

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Technická fakulta

**Displeje z tekutých krystalů**

Bakalářská práce

**Vedoucí bakalářské práce:** Volodymyr Ryzhenko, Ph.D.

**Autor práce:** Radim Suchý

Praha 2018

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Radim Suchý

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

**Displeje z kapalných krystalů**

Název anglicky

**Liquid Crystal Displays**

---

### Cíle práce

Na základě studia dostupných materiálů vypracovat přehled různých typů LCD, jejich porovnání a současný stav jejich použití.

### Metodika

1. Na základě studia dostupných materiálů zpracujte přehledovou studii kapalných krystalů (smektické, nematkové, cholesterické uspořádání) a různých typů pasivních STN (Supertwist Nematic) a aktivních TFT (Thin-Film Transistors) LCD displejů.
2. Popište vnitřní strukturu a základní princip reflexivních a transmisivních LC displejů.
3. Popište struktury a fáze kapalných krystalů, jejich fyzikální vlastnosti.
3. Provedte analýzu různých variant aktivních displejů TFT: TN+Film (Twisted nematic), IPS (In-Plane Switching), MVA (Multi-domain Vertical Alignment), PVA (Patterned Vertical Alignment), S-PVA (Super-PVA), S-IPS (Super-IPS)
4. Analyzujte problematiku současného stavu technologií LCD.
5. Popište výhody a nevýhody použití LCD a srovnajte s alternativními technologiemi zobrazování. Zaměřte se na aplikace, ve kterých jsou LCD využity.
6. Citujte veškerou použitou literaturu, včetně webových stránek.

**Doporučený rozsah práce**

30 – 40 stran

**Klíčová slova**

kapalný krystal, LCD, zobrazovací zařízení, monitory, displeje

---

**Doporučené zdroje informací**

<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/523-displej-z-kapalnych-krystalu-lcd>

<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/646-kapalne-krystaly>

<http://www.scienceworld.cz/technologie/jak-pracuji-tekute-krystaly-3737/>

Nečásek S.: Elektronické a elektroakustické součástky. SNTL, 1980, 415 s.

Sodomka, L., Fiala, J.: Fyzika a chemie kondenzovaných látek s aplikacemi: teoretické základy nových technologií 1, Liberec : ADHESIV, 2003, ss. 278-294.

Šavel J.: Elektrotechnologie. Materiály, technologie a výroba v elektronice a elektrotechnice. BEN – technická literatura, 2005, 320 s.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2016/17 LS – TF

**Vedoucí práce**

Volodymyr Ryzhenko, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra elektrotechniky a automatizace

---

Elektronicky schváleno dne 12. 1. 2016

**prof. Ing. Jaromír Volf, DrSc.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2016

**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan

V Praze dne 27. 02. 2018

## Čestné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Displeje z tekutých krystalů“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne 31.3.2018

.....

Radim Suchý

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat za odbornou pomoc a vedení panu V. Ryzhenkovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a jeho čas při psaní bakalářské práce.

**Abstrakt:** Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit literární rešerši týkající se různých druhů LCD displejů a princip jejich fungování z dostupných zdrojů. V úvodní části práce je popsáno uspořádání tekutých krystalů a jejich struktury a fyzikálních vlastností. V následujících kapitolách jsou popsány jednotlivé druhy LCD displejů. Na závěr jsou uvedeny výhody a nevýhody LCD displejů a provedeno jejich srovnání alternativními zobrazovacími technologiemi.

**Klíčová slova:** kapalný krystal, LCD, zobrazovací zařízení, monitory, displeje

### **Liquid Crystal Display**

**Summary:** The aim of this bachelor thesis was to create literary research on various types of LCD displays and the principle of their functioning from available sources. The introductory part of thesis describes the arrangement of liquid crystals and their structure and physical properties. The following chapters describe the different types of LCD displays. The Conclusion part of this thesis compares advantages and disadvantages of lcd displays and next step of the thesis compare lcd displays opposite alternative imaging technologies.

**Key words:** liquid crystal, LCD, imaging devices, monitors, displays

# Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíle práce.....	2
3	Metodika práce.....	3
4	Tekutý krystal.....	4
4.1	Historie tekutého krystalu.....	4
4.2	Typy tekutých krystalů.....	5
4.3	Uspořádání tekutého krystalu.....	5
4.3.1	Smectické kapalné krystaly.....	5
4.3.2	Nematické kapalné krystaly.....	6
4.3.3	Cholesterické kapalné krystaly.....	6
4.4	Fáze termotropních krystalů.....	7
4.5	Fyzikální vlastnosti kapalných krystalů.....	8
4.5.1	Mechanické vlastnosti a flexoelektrický jev.....	9
4.5.2	Elektrické a magnetické vlastnosti.....	9
4.5.3	Optické vlastnosti.....	10
4.6	Aplikace tekutých krystalů.....	10
5	Technologie LCD displejů.....	11
5.1	Parametry LCD displejů.....	11
5.2	Podsvícení LCD displejů.....	12
5.2.1	CCFL (Cold Cathode Fluorescent Lamp).....	12
5.2.2	EEFL (External Electrode Fluorescent Lamp).....	13
5.2.3	HCFL (Hot Cathode Fluorescent Lamp).....	13
5.2.4	FFL (Flat Fluorescent Lamp).....	13
5.2.5	LED.....	13
5.3	Reflexivní LCD displeje.....	15

5.4	Transmisivní LCD displeje .....	16
5.5	STN technologie .....	16
5.6	TFT technologie.....	17
5.6.1	TN+film technologie .....	17
5.6.2	IPS technologie.....	19
5.6.3	MVA a PVA technologie .....	20
5.7	Technologie vylepšení tekutého krystalu.....	22
6	Porovnání LCD displejů s alternativními zobrazovacími technologiemi .....	24
6.1	PDP technologie .....	24
6.2	OLED technologie .....	26
6.3	Elektronický inkoust .....	29
6.4	Výhody LCD displejů .....	30
6.5	Problematika LCD displejů .....	30
6.6	Současné využití LCD displejů.....	31
7	Závěr.....	34
8	Seznam použitých zdrojů .....	36
9	Seznam obrázků .....	39



# 1 Úvod

Displeje z tekutých krystalů umožňují zobrazovat obraz nebo textové informace na displeji. Je to jedna z mnoha variant ze zobrazovacích technologií. Základním stavebním kamenem LCD displejů je tekutý krystal. Výzkum tekutého krystalu probíhá do dnešní doby. S jeho využitím se můžeme setkat v mnoha odvětvích. Největšího využití se dočkal právě v zobrazovacích zařízeních. A to právě díky jeho fyzikálním vlastnostem.

Předpovídalo se, že LCD displeje by mohly nahradit CRT obrazovky. Toho se ujali přední výrobci na trhu se zobrazovacími zařízeními a začal výzkum technologie a jejího vylepšení. LCD displeje je možno rozdělit do několika skupin podle kritérií. Lze je rozdělit na transmisivní a reflexivní. Reflexivní nevyužívají žádný externí zdroj světla, vystačí si s dopadajícím světlem, časté využití u kalkulačků nebo měřících přístrojů. Transmisivní potřebují vlastní zdroj světla. U LCD displejů se využívají dva hlavní zdroje světla: osvětlovací trubice nebo LED diody. Transmisivní displeje lze rozdělit dále na další dvě skupiny: s aktivní maticí nebo pasivní maticí. Principem tohoto rozdělení je, jakým způsobem je rozsvěcován zobrazovací bod neboli pixel. Obě tyto skupiny se dočkaly během své existence několika vylepšení pro lepší zobrazovací vlastnosti.

Bakalářská práce je rozdělena na tři části. V úvodní části této práce je popsán samotný tekutý krystal. Jsou popsána stručně jeho uspořádání, fáze a fyzikální vlastnosti se zaměřením pro zobrazovací technologie. Čtenář se tak seznámí se základními vlastnostmi tekutého krystalu pro snazší pochopení různých technologií LCD displejů. V druhé části práce jsou popsány parametry, podle kterých se kvalita zobrazovacích zařízení porovnává. Poté jsou zmíněny různé technologie LCD displejů a jejich princip fungování doplněné o obrázky pro snazší pochopení. V poslední části práce jsou stručně popsány hlavní alternativní zobrazovací technologie, výhody a nevýhody LCD displejů oproti alternativním zobrazovacím technologiím. Na závěr je popsáno využití LCD displejů.

## 2 Cíle práce

Cílem této bakalářské práce na téma „Displeje z kapalných krystalů“ je shrnutí přehledu o kapalných krystalech, jejich fyzikálních vlastnostech, uspořádání, fází a jejich aplikací pro výrobu LCD displejů.

Dalším cílem práce je popsat porovnávací parametry pro LCD displeje a přehled různých technologií, které se používají pro výrobu displejů a samotné druhy LCD displejů.

V závěrečné části práce jsou porovnány LCD displeje s alternativními zobrazovacími technologiemi a popsány jejich výhody a nevýhody a využití.

### **3 Metodika práce**

Při psaní této bakalářské práce na téma „Displeje z tekutých krystalů“, která je psána stylem literární rešerše, bylo použito české odborné literatury a odborných článků, které jsou dostupné na internetu. Všechny tyto zdroje jsou uvedeny v seznamu literatury.

Z dostupné odborné literatury byly popsány tekuté krystaly, doplněné o informace z odborných článků. Informace v kapitole LCD displeje byly čerpány z odborných článků. Výsledkem této bakalářské práce je porovnání LCD displejů s alternativními zobrazovacími technologiemi a srovnání jejich parametrů.

## 4 Tekutý krystal

Většina látek se vyskytuje ve třech skupenstvích: pevném, kapalném a plynném. Kapalně krystalové je označení pro mezifázi většinou u organických látek s podlouhlými molekulami tyčovitěho tvaru při přechodu z pevného skupenství do kapalného. Kapalně krystalové mají vlastnosti kapalin (tekutost), ale taky pevných látek (anizotropie či optických vlastností). Anizotropie kapalných krystalů znamená, že látky jeví optickou aktivitu a dvojlom. Optická aktivita je možnost látek, pootočit rovinu lineárně polarizovaného světla, která je způsobena rozdílem indexu lomu pro pravotočivě a levotočivě kruhově polarizovaného vlnění. Kapalně krystalové díky svým optickým vlastnostem reagují citlivě na podněty teploty, tlaku, elektrického a magnetického pole, různé druhy záření. Tekutými krystalové se v dnešní době zabývá mnoho oborů, jako je chemie, fyzika, elektroinženýrství a poměrně novým oborem zabývajícím se tímto tématem je i biologie. [2]

### 4.1 Historie tekutého krystalu

Ke konci 19. století botanik Friedrich Reinitzer prováděl experimenty s deriváty cholesterolu. Nejvíce se zajímal o bod tání a změny uspořádání tekutého krystalu. Při svých objevech se setkal s kapalnými krystalové, s tímto označením mu ale pomohl až profesor fyziky Otto Lehman, na kterého se Reinitzer obrátil s prosbou o konzultaci získaných informací, protože profesor Lehman byl uznávaným odborníkem v této problematice. [4]

Mnohem více se ale v souvislosti s tekutými krystalové mluví o trojici chemiků Virchow, Mettenheimer, Valentin a o jejich experimentu ponoření nervového vlákna do vody. Výsledkem jejich pokusu byl podivný roztok, který odhalil svou záhadu až po použití polarizovaného světla. [4]

Až v roce 1922 francouzský krystalograf George Friedel objevil, že se molekuly tekutých krystalů orientují ve směru elektrického pole a zavedl rozdělení do tří skupin: nematické, smectické a cholesterické. [4]

V 60. letech 20. století v laboratořích byly prováděny výzkumy tekutých krystalů, při kterých byly zjištěny vlastnosti, které umožňovaly konstrukci prvních LCD displejů. Richard Williams objevil, jak napětí zapříčiní optický efekt u tekutého krystalu vůči

elektrické a hydrodynamické nestabilitě. Na jeho objevy navázal George H. Heilmeyer, který v 70. letech 20. století vyrobil první displej z tekutých krystalů. [4]

## **4.2 Typy tekutých krystalů**

Typy tekutých krystalů lze rozdělit na dvě základní skupiny: termotropní a lyotropní, podle toho, jakým způsobem dosáhnou kapalně krystalické fáze při přechodu z pevného skupenství do kapaliny. Kapalně krystalická fáze má vlastnosti jako pevná látka. Těmito vlastnostmi se rozumí elektromagnetické a optické vlastnosti. Zároveň se také z kapalného skupenství zachovává vlastnost tekutosti. V tekutých krystalech dochází k zajímavým optickým jevům, jako je změna polarizace světla, které jimi prochází v závislosti na poloze molekul a materiálu. Další zajímavou vlastností je chování v elektrickém poli, které je popsáno v samostatné kapitole.

