Plasma_Display)
- [39] *Technologie: Plazma displeje* [online]. [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~paitlova/druha.Html>
- [40] REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. *Encyklopedie fyziky: Základní princip činnosti* [online]. [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1396-zakladni-princip-cinnosti>
- [41] Wikipedia: The Free Encyclopedia: *OLED* [online]. 2.6.2014 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Oled>
- [42] KOVÁČ, Pavel. *Technologie OLED - tak kde vězí?* [online]. 9.12.2008 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.svethardware.cz/technologie-oled-tak-kde-vezi/15239>
- [43] VOJÁČEK, Antonín. *OLED displeje - využívané principy a varianty* [online]. 12.5.2009 [cit. 2014-04-05]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/oled-displeje-vyuzivane-principy-a-varianty>

- [44] *Difference Between AMOLED and Super AMOLED* [online]. [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <http://www.differencebetween.net/technology/difference-between-amoled-and-super-amoled/>
- [45] P., Daniel. *Super AMOLED Plus vs Super AMOLED: to the PenTile matrix and back* [online]. 12.5.2011 [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: [http://www.phonearena.com/news/Super-AMOLED-Plus-vs-Super-AMOLED-to-the-PenTile-matrix-and-back\\_id18700](http://www.phonearena.com/news/Super-AMOLED-Plus-vs-Super-AMOLED-to-the-PenTile-matrix-and-back_id18700)
- [46] KOVÁČ, Pavel. *Technologie OLED - tak kde vězí?: OLED - tak kde to vězí?* [online]. 9.12.2008 [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: <http://www.svethardware.cz/technologie-oled-tak-kde-vezi/15239-4>
- [47] VOJÁČEK, Antonín. *Technologie OLED - tak kde vězí?: OLED - tak kde to vězí?* [online]. 17.8.2006 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2006081701>
- [48] KOVÁČ, Pavel. *Technologie OLED - tak kde vězí?: Vlastnosti OLED displejů* [online]. 9.12.2008 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.svethardware.cz/technologie-oled-tak-kde-vezi/15239-2>