

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Provozně ekonomická fakulta**

**Katedra informačních technologií**



**Bakalářská práce**

**Formát High-Definition v multimédiích a zobrazovacích  
prvcích**

**Zdeněk Srb**

© 2013 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra informačních technologií

Provozně ekonomická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Srb Zdeněk

Informatika

Název práce

**Format High-Definition v multimédiích a zobrazovacích prvcích**

Anglický název

**Format High-Definition in multimedia and imaging elements**

### Cíle práce

Hlavním cílem bakalářské práce je charakterizovat formát High-Definition v zobrazovacích prvcích a multimediálních formátech. Práce nejprve uvede situaci před příchodem tohoto formátu. Hlavní část práce se bude věnovat charakteristice a vývoji formátu High-Definition, vývoji zobrazovacích prvků, které vznikly pro plnohodnotnou interpretaci multimédií v tomto formátu. Na závěr bude nastíněn budoucí vývoj multimédií a zobrazovacích prvků a pokus o zhodnocení vývoje trhu s televizemi za poslední dva roky. Mezi dílčí cíle práce bude patřit: vznik video nahrávky ve formátu HD a srovnání různých zobrazovacích prvků.

### Metodika

Nejdříve bude třeba vysvětlit základní pojmy a termíny, které se v tomto oboru používají. Tento základní výklad bude spojen s přiblížením situace před příchodem formátu HD na pole multimédií a zobrazovacích prvků, následující kapitoly budou již pojednávat o HD formátu a tím dojde k jasnému porovnání, co tento formát změnil a co přinesl nového. Závěrečná prognóza ukáže možnosti, kam se do budoucna dané technologie mohou vyvíjet. Vývoj trhu proběhne pomocí porovnání předvánočních prodejů dvou po sobě jdoucích roků. Za pomoci grafického znázornění budou rozdíly dostatečně čitelné.

### Harmonogram zpracování

1. Studium informačních zdrojů 06/2012
2. Zpracování teoretických východisek práce 07-08/2012
3. Vypracování práce 09/2012-02/2013
4. Tvorba finálního dokumentu 02-03/2013
5. Odevzdání práce 03/2013

### **Rozsah textové části**

30 - 40 stran

### **Klíčová slova**

formát High-Definition, rozlišení obrazu, komprese obrazu, HDMI rozhraní, Blue-ray disk, MPEG kompresní formát, H.264 kompresní formát, LCD displej, plazmový displej, 3D zobrazení

---

### **Doporučené zdroje informací**

HARTWING L. Robert. Basic TV Technology: Digital and Analog. 3rd Edition. Focal Press, 2005, ISBN-10: 0240804171, ISBN-13: 978-0240804170

WATKINSON John. Convergence in Broadcast and Communications Media. Focal Press, 2001, ISBN-10: 0240515099, ISBN-13: 978-0240515090

BENOIT Herve. Digital Television: Satellite, Cable, Terrestrial, IPTV, Mobile TV in the DVB Framework. 3rd Edition. Focal Press, 2008, ISBN-10: 0240520815, ISBN-13: 978-0240520810

RICHARDSON Iain. H.264 and MPEG-4 Video Compression: Video Coding for Next Generation Multimedia. 1 edition. Wiley, 2003, ISBN-10: 0470848375, ISBN-13: 978-0470848371

TAYLOR Jim, ZINK Michael, CRAWFORD Charles, ARMBRUST Christen. Blu-ray Disc Demystified. McGraw-Hill Professional, 2008, ISBN-10/ASIN: 0071590927, ISBN-13/EAN: 9780071590921

---

### **Vedoucí práce**

Vaněk Jiří, Ing., Ph.D.

### **Termín odevzdání**

březen 2013



**doc. Ing. Zdeněk Havlíček, CSc.**

Vedoucí katedry



**prof. Ing. Jan Hron, DrSc., dr.h.c.**

Děkan fakulty

V Praze dne 15.1.2013

### Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Formát High-Definition v multimédiích a zobrazovacích prvcích" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14.3.2012

---

## Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Jiřímu Vaňkovi, Ph.D. za cenné připomínky a odborné rady, kterými přispěl k vypracování této bakalářské práce. Dále děkuji společnosti Mall.cz za poskytnuté informace a konzultace.

# Formát High-Definition v multimédiích a zobrazovacích prvcích

---

## Format High-Definition in multimedia and imaging elements

### Souhrn

Tato práce charakterizuje formát High Definition a většinu technologií, které se k tomuto formátu vážou. Pro pochopení základních problematik je nejprve vysvětlen vývoj televizního signálu a prvních typů zobrazovacích zařízení. Zmíněny jsou i principy technologií, které vznikly s formátem vysokého rozlišení, nebo se začaly více používat díky rozšíření tohoto formátu. Na závěr je nastíněn možný vývoj zkoumaných technologií a jsou zmíněny výhody, které by tím vznikly. Analýza prodejů televizí za poslední tři roky v předvánočním čase pak ukazuje některé zajímavé aspekty technologií, které jsou popsány uvnitř práce.

### Summary

This work describes the format of the High Definition and most technologies which bind to this format. To understand the basic issues is first explained the development of television signal and the first types of imaging devices. Mentioned are also the principles of technology that originated with the format of high resolution, or began to be used more by expanding this format. Finally, it outlines the possible development of technologies studied and are mentioned advantages would arise. Analysis of TV sales for the last three years at Christmas time then shows some interesting aspects of the technologies that are described within the work.

**Klíčová slova:** formát High-Definition, rozlišení obrazu, komprese obrazu, HDMI rozhraní, Blu-ray disk, MPEG kompresní formát, H.264 kompresní formát, LCD displej, plazmový displej, 3D zobrazení

**Keywords:** High-Definition format, image resolution, image compression, HDMI interface, Blu-ray disc, MPEG compression format, H.264 compression format, LCD, plasma display, 3D display

## Obsah

1. Úvod .....	9
2. Cíl práce a metodika.....	11
3. Teoretická východiska .....	12
3.1 Historie televizního vysílání .....	12
3.2 Černobílé televizní vysílání.....	14
3.3 Barevné televizní vysílání .....	18
3.3.1 NTSC .....	20
3.3.2 SECAM.....	20
3.3.3 PAL.....	21
3.3.4 Typ obrazovky delta .....	22
3.3.5 Typ obrazovky in line.....	24
3.3.6 Typ obrazovky Trinitron .....	25
3.4 Digitalizace video a televizního signálu.....	27
3.5 Kompresce digitálního záznamu .....	32
3.5.1 Kódování s proměnnou délkou .....	33
3.5.2 Diskrétní kosinová transformace .....	35
4. Analytická část.....	43
4.1 High Definition Television .....	43
4.2 Zobrazovací prvky pro formát HD .....	45
4.2.1 Plazmová obrazovka.....	45
4.2.2 LCD obrazovka.....	46
4.2.3 Porovnání LCD a PDP obrazovek .....	50
4.3 H.264 - Advance Video Coding.....	50
4.3.1 Kontejner pro HD video.....	52
4.4 Konektory DVI a HDMI pro propojení audiovizuálního vybavení .....	53
4.4.1 DVI rozhraní.....	53
4.4.2 HDMI rozhraní .....	55
4.5 Blu-ray disk .....	61
5. Výsledky a diskuze.....	63
5.1 Možný budoucí vývoj .....	63
5.2 Analýza předvánočního trhu s televizemi .....	65
6. Závěr.....	69

7. Seznam použitých zdrojů: .....	71
8. Seznam obrázků: .....	74
9. Seznam tabulek: .....	74
10. Seznam grafů:.....	74
11. Přílohy: .....	74



## 1. Úvod

Technický vývoj dramaticky ovlivňuje naše životy a odvětví zobrazovacích prvků. Dnešní generace video zařízení založených na výpočetní technologii se zdají velice působivá v porovnání s výrobky jen pár let zpátky, ale to vše je jen začátek. Nové technologie přislíbují radikální změnu ve vzájemné komunikaci. Způsoby zachytávání a zpětné projekce videa jsou klíčovými elementy v této evoluci. Průmysl zabývající se výrobou video příslušenství je hnán kupředu zvyšujícími se požadavky uživatelů. Formát vysokého rozlišení High-Definition (dále jen HD) získal hlavní uplatnění ve dvou hlavních kategoriích, které jsou spolu velice úzce spojené.

- Vysílání televizního signálu (High-definition television dále jen HDTV) s výrazně vyšším rozlišením, než jaké umožňují tradiční formáty (PAL, SECAM, NTSC), které se vyvinuly v počátcích vysílání a byly využívány skoro půl století. HDTV se vysílá digitálně, a může tak být použita jako jeden z formátů digitální televize DVB.
- Počítačová grafika ve vysokém rozlišení, změnila video i audio multimédia, podpořila vývoj nových rozhraní a přenosových médií.

Spotřebitelé po celém světě uplatňují nekončící poptávku po nových elektronických spotřebičích. Moderní osobní počítače vybavené displeji s HD rozlišením mění prostředí kanceláří a televize s HD rozlišením s HDTV přijmem nebo Blu-ray přehrávačem mění domácí zábavu. Enormní změny nastaly v zachytávání, uchovávání a systému zobrazení videa. Velkým pokrokem se stala komprese video signálu, kterou hlavně umožnil přechod na plně digitální zpracování. Technické novinky jsou absorbovány trhem okamžitě, jakmile opustí výrobní linky továren. Toto zvyšující se tempo vývoje je velkou výzvou pro organizace zabývající se globální standardizací. Každý prvek elektronického průmyslu je standardizován a nová technologie, která bude uvedena na trh před potřebnými standardizacemi, bude vy výsledku cenově nedostupná pro koncového uživatele a její implementace bude velice pomalá. Nikdo si nepořídí výrobek, který nemá budoucí podporu výrobce. Toto dilema se stává stále větším problémem při zvyšujícím se technickém pokroku. Přehrávání videa se stalo nedílnou součástí života v moderní společnosti. Osobní počítače, smartphony, informační displeje, velké televize, letecké simulátory, grafické

pracovní stanice a nespočet ostatních aplikací závisí na video technologiích. Tato práce mapuje část tohoto velice rychlého vývoje a popisuje základní prvky, které vedly k vývoji formátu HD, jsou nezbytné pro využívání tohoto formátu a umožňují, nebo naznačují nám další budoucí vývoj.

## 2. Cíl práce a metodika

Hlavním cílem bakalářské práce charakterizovat formát High-Definition v zobrazovacích prvcích a multimediálních formátech. Práce nejprve nastíní situaci před příchodem tohoto formátu. Hlavní část práce se bude věnovat charakteristice a vývoji formátu High-Definition, vývoji zobrazovacích prvků, které vznikly pro plnohodnotnou interpretaci multimédií ve formátu High-Definition.