### **Lyotropní tekuté krystaly**

Kapalně krystalická fáze vzniká rozpuštěním krystalické látky v polárním rozpouštědle. Lyotropní kapalně krystaly obsahují kolem 90% vody a používají se spíše v biologii. [2]

### **Termotropní tekuté krystaly**

Kapalně krystalické fáze dosahujeme ohřevem pevné látky nebo ochlazením izotropní látky. Jak bylo zmíněno, přechody mezi fázemi záleží na změně teplotě. [2]

## **4.3 Uspořádání tekutého krystalu**

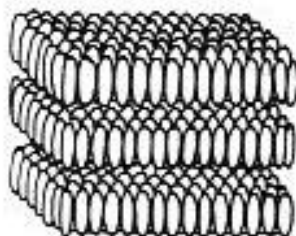
Pomocí mikroskopického pozorování v polarizovaném světle lze rozdělit uspořádání tekutých krystalů do tří skupin. Tyto skupiny nazýváme nematické (nematika), cholesterické (cholesterika) a smektické (smektika). Toto rozdělení a označení kapalných krystalů pochází od G. Friedela. [2]

### **4.3.1 Smektické kapalně krystaly**

Jedná se o molekuly, které připomínají svým tvarem doutník nebo se vyznačují podlouhlým tyčovitým tvarem. Tyto molekuly jsou uspořádány do vrstev tak, že jejich osy

jsou navzájem rovnoběžné. Smectické kapalné krystaly můžeme rozdělit do osmi typů, které se značí písmeny A-H. Tyto jednotlivé typy se od sebe liší pootočením molekul vůči osám nebo tvary molekul. [1; 2]

*Obr. 1 Smectický kapalný krystal*

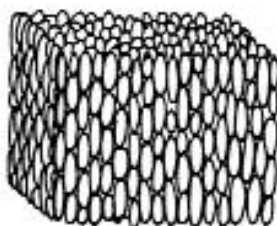


*Zdroj: [1]*

### **4.3.2 Nematické kapalné krystaly**

Struktura nematických kapalných krystalů se liší od smectických krystalů tím, že molekuly nejsou uspořádány ve vrstvách, ale jejich osy jsou navzájem rovnoběžné. Nematická struktura se podobá struktuře krystalu. Dokonalého uspořádání nematických kapalných krystalů dosáhneme, když je umístíme v tenké vrstvě mezi dvěma povrchy rovinných planparalelních skel. Rovinné planparalelní sklo je průhledné a tvořené rovnoběžnými rovinnými plochami. Nejčastěji vybrušované ze skla nebo krystalu. [1; 2]

*Obr. 2 Nematický kapalný krystal*

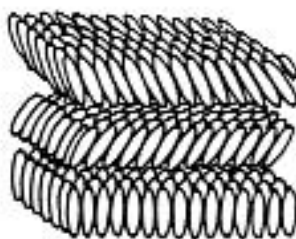


*Zdroj: [1]*

### **4.3.3 Cholesterické kapalné krystaly**

Molekuly cholesterických kapalných krystalů jsou uspořádány ve vrstvách, stejně jako u smectických kapalných krystalů, kde osy molekul jsou navzájem rovnoběžné, ale od smectických kapalných krystalů se liší tím, že v každé vrstvě je směr molekul oproti ostatním vrstvám vždy pootočen. [1]

Obr. 3 Cholesterický kapalný krystal



Zdroj: [1]

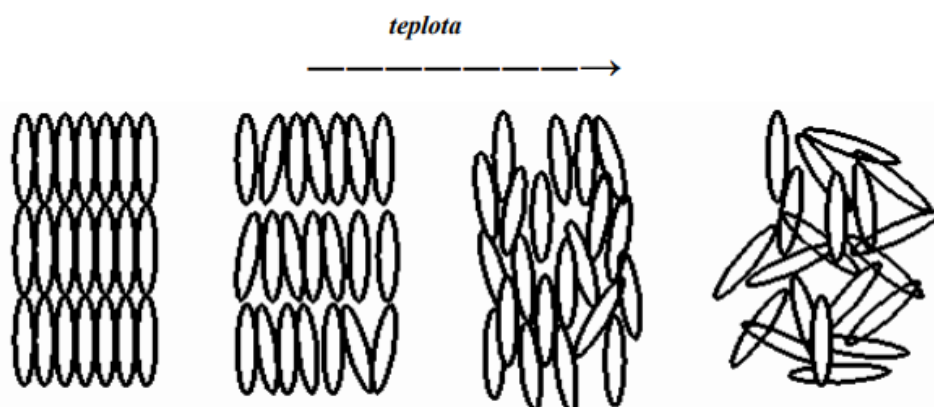
#### 4.4 Fáze termotropních krystalů

Struktura základní fáze u kapalného krystalu v závislosti na rostoucí teplotě dosahuje nejčastěji dvou mezifází a to jsou smektická a nematická fáze. U konkrétní látky se pak mohou vyskytovat obě fáze nebo jen jedna z nich. [3; 5]

Látka, která je zahřívána, mění uspořádání z krystalické fáze, která má molekuly v pevném pozičním i orientačním uspořádání, do smektické fáze. V této fázi je zachováno orientační uspořádání, ale jednotlivé vrstvy již na sobě nejsou závislé a mohou se vůči sobě pohybovat. I poziční uspořádání molekul ve vrstvách není tak dokonalé, jako u krystalu, a molekuly mohou rotovat okolo své delší osy. [3]

Při zvýšení teploty přechází smektická fáze do nematické fáze, kde je zachováno pouze orientační uspořádání molekul a vrstevnatá struktura mizí. Při dalším ohřátí látky se z nematické fáze přechází do fáze kapalné, která je známa svojí izotropií. [3]

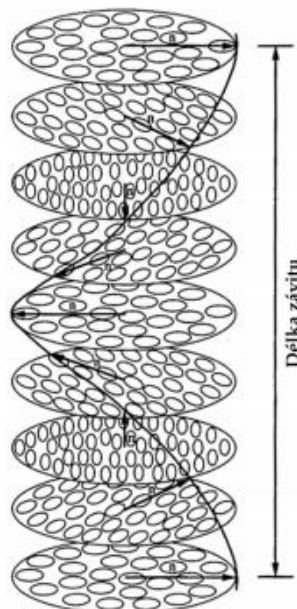
Obr. 4 Krystal, smektická fáze, nematická fáze, kapalina



Zdroj: [3]

Za zmínku ještě stojí molekuly s chirálními vlastnostmi, to má za následek mírné pootáčení vrstev tekutých krystalů do pravotočivých nebo levotočivých spirál. Poté se jedná o chirální nematickou fázi. Délka šroubovice závitů je závislá na teplotě, pokud teplota klesá, délka závitů se zkracuje. Při zvýšení teploty se délka závitů prodlužuje. [6]

Obr. 5 Stočení molekul do šroubovice s rotací 360°



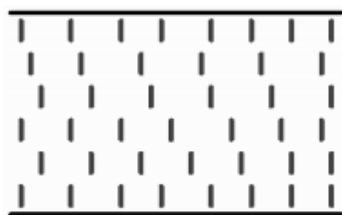
Zdroj: [6]

## 4.5 Fyzikální vlastnosti kapalných krystalů

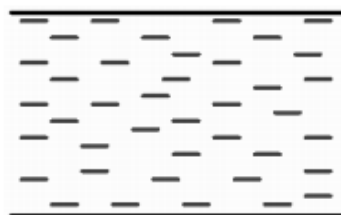
K ovlivnění struktury kapalných krystalů se využívá jejich citlivosti na vnější vlivy elektrického pole nebo vlastností stěn nádob, ve kterých jsou umístěny. Tyto vlastnosti se aplikují pro uspořádání a orientaci vzorků, které se používají pro studium, ale také pro aplikaci v zobrazovacích technologiích. Nádoby jsou většinou vyrobené ze skleněných planárních cel s určitou tloušťkou. Povrchy skel obsahují průhledné elektrody, které slouží k přivedení elektrického pole a jsou uzpůsobeny tak, aby se molekuly uchytily podle definovaného způsobu. Je několik způsobů jak se molekuly mohou uchytit. Jedním z nich je uchycení dlouhou osou rovnoběžnou s určitým směrem na povrch, to je nazýváno jako planární ukotvení. Další možností je uchycení dlouhou osou kolmo na povrch, nazýváno jako homeotropní ukotvení. Poslední možností ukotvení je šikmo k povrchu s definovaným úhlem. Vzájemným působením mezi molekulami se toto uspořádání přenáší od povrchu směrem dovnitř roztoku. Uspořádání molekul uvnitř roztoku lze ovlivnit elektrickým nebo magnetickým polem. [5]



Obr. 6 Homeotropní ukotvení



Obr. 7 Planární ukotvení

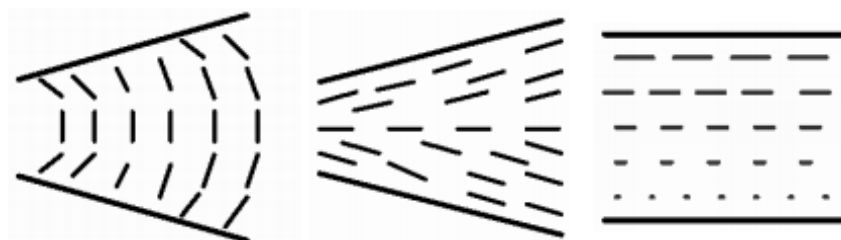


Zdroj: [5]

#### 4.5.1 Mechanické vlastnosti a flexoelektrický jev

V kapalných krystalech, stejně jako v kapalinách, nedochází k prostorové homogenní deformaci. Standartní deformace u tekutých krystalů lze rozdělit do tří skupin: ohyb, rozevření a zkrut. Jedná se o nehomogenní deformace. [5]

Obr. 8 Nehomogenní deformace ohyb, rozevření, zkrut



Zdroj: [5]

Indukce může způsobovat ohybovou deformaci nebo deformaci rozevření. K snazšímu pochopení tohoto jevu, je zapotřebí uvažovat o nesymetrickém tvaru molekul, který má za následek jejich speciální rozložení při deformaci. Tento úkaz se nazývá flexoelektrický jev, který je nehomogenní aplikací piezoelektrického jevu, vyskytující se u pevných látek. [5]

#### 4.5.2 Elektrické a magnetické vlastnosti

Vzájemné působení elektrického a magnetického pole v kapalných krystalech lze popsat pomocí dielektrické a magnetické vodivosti. Struktura kapalných krystalů je anizotropní, to znamená, že mají různou velikost v různých směrech. [5]

Jev, nazvaný dielektrická anizotropie, může být kladný i záporný a v obou dvou variantách dojde ke snížení elektrické energie. Tekuté krystaly se natáčejí do směru

elektrického pole v případě, že dielektrická anizotropie je kladná. V opačném případě směřují tekuté krystaly kolmo na směr elektrického pole. [5]

Magnetická vodivost je u většiny kapalných krystalů záporná, v tomto případě se hovoří o diamagnetické vodivosti. Původ diamagnetické vodivosti je v delokalizaci protonů v benzenových jádrech, která se nachází uvnitř molekul tekutého krystalu. [5]

U tekutých krystalů může docházet k dielektrické anizotropii i magnetickým vlastnostem stejně jako u pevných látek, ale u kapalných krystalů díky své tekutosti, dojde k reorientaci molekul k vnějšímu poli. K uspořádání molekul tekutých krystalů lze využít vnější pole. [5]

Frederiksův přechod je jev, kdy vzorek je pomocí povrchového zakotvení orientován do homeotropního nebo planárního uspořádání a je možné ho díky působení polí převrátit do opačného uspořádání. [5]

### **4.5.3 Optické vlastnosti**

#### **Nematika**

Nematika jsou jednoosé materiály. Ve vzorku zkroucené nematiky dojde ke stočení roviny polarizovaného světla o  $\pi/2$ , díky tomu mezi zkříženými polarizátory propouští světlo. K reorientaci se využije Frederiksův jev a světlo se nepropouští.