Díličními cíli jsou:

- Vysvětlit základní principy zobrazovacích prvků a televizních technologií.
- Přechod z analogového signálu na digitální.
- Srovnání různých zobrazovacích prvků.
- Vysvětlení přenosových médií, rozhraní a kompresních standardů.
- Budoucí vývoj multimédií a zobrazovacích prvků.
- Zhodnocení a diskuze vývoje trhu s televizemi za poslední tři roky.

Hlavního cíle práce bude dosaženo charakteristikou a definicí technologií, multimédií a zobrazovacích prvků. Nejdříve bude třeba vysvětlit základní pojmy a termíny, které se v tomto oboru používají. Tento základní výklad bude spojen s přiblížením situace před příchodem formátu HD na pole multimédií a zobrazovacích prvků, následující kapitoly budou již pojednávat o HD formátu a tím dojde k jasnému porovnání, co tento formát změnil a co přinesl nového. Závěrečná prognóza ukáže možnosti, kam se do budoucna dané technologie mohou vyvíjet a mapuje jich možné využití. Vývoj trhu proběhne pomocí porovnání předvánočních prodejů dvou po sobě jdoucích roků. Za pomoci grafického znázornění budou rozdíly dostatečně čitelné.

### 3. Teoretická východiska

Tato kapitola se zabývá vývojem televizního vysílání a multimediálních formátů před příchodem formátu HD. Je rozdělena do menších podkapitol, každá se věnuje různému stupni vývoje hlavně televizního signálu. V první části bude nastíněna historie televizního vysílání a vývoj hlavních norem. Začátek se bude věnovat vysílání v analogové formě (spojitý signál) a postupně se bude ubírat k digitální formě (diskrétní signál). Druhá část bude věnována zpracování videa a video kodekům.

#### 3.1 Historie televizního vysílání

Televizní vysílání lze definovat jako soustavu telekomunikačních zařízení pro vysílání a přijímání rychlého sledu obrázků a zvuku na dálku. Se základními principy přišel roku 1843 skotský hodinář Alexandr Bain.

- Rozklad obrazu na řádky a body.
- Světelné body je potřeba převést na elektrické impulsy a naopak.
- Rozklad i skládání musí probíhat synchronizovaně.

Tyto tři principy se staly nadčasové a využívají se dodnes. První pokusy o přenos pohyblivého obrazu se objevily nedlouho po začátku rozhlasového vysílání na počátku dvacátých let. Jedním z průkopníků byl britský vědec zabývající se vysokofrekvenční technikou John Logie Baird. Narodil se 13. 8. 1888 v městečku Helensburgh (Skotsko). Byl vynikajícím studentem na akademii v Larchfieldu, později na Královské technické škole a na univerzitě v Glasgow. Od roku 1922 se zabýval intenzivně televizní technikou na principu rozkladu obrazu, který byl patentován již v roce 1884 Paulem Nipkowem. Paul Nipkow v roce 1883 vynalezl elektrický teleskop, pomocí kterého byl schopen mechanicky rozložit obraz na světelné body. John Logie Baird v lednu 1926 předvedl londýnské královské společnosti svůj systém nazvaný „televisor“. Obraz byl snímán fotobuňkou a elektromechanicky rozkládán pomocí části Nipkowova elektrického teleskopu – kotouče, který je vybaven spirálovitě uspořádanými otvory. Přenos obrazů tímto systémem mu tehdy přinesl velké uznání a popularitu. Později se mu podařil pokus, při kterém na veřejnosti předvedl bezdrátový přenos obrazu. Tímto úspěchem získal zájem britské rozhlasové společnosti BBC (British Broadcasting Corporation). BBC mu umožnila experimentovat se svojí technikou. Díky tomu se 4. 5. 1927 podařilo přenést poprvé třicetirádkový televizní obraz po telefonních linkách z Londýna do Glasgowu. Od roku

1928 prováděl Baird pokusy s přenosem jednoduchých barevných obrazů a stereoskopických (prostorových) snímků.

Vývoj ale probíhal i mimo Velkou Británii. Ve Spojených státech amerických v roce 1929 pomocí televize na elektromechanickém principu bylo dosaženo prvního přenosu barevných obrazů. Philo Taylor Fransworth vyvinul snímací elektronku „dissektor“, která umožňovala plošný obraz elektronicky rozčlenit na jednotlivé body. Tato elektronka se stala základním kamenem kamery. Tento nadaný vědec založil v roce 1932 společnost Philo Corporation zabývající se výrobou prvních televizních kamer. Kamery této společnosti umožnily v roce 1936 přenos Olympijských her v Berlíně.

Další krok kupředu v tomto oboru učinil Rus žijící v Americe Wladimir Kosma Zworykin. Ve své kameře na plně elektronickém principu použil jako snímací elektronku ikonoskop. Ta znatelně zlepšila kvalitu získávaného obrazu. Ikonoskop byla elektronka, v níž byla pro snímání použita metoda snímání jednotlivých bodů obrazu elektronovým paprskem, který byl vychylován vychylovacími cívkami. Paprsek snímal body obrazu jako náboje ze slídové destičky pokryté rozptýlenými navzájem nespojenými částicemi mozaiky. Destička byla umístěna uvnitř trubice a optikou se na ni zobrazovala snímaná scéna.

Zworykin pracoval pro RCA, což byla pro Fransworthovu společnost silná konkurence. Proto Fransworth nakonec vytvořil v roce 1949 spolu s dalšími společnostmi jeden z největších koncernů, International Telephone and Telegraph Company – ITT.

Počátky vysílání v Československu se datují do roku 1935, kdy byla doc. Šafránkem představena přijímací televizní aparatura na principu mechanického rozkladu obrazu. Významný posun nastal po skončení Druhé světové války, když bylo v Dolní Smržovce u Tanvaldu objeveno nacistické výzkumné a vývojové středisko „Televid“ pro rozvoj televize. Po osvobození zůstalo nepoškozené s veškerým laboratorním vybavením. V říjnu 1945 se zde setkali naši odborníci s odborníky tehdejšího Sovětského svazu a se zbylými německými odborníky, kteří na konci války ze střediska neodešli. Díky tomuto zařízení bylo možné pokračovat ve vývoji. 23. března 1948 byla svolána konference pro novináře do tohoto střediska. Úvodní projev byl snímán kamerou a následně přenášen na televizní přijímač v přednáškovém sále. Novináři pak byli seznámeni s principy televizního přenosu a v laboratořích byly předvedeny jednotlivé části televizního zařízení: kamera, studiové zařízení, synchronizační zařízení, pokusný vysílač a prototyp televizního

přijímače. Po této události následoval první televizní přenos pro veřejnost. Ten se uskutečnil v červenci 1948 a byl pořízen na XI. Všesokolském sletu. 1. května 1953 bylo zahájeno zkušební vysílání z televizního studia ve Vladislavově ulici v Praze. Vysílač na Petříně zkonstruovaný v Tesle Strašnice měl výkon 5 kW a pokryl svým signálem Prahu a její okolí. Československá televize začala pak pravidelně vysílat od 25. 2. 1954. Televize nejdříve vysílala 3 dny v týdnu, ale od roku 1958 již pokrývala celých 7 dní.

9. května 1973 je dnem prvního pravidelného barevného vysílání druhého programu. První program tak začal vysílat barevně v roce 1975.

### 3.2 Černobílé televizní vysílání

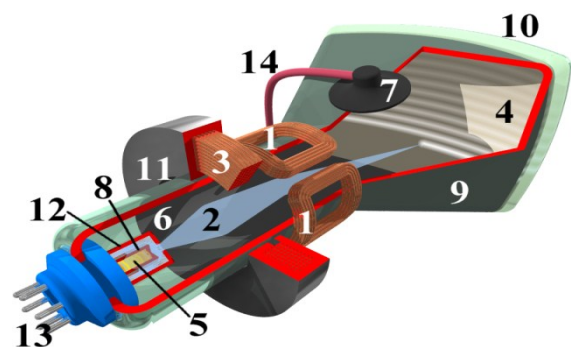
Většina televizních standardů, z nichž některé se využívají dodnes, získala své základy právě v době černobílého vysílání v letech 1940 – 1950. První pokusy s elektromechanickým modelem televize začali v roce 1920 a využívali děrovaný disk, jehož tvůrcem byl Paul Nipkow. Disk byl používán pro rozbor a následnou reprodukci scény. Obraz, který byl výsledkem reprodukce, měl 30 řádků a byl vykreslován rychlostí 12,5 obrázku za vteřinu. Tyto parametry umožňovali využít šířku pásma menší než 10 kHz pro svůj přenos, díky tomu se mohli vysílat pomocí amplitudové modulace (AM) na středních a dlouhých vlnách (300–3000 kHz, 30–300 kHz). Rozlišení se zvyšovalo na 60, 90 a 120 řádků. Kolem roku 1935 se stabilizovalo na 180 řádcích v Německu a Francii a na 240 řádků v Anglii a Spojených státech.

Pozemní televizní vysílání určilo základy pro pozdější zobrazovací systémy. Byl to první elektronický systém na přeměnu obrazu do elektrického signálu, který bylo možné kódovat do vysílání a reprezentaci originálního obrazu zobrazit na vzdáleném místě. Technologie televize je založena na konverzi světelných paprsků ze statické či pohyblivé scény. Následné obrázky přeměnit na elektrický signál určený pro přenos nebo ukládání a následné rekonverze do vizuálních obrazů na obrazovce. Obdobnou funkci zastává i film. Nicméně film zaznamenává změny jasu kompletní scény na jeden rám v krátké expozici, ne delší než zlomek vteřiny. Televizní obraz musí být skenován postupně bod po bodu. V televizním systému, je scéna rozčleněna do obrazu skládajícího se z mozaiky obrazových prvků (pixelů). Pixel je definován jako nejmenší část televizního obrazu, která může být předána do parametrů systému. Tohoto procesu je dokázáno pomocí třech kroků:

- Analýza snímaného obrazu fotoelektrickým zařízením. Horizontální snímání z horní do dolní části obrazu. Vyprodukovaný elektrický signál, ve kterém je jas a barvy, reprezentován napěťovými úrovněmi video signálu.
- Vysílání těchto hodnot obrazových prvků jako napěťových úrovní videosignálu.
- Reprodukovat přijatý signál obrazu původní scény.