## **4.6 Aplikace tekutých krystalů**

Využití kapalných krystalů se používá v displejích, jako jsou hodinky, monitory, přístrojové desky automobilů, kalkulátory nebo mobilní telefony. Při výrobě displejů se využívá optických změn tekutého krystalu vlivem elektrického pole. [5]

Volba tekutého krystalu, jeho vlastností elektrooptického jevu a aplikačního uspořádání se vybírá podle několika následujících kritérií: optický kontrast, rychlost optické odezvy na změnu pole, teplotní obor funkce displeje, zorný úhel, pod kterým kontrast zůstává na dobré úrovni, optická homogenita, chemická a fotochemická stabilita, spotřeba elektrické energie. [5]

Do nematických materiálů lze přidat dichroinická barviva. Jejich přidáním lze docílit dvoubarevných displejů. Nejčastější kombinace jsou žluto-modrý nebo červeno-zelený. [5]

## 5 Technologie LCD displejů

LCD displej, anglicky Liquid Crystal Display, znamená v překladu displej z tekutých krystalů. Tato zobrazovací technologie přinesla tenké a ploché displeje oproti starším CRT monitorům. Během technologického vývoje vzniklo několik možných konstrukčních variant LCD displejů, které přinesly zlepšení parametrů zobrazovacích zařízení.

Jak již bylo zmíněno vývoj technologie LCD displejů přinesl mnoho různých konstrukčních variant, které lze rozdělit do dvou základních skupin podle zdroje světla: reflexivní nebo transmisivní. Reflexivní LCD displeje využívají okolního dopadajícího světla. Transmisivní LCD displeje potřebují podsvícení, které je zajištěno pomocí katody nebo LED diod. Transmisivní LCD displeje lze ještě rozdělit do dvou skupin, podle technologie tzv. na matice pasivní nebo aktivní. Displeje s aktivní maticí jsou nazývané TFT (Thin-Film Transistors), kde každý pixel je ovládán samostatně. Technologie s pasivní maticí se jmenuje STN (SuperTwisted). U této technologie je pixel ovládán pomocí průsečíku dvou os. Jedna hodnota ho rozsvítí – řádek x a druhá hodnota ve sloupci y – mu určí intenzitu světla.

### 5.1 Parametry LCD displejů

K porovnání LCD displejů slouží jejich parametry. Mezi tyto hlavní parametry patří rozlišení, uhlopříčka, poměr stran, jas, kontrast, odezva a pozorovací úhly.

#### Uhlopříčka

Uhlopříčka je vzdálenost dvou protilehlých rohů displeje. Udává se nejčastěji v palcích nebo v centimetrech. [7]

#### Poměr stran

Poměr stran je charakterizován poměrem výšky a šířky. Mezi nejčastější používané poměry stran patří 4:3, 16:9, 16:10, ale lze se setkat i s poměry jako jsou 5:4, 5:3, 3:2 a dalšími. [7]

## **Rozlišení displeje**

Rozlišení se udává v pixelech (obrazových bodech). Pixel je jeden svítící bod na obrazovce, je to bezrozměrná nejmenší jednotka digitální rastrové grafiky. Udává počet pixelů na obrazovce. Nejčastějším zápisem je počet sloupců x počet řádků. [7; 8]

## **Jas**

Jas je určen svítivostí bodů. Uvádí se v kandelách na metr čtvereční [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]. [9]

## **Kontrast**

Kontrast je poměr svítivosti bílé a černé barvy. Čím větší poměr, tím vyšší sytost barev a kvalita obrazu. [10]

## **Pozorovací úhel**

Pozorovací úhel nám udává, pod jak velkým úhlem lze displej sledovat, aby se nezměnily barevné vlastnosti. Pokud pozorovací úhel bude přesáhnout, obraz začne ztrácet kontrast a barvy budou blednout. [11]

## **Odezva**

Odezva je čas, který udává změnu barvy pixelu z černé barvy na bílou a zpět na černou. [12]

## **Barevná hloubka**

Barevná hloubka určuje, kolik barev může displej zobrazit.

## **5.2 Podsvícení LCD displejů**

Jedná se o velmi důležitý faktor, bez kterého by transmisivní LCD displeje nesvítily. Existuje několik typů podsvícení LCD displeje, do jedné skupiny bychom mohli zařadit technologie CCFL, EEFL, HCFL, FFL a do druhé skupiny LED podsvícení.

### **5.2.1 CCFL (Cold Cathode Fluorescent Lamp)**

Tato technologie je nejstarší v oblasti podsvícení displeje. Princip je takový, že se jedná o výbojku nebo osvětlovací trubici, která je uzavřena uvnitř skleněné baňky, kde se na

obou koncích nachází elektroda. Vnitřní stěny baňky pokrývá luminofor, který dokáže přeměnit energii elektrického výboje na světlo. Uvnitř se nachází inertní plyny a malé množství rtuti. Když se na elektrodách objeví napětí uvnitř trubice, začne plyn ionizovat, tím se umožní tok elektrického proudu mezi elektrodami. Ionizovaný plyn začne vyzařovat ultrafialové světlo, které se díky luminoforu přeměňuje na světlo. Barva světla je závislá na složení plynů uvnitř trubice a luminoforu. [19]

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

Tato technologie se od CCFL liší v umístění elektrod. V tomto případě nejsou elektrody uvnitř trubice, ale na její vnější straně. Z tohoto pohledu se jedná o výhodnější typ podsvícení LCD displeje, a to proto, že se jedná o levnější typ výroby. Elektroda neprochází skrze sklo, s tím je spojena lepší těsnost skleněné trubice. Technologie EEFL obsahuje oproti CCFL o trochu méně rtuti. [19]

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

Tato metoda je založena na ohřátí skleněné trubice na určitou teplotu. Postupným zahříváním skleněné baňky dochází k proudění mezi těmito wolframovými elektrodami nebo vlákny, které jsou umístěny uvnitř této skleněné trubice. [19]

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

Technologie FFL využívala tenký obdélníkový zdroj světla, který měl oproti ostatním technologiím dlouhou životnost, až 100 000 hodin. Světlo bylo díky takto uspořádanému zdroji světla rovnoměrně rozváděno po celém displeji. Při konstrukci nebyla použita žádná rtuť. [19]

I přes tyto pozitivní vlastnosti se s touto technologií v dnešní době už takřka nesetkáme. Její vývoj začal kolem roku 2000, ale roku 2007 se přestala tato technologie nadále vyvíjet a postupně tak z trhu vymizela. A to zejména z toho důvodu, že oproti technologii CCFL měla dvojnásobnou spotřebu energie. [19]

### **5.2.5 LED**

Jedná se o alternativní technologii podsvícení výše zmíněných možností. Slovo LED znamená Light Emitting Diode, v českém překladu dioda vyzařující světlo. Je to elektronická polovodičová součástka, která obsahuje P-N přechod. Pokud přes tento přechod prochází

proud, začne LED dioda svítit. Tato technologie má oproti starším technologiím výhody, jako jsou např. nižší energetický provoz, výroba tenších panelů a širší spektrum barev. [21]

LED podsvícení lze rozdělit do dvou základních skupin, jednou je DIRECT LED a druhou skupinou je EDGE LED. [20]

## **DIRECT LED**

Zdroj světla je zajištěn pomocí LED diod, které jsou rozprostřeny po celé ploše displeje. Před LED vrstvou se nachází rozptylovací vrstva, která zajišťuje rovnoměrnou intenzitu podsvícení. Toto uspořádání vrstev displeje vedlo k vylepšení technologií local dimming. Je to lokální stmívání jednotlivých nebo i více skupin LED diod, kde se docílí toho, že černé a šedé barvy jsou tmavší a reálnější. [21]

Lokální stmívání má jednu nevýhodu, které se říká blooming efekt. Při stmívání mohou okolní LED diody, které jsou světlé, prosvítat do okolních stmívaných. [21]

K podsvícení displejů se používá nejčastěji bílá LED dioda, která je složená z RGB modelu (red-červená, green-zelená, blue-modrá), který ve složení těchto tří barev dá bílý odstín. [21]

## **Edge LED**

Edge LED je jednodušší a méně náročnější na výrobu než DIRECT LED technologie. V tomto případě jsou bílé LED diody umístěny po obvodu celého displeje. Světlo z LED diod je směřováno do středu. Toto světlo je odraženo pomocí světlovodivé desky k pozorovateli. Světlovodivá deska je tenká vrstva s výstupky z reflexivního materiálu, který dokáže odrážet světlo. Výstupky se postupně od kraje do středu displeje zvětšují. Výstupky ve středu displeje díky tomu mají silnější schopnost odrazit světlo, kterého sem dopadá méně. [20; 21]

U Edge LED lze využít lokálního stmívání, ale jen pomocí stmívání skupin, nikoliv po jednotlivých diodách. Při zobrazení černé barvy na celém displeji se mohou vyskytnout světlejší kraje displeje kvůli špatnému nerovnoměrnému podsvícení. [21]

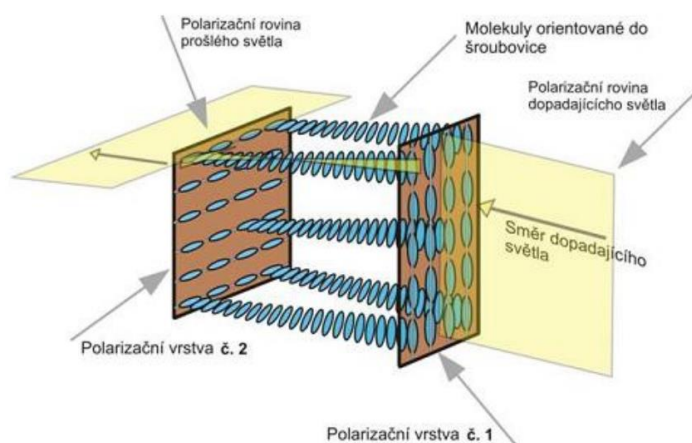
### 5.3 Reflexivní LCD displeje

Reflexivní LCD displej je nebarevný. Nejvyžívanějším typem displeje jsou kalkulátory nebo některé měřicí přístroje. Tento displej nemá žádný svůj zdroj podsvícení. Využívá se dopadajícího světla. [13]

Základní stavební jednotkou je tekutý krystal, který je umístěn mezi dvě skleněné desky. Na vnitřní straně destiček je nanášena velmi tenká vrstva průhledného metalu oxidu, které pak fungují jako elektrody obvodem spojené s jednotlivými tlačítky. Na těchto elektrodách jsou nanášeny další průhledné vrstvy, které mají na sobě mnoho drážek. Tyto drážky jsou vůči sobě pootočené o  $90^\circ$ . [13]

Vnější strany skleněných destiček jsou pokryty polarizačními vrstvami. Světlo dopadne na polarizační vrstvu č. 1, což způsobí polarizaci světla. Pokud by druhá vrstva byla orientovaná stejně jako první vrstva, světlo by prošlo. Díky pootočení o  $90^\circ$  tak světlo neprojde za druhou destičku. Bez tekutých krystalů světlo neprochází. Díky těmto tekutým krystalům, které jsou stočené do šroubovice, způsobí pootočení polarizační roviny světla o úhel  $90^\circ$ , světlo projde, odrazí se od reflexivní vrstvy, která se nachází za druhou polarizační vrstvou a míří stejnou cestou zpět do oka. V praxi to znamená, že při stisku tlačítka na kalkulátoru, dojde ke spojení obvodu, na elektrodu se přivede napětí a pomocí elektrického pole určité molekuly změny orientaci ve šroubovici. Molekuly, kterým byla změněna orientace, nestočí svou polarizační rovinu, a světlo neprojde druhou vrstvou. Na displeji, tam kde molekuly mají změněnou orientaci, se vykreslí černá číslice nebo znak. [13]

Obr. 9 Struktura reflexivního LCD displeje



Zdroj: [13]

## 5.4 Transmisivní LCD displeje

Princip transmisivních LCD displejů se od reflexivních moc neliší. Rozdíl v těchto displejích je ten, že u transmisivních se za druhou polarizační vrstvou nenachází reflexivní vrstva. Světlo se nemá od čeho odrážet. Zdrojem světla není dopadající světlo, ale je nutné dodat zdroj světla – podsvícení za polarizační vrstvou č.2 místo reflexivní vrstvy. Princip procházení světla displejem je stejný jako u reflexivních displejů, využívá se změna orientace molekul ve šroubovici. [14]

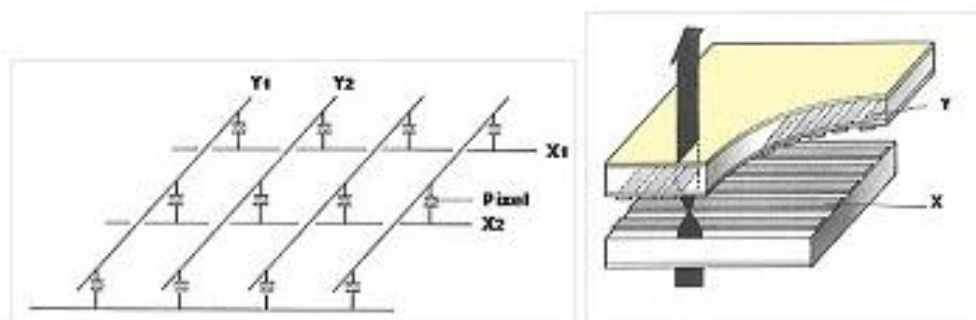
Tato technologie se nejvíce používá u LCD obrazovek. [14]

## 5.5 STN technologie

Jedná se o pasivní technologie a z velké části o nebarevné displeje, tedy displej ze dvou barev. STN znamená Supertwist Nematic a pochází z TN (Twisted Nematic) technologie, založené na principu spirály, která je složená z vrstev tekutých krystalů, kdy jsou vrstvy na sebe mírně pootočený. U TN bylo pootočení tekutých krystalů až o  $90^\circ$ , v případě STN o více jak  $180^\circ$ . Základem této technologie je mřížka vodičů s pixely. Na každém průsečíku se nachází pixel. Tedy každý pixel má svou X(řádky) a Y(sloupe) pozici. Elektrody se nachází na obou dvou sklech, na jednom pro řádky a na druhém pro sloupce. Aby se pixel rozsvítil, musí být pomocí elektrod přivedeno napětí. Řádek rozsvícuje pixel a sloupec určuje intenzitu svítivosti. [28]

Displej se skládá ze dvou rovnoběžných skel, vodivé vrstvy, elektrod, tekutých krystalů a ovladače z integrovaných obvodů na adresování sloupců a řádků. Na vnitřní straně skel na vodivé vrstvě se nachází elektrody. Uprostřed se poté nacházejí tekuté krystaly. [28]

Obr. 10 STN technologie



Zdroj: [27]



Na tomto místě je potřeba zmínit technologie, které vychází z STN výrobního postupu, jedná se zejména o DSTN a CSTN. DSTN celým názvem Double Super Twisted Nematic funguje téměř stejně jako STN, ale jak již v názvu první slovo double napovídá, dá se říct, že jsou to dva STN displeje. První produkuje obraz a druhý opravuje chyby při zobrazení. Tato technologie přinesla lepší kontrast a hloubku barev, ale dlouhý čas odezvy zůstává. CSTN – Colour Super Twisted Nematic – do tohoto displeje byly přidány barevné filtry ve schématu RGB, díky kterým pasivní matice vytvořila barevný displej. [28; 29]

## 5.6 TFT technologie

Technologie TFT se řadí mezi aktivní technologie. V překladu toto slovo znamená Thin Film Transistors. Jak název napovídá, technologie je založena na tranzistorech. Dala by se přirovnat k výrobě procesorů. Počet tranzistorů v LCD displejích je v řádech milionů. Postupem času vzniklo několik technologií založených na TFT technologiích jako TN+Film, IPS, MVA, PVA, které budou popsány v dalších podkapitolách. [15]

LCD displeje se skládají z obrazových bodů (pixelů), každý pixel je ovládán jedním tranzistorem. Aby displej zobrazoval informace, je potřeba dvou složek – světlo a barva. U LCD displejů je světlo zajištěno podsvícujícími katodami nebo LED diodami. Primárně jde o bílé světlo. Barva je tvořena dle technologie LCD displeje. Barvu lze složit pomocí RGB modelu. Tedy pomocí tří barev - červené, zelené a modré. Pro každý pixel existuje tranzistor, který ovládá tekuté krystaly. Respektive každý pixel se skládá ze tří subpixelů, to znamená, že každý subpixel je ovládán jedním tranzistorem a pixel se tedy skládá ze tří tranzistorů. [15; 16]

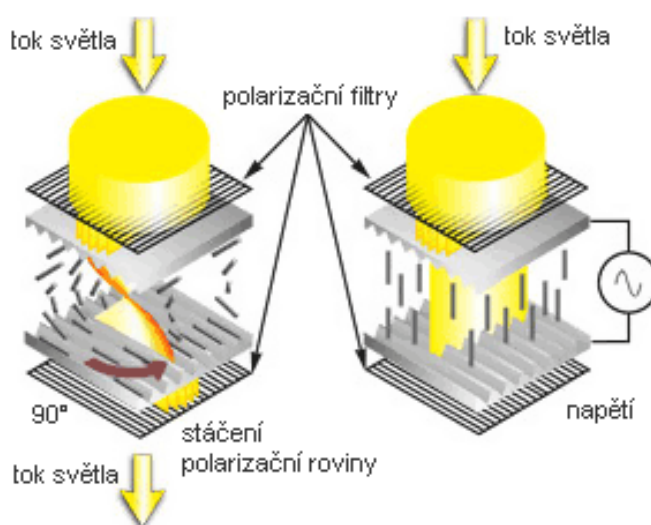
Jak již bylo zmíněno v dřívějších kapitolách, tekutý krystal dokáže vlivem elektrického napětí změnit molekulární strukturu, což umožňuje propustnost světla. Každý pixel je obklopen dvěma polarizačními filtry, barevným filtrem a dvěma vyrovnávajícími vrstvami, to vše je uloženo mezi tenkými skleněnými panely. Tranzistor kontroluje napětí, které prochází vyrovnávajícími vrstvami. Elektrické pole způsobí změnu struktury kapalného krystalu. Takto lze ovlivňovat krystal v desítkách až stovkách možných stavů. [15; 16]

### 5.6.1 TN+film technologie

TN technologie znamená celým názvem Twisted Nematic. Film je zlepšovací metoda u LCD displejů, která bude popsána v samostatné kapitole. Jedná se o nejstarší TFT

technologii. Tato technologie je založena na chirální nematické struktuře kapalného krystalu. Tyto molekuly jsou umístěny mezi polarizačními filtry, které jsou navzájem pootočené o  $90^\circ$ . Vnitřní povrch je upraven přesným drážkováním, aby byly molekuly kapalného krystalu pootočené stejným směrem jako polarizační filtry. Molekuly tekutého krystalu v klidovém stavu jsou navzájem pootočené tak, že světlo jimi prochází. Při přivedení napětí mezi elektrody, které se nachází na obou dvou skleněných deskách, se molekuly srovnají ve směru elektrického pole a světlo neprojde. Vrstva kapalných krystalů se tedy chová jako regulátor propustnosti světla. [17; 18]

Obr. 11 TN+film technologie - vlevo světlo prochází, vpravo světlo neprochází



Zdroj: [17]

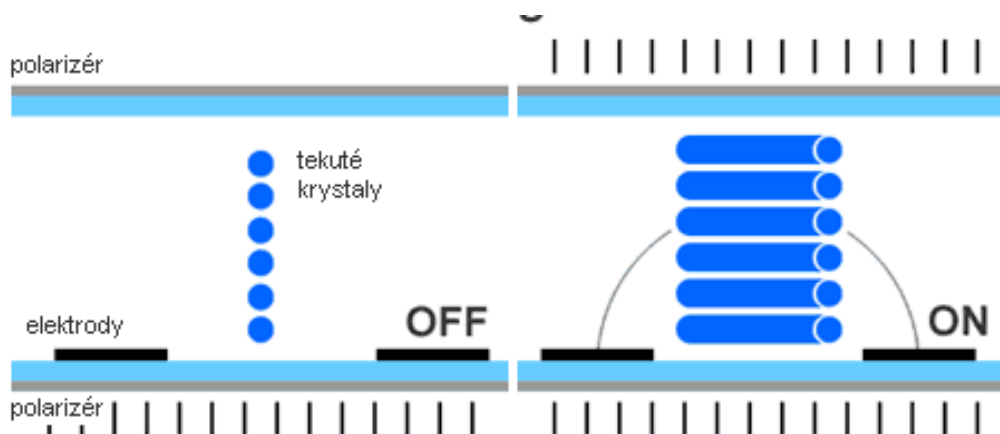
První technologie TN přinesly displeje s odezvou okolo 25-35ms. Byly pomalé a podání barev bylo nedůvěryhodné. Tento typ technologie byl dostačující pro kancelářskou práci. Pro úpravu fotek, videí či hraní her byla tato odezva nedostačující. Až s příchodem dalších generací, kdy se odezva snížila na 16ms a později na 8-12ms, došlo ke zlepšení rychlosti, pozorovacích úhlů a podání barev. Tyto displeje byly velmi využívány, protože patřily mezi levné. [17]

TN technologie má jednu velkou nevýhodu, a tou je vadný pixel. Vadný zobrazovací bod v tomto případě trvale svítí svou primární barvou podle toho, na kterém subpixelu tranzistor přestal fungovat. [17]

## 5.6.2 IPS technologie

Technologie In-Plane Switching byla vyvinuta v roce 1996 firmou Hitachi. IPS technologie měla odstranit dva nedostatky technologie TN+film, kterými byly pozorovací úhel a špatné podání barev. Princip IPS technologie vycházela z TN+film, kdy se zabráňovalo procházení polarizovaného světla tekutými krystaly. IPS má elektrody jen na jedné desce a napětí vzniká právě mezi těmito elektrodami. Tekuté krystaly jsou uspořádány souběžně se základní rovinou, při vypnutém stavu tak světlo nepropouští. Při vzniku napětí mezi elektrodami, se molekuly pootočí a polarizované světlo začne procházet. Molekuly tekutého krystalu se můžou pootočit až o 90°. Jedná se o opačný systém než u TN+film. IPS displeje mají věrné barvy a dobré pozorovací úhly. [17; 22]