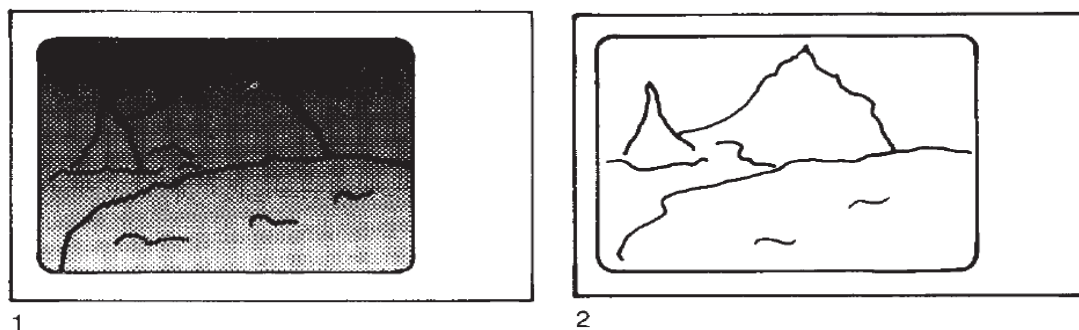
Tyto body vycházejí ze základů, jež stanovil Alexandr Bain. Tím se jen potvrzuje jejich nadčasovost. Pomocí těchto pixelů bylo docíleno zobrazení obrazu na obrazovce. Využito k tomu bylo nedokonalostí lidského oka. Jednou z nich je rozlišovací schopnost oka, tzv. zorný úhel, což je úhel, pod kterým lze ještě rozeznat dva samostatné body ležící těsně vedle sebe. Další vlastnosti lidského oka je setrvačnost. Zrakový vjem světelného podnětu na sítnici v oku trvá po určitou dobu, i když příčina podnětu již zanikla. Proto obraz složený z malých pixelů, které svítí, vnímá oko jako celistvou svítící plochu. Pro zpětnou reprodukci obrazu na straně příjemce se začali využívat obrazovky vybavené katodovými trubicemi (Cathode ray tube odtud zkratka CRT). Systém katodové trubice byl objeven již v roce 1897 německým fyzikem Karlem Ferdinandem Braunem. CRT zobrazovací prvek se skládal z velké skleněné vakuové trubice (obrázek 3.1).

1. vychylovací cívky
2. paprsek elektronů
3. ostřicí cívka
4. fosforeskující vrstva
5. vlákno pro žhavení katody
6. grafitová vrstva na vnitřní straně trubice
7. gumové těsnění, vývod drátů k anodě
8. katoda
9. vzduchotěsné sklo
10. obrazovka
11. tělo ostřicí cívky
12. řídicí elektroda pro regulaci intenzity paprsku
13. konektor pro připojení řízení
14. kabel pro připojení anody



Obrázek 3.1 schéma CRT obrazovky

Na vnitřní straně přední části trubice je vrstva fosforeskující látky, která svítí, když je zasažena paprskem elektronů, silnější paprsek elektronů vyvolá jasnější záření a naopak slabší elektronový paprsek menší záření. Na zadní straně CRT, v úzkém krku, je elektronová tryska (žhavená katoda), které emituje paprsek elektronů. Čím je vyšší napětí přivedené na elektronovou trysku tím je silnější i emitovaný paprsek elektronů a naopak. Směr paprsku elektronů je řízen vychylovací cívkou (skupina velkých elektromagnetů kolem střední části CRT). Obraz je tedy zobrazován pixel po pixelu, řádek po řádku z levého horního rohu směrem dolů do pravého spodního rohu. Tento způsob vykreslení obrazu na zobrazovací plochu displeje byl nazván progresivní skenování (progressive scanning). Aby se zabránilo poruchám obrazu způsobeným elektromagnetickým zářením od transformátorů nebo napětěovými špičkami v napájecí síti, byla obnovovací frekvence obrazovaných obrázků odvozena přímo z frekvence napájecí sítě. Tím vznikly obnovovací frekvence s hodnotou 25 snímků za vteřinu s v Evropě a 30 snímků za vteřinu ve Spojených státech. Avšak ani toto nedokázalo zlepšit kvalitu obrazu. Hlavní problém progresivního skenování bylo tmavnutí pixelů ještě před tím, než mohl paprsek dokončit jeden celý obraz. Výsledek takového zobrazení vypadal následovně (obrázek 3.2).

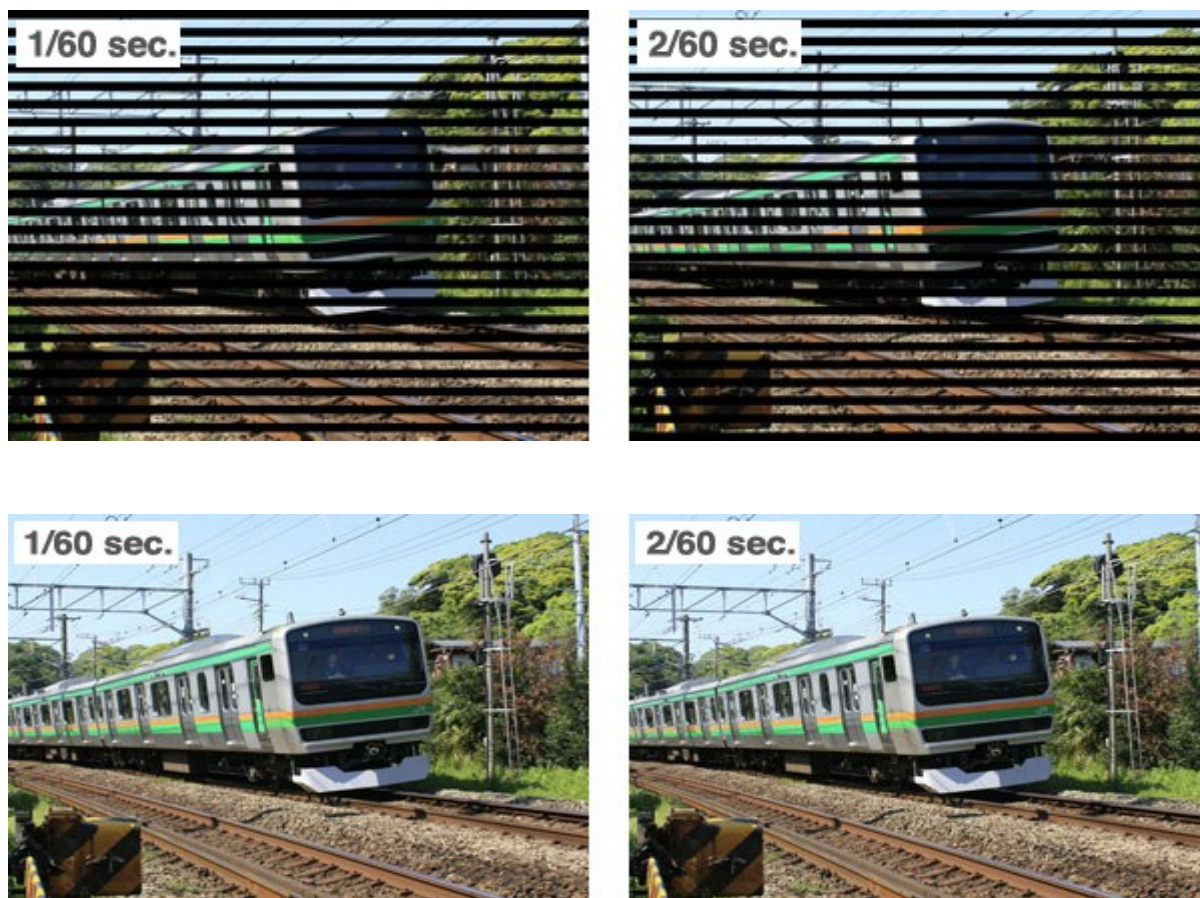


Obrázek 3.2 progresivní (1) a prokládané skenování (2)

Tento problém byl plně vyřešen využitím systému prokládaného skenování (interlace scanning). Při prokládaném skenování se rozdělí výsledný obraz dle řádků na sudé a liché. Paprsek potě vykreslí nejdříve sudé řádky a poté se vrátí a začne vykreslovat liché řádky. Tím se odstranil efekt tmavnutí obrazu. Po vykreslení sudého pulsnímků, se začne vykreslovat lichý pulsnímek, nedokonalost lidského zraku není schopna tento rozdíl zaznamenat a výsledný obraz složí do jednoho celku, který má stejnou světlost. Tento způsob řešil i další problémy s přenosem signálu, jelikož potřebná širší pásma k přenosu obrazového signálu při využití progresivní metody byla na tu dobu nereálná. Pomocí této metody bylo možné využívat stávající radiové vysílače a vedení. Použitím prokládaného



skenování umožnilo také zdvojnásobit obnovovací frekvenci na 50 Hz v Evropě a 60 Hz ve Spojených státech. Progresivní skenování také přinášelo řadu problémů, zřejmě největší je fakt že v daném časovém okamžiku je vždy zobrazena jen polovina obrazu. Toto se ukázalo jako zcela nedostačující pro následnou práci s obrazem v pozdějších letech. Proto se začalo v ostatních odvětvích znovu využívat progresivního způsobu. Prokládané skenování se využívá v televizích, které jsou vybavené CRT obrazovkou dodnes. Provázání obnovovací frekvence obrazu s frekvencí elektrické sítě



*Obrázek 3.3 rozdíl mezi prokládaným a progresivním obrazem*

nevyhnutelně vedlo k odlišným standardům na obou stranách Atlantského oceánu. Přesto tyto systémy sdílely následující společné prvky:

- Unikátní signál kombinující video, synchronizační informaci a zatemňování.
- Prokládaní skenování pro nejlepší kompromis mezi kvalitou a stabilitou obrazu a potřebnou šířkou pásma pro přenos signálu.

Brzy poté, v důsledku zvýšení velikosti obrazovek a s přihlédnutím k rozlišení, které je schopné lidské oko vnímat za normálních světelných podmínek, se ukázalo rozlišení těchto

systemů jako nedostačující. Až v roce 1941 byl zaveden následující standard pro přenos televizního signálu:

- 525 řádků, prokládané snímání (dvě pole 262,5 linek);
- 60 Hz vertikální frekvence;
- 15,750 Hz horizontální frekvence (60x262,5);
- Šířka pásma 4,2 MHz, negativní video modulace;
- Zvuk frekvenčně modulován na nosnou frekvenci 4,5MHz

Na opačné straně Atlantiku byl vývoj značně zpomalen průběhem druhé světové války. Až v roce 1949 se po Evropě rozšířil standard původem z německého systému GERBER, který adaptoval systém ze Spojených států z roku 1941 zmíněný výše, ale byl modifikován na kmitočet 50 Hz. Modifikace měla za následek zvýšení počtu řádků a vyšší šířka pásma pro přenos signálu. Výsledné hodnoty byly tyto:

- 625 řádků, prokládané snímání (dvě pole 312,5 linek);
- 50 Hz vertikální frekvence;
- 15,625 Hz horizontální frekvence (50x312,5);
- Šířka pásma 5 MHz, negativní video modulace;
- Zvuk frekvenčně modulován na nosnou frekvenci 5,5MHz

Tyto dva formáty se ustálily ve většině zemí po druhé světové válce. Po modifikaci na barevné vysílání dali vzniknout celosvětově rozšířeným standardům televizního vysílání.