Obr. 12 IPS technologie - vlevo světlo neprochází, vpravo světlo prochází



Zdroj: [17]

IPS technologie sice vylepšila podání barev a pozorovacích úhlů, ale přinesla také své nedostatky. Odezva se u prvních IPS displejů pohybovala okolo 50ms. Mohlo dojít ke ztrátě jasu a kontrastu, protože elektrody se nachází na spodní rovině, může dojít ke slabšímu elektrostatickému poli u horní roviny. Zde se nemusí tekuté krystaly pootočit o požadovaný úhel, a proto při pohledu z velkého úhlu černá barva vypadala jako namodralá či zbarvená do fialova. Vadný pixel u této technologie zůstává tmavý. Díky těmto nedostatkům se tato technologie dočkala mnohých vylepšení. [22]

Prvním vylepšením byla technologie nazvaná S-IPS, se kterou přišla firma Hitachi roku 1998. V roce 2001 se této technologii chopila firma LG. S-IPS zlepšilo odezvu, která byla u IPS pomalá. V roce 2002 se objevilo nové vylepšení pod názvem AS-IPS. V této době tato technologie výrazně zlepšila kontrast a tím se vyrovnala konkurenční technologii

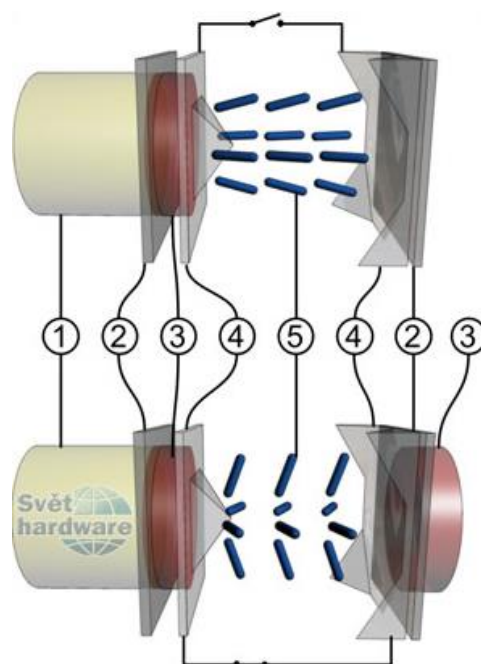
S- PVA v kvalitě obrazu. Od této chvíle se už vývojem technologie podílela firma LG nikoliv Hitachi. V roce 2007 přišla na trh technologie s označením H-IPS (Horizontal In Plane Switching). Princip technologie zůstal stejný, leč slovo horizontal může klamat v tom, že došlo ke změně otáčení pixelů. Došlo ke změně tvaru subpixelů, nemají tvar rohličků, ale jsou více obdélníkového tvaru. Tím se zvýšila propustnost světla. Ve stejné době se objevilo i označení e-IPS, měla to být ekonomická varianta H-IPS panelu. Cena byla nízká a měla nahradit technologii TN v kancelářích. Poté přišla technologie UH-IPS (Ultra horizontal In Plane Switching) a H2-IPS, která byla vylepšením H-IPS. Přinesla lepší kontrast, jas a menší intenzitu podsvícení displeje. Dalším vývojem byla technologie S-IPS-2, která se vrací k rohličkovému tvaru subpixelů a dochází ke zlepšení jasů, kontrastu a snížení energetické náročnosti. Za zmínku dále stojí ještě P-IPS (Performace In Plane Switching), kde tvar subpixelů je obdelníkový jako u H-IPS. Jedná se o panely, které mají 30-bitovou hloubku, tedy 1,07 miliard barev, běžné displeje mají 16-bitovou nebo 24-bitovou hloubku. [23; 24]

S technologií IPS je potřeba zmínit PLS (Plane to Line Switching). Tato technologie je založená na principu IPS. S touto inovací přišla společnost Samsung, ale jednalo se spíše o marketingový tah. Takto společnost Samsung vyplnila díru ve svém portfoliu na trhu s LCD displeji. Označení pro trh tato technologie dostala S-PLS. Přinesla obdobné parametry jako H-IPS a trochu nižší cenu. [23]

### **5.6.3 MVA a PVA technologie**

Technologie Multi-domain Vertical Aligment se poprvé objevila roku 1998, měla konkurovat drahé IPS technologii a nedokonalé TN. V těchto technologiích se nevyužívá tekutých krystalů stočených do šroubovice. U MVA je uspořádání tekutých krystalů do stromečkové struktury. Pokud má světlo procházet, po přivedení napětí na elektrody, které se nacházejí na obou dvou deskách, se tekuté krystaly otevřou a světlo prochází. Subpixel je rozdělen do čtyř částí tzv. domén.

Obr. 13 MVA a PVA technologie



Zdroj: [25]

1 zdroj světla

2 polarizační filtry

3 polarizované světlo

4 elektrody

5 tekuté krystaly

Podobně jako IPS technologie, tak i MVA, byla postupem času vylepšována. Firma Optronics vyvinula P-MVA (Premium Multi-domain Vertical Alignment), u této varianty došlo k rozšíření ze 4 domén subpixelu na 8 domén a A-MVA (Advanced Multi-domain Vertical Alignment). Obě tyto technologie zlepšily kontrast a použily OverDrive, jedná se o technologii zlepšující vlastnosti tekutého krystalu, které budou podrobněji popsány v další kapitole. [23; 25]

Na principu VA (Vertical alignment) se vložili do výroby giganti trhu Samsung a Sony. Svoji technologii pojmenovali PVA (Patent Vertical Alignment). PVA panely se vyznačovaly o maličko lepšími pozorovacími úhly než MVA displeje, lepším kontrastem a lepším zobrazením černé barvy. I PVA se dočkalo vylepšení s označením S-PVA. U této

technologie byl jeden zásadní rozdíl a tím bylo, že subpixel byl rozdělen do dvou zón a skládal se ze čtyř domén a tím lze regulovat jas velmi snadno. Např. pixel má zobrazit 50% šedé barvy, dojde k vypnutí jedné zóny a druhá zóna bude svítit na 100%. [23; 25]

*Obr. 14 Mikroskopický pohled na subpixely S-PVA technologie*



*Zdroj: [23]*

Samsung poté ještě přišel s technologií cPVA. Jednalo se o ekonomickou variantu, která se vrátila k jedné zóně se čtyřmi doménami. Subpixely měly menší rozestupy mezi sebou, tím došlo k lepšímu využití plochy. Lehce se zlepšil kontrast a jas. Většinou mají 6 bitové barvy s FRC. Znovu se jedná o technologii, která zlepšuje vlastnosti tekutého krystalu. Jedná se o panel, který byl přímým konkurentem e-IPS. [23]

## **5.7 Technologie vylepšení tekutého krystalu**

LCD displeje mají své nedostatky, protože technologie tekutých krystalů není dokonalá. Proto se vyvíjely technologie na zlepšení vlastností tekutého krystalu. Mezi hlavní tyto principy patří film, spatial dithering, FRC, OverDrive. [26]

### **Film**

Film technologie byla používána víceméně jen u TN. Jednalo se o vrstvu, která byla nejbližší pozorovateli, co se týče složení displeje a zlepšovala pozorovací úhel displeje. Pracovala na principu lomu světla. Lom světla se volil tak, aby došlo co k nejlepšímu vylepšení. [26]

### **FRC (Frame Rate Control)**

Občas je tato technologie taky označována jako temporal dithering. Tato technologie je založená na rychlosti a nedokonalosti lidského oka. Pokud se na displeji má zobrazit určitá

barva, kterou nedokáže zobrazit, tak na prvním snímku zobrazí světlejší barvu, na druhém tmavší. Díky nedokonalosti oka se tyto dvě barvy spojí ve výslednou barvu.

### **OverDrive**

OverDrive nebo RTC (Response Time Compensation). Tekuté krystaly jsou při malých změnách velmi špatně ovladatelné, nechtějí se pootáčet o malé úhly. Technologie to řeší tak, že se na malou chvíli přivede větší energie, aby se tekutý krystal pootočil o víc, ale v danou dobu elektronika tekutý krystal zastaví. Tak docílí rychlejšího pootočení tekutého krystalu o malý úhel. Tato zlepšovací technologie má i své nedostatky. Zejména se jedná o levné monitory, kde není tak perfektní řídicí elektronika a může docházet k nežádoucím bílým či černým místům na displeji, kdy dojde k pozdnímu zastavení tekutého krystalu.

### **Dynamický kontrast**

V dnešní době většina displejů má podsvícení pomocí LED diod. To u dynamického kontrastu nabízí využití pro to, že mohou být zesvětlovány určité pixely či skupiny pixelů a tím dosáhnout lepšího kontrastu.

U displejů, které mají podsvícení pomocí CCFL nebo podobné technologie, se vstupní signál vyhodnocuje a hledají se tmavé a světlé plochy. Z tohoto důvodu se vyhodnotí, zda je potřeba displej více podsvítit nebo ztlumit.

## 6 Porovnání LCD displejů s alternativními zobrazovacími technologiemi

V současné době existuje několik technologií, pomocí kterých lze zobrazit obraz na displeji. Mezi ně patří LCD technologie, které je věnována tato práce, ale není to jediný možný způsob. Existuje například PDP, která je lidově nazývána jako plazma nebo OLED technologie.

### 6.1 PDP technologie

Celým názvem tato technologie je Plasma Display Panel. Základním stavebním kamenem této technologie je plazma. Plazma se skládá z iontů a elementárních částic, nelze ji zařadit do tří základních skupenství - plynných, kapalných ani pevných látek. Plazmu řadíme mezi čtvrté skupenství. [30]

V displejích technologie PDP se nachází směs vzácných plynů (xeon, argon, neon). Jedná se o elektroneutrální atomy, ze kterých je potřeba vyrobit plazmu. Přivedením elektrického proudu do plynu se docílí objevení mnoho elektronů. Částice plynů a elektrony do sebe naráží a dochází k tomu, že atomy plynů ztratí elektron a stanou se kladně nabitými ionty, výsledkem je plazma. [30]

V elektrickém poli dojde k tomu, že nabitě částice se začnou pohybovat ke svým opačně nabitým pólům. To má za následek velký počet přesunů a částice do sebe narážejí. Plynové ionty se díky tomu dostanou do tzv. excitového stavu, po kterém uvolní foton – světlo. Uvolněná energie z iontu neonu a xenonu je tak velká, že přesahuje vlnovou délku lidského oka, jedná se totiž o ultrafialové světlo. [30]

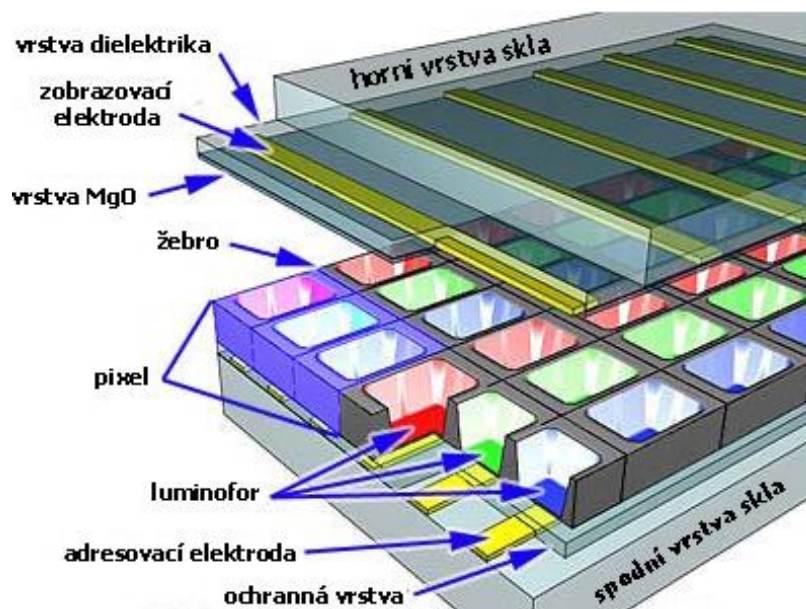
PDP displeje nepotřebují externí zdroj světla, protože sami vyzařují světlo. Aby se objevil obraz na plazma displeji, je potřeba přeměnit ultrafialové světlo, na viditelné světlo lidským okem. Toho se dosáhne pomocí luminoforu, který se nachází v každé buňce. [30]

Plazma displej se skládá z pixelů neboli fluorescentních buněk, ke kterým patří tři elektrody a kondenzátor. Tyto pixely se nacházejí mezi dvěma skleněnými deskami.



Adresovací elektroda je na zadní straně buňky a dvě zobrazovací transparentní elektrody na přední straně, které jsou odizolovány vrstvou dielektriky a za ochrannou vrstvou oxidu hořečnatého (MgO). Každý pixel je tvořen ze tří subpixelů: červeného, zeleného a modrého. [30]

Obr. 15 Struktura plazma displeje



Zdroj: [30]

K ovládání intenzity u plazmových displejů slouží metoda PCM. Pulse Code Modulation převede analogový signál s nekonečným rozsahem na binární slovo s určitou délkou. Intenzita subpixelů je dána počtem a šířkou pulsů napětí. Toto dostává buňka během každého snímku. Každý snímek je rozdělen na tzv. podsnímky. Pixely, které by měly svítit, jsou přednabity na určité napětí, to zajistí zobrazovací elektrody. Při zobrazení obrazu je napětí přivedeno na celý displej pomocí adresovacích elektrod a subpixely, které byly přednabity, se rozsvítí. Intenzitu určuje úroveň nabití. V klasické verzi je 256 možných úrovní nabití pro subpixel. Snímek je rozdělen na osm podsnímků, které jsou ovládány osmi bitovým slovem. Celá tato technologie, která obsahuje PCM, se nazývá Address Display Separated. [31]

Mezi velké výhody plazma displejů od začátku patřily pozorovací úhly. Dosahovaly hodnot okolo 160-170°. Plazma byla vhodná na prezentace. Levnější plazmy se vyznačovaly špatným kontrastem a s tím bylo spojené i špatné zobrazování různých odstínů šedé barvy, zejména tmavé odstíny šedé barvy splynuly v černou barvu. Životnost plazma displejů byla

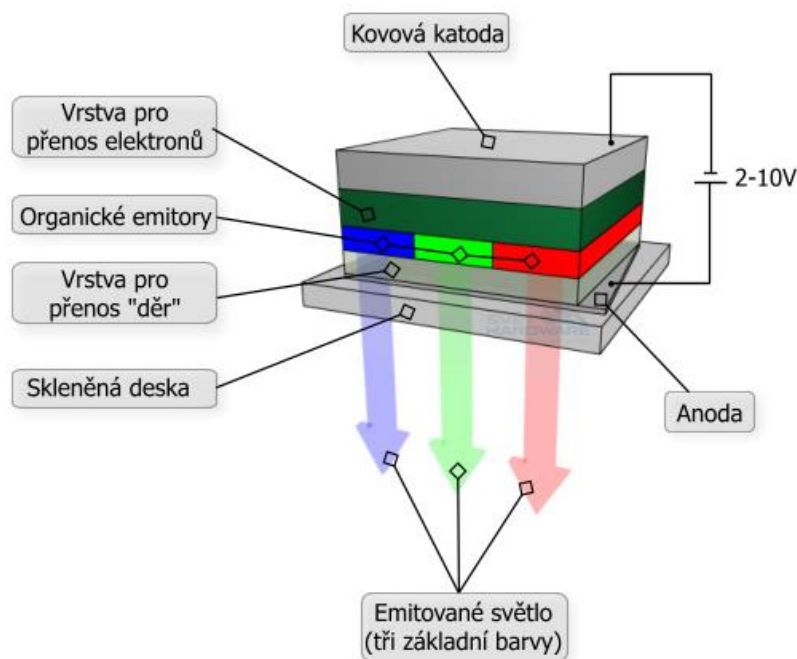
okolo 10 tisíc hodin, to byla zhruba polovina času životnosti LCD displejů. Postupem času se plazmy dočkaly vylepšení, které tyto horší vlastnosti vylepšily. [31]

## 6.2 OLED technologie

Technologie celým svým názvem Organic Light Emitting Diode. Jedná se o diodu vyzařující světlo, která je vyrobená z organického materiálu a v tom spočívá jejich velká výhoda. Diody z organického materiálu lze vyrobit opravdu malé.

Stejně jako u LCD i plazma displejů se pixel skládá ze tří subpixelů, z červeného, zeleného a modrého. Základem displejů OLED je organický materiál, který vyzařuje světlo, když se na něj přivede stejnosměrné napětí 2-10 V. Takto jsou vedle sebe umístěny pixely, které jsou propojeny pasivní nebo aktivní maticí. OLED displej se skládá z kovové katody, vrstvy pro přenos elektronů, organických emitorů, vrstvy pro přenos děr, anody a skleněné desky. Organické emitory jsou napájeny z katody. V anodě se vytvářejí elektronové díry, které jsou přenášeny přes vrstvu děr až do organických emitorů. Z druhé strany, kde se nachází katoda, elektrony také putují do organických emitorů, kde emitují fotony. [32]

Obr. 16 Struktura OLED technologie



Zdroj: [32]

Organické emitory se nejčastěji vyrábí z polyphenylevevinylen (R-PPV) a polyfluoren (PF). Jedná se o ohebný materiál a to i po nanesení. Jejich montáž do displeje

je velmi jednoduchá. Materiály se tisknou na matici, většinou na katodu, poté se překrývají vrstvou pro přenos děr, anodou a na závěr sklem. Výroba je tedy poměrně rychlá a méně náročná oproti LCD displejům. [32]

*Obr. 17 Ohebný displej OLED technologie*



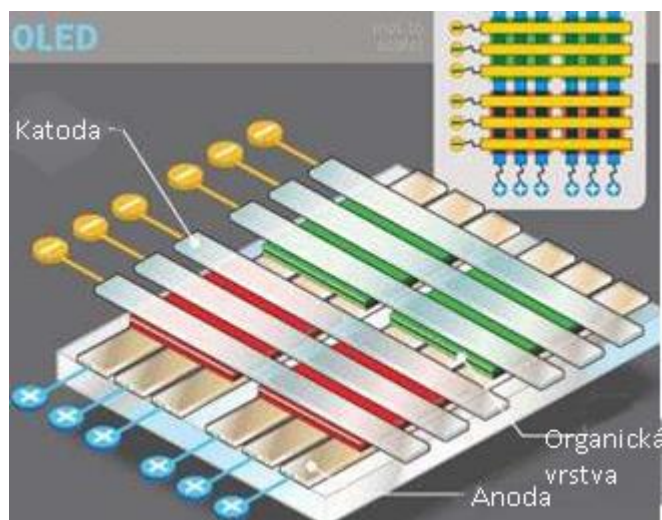
*Zdroj: [32]*

OLED technologie má několik výhod. Lze vyrobit jakýkoliv tvar subpixelu a velikosti. Další výhodou je, že nepotřebují žádný externí zdroj jako LCD displeje v podobě LED nebo katod. Odezva se u technologie dočkala zkrácení o jeden řád. Lidské oko stihne zaregistrovat maximálně ale jen odezvu jedné milisekundy. Barevné podání je perfektní. Díky absolutní černé barvě je kontrast nekonečný. Pozorovací úhly tato technologie takřka nemá a je omezena rámečkem displeje. [33]

I tato technologie má své nevýhody, mezi které patří životnost zejména modrých buněk. Každá barva má jinak dlouhou životnost. Nelze hardwarově měnit jas, pokud by se snížil jas, sníží se i barevná hloubka. [33]

OLED displeje je možné rozdělit podle aktivity matic. S pasivní maticí nazýváme POLED a s aktivní maticí AMOLED. POLED technologie je jednodušší na výrobu a většinou jde o jednobarevné displeje u jednoduchých zařízení, jako jsou čtečky karet, MP3 přehrávače. Základní stavební jednotkou POLED displeje jsou překřížené vodiče, tam kde jsou překříženy, jsou připojeny k elektrodám OLED displeje, pomocí kterých je přivedeno napětí a pomocí kterého organická látka začne vyzařovat světlo. [34]

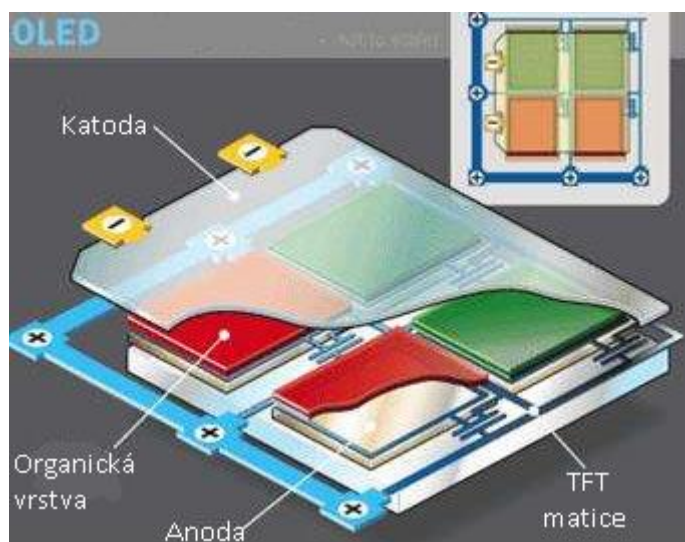
Obr. 18 Struktura POLED technologie



Zdroj: [34]

AMOLED displeje obsahují aktivní matici, na výrobu složitější a dražší, ale přináší rychlejší odezvu a kontrast. Podobně jako u LCD displejů je technologie založena na tranzistorech. U AMOLED jsou dva. Jeden pro nabíjení a vybíjení kondenzátoru a druhý jako napěťový stabilizátor. [34]

Obr. 19 Struktura AMOLED technologie



Zdroj: [34]

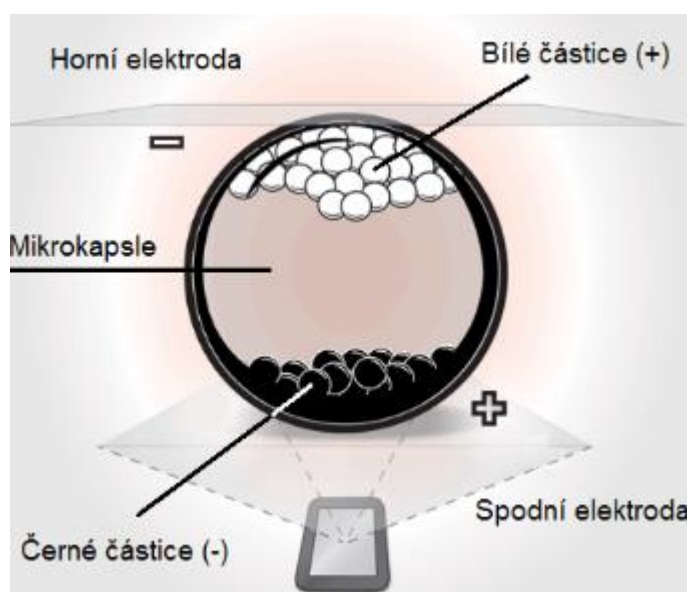
OLED displeje mají jednu velkou nevýhodu. Při statickém obrazu se může tzv. vypálit a poté, když přepneme na jiný obraz, mohou být nějaké části vypálené. Často tímto problémem trpí vystavované mobilní telefony nebo televizory v prodejnách, kde je

většinou statický obraz. Proto se OLED displeje nedoporučují jako zobrazování stálého obrazu, PC monitoru nebo celodenním pozorováním jednoho televizního kanálu s výrazným logem televize v rohu obrazovky.

### 6.3 Elektronický inkoust

Elektronický inkoust je poměrně rozšířená technologie, která se využívá převážně v čtečkách knížek. Nahrazuje obyčejný papír, ale konkurovat typickým displejům zatím neumí. Nemá svůj zdroj světla, ale využívá okolní dopadající světlo. Skládá se z elektronického inkoustu, který je nanesen na řídicí podložku. Elektronický inkoust je malá mikrokapsle, která může dosahovat dvou stavů nábojů - kladný náboj (bílá barva) a záporný náboj (černá barva). Tohoto principu využívá technologie E Ink. Jedinou energii, kterou potřebuje, je při překreslení informací na displeji, jedná se tedy o úsporné zařízení. [38]

Obr. 20 Struktura E Ink technologie



Zdroj: [41]

Druhou odlišnou technologií je SiPix. Základem je řídicí matice vodičů, na které jsou komory. V komorách se nachází tekutina s pěti barevnými částicemi. Na vrchní straně je tenká plastová vrstva. Jedná se tedy o pětibarevný displej, který opět využívá jako zdroj okolní světlo. [38]

Pixel Qi jedná se o hybridní technologii, která dokáže pracovat ve třech režimech napájení, a to transmisivní, transreflektivní a reflektivní. V transmisivním režimu využívá

LED podsvícení a chová se stejně jako LCD displeje, má tedy spotřebu jako obyčejné LCD displeje s LED podsvícením. Transreflektivní režim má zapnuté podsvícení na minimum a zároveň využívá okolní světlo, tím dosáhne snížení energie. V reflektivním režimu využívá jen dopadající světlo obdobně jako E Ink technologie. Dá se říct, že se jedná o dokonalou technologii, ale výroba takového displeje je velmi drahá a nedokáže zobrazit tak velké spektrum barev, jako ostatní barevné displeje. Minimálně tak konkuruje klasickým displejům z elektrického inkoustu. [39]

## 6.4 Výhody LCD displejů

Každá zobrazovací technologie má své pro a proti. LCD displeje, které vytlačily CRT obrazovky, přinesly několik lepších vlastností než zastaralé CRT displeje. Ale ani LCD displeje nejsou dokonalou technologií, a proto byly vyvinuty konkurenční zobrazovací technologie, jako jsou PDP a OLED. Srovnání těchto technologií je velmi obtížné z důvodu, že na trhu existuje několik podtechnologií dané technologie. Srovnání výhod a nevýhod je spíše z teoretického pohledu, nemusí to platit pro každý monitor té dané technologie. Některé parametry se dají porovnat, ale některá srovnání jsou diskutabilní.

**Design** – LCD displeje přinesly tenké a lehké obrazovky oproti velkým a těžkým CRT monitorům a také lepší zapracování designově do prostoru, kam jsou LCD obrazovky umístěny. Postupem času je PDP dohnaly a OLED technologie i předešla.

**Spotřeba** – LCD displeje dokázaly v tomto parametru konkurovat jak CRT monitorům, tak i plazmám. Při použití LED podsvícení místo CCFL dokázaly spotřebu LCD displeje ještě snížit. PDP displeje zatím nedokáží konkurovat takto nízkou spotřebou, ale OLED ano.

**Jas** – Díky podsvícení pomocí trubic nebo LED diod, byly jasnější až 2x více než CRT monitory. V porovnání s plazmou nebo OLED displeji záleží na dané technologii určitého monitoru.

## 6.5 Problematika LCD displejů

Jak již bylo zmíněno, jen v málo porovnáních lze jednoznačně říct, v čem LCD displeje vyčnívají nebo naopak zaostávají. Ve vlastnostech, ve kterých LCD displeje zaostávaly za konkurencí, byly vylepšeny různými technologiemi, aby co nejvíce rozdíl dorovnaly.

**Rychlost odezvy** – LCD displeje měly již od prvního vyrobení problém s rychlostí odezvy. Ze začátku se často nedokázaly vyrovnat ani CRT monitorům. Postupem času, díky vylepšení technologie, tento problém LCD displeje odstranily, ale plazmy i OLED displeje dokážou nabídnout stále rychlejší odezvu.

**Pozorovací úhel** – Tento problém se spíše týkal starších LCD displejů, které měly malé pozorovací úhly. V současné době mají LCD displeje poměrně velký pozorovací úhel, ale je to individuální u každé obrazovky. V porovnání s PDP a OLED technologií LCD displeje zaostávají.

**Kontrast a barvy** – jedná se o individuální posouzení u každého LCD panelu. Levné LCD panely dosahují velmi malé sytosti barev, protože nedosahují zobrazení všech 16,7 miliónu barev. Zde záleží v jaké kategorii se daný LCD displej nachází, pokud se bude jednat o drahý displej, bude dosahovat dobré sytosti barev. O čem není pochyb, že LCD displej má horší zobrazení černé barvy oproti PDP a OLED zobrazovacím technologiím. V obecném porovnání v tomto parametru LCD displeje zaostávají v realistickém zobrazení obrazu a černé barvy.

**Vadný pixel** – Nevýhodou LCD displejů jsou vadné zobrazovací body. U TN technologie vadné pixely stále svítí jednou barvou a poutají pozornost při sledování obrazovky. U ostatních technologií LCD displejů jsou vadné zobrazovací body černé, které nejsou tak rušivým elementem, jako jasně zářící pixel.

## 6.6 Současné využití LCD displejů

V současné době se na trhu nachází mnoho variant různých displejů a to i LCD displejů. V poslední době se lze setkat s označením jako LED TV. Mnoho spotřebitelů si může myslet, že se jedná o novou technologii, ale jedná se o LCD displej. Možná se jedná o záměrný marketingový tah různých firem na trhu. Pokud se člověk setká s označením LED TV, jedná se o LCD displej, ale k podsvícení využívá právě LED diody, nikoliv CCFL či podobné technologie. [35]

S pojmem LED obrazovky je ale reálné se setkat. LED obrazovka se skládá z jednotlivých LED panelů, které se navzájem spojují, výsledkem je velká LED obrazovka různých rozměrů. S tímto typem se lze setkat na koncertech, sportovních událostech a konferencích.

*Obr. 21 LED panel*



*Zdroj: [36]*

Vývoj technologií jde stále dopředu, jak alternativních, tak i LCD technologií. OLED technologie přišla jako první s velmi tenkým a ohýbacím displejem. Na to museli zareagovat přední výrobci na trhu. Firmy jako Samsung a LG v roce 2017 oznámily, že pracují na vývoji nového flexibilního LCD displeje. Jednalo by se o první LCD displej, který nemá skleněný povrch, ale plastový. Do stejného vývoje se pustila i firma Japan Display Inc., která by mohla oba dva giganty s touto technologií předběhnout. Ať tuto technologii uvede jakákoliv firma na trh, znamenalo by to, že LCD panely by dokázaly i v tomto sektoru ohebných displejů konkurovat technologii OLED. [38]

Zobrazovací technologie stále zažívá rozkvět, protože náročnost uživatele je větší a rivalita na trhu mezi výrobci také, proto každý rok probíhá vylepšení jak technologie podsvícení LCD displejů, tak i technologie vylepšující samotný tekutý krystal.

Lze jen předpokládat, jakým směrem se bude vývoj těchto technologií ubírat. Velkým vodítkem je vývoj na trhu s elektronikou, která obsahuje displej. Když byla OLED technologie vynalezena, říkalo se jí, že se jedná o technologii budoucnosti. Už v prvopočátku měla některé vlastnosti lepší než LCD displeje a je velmi pravděpodobné, že LCD displeje nebude možné donekonečna vylepšovat, tak aby neztratily krok s konkurenčními technologiemi jako je OLED.

Využití LCD displejů v dnešní době je velmi rozsáhlé. Nejčastěji se s nimi lze setkat u televizí. Jak bylo zmíněno, označení LED TV je zavádějící a jedná se o LCD displeje. Na trhu s televizemi probíhá velká rivalita především s technologií OLED. S dalším využitím se lze setkat u obrazovek k počítačům nebo v noteboocích. Můžeme se s nimi setkat



i u levnějších výrobků, jako jsou kalkulačky, budíky nebo digitální hodinky. S LCD technologiemi se setkáváme denně v moderních vozech veřejné dopravy, kde LCD displeje písemně informují cestující o trase linky. Dalším, velmi častým využitím LCD displejů je u mobilních zařízení. Dá se říct, že je to třetí nejčastější využití po televizích a monitorech. Poměrně velké využití LCD displejů je u automobilů. První LCD displeje se v automobilech začaly objevovat jako palubní počítače, postupem času u určitých verzí automobilů došlo k úplné digitalizaci palubního počítače pomocí LCD displeje. Dalším využitím LCD displejů v automobilech jsou zabudované GPS navigace s displejem ve středovém panelu.

*Obr. 22 Palubní LCD displej*



*Zdroj: [40]*

## 7 Závěr

Bakalářská práce na téma „Displeje z tekutých krystalů“ je aktuálním tématem, protože s displeji se každý z nás setkává každý den. Výrobci těchto moderních zařízení se neustále snaží zlepšovat dané technologie a nabídnout tak uživateli to nejlepší, co dnešní doba umožňuje. Často tak prezentují technologie pod novými názvy, které ani neexistují a tím dochází ke klamání uživatele. Zpracování této práce přináší orientaci v současném přeplněném trhu s tímto zbožím a čtenář po přečtení práce získá obecný přehled, který mu pomůže zorientovat se v dané problematice a případně poslouží jako pomůcka při výběru těchto displejů u zařízení, jako např. monitoru, televizoru, mobilního telefonu a dalších výrobků.

Na úvod této práce je popsán tekutý krystal, jeho uspořádání, fáze a fyzikální vlastnosti. Na konci této části je popsáno využití tekutého krystalu pro LCD displeje. V další části práce jsou vysvětleny jednotlivé technologie LCD displejů a jejich parametry. Jsou zde uvedeny výhody a nevýhody jednotlivých druhů LCD displejů. V poslední části práce jsou zmíněny alternativní zobrazovací technologie, jako jsou technologie OLED, elektrický inkoust a PDP, kterou známe pod názvem plazma. Následující podkapitoly se zabývají výhodami a problematikou LCD displejů. Na závěr je popsán přehled současného využití LCD displejů, jejichž velká výhoda je využití pro běžně náročného uživatele díky své ceně a dostačujícím technickým parametrům. LCD displeje mají širokou aplikaci v různých sektorech.

Dnes se lze setkat hlavně s LCD displeji s LED podsvícením, jejichž technologie výroby je prezentována výrobcem jako LED technologie. Dle mého názoru LCD displeje zažívají svůj vrchol, protože tekutý krystal má omezené možnosti. Tato technologie se rozvíjí díky vylepšení podsvícení nebo vylepšením vlastností tekutých krystalů, čímž souvisí i nárůst ceny. Na druhou stranu OLED displeje se začínají cenově přibližovat LCD displejům. Zajímavou konkurencí v posledních letech a blízké budoucnosti jsou elektronické čtečky založené na technologii elektrického inkoustu, které začínají být osazovány místo černobílých displejů barevnými. Ovšem jejich barevná hloubka se zatím nedokáže vyrovnat dnešním displejům, protože nejmodernější displeje z elektrického inkoustu dokáží zobrazit 32 000 barev a jejich doba odezvy je pomalá. Tyto displeje by mohly

nahradit LCD technologii v automobilech nebo monitorech pro kancelářskou práci, kde není potřeba tak vysoká obnovovací frekvence, jako při hraní her nebo sledování filmů.

I přes rozsahové omezení, cíle práce byly celkem splněny, protože LCD displeje a tekutý krystal jsou velice rozsáhlá témata. Rozšíření této práce by mohlo být praktické srovnání konkrétních displejů dané technologie a jejich podrobnější popis.

## 8 Seznam použitých zdrojů

- [1]. Kapalné krystaly. Encyklopedie fyziky. [Online] [Citace: 13. 3 2018.] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/646-kapalne-krystaly>.
- [2]. Sodomka L., Fiala J., *Fyzika a chemie kondenzovaných látek s aplikacemi 1*. Liberec : Adhesiv Liberec, 2003. ISBN 80-239-1416-2.
- [3]. Kratochvíl B., Švorcík V., Vojtěch D. *Úvod do studia materiálů*. Praha : Vydavatelství VŠCHT Praha, 2005. ISBN 80-7080-568-4.
- [4]. Kovač, Pavel. Tekuté krystaly - Jak to všechno začalo. *Svět hardware*. [Online] 21. 7 2005. [Citace: 13. 3 2018.] <https://www.svethardware.cz/tekute-krystaly-jak-to-vsechno-zacalo/12311>.
- [5]. Doc. Ing. Josef Šavel, CSc. *Elektrotechnologie Materiály, technologie a výroba v elektronice a elektrotechnice*. Praha : BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-190-X.
- [6]. Kapalné krystaly. *DOCPLAYER*. [Online] [Citace: 14. 3 2018.] <http://docplayer.cz/28538464-5-kapalne-krystaly-jiri-svoboda-a-milada-glogarova-b-praha-6-mail-obsah.html>.
- [7]. Jak vybrat LCD monitor. *Mall*. [Online] [Citace: 14. 3 2018.] <https://www.mall.cz/jak-vybrat-lcd-monitor>.
- [8]. Rozlišení. *Wikipedie*. [Online] 6. 2 2018. [Citace: 14. 3 2018.] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Rozli%C5%A1en%C3%AD>.
- [9]. Jas. *Wikipedie*. [Online] 6. 3 2017. [Citace: 14. 3 2018.] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Jas>.
- [10]. Monitory - který si vybrat. *Servis pc kupka*. [Online] 26. 2 2018. [Citace: 14. 3 2018.] [http://www.servispckupka.cz/monitory\\_ktery\\_si\\_vybrat\\_kontrast.php](http://www.servispckupka.cz/monitory_ktery_si_vybrat_kontrast.php).
- [11]. Monitory - který si vybrat - pozorovací úhly. *Servis pc kupka*. [Online] 26. 2 2018. [Citace: 14. 3 2018.] [http://www.servispckupka.cz/monitory\\_ktery\\_si\\_vybrat\\_pozorovaci\\_uhly.php](http://www.servispckupka.cz/monitory_ktery_si_vybrat_pozorovaci_uhly.php).
- [12]. Vysvětlení základních pojmů LCD monitory. *LCD monitory*. [Online] [Citace: 15. 3 2018.] [http://www.monitory-lcd.cz/doba\\_odezvy\\_lcd.php](http://www.monitory-lcd.cz/doba_odezvy_lcd.php).
- [13]. Kořenek, Jaroslav. Reflexivní LC displeje a jejich princip. *Projekty SIPVZ*. [Online] 27. 11 2005. [Citace: 15. 3 2018.] <http://projektysipvz.gytool.cz/ProjektySIPVZ/Default.aspx?uid=89>.
- [14]. Transmisivní LC displej a jejich princip. *Projekty SIPVZ*. [Online] 27. 11 2005. [Citace: 15. 3 2018.] <http://projektysipvz.gytool.cz/ProjektySIPVZ/Default.aspx?uid=145>

- [15]. Kabát, Zdeněk. Technologie TFT LCD displeje. *Svět Hardware*. [Online] 17. 3 2003. [Citace: 15. 3 2018.] <https://www.svethardware.cz/technologie-tft-lcd-displeje/7555>.
- [16]. LCD - monitory. *Zobrazovací systémy*. [Online] [Citace: 16. 3 2018.] <http://www.dmp.spsei.cz/steblo/lcd.html>.
- [17]. Kwolek, Jiří. Průvodce plochými panely: TN, IPS, MVA. *PC Tuning*. [Online] 16. 5 2005. [Citace: 16. 3 2018.] <https://pctuning.tyden.cz/component/content/4509?task=view>.
- [18]. Konvalina, Jan. LCD a jejich technologie 1 - jak to funguje. *Notebook.cz*. [Online] 17. 4 2013. [Citace: 17. 3 2018.] <https://notebook.cz/clanky/technologie/2013/LCD-1>.
- [19]. Ligmajer, Tomáš. Technologie podsvícení LCD televizorů. *TV FREAK*. [Online] 27. 6 2011. [Citace: 17. 3 2018.] <https://www.tvfreak.cz/technologie-podsviceni-lcd-televizoru/4352>.
- [20]. Typy podsvícení LCD. *Display - LCD*. [Online] [Citace: 18. 3 2018.] <http://www.display-lcd.cz/typy-podsviceni-lcd>.
- [21]. Ligmajer, Tomáš. Technologie podsvícení LCD televizoru. *TV FREAK*. [Online] 27. 6 2011. [Citace: 18. 3 2018.] <https://www.tvfreak.cz/technologie-podsviceni-lcd-televizoru/4352-2>.
- [22]. Jiříček, Radek. Princip vašeho LCD displeje. *Mobile Effect*. [Online] 14. 5 2013. [Citace: 19. 3 2018.] <http://mobile-effect.cz/clanky/princip-vaseho-lcd-displeje-949904>.
- [23]. Kovač, Pavel. Technologie LCD panelů. *Svět hardware*. [Online] 8. 2 2013. [Citace: 19. 3 2018.] <https://www.svethardware.cz/technologie-lcd-panelu/14465-2>.
- [24]. IPS panel. *Wikipedie*. [Online] 8. 11 2017. [Citace: 20. 3 2018.] [https://cs.wikipedia.org/wiki/IPS\\_panel](https://cs.wikipedia.org/wiki/IPS_panel).
- [25]. Plazma vs. LCD souboj technologií. *TV FREAK*. [Online] 27. 11 2008. [Citace: 21. 3 2018.] <https://www.tvfreak.cz/plazma-vs-lcd-souboj-technologie/2768>.
- [26]. Kovač, Pavel. Technologie LCD panelu. *Svět hardware*. [Online] 8. 2 2013. [Citace: 21. 3 2018.] <https://www.svethardware.cz/technologie-lcd-panelu/14465-3>.
- [27]. Snášel, Jaroslav. Displeje mobilů: jak fungují a jak se liší. *Mobil mania*. [Online] 29. 6 2004. [Citace: 22. 3 2018.] <https://www.mobilmania.cz/clanky/displeje-mobilu-jak-funguji-a-cim-se-lisi/sc-3-a-1107606/default.aspx>.
- [28]. Super twisted nematic display. *Wikipedia*. [Online] 26. 2 2017. [Citace: 22. 3 2018.] [https://en.wikipedia.org/wiki/Super-twisted\\_nematic\\_display](https://en.wikipedia.org/wiki/Super-twisted_nematic_display).
- [29]. Kabát, Zdeněk. Technologie: Plazma displeje. *Svět Hardware*. [Online] 19. 11 2003. [Citace: 22. 3 2018.] <https://www.svethardware.cz/technologie-plazma-displeje/8874-2>.
- [30]. Technologie: Plazma displeje - princip zobrazování, výhody a nevýhody. *Svět hardware*. [Online] 19. 11 2003. [Citace: 22. 3 2018.] <https://www.svethardware.cz/technologie-plazma-displeje/8874-3>.

- [31]. Kovač, Pavel. Technologie OLED - tak kde vězí. *Svět hardware*. [Online] 9. 12 2008. [Citace: 23. 3 2018.] <https://www.svethardware.cz/technologie-oled-tak-kde-vezi/15239>.
- [32]. Technologie OLED tak kde vězí - princip fungování. *Svět hardware*. [Online] 9. 12 2008. [Citace: 23. 3 2018.] <https://www.svethardware.cz/technologie-oled-tak-kde-vezi/15239-2>.
- [33]. OLED displeje technologie současnosti i budoucnosti. *AV mania*. [Online] 15. 1 2014. [Citace: 24. 3 2018.] <https://avmania.e15.cz/oled-displeje-technologie-soucasnosti-i-budoucnosti>.
- [34]. Led obrazovky. *Encyklopedie fyziky*. [Online] [Citace: 24. 3 2018.] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1393-led-obrazovky>.
- [35]. LED video wall. *Indiamart*. [Online] [Citace: 24. 3 2018.] <https://www.indiamart.com/proddetail/p-3-9-black-led-video-wall-16886952755.html>.
- [36]. Koutský, Zdeněk. Smartphony. *Samsung magazín*. [Online] 27. 1 2017. [Citace: 25. 3 2018.] <https://samsungmagazine.eu/2017/01/27/jdi-predstavilo-55palcove-ohebne-lcd-displeje-samsung-je-pozadu/>.
- [37]. Lalík, Aleš. Elektronický inkoust. *Notebook.cz*. [Online] 24. 6 2009. [Citace: 25. 3 2018.] <https://notebook.cz/clanky/technologie/2009/elektronicky-inkoust>.
- [38]. Šimek, Martin. Hybridní displej pixel qi to nejlepší z obou světů. *Mobil mania*. [Online] 30. 9 2011. [Citace: 25. 3 2018.] <https://www.mobilmania.cz/clanky/hybridni-displej-pixel-qi-to-nejlepsi-z-obou-svetu/sc-3-a-1317287/default.aspx>.
- [39]. Display. *Volkswagen*. [Online] [Citace: 26. 3 2018.] <https://www.volkswagen.cz/golf/golf-gti/active-info-display>.
- [40]. E-Ink. *Okay*. [Online] [Citace: 26. 3 2018.] <https://www.okay.cz/slovník-pojmu/e-ink/>.

## 9 Seznam obrázků

Obr. 1 Smektický kapalný krystal .....	6
Obr. 2 Nematický kapalný krystal.....	6
Obr. 3 Cholesterický kapalný krystal .....	7
Obr. 4 Krystal, smektická fáze, nematická fáze, kapalina .....	7
Obr. 5 Stočení molekul do šroubovice s rotací 360° .....	8
Obr. 6 Homeotropní ukotvení.....	9
Obr. 7 Planární ukotvení .....	9
Obr. 8 Nehomogenní deformace ohyb, rozevření, zkrut.....	9
Obr. 9 Struktura reflexivního LCD displeje.....	15
Obr. 10 STN technologie .....	16
Obr. 11 TN+film technologie - vlevo světlo prochází, vpravo světlo neprochází ...	18
Obr. 12 IPS technologie - vlevo světlo neprochází, vpravo světlo prochází .....	19
Obr. 13 MVA a PVA technologie .....	21
Obr. 14 Mikroskopický pohled na subpixely S-PVA technologie.....	22
Obr. 15 Struktura plazma displeje.....	25
Obr. 16 Struktura OLED technologie .....	26
Obr. 17 Ohebný displej OLED technologie .....	27
Obr. 18 Struktura POLED technologie .....	28
Obr. 19 Struktura AMOLED technologie .....	28
Obr. 20 Struktura E Ink technologie .....	29
Obr. 21 LED panel .....	32
Obr. 22 Palubní LCD displej.....	33