### **3.3 Barevné televizní vysílání**

Už od roku 1940 se ve Spojených státech výrobci televizí a vysílací společnosti snažili přijít na systém barevného televizního vysílání. Hlavním problémem se stala zpětná kompatibilita s černobílým přijímačem. V roce 1949 bylo v USA více jak 10 milionů televizních přijímačů (černobílých). Vysílací signál tudíž musel umožňovat přenos barevné složky, kterou by zobrazili nové barevné televize, ale zároveň tu samou informaci umožnit interpretovat na monochromatických přístrojích. Nejbližší úspěšnému řešení tohoto problému se dostali společnosti RCA (Radio Corporation of America) a CBS (Columbia Broadcasting System), obě představili funkční systém, avšak systém společnosti CBS nebyl zcela zpětně kompatibilní s černobílými televizory a proto bylo zvoleno řešení od společnosti RCA. V roce 1952 tento návrh přijala FCC (Federal Communications

Commission). Standard byl nazván NTSC, což byl ve zkratce název komise, která tento systém přijala (National Television System Committee).

Evropský vývoj barevného vysílání proběhl později. V roce 1967 dochází k ustanovení dvou standardů. Ve Velké Británii vznikl standard PAL (phase alternating line), který se rozšířil do střední Evropy a zemí, které byly ovlivňovány Británií (bývalé kolonie) a ve Francii vznikl standard SECAM (séquentiel couleur à mémoire - Sequential Color with [Avec] Memory). Formát SECAM byl využíván v zemích Sovětského bloku.

Rozsáhlé předběžné studie o vnímání barev a velké množství vynalézavosti bylo nutné pro definování těchto norem, které navzdory jejich nedostatkům, stále ještě splňují většinu požadavků koncových uživatelů více než 40 let po jejich vzniku. Viditelné světlo je elektromagnetické vlnění s vlnovým rozsahem 380 až 750 nm. Každé vlnové délce odpovídá určitá barva světla – barevné spektrum. Předměty se jeví v barvě světla, kterou odrážejí. Tato barva je vstupní veličinou barevného obrazového signálu. Vzájemným mícháním barev barevného spektra můžeme získat všechny barevné tóny a odstíny, které se v přírodě vyskytují. Barevná televize vychází z trojbarevné podstaty barevného vidění: jakoukoliv barvu lze vytvořit smísením tří vhodně zvolených barevných světél. Tyto tři barvy jsou červená (red), zelená (green) a modrá (blue). Základní myšlenka standardu NTSC byla přeměnit signály těchto tří barev (RGB) na ekvivalentní komponenty pomocí lineární kombinace. Tyto náhrady jsou nejčastěji označovány  $Y$ ,  $C_r$ ,  $C_b$  (nebo  $Y$ ,  $U$ ,  $V$ ) a vznikly tímto způsobem:

- $Y = 0,587G + 0,299R + 0,1145B$  a nazývá se jasový signál (spojením barev červená, zelená a modrá v poměru 29% červená, 58% zelená a 13% modrá vznikne bílé světlo)
- $C_b = 0,564(B-Y)$  nebo  $U = 0,493(B-Y)$  nazývá se modrá chrominance nebo barevný rozdíl
- $C_r = 0,713(R-Y)$  nebo  $V = 0,877(R-Y)$  nazývá se červená chrominance nebo barevný rozdíl

Kombinace použita pro jasový signál (někdy označován jako „luma“) byl záměrně vybrán, aby se co nejvíce podobal výstupnímu signálu černobílé kamery, právě toto umožňuje monochromatickým přijímačům zpracovat tento signál jako normální černobílý. Zbylé dva signály barevného rozdílu (někdy označovány za „chroma signály“) představují zabarvení černobílé scény, která byla přenesena pomocí signálu  $Y$ . Pomocí lineární rekombinace se složkou  $Y$  je možné získat zpět původní signály RGB. Studie vizuálního

vnímání ukázaly, že lidské oko je schopné hůře rozlišit barevné než jasové přechody. To znamenalo, že pro přenos barevného signálu je možné významně redukovat šíři pásma pro oba barevné signály (v praxi zabírají polovinu nebo čtvrtinu šíře pásma jasového signálu). Tento poznatek se ukázal jako stěžejní při implementaci chroma signálů do stávajícího vysílání. Aby bylo možné přepravovat tyto tři signály pomocí stávajících televizních kanálů (6MHz ve Spojených státech, 7 nebo 8MHz v Evropě), byl přidán pomocný nosný kmitočet, který byl modulován redukovanými chroma signály. Tento nově vytvořený složený signál dostal název CVBS (Color Video Baseband Signal). Aby nedošlo k narušení příjmu signálu u monochromatických přijímačů, musel být tento kmitočet umístěn v nejvyšší části video spektra a musel zůstat v mezích stávající šířky pásma (4.2MHz ve Spojených státech, 5-6MHz v Evropě). Hlavním rozdílem mezi třemi světovými standardy (NTSC, PAL, SECAM) se stal především způsob modulace CVBS kmitočtu a její frekvence. Klady a zápory u každé metody byly následující.

### 3.3.1 NTSC

NTSC systém využíval nosný kmitočet  $3.579545\text{MHz}$  ( $= 455 \times F_h / 2$ ), amplitudově modulovaný s potlačeným nosným kmitočtem, následovaný dvěma chroma signály, které využívaly kvadraturní amplitudové modulace, zkráceně QAM. Tento způsob se zdál být velice kvalitní v laboratorních podmínkách, nicméně v praxi se choval velice odlišně. Nevýhodou soustavy se stala citlivost úplného barevného signálu na nelineární zkreslení diferenciálním zesílením a diferenciální fází, čímž se zkreslují barvy v sytosti a v tónu. Lineární zkreslení působí přeslechy mezi dílčími chrominančními signály, a tím nesprávnou reprodukci barev. Amplitudová modulace barvonosné frekvence zanáší při televizním přenosu s jedním částečně potlačeným pásmem do reprodukce chyby v jasové i v chrominanční složce (zmenšuje se sytost). Kladem soustavy je velmi jednoduchá konstrukce televizního přijímače. Tyto poznatky donutily Evropany k hledání odlišného přístupu pro normy SECAM a PAL.

### 3.3.2 SECAM

SECAM norma eliminuje hlavní nevýhody v systému NTSC pomocí frekvenční modulace pro nosný kmitočet, který je necitlivý k postupnému střídání, ale frekvenční modulace neumožňuje simultánní modulaci nosného kmitočtu dvěma signály, stejně jako u metody kvadraturní amplitudové modulace QAM. Tento problém byl adresován zjištěním, že barevná informace dvou po sobě jdoucích řádků je velice podobná a často

i shodná. Tento poznatek vedl k řešení přenosu vždy jen jedné barevné složky, přičemž druhá složka se uchovává z předchozího řádku (přijímač proto potřebuje zpoždovací linku, fungující jako paměť). Výhodou proti NTSC je částečné odstranění zkreslení barevného podání, nevýhodou je určité barevné zkreslení dané tím, že se polovina signálu přebírá z předchozího řádku.

### 3.3.3 PAL

Norma PAL kombinuje oba předchozí systémy, čímž odstraňuje jejich nedostatky. Využívá kvadraturní amplitudové modulace QAM. Dvě barevné složky U a V se moduluji nosný kmitočet, přičemž u každé druhé řádky je polarita fáze složky V obrácena, čímž se vyruší drobné chyby v přenosu fáze. Chyba barevného odstínu, který oko vnímá velmi rušivě, se převádí na chybu sytosti, což již oko nevnímá tak rušivě nebo vůbec. Na začátku každé řádky se přidává referenční signál (color burst), kterým se synchronizuje referenční úroveň amplitudy a fáze. PAL má nejvyrovnanější přenosové vlastnosti, nevýhodou je potřeba složitějšího přijímače. Jako přídatek k hlavní normě PAL (někdy označované jako PAL B/G) vznikly dvě méně známé varianty PAL M/N, které byly využívány v Jižní Americe.

Závěrem lze říci, že všechny televizní systémy jsou kompromisem, jelikož změnou jednoho parametru je možné zlepšit jeden aspekt výkonu, ale zároveň dojde k znehodnocení jiného parametru. Například zvýšením šířky pásma dojde ke zlepšení rozlišení obrazu, ale také dojde ke zvýšení šumu. Ve výsledku nelze mluvit o absolutní nadřazenosti jednoho systému před druhým. V mnoha případech politické a ekonomické faktory hrály velkou roli při přijímání černobílého a následně kompatibilního barevného systému. O mnoho let později (rok 1980) se v Evropě pokusili definovat společný standard satelitního vysílání, s cílem zlepšit obraz a kvalitu zvuku tím, že eliminuje nevýhody kompozitních systémů (cross-color, cross-luminance, snížená šířka pásma) a pomocí digitálního zvuku. To mělo za následek vznik MAC systémů, s kompatibilním rozšířením k HDTV (tzv. HD-MAC). D2-MAC je nejznámější těchto hybridních systémů, i když nedosáhl svého očekávaného úspěchu díky jeho pozdnímu zavedení a dřívějšímu vývoji digitální televize, než se předpokládalo. Nahrazuje frekvenční rozdělení multiplexování jasu, barevnosti, a zvuku (sdílení šířky pásma) z kompozitních norem pomocí časového multiplexování (časové sdílení). Byl navržen tak, aby byl kompatibilní s normálním (4:3) a širokouhlým (16:9) formátem obrazu a byl považován v některých aspektech za

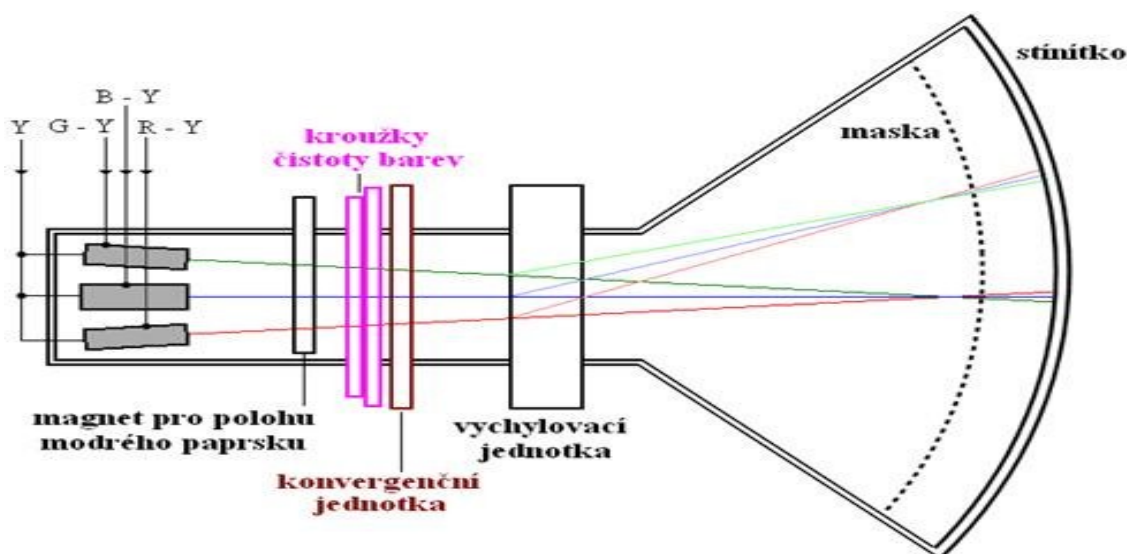
mezistupeň na cestě k plně digitálnímu televiznímu signálu. V letech 1990 – 1992 byla vyvinuta nadstavba pro normu PAL, označená PAL+. Hlavním cílem této nadstavby bylo umožnit pozemní příjem vylepšených obrázků s poměrem stran 16:9 a zajistit kompatibilitu s již zavedenými 4:3 PAL přijímači.

Pro reprodukci barevného vysílání došlo k úpravě monochromatické CRT obrazovky. Standardní fosforeskující vrstva byla nahrazena novou vrstvou, která se skládala ze třech luminoforů. Jeden luminofor pro každou z trojice základních barev. Tři luminofory jsou fyzicky odděleny jeden od druhého a každý z nich je rozsvícen pomocí elektronového svazku. Intenzita rozsvícení daného bodu, je úměrná napětí příslušné barvy reprodukované v televizním přijímači. Cílem je vyrábět tři shodné rastry produkující červený, zelený a modrý obsah zobrazovaného obrazu. Při sledování z větší vzdálenosti lidské oko spojí dané barevné body do jednoho celku. Podle konfigurace elektronové trysky a způsobu, ve kterém jsou uspořádány luminofory na stínítku, rozlišujeme tři různé typy barevných obrazovek:

- Typ delta
- Typ in line
- Typ Trinitron

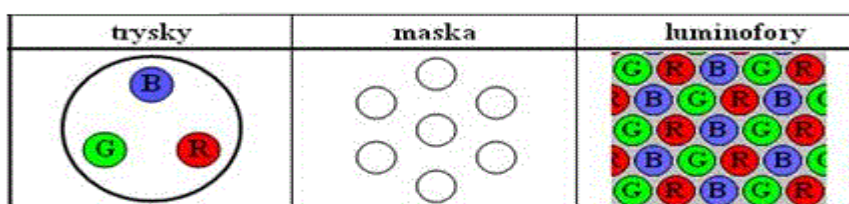
### **3.3.4 Typ obrazovky delta**

Typ barevné obrazovky [28] delta byl patentován společností R.C.A (Radio Corporation of America) v roce 1938 jako první použitelné zařízení pro reprodukci barevného televizního obrazu. Skládal se ze tří elektronových trysek (jedna pro každou barvu). Trysky jsou rovnoměrně rozmístěny v kruhu se 120° intervalem a nakloněné dovnitř ve vztahu k ose obrazovky. Všechny tři svazky elektronů jsou vychylovány společným vychylovacím magnetickým polem vychylovací jednotky. Elektrony dopadají na stínící masku (někdy nazývaná též mřížka), jejíž otvory jsou uspořádány tak, aby na každý luminofor v základní barvě červená (R), zelená (G) nebo modrá (B) dopadl příslušný svazek elektronů nesoucí informaci právě o této barvě. Luminofory zbylých dvou barev stínící maska zastíní. Díky tomuto principu značná část elektronů dopadá neúčinně na stínící masku. Proto má tento typ obrazovky i při relativně velkých elektrických proudech tekoucích katodovým systémem relativně malý jas obrazu. Většina elektronů totiž dopadá neúčinně na stínící masku a ne na stínítko.



Obrázek 3.4 schéma barevné CRT obrazovky typ delta Zdroj: (28)

Na obr. 3.4 jsou elektronové svazky naznačeny barevně pouze pro větší názornost. Z trysek jsou emitovány elektronové paprsky, které nesou informaci o barevném složení signálu. Výsledná zobrazená barva je určena intenzitou elektronového paprsku a barvou fosforu, který je paprskem zasažen. Pokud pouze jeden paprsek je aktivní a zbývající dva jsou vypnuty, rozsvítí se pouze jeden barevný fosfor. Podobným principem lze kombinovat barvy, pokud jeden paprsek je neaktivní a zbývající dva jsou aktivní, budou na stínítku vybudeny dva fosfory dvou barev dohromady a vytváří dojem doplňkové barvy. Černá barva na obrazovce je výsledkem signálu bez barevné excitace, když všechny tři paprsky jsou neaktivní. Pokud amplituda barevného rozdílu signálů klesne na nulu. Jediný signál, který zůstane je signál Y, jasový signál. Tím dojde k zobrazení monochromatického obrazu na obrazovce.



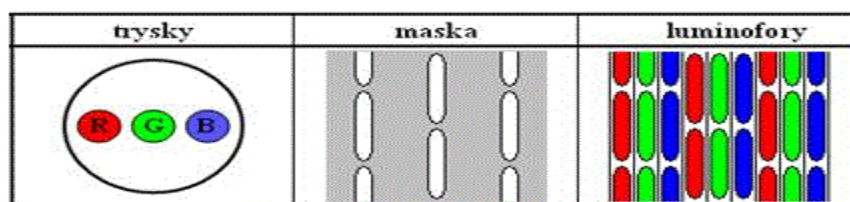
Obrázek 3.5 souhrnné schéma hlavních prvků obrazovky typu delta Zdroj: (28)

Vzhledem k rozmístění elektronových trysek do vrcholů trojúhelníka, neprocházejí elektronové svazky vychylovacím polem ve stejném místě. Na elektrony svazku lze nahlížet jako na nabitě částice v magnetickém poli, které jsou magnetickou silou tohoto pole vychylovány. Neprocházejí-li elektrony stejným místem tohoto pole, působí na ně

obecně různé magnetické síly způsobující jejich vychýlení. Tím je způsobeno geometrické zkreslení jednotlivých barevných složek. Tento nedostatek musí být korigován relativně složitými konvergenčními elektrickými obvody, které potřebným způsobem deformují magnetické pole vychylovací jednotky a zajišťují potřebnou konvergenci elektronových svazků na stínítku obrazovky. I přes výše uvedené nedostatky byl tento typ obrazovky prakticky jedinou používanou barevnou obrazovkou až do poloviny 70. let dvacátého století. Od té doby začal být nahrazován, obrazovkami typu in line a typu Trinitron.

### 3.3.5 Typ obrazovky in line

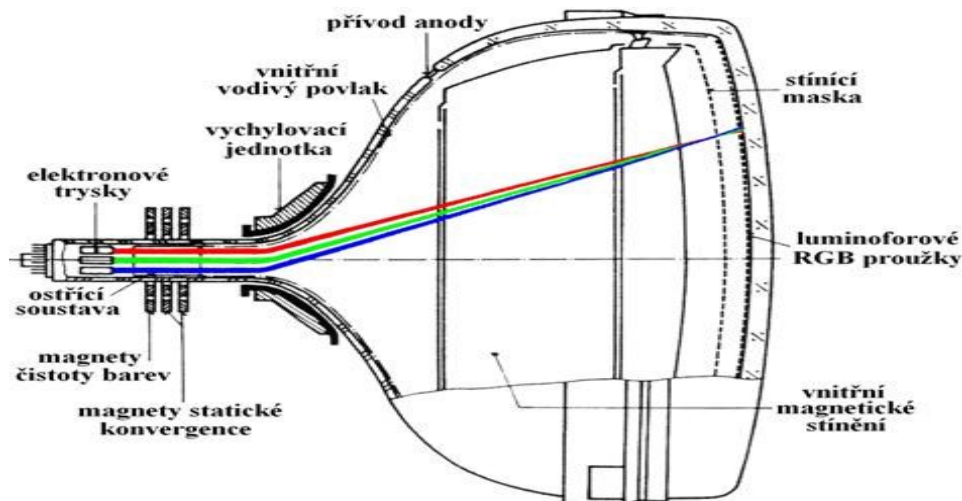
Systém in line byl primárně vyvíjen jako nástupce systému delta, který bude zbaven nedostatků delta obrazovek a to hlavně složitých konvergenčních obvodů a vyššího jasu výsledného obrazu. Vývoj tohoto systému byl ukončen na konci 70. let dvacátého století. Název in line obdržel podle způsobu uspořádání elektronových trysek, které se nacházejí v horizontální řadě. Změna nastala i v masce a uspořádání barevných luminoforů na stínítku. Stínítko obrazovky je tvořeno oválnými ploškami luminoforů základních barev, které jsou ve svislých pásech pod sebou (viz obr. 3.6).



Obrázek 3.6 souhrnné schéma hlavních prvků obrazovky typu in line Zdroj: (28)

Mezi jednotlivými ploškami luminoforů je černý předěl, který subjektivně zvětšuje kontrast reprodukováného obrazu. Plechová stínící maska je vybavena oválnými otvory. Jeden tento otvor je nad každou trojicí barevných pruhů z luminoforu. Tyto otvory jsou navrženy tak, aby každý elektronový paprsek po průchodu zasáhl pruh luminoforu svojí barvy. Ačkoliv je příčný průřez svazku elektronů větší než otvory ve stínící masce, jsou jejich účinky na luminoforu větší než u obrazovky typu delta. Tímto novým uspořádáním základních prvků obrazovky (trysek, masky a luminoforu) bylo dosaženo toho, že u modelu in line dopadá ve výsledku více elektronů na stínítko než za jinak stejných podmínek u systému delta.





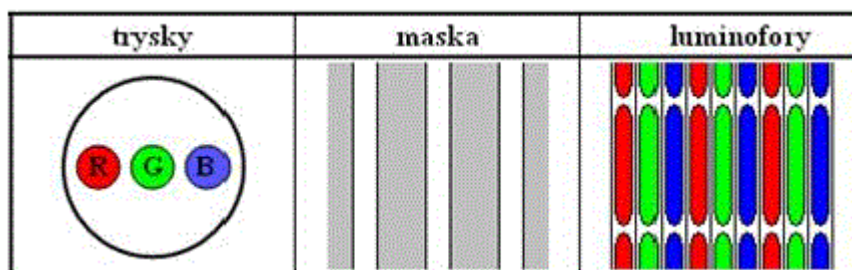
Obrázek 3.7 schéma barevné CRT obrazovky typ in line Zdroj: (28)

Pokud elektrony dopadají na masku, dochází k tzv. „absorpci elektronů“ a maska se zahřívá. Materiál masky je proto volen tak, aby měl co nejnižší teplotní součinitel roztažnosti. Přesto se rozměry mohou i nepatrně měnit, čímž dochází ke změně otvorů v masce a následně poruše čistoty barev. Proto je maska upevněna ve speciálním držáku, který kompenzuje vlivy délkové teplotní roztažnosti materiálu masky. Díky výhodám z nového uspořádání bylo možné zvětšit užitečnou plochu obrazovky a díky tomu, že více elektronových svazků dopadalo na stínítko a ne na masku, zvětšil se podstatně jas těchto obrazovek. Geometrické zkreslení je pro případné korekce konvergence příznivější, než tomu bylo u barevných obrazovek typu delta.

### 3.3.6 Typ obrazovky Trinitron

Největšího úspěchu ovšem dosáhl systém Trinitron (název vznikl spojením slov trinity – sjednocení tří a tron z výrazu electron tube – elektronová trubice), který vynalezla japonská firma Sony a uvedla ho na trh v roce 1966. Systém vychází z typu in line, ale přináší několik inovací, které ho ve výsledku posouvali dále. Největším rozdílem je použití pouze jedné elektronové trysky, která je však vybavena třemi katodami. Jedna pro každou barvu. Katody byly umístěny v horizontální řadě, stejně jako u modelu in line. Katody emitující elektrony jsou nakloněny tak, aby se elektronové svazky odpovídající jednotlivým základním barvám protínaly ve střední části obrazovky. Ve střední části je umístěn systém čoček, které zajišťují správný vzájemný posun jednotlivých elektronových svazků po celé ploše stínítka obrazovky (statickou konvergencí obrazu).

Velká výhoda u prvních modelů obrazovek se systémem Trinitron byla možnost úplného vypuštění dynamické konvergence obrazu – odstranění nepřesnosti v zobrazení mimo osu obrazovky (toho bylo nejčastěji dosaženo pomocí radiálního pohybu cívek proti obrazovce). Toto ovšem platilo pouze pro obrazovky do 25 palců. Stínítko obrazovky typu Trinitron (viz obr. 3.8) je tvořeno souvislými svislými proužky luminoforů základních barev. Jednotlivé barevné proužky jsou odděleny předělem černé barvy, který subjektivně zvyšuje kontrast reprodukováného obrazu. Stínítko není ve svislém směru zakřiveno - má tvar válcové plochy, ale je zakřivená ve vodorovném směru. Geometrické zkreslení obrazu při pohledu ze strany je tedy menší než u kulových stíniček. Konvergenční mříž (stínící maska) je soustava tenkých plechových pásků nebo drátků napnutých ve svislém směru. Je umístěna tak, aby její mezery byly vždy nad trojicí proužků s luminofory.



Obrázek 3.8 souhrnné schéma hlavních prvků obrazovky typu Trinitron Zdroj: (28)

Právě pomocí tohoto systému masky, dosahoval Trinitron ostřejšího obrazu a většího jasu oproti ostatním systémům. Na tomto firma Sony postavila veškerý svůj marketing a obrazovky Trinitron si udržely přední místa na trhu až do roku 2000. Nový systém masky však přinesl i jednu vadu, která se stala pro obrazovky Trinitron charakteristickou. Aby nedošlo k nechtěnému pohybu masky a tím ke změně zbarvení obrazu při náhodném otřesu, maska je upevněna pomocí wolframového drátu. Tyto dráty jsou skoro neviditelné na televizních obrazovkách z důvodu velikosti skenovaných řádků, ale u počítačových monitorů jsou často tyto pomocné drátky viditelné. I přes tento nedostatek slavila firma Sony nevídaný úspěch a prodala kolem 280 milionů obrazovek specifikace Trinitron. Největší úspěchy zaznamenali v letech 1994 – 1996. Sony stáhla obrazovky Trinitron z katalogové nabídky v roce 2006 a v březnu 2008 ukončila výrobu.

V první části jsou nastíněny základní poznatky o rozkladu obrazu pro televizní přenos a jeho slučitelných soustavách. Po desetiletí používané metody pro realizaci přenosu jsou nahrazovány, hlavně kvůli snaze odstranit mnohdy závažné nedostatky jako jsou: rušivé jevy, malá rozlišovací schopnost, věrnost barevného zobrazení. Tyto záměry

bylo možné uskutečnit díky novým mikroelektronickým obvodům a pamětem s větší kapacitou. Toto umožnilo zpracovat televizní signál digitálně.

### **3.4 Digitalizace video a televizního signálu**

Všechny systémy dosud zmíněné pracovaly na analogovém signálu. Analogový v čase spojitý signál nejspíše zachycuje dění okolního prostředí kolem člověka a i sám člověk generuje řadu spojitých signálů srdeční aktivitou (EKG), mozkovou aktivitou (EEG) a řečí. Tento typ signálu má soustavu nedostatků, těmi největšími jsou degradace kvality při tvorbě dalších kopií a velmi omezená možnost dalšího zpracování nebo úpravy již pořízeného signálu. Toto vše a mnohem více se stalo možné s příchodem digitálního záznamu.

Následující část práce je věnována popisu základních principů pro převod analogového signálu obsahujícího obrazovou informaci na digitální podobu. Největší předností digitálního video signálu jsou obrovské možnosti, které nebyly k dispozici s analogovými technologiemi. Oprava chyb, komprese, odhad pohybu a interpolace jsou velice obtížné nebo nemožné v analogovém záznamu, ale jsou velmi jednoduché u digitálního. Jakmile video je v digitální podobě, stává se daty a liší se od obecných údajů v tom, že musí být reprodukováno s určitou časovou základnou.

Digitalizace analogového signálu byla koncepčně možná díky vynálezu pulzně kódové modulace, která byla definována již v roce 1937, ale technologie potřebné k provedení neexistovaly ještě po několik desetiletí. První experimenty byly provedeny s digitálním videem na konci roku 1950, ale náklady zůstaly prohibitivní pro komerční aplikace. Až pozdější vývoj na poli mikroelektroniky a záznamových médií umožnil další rozšíření.

DVB (Digital Video Broadcasting) je mezinárodní konsorcium tvořeno 260 členy z různých odvětví. Konsorcium vzniklo v roce 1993 a od té doby určuje specifikace DVB, ze kterých se stávají normy v oblasti digitální televize po celém světě. DVB nabízí různé úrovně kvality od televize s nízkou rozlišovací schopností (LDTV) přes standardní televizní vysílání (SDTV) až po vysílání ve vysokém rozlišení (HDTV). Současně s obrazem umožňuje přenášet i monofonní, stereofonní a prostorový 5.1 zvuk. Digitální televizní vysílání je zprostředkováno pomocí tří základních způsobů: družicové DVB-S,

kabelové DVB-C a pozemské DVB-T. Nově se uplatňuje i DVB-H pro příjem televizního vysílání v kapesním přijímači (především chytré mobilní telefony).

Princip DVB-T spočívá v digitalizaci vstupních obrazových a zvukových signálů. Dochází k redukování datového toku informace (odstranění redundance a podvzorkování chrominancních signálů), kompresi signálu a následné sloučení více programů, nebo jiných signálů, do jednoho balíku, který je označován jako multiplex.

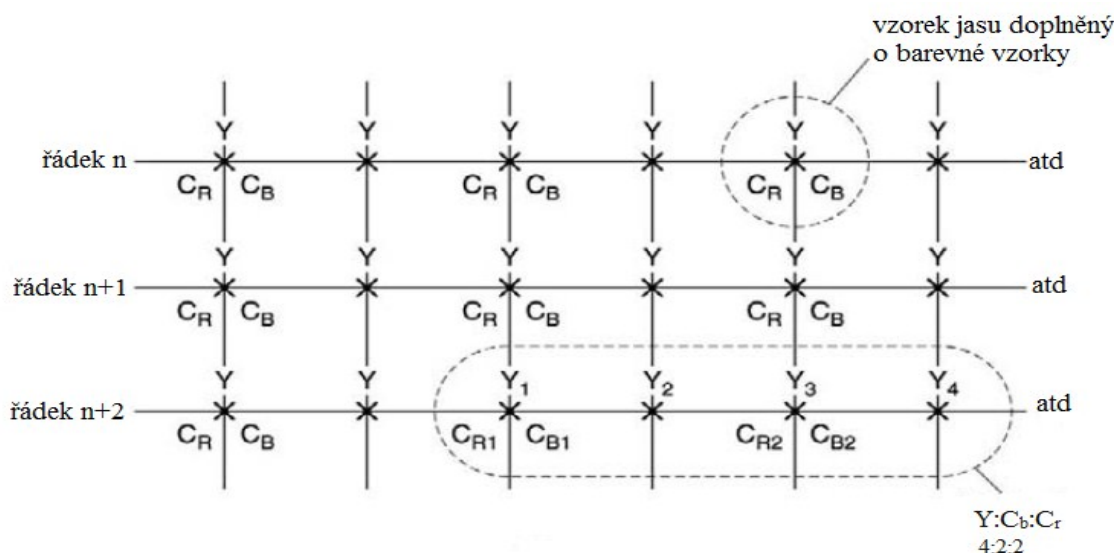
V analogovém systému, je průběh videosignálu zprostředkován nekonečnou variací spojitého parametru, jako je napětí nebo frekvence. V rekordéru, kde je průběh zaznamenáván na médium jako spojitá hodnota v čase. Zaznamenaná hodnota může nabývat různých hodnot, které jsou omezeny pouze fyzickými limity zaznamenávající soustavy. V rámci přípustné šířky pásma, každý průběh může být brán jako platný. Je-li rychlost média nekonstantní, je jeden platný průběh změněn na jiný průběh. Šum nemůže být zjištěn v analogovém systému. Může být očekáván, ale je velice složité odlišit z přijímaného signálu co je původní zpráva a co je již šum. Pro analogový systém se stalo charakteristické, že degradace originálního signálu nelze zcela odstranit. Na výstupu ze systému se většinou skládá z celé sumy různých degradací, které se přidali na každém prvku. Toto nastavuje určitý limit počtu prvků, přes které může signál projít, než kompletně ztratí svojí původní hodnotu. Pro digitalizování analogového signálu se šířkou pásma  $F_{\max}$ , je nutné vzorkovat její hodnotu pomocí vzorkovací frekvence  $F_s$ . Vzorkování znamená, že v určité časové okamžiky zaznamenáme (ovzorkujeme) hodnotu spojitého signálu. Pomocí toho dojde ke změně ze spojitého průběhu na sadu měření v opakujících se intervalech. Vzorkovací kmitočet by měl dosahovat dvojnásobné frekvence než je vzorkovací signál, který pomáhá zachytit. Tato podmínka vychází z Nyquist-Shannonova teorému: *„Přesná rekonstrukce spojitého, frekvenčně omezeného, signálu z jeho vzorků je možná tehdy, pokud byla vzorkovací frekvence vyšší než dvojnásobek nejvyšší harmonické složky vzorkovaného signálu.“* Tato myšlenka byla původně formulována Herry Nyquistem a matematicky ověřena jeho kolegou z laboratoří společnosti Bell Claudem Shannonem. Tento teorém zajišťoval nulovou ztrátu informace po rekonstrukci zpět do analogového spektra. Při nedodržení podmínek uvedených v teorému dochází k jevu zvanému aliasing (česky falšování). Při tomto jevu dochází k překrytí frekvenčních spekter vzorkovaného a vzorkujícího signálu, což má za následek ztrátu původní informace. Aby nedošlo k tomuto nežádoucímu jevu, je nezbytné zajistit

podmínky vzorkování  $F_s - F_{\max} > F_{\max}$ , to platí při  $F_s > 2F_{\max}$ . To znamená, že signál převáděný do digitální podoby by měl být správně filtrován, aby bylo zajištěno, že jeho širší pásma nepřekročí  $F_{\max} = F_s/2$ .

Pro komponentní video signály ze studiového zdroje, které mohou mít maximální šíři pásma až 6 MHz, se volí vzorkovací frekvence  $F_s = 13,5$  MHz. Tato frekvence je nezávislá na standardu skenování a představuje  $864 \times F_h$  pro 625 řádkové systémy a  $858 \times F_h$  pro 525 řádkové systémy. Počet aktivních vzorků na jednom řádku je 720 v obou případech. V takovémto řádkovém systému odběru vzorků, jsou vzorky na stejném místě na všech řádcích v každém políčku obrazu. Tato vzorkovací síť dostala název ortogonální a slouží jako základ pro vzorkovací schémata. Nejvíce využívané vzorkovací formáty jsou:

- 4:2:2 formát
- 4:2:0 formát, SIF (source intermediate format), CIF (common intermediate format)

Formát 4:2:2 z roku 1982 definuje parametry pro digitalizaci video signálu v komponentové formě, založené na signálech  $Y$ ,  $C_b$ ,  $C_r$  v 4:2:2 poměru (čtyři  $Y$  vzorky, dva  $C_b$  vzorky a dva  $C_r$  vzorky). Šířka vzorku je 8 bitů (s rezervou pro rozšíření na 10 bitů). Vzorkovací frekvence je 13.5MHz pro jasový signál ( $Y$ ) a 6.75MHz pro chrominanční signály ( $C_b$ ,  $C_r$ ), bez ohledu na standard vstupního signálu. To má za následek 720 aktivních obrazových vzorků na jeden řádek pro jas a 360 aktivních vzorků na řádek pro každý chrominanční signál. Postavení chroma vzorků odpovídají liché vzorky jasu (viz obr. 3.9). Chrominanční signály  $C_r$  a  $C_b$  jsou zároveň k dispozici v každém řádku, vertikální rozlišení pro barevnost je stejné jako pro jas (480 řádků pro 525 řádkový systém, 576 řádků pro 625 řádkové systémy). Celkový bit-rate (bit za sekundu – vyjadřuje kolik je potřeba přenést bitů informace za časový úsek, používá se jako jednotka přenosové rychlosti) vyplývající z tohoto procesu je  $13,5 \times 8 + 2 \times 6,75 \times 8 = 216$  Mb/s. Při použití šířky vzorku 10 bitů je výsledný bit-rate 270 Mb/s.



Obrázek 3.9 schéma vzorkovací metody 4:2:2 Zdroj: (5)

Pokud se vezme v úvahu redundance vznikající při digitalizaci neaktivní části videa signálu (horizontální a vertikální zatemňovací období), užitečný bit-rate klesne na 166 Mb/s při využití 8 bitů na vzorek. Tyto horizontální a vertikální krycí doby mohou být využity pro další užitečné údaje jako digitální zvuk, synchronizace a další informace.

Pro využití, které nevyžaduje velké nároky na rozlišení s nižším bit-rate vznikly deriváty formátu 4:2:2. Formát 4:2:0 využívá stejného chroma vzorku pro dva po sobě následující řádky, aby se snížila zátěž na obvody, které signál zpracovávají. Zachoval si stejné rozlišení (vertikální i horizontální) jako model 4:2:2. Aby se zabránilo barevnému problikávání pozorované v soustavě SECAM (vzhledem k tomu, že jeden barvonosný signál pochází z aktuálního řádku a druhý pochází z předchozího), jsou  $C_b$  a  $C_r$  vzorky získané interpolací 4:2:2 vzorků ze dvou po sobě následujících řádků. Tento 4:2:0 formát má zvláštní význam, neboť je vstupní formát použitý pro D2-MAC a MPEG-2 (MP @ ML) kódování.

SIF (source intermediate format) formát se získá tím, že půlí prostorové rozlišení v obou směrech, stejně jako časové rozlišení, který se stane 25 Hz pro 625 řádkové systémy a 29,97 Hz pro 525 řádkové systémy. Podle původního standardu je výsledné rozlišení:

- Rozlišení jasu:  $360 \times 288$  (625 řádků) nebo  $360 \times 240$  (525 řádků)
- Rozlišení chrominance:  $180 \times 144$  (625 řádků) nebo  $180 \times 120$  (525 řádků)

Horizontální rozlišení se získá filtrací a podvzorkováním vstupního signálu. Snížení rozlišení je dosaženo interpolací vzorků lichého a sudého políčka. Nebo je toho dosaženo

vyškrtnutím každého druhého vzorku. Získané rozlišení je základnou pro MPEG-1 kódování a je označováno jakostně za tzv. „VHS-like“ z hlediska rozlišení.

CIF (common intermediate format) je kompromis mezi evropským a americkým SIF formátem. Prostorové rozlišení je převzato z 625 řádkového SIF modelu ( $360 \times 288$ ) a časové rozlišení je z 525 řádků stejného modelu (29,97 Hz). Tento formát se nejvíce využívá v telekonferenčních systémech.

Je zřejmé, že bit-rate v řádu 200 Mb/s, jak je požadováno podle 4:2:2 formátu, nelze použít pro přímé vysílání koncovým uživatelům. Potřebná šíře pásma pro takovýto signál by zabírala pásmo 40 MHz s 64-QAM modulací (6 bitů / symbol) při použití kabelového přenosu, nebo 135 MHz s QPSK modulací (2 bity / symbol) pro satelit. To představuje 5-6 krát větší šíři pásma potřebnou pro přenos analogového PAL nebo SECAM signálu. To by výsledný signál neobsahoval ani žádný algoritmus pro korekci chyb. Pro překonání těchto problémů se šířkou pásma využíváme kompresní algoritmy. Základní kompresní algoritmy se využívali již před rokem 1980 v oblasti tvorby profesionálního videa. Při jejich použití bylo možné snížit bit-rate na hodnotu 34 Mb/s, ale i to je stále příliš vysoká hodnota pro spotřebitelské aplikace. Navíc nebylo možné využívat výhody z hlediska kapacity oproti stávajícímu analogovému vysílání. Nejdříve v roce 1980 vznikl první hybridní standard D2-MAC, který kombinoval analogové video a digitální zvuk. Nicméně tento hybridní standard nedostal příliš prostoru pro finální využití a velmi rychlý pokrok kompresních technik a technologii integrovaných obvodů v druhé polovině roku 1980 umožnil první pokusy s plně digitálním televizním vysíláním.

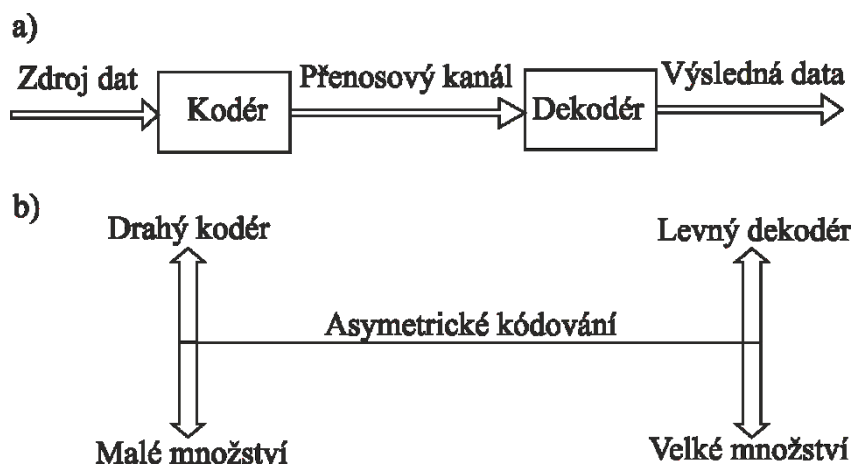
Toto jsou základní myšlenky a postupy pro převod analogového signálu na diskrétní digitální signál. Ovšem jak již bylo zmíněno výše, takto získaný digitální signál je zcela mimo možnosti přenosových kanálů. Hlavním nedostatkem, který tomu zabraňuje je příliš vysoký bit-rate a tudíž velká náročnost na šířku přenosového pásma. Pro snížení těchto požadavků a následné umožnění digitálního vysílání vznikly kompresní metody pro audio i video složky. Tyto metody jsou stále zdokonalovány a umožnili nám několikanásobně snížit výsledný bit-rate signálu což nám dává větší prostor pro využití dalších služeb. Ty nejzákladnější budou zmíněny v následující části.

### 3.5 Komprese digitálního záznamu

Komprese umožňuje stejné (nebo téměř stejné) informace interpretovat pomocí menší kvantity dat. Existuje několik důvodů, proč jsou kompresní techniky tolik populární:

- Komprese umožňuje miniaturizaci, s méně daty na uchování získáme stejný časový úsek nahrávky.
- S menším počtem údajů na zaznamenání je možné využít úložné zařízení pro více dat.
- V přenosové soustavě, komprese umožňuje snížení šířky pásma.

Základní princip kompresních technik je sumarizována na obrázku 3.10. Jak je názorně předvedeno (část obrázku 3.10a) tak datový tok je redukován u zdroje pomocí kompresoru. Data v kompresované podobě jsou poté přepravena přes komunikační kanál a vrácena do původního stavu pomocí expandéru. Poměr mezi počátečním datovým tokem a datovým tokem přenosového kanálu je označován jako faktor komprese nebo zisk kódování. Při práci s videem jsou často prvky kompresor a expandér nazývány kodér a dekodér a jejím spojením vzniká kodek. Případ, kdy je kodér složitější systém, než dekodér je nazýván asymetrické kódování (obrázek 3.10b). Kodér v tomto případě ovládá několik různě složitých algoritmů, zatímco dekodér provádí pevné akce. To je výhodné v aplikacích, jako je vysílání, kdy počet drahých komplexních kodérů je malý, ale počet jednoduchých nenákladných dekodérů je velký (je obsažen u každého klienta).



Obrázek 3.10 základní schéma komprese signálu

Přestože využívání digitálních signálů je relativně nové, pojem komprese se využíval již od začátků černobílého televizního vysílání. Jedna z nejstarších kompresních technik je prokládaný obraz, který byl použit v analogové televizi od samého začátku jako způsob snížení šířky pásma. Jako další příklady lze uvést převod barevných



signálů (R,G,B) na rozdílové signály (Y, C<sub>b</sub>, C<sub>r</sub>), nebo vysílání barevného signálu ve stejném pásmu jako černobílý signál (PAL, NTSC, SECAM jsou kompresní schémata analogového signálu). Při vzorkování je vzorkovací frekvence a počet bitů na každý vzorek konstantní. Nicméně informační míra skutečného signálu se během jeho průběhu liší. U všech skutečných signálů je část signálu zřejmá, z toho co předcházelo nebo co může přijít později a vhodný přijímač dokáže předvídat tyto části. Pokud je touto vlastností přijímač vybaven, lze při vysílání vynechat části zprávy s vědomím, že přijímač má schopnost tyto části znovu vytvořit. Rozdíl mezi informační mírou signálu a konečnou hodnotou přenosové rychlosti po jeho vzorkování je známý jako redundance. Kompresní systémy jsou navrženy tak, aby co nejvíce eliminovaly redundanci v rámci možností daného systému.

Těchto kompresních technik je velké množství a jejich použití je velmi ovlivněno odvětvím. Pro další postup se budeme soustředit hlavně na kompresi digitálních obrazových dat. Nejdříve je však třeba zmínit několik základních principů tohoto procesu.

Mezi základní principy komprese dat patří RLC (Run length coding) algoritmus. Tento algoritmus vyžadoval, aby jeho zdroj informace poskytoval zprávu, která se skládá z po sobě se opakujících prvků (čím více opakování, tím lepších výsledků komprese se s pomocí tohoto algoritmu dosahuje). Výsledný kód je jeden daný prvek a počet jeho opakování. Jednoduchý příklad je například tento řetězec: BBBBCC jehož výsledné kódování má podobu: 7B2C. Tento typ kódování neztrácí žádné informace (bezztrátový lossless) a je tudíž reverzibilní. Tato metoda je běžně využívána pro kompresi souborů na disku. Další využití našel tento algoritmus u faxových přístrojů. V grafice se využívá při komprimaci rastrových dat v souborech typu PCX.

### 3.5.1 Kódování s proměnnou délkou

Kódování s proměnnou délkou slova (Variable length coding – VLC) nebo jak bývá někde označováno entropické kódování. Je základní metoda komprese pro snížení bit-rate výsledného signálu. Její princip je postaven na faktu, že pravděpodobnost výskytu elementu, který je generován zdrojem signálu a kódován pomocí  $n$  bitů není stejná a pro všechny elementy existuje  $2^n$  různých možností. To znamená, že za účelem snížení bit-rate potřebné pro přenos sekvence generované zdrojem je výhodné, aby se nejčastěji vyskytující prvky kódovali pomocí méně než  $n$  bitů a naopak prvky, které se vyskytují málo kódovat pomocí více bitů. Toto má za následek průměrnou délkou, která je menší než

pevnou délkou  $n$  bitů. Nicméně je-li třeba provést tuto metodu v reálném čase musíme nutně znát pravděpodobnost výskytu každého elementu ve zdrojovém signálu. Tuto znalost máme například ve výskytu písmen v abecedě daného jazyka, to umožňuje tento model kódování využívat při kompresi textových dokumentů. Je dokázáno, že informační hodnota  $Q$ , kterou přenáší element je rovna logaritmu převrácené hodnoty jeho pravděpodobnostního výskytu o základu dva:

$$Q = \log_2(1/p)$$

Výsledná suma informační hodnoty všech elementů generovaných zdrojem násobena jejich pravděpodobnostním výskytem je nazývána entropie  $H$  zdroje:

$$H = \sum_i p_i \log_2(1/p_i)$$

Cílem proměnného kódování (VLC) je co nejvíce se přiblížit tak zvanému entropickému bit-rate (ten odpovídá průměrnému počtu bitů na element co nejbližší k entropii zdroje signálu). Nejznámější metodou pro kódování s proměnnou délkou je Huffmanův algoritmus, který předpokládá předchozí znalost pravděpodobnosti výskytu každého elementu. Tento algoritmus pracuje následujícím způsobem:

- Každý element je klasifikován v pořadí podle klesající pravděpodobnosti svého výskytu tím vytvoří "tabulku výskytu" (levá část obr. 3.11).
- Dva elementy s nejnižší pravděpodobností jsou poté seskupeny do jednoho společného elementu, jeho pravděpodobnost je součtem obou pravděpodobností nejnižších elementů. Výsledek zařadíme podle velikosti mezi ostatní pravděpodobnosti – tím redukuje počet elementů o jeden.
- Sčítání pravděpodobností provádíme tak dlouho, až dojdeme k součtu 1 (prvek s nejvyšší pravděpodobností + součet zbylých prvků)
- Posledním dvěma znakům přiřadíme bitové hodnoty 1 (prvku s nejvyšší pravděpodobností výskytu) a 0 pro prvek, který vznikl součtem.
- Zpětným postupem přiřazujeme jednotlivým sčítancům vždy hodnoty 1 a 0, dokud nepřičítáme kódové znaky všem zdrojovým znakům.
- Výsledný kód znaku je sestaven ze znaků 1 a 0 podle toho, jak se daný znak seskupoval s ostatními znaky.

Pro lepší názornost je tento algoritmus předveden na jednoduchém příkladu. Zdroj generoval osm elementů s následujícími pravděpodobnostmi výskytu:  $p(A) = 40\%$ ,  $p(B) = 5\%$ ,  $p(C) = 20\%$ ,  $p(D) = 2\%$ ,  $p(E) = 10\%$ ,  $p(F) = 3\%$ ,  $p(G) = 14\%$ ,  $p(H) = 6\%$ .

Element	$p$ (%)	Huffmannův algoritmus (xx) suma pravděpodobností dvou elementů	Kód
A	40		0
C	20		111
G	14		101
E	10		100
H	06		1100
B	05		11011
F	03		110101
D	02		110100

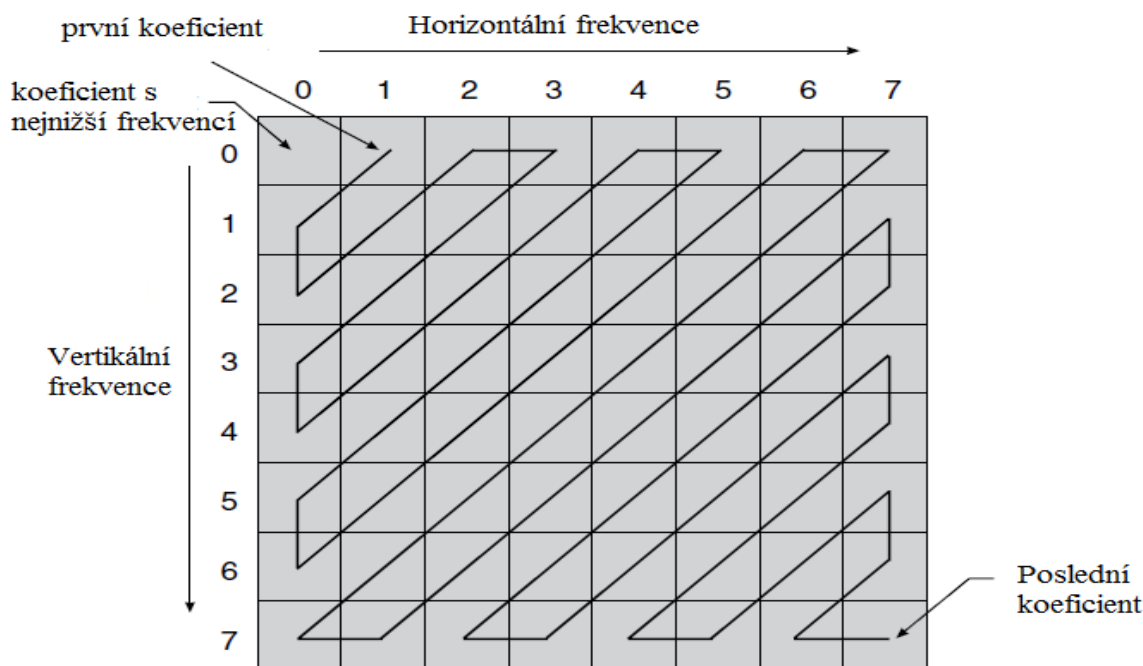
Obrázek 3.11 Huffmannův algoritmus Zdroj:(5)

V tomto příkladu je průměrná délka slova po kódování (součet součinů počtu bitů z každého prvku a jeho pravděpodobnost) 2,51 bitů, přičemž entropie  $H$  je rovna 2,44 bitů, což je pouze o 3% více než optimální. V tomto příkladu s osmi elementy by čistě binární kódování vyžadovalo 3 bity na element, takže kompresní faktor dosažený s pomocí tohoto kódování je  $\eta = 2,51/3 = 0,836$ . Tento typ kódování je reverzibilní (neztrácí informace) a je využíván ke kompresi obrazových signálů jako doplněk k jiným metodám.

### 3.5.2 Diskrétní kosinová transformace

Diskrétní kosinová transformace (Discrete cosine transform DCT) je zvláštní případ Fourierovy transformace aplikována na vzorky signálu, které rozkládá periodický signál do série sinus a kosinus harmonických funkcí. Signál může pak být reprezentován řadou koeficientů každé z těchto funkcí. Tato transformace je založena na složitém matematickém aparátu, nám pouze stačí, že za určitých podmínek DCT rozkládá signál pouze do jedné řady harmonických funkcí kosinus ve fázi s původním signálem. Toto snižuje o polovinu počet koeficientů potřebných pro popis signálu ve srovnání s Fourierovou transformací. V případě obrazového záznamu, originální signál je vzorkován dvourozměrným signálem a tudíž aplikujeme dvourozměrné DCT (horizontální

a vertikální), která bude transformovat jas (nebo chrominanci) diskretních hodnot v bloku  $N \times N$  koeficientů do jiného bloku (nebo matice) koeficientů  $n \times n$ , které reprezentují amplitudy kosinových funkcí. Za účelem snížení složitosti obvodů a potřebné doby pro zpracování je volený blok o velikosti  $8 \times 8$  pixelů a výsledek DCT transformace je matice  $8 \times 8$  koeficientů. DCT má pozoruhodnou vlastnost soustředit energie z bloku na relativně nízkém počtu koeficientů, které se nachází v levém horním rohu výsledné matice. Kromě toho jsou tyto koeficienty nezávisle na sobě (nekorelované). Až do tohoto bodu je tato transformace bezztrátová, DCT proces je reverzibilní. Avšak vzhledem k specifickým nedokonalostem lidského vidění (snížená citlivost na vysoké frekvence) je možné, a to bez viditelného zhoršení kvality obrazu, odstranit hodnoty pod určitou prahovou frekvencí. Hodnoty jsou nahrazeny 0, tato část procesu již není reverzibilní, protože některé údaje jsou záměrně ztraceny. Pro získání sériové řady (bitstreamu) bitových hodnot výsledné matice koeficientů je využívána metoda „cik-cak“ čtení koeficientů (obr. 3.12).



Obrázek 3.12 cik-cak proces čtení koeficientů matice Zdroj:(5)

Všechny tyto zmíněné metody jsou používány pro kompresi fixních obrázků. První aplikace zaměřené na snížení množství informací potřebných pro kódování pevných obrázků se objevily v roce 1980 a za prvotní cíl si kladly významné snížení velikosti grafických souborů pro jejich snadnější přenášení. V roce 1990, ISO (International Standards Organization) vytvořila mezinárodní pracovní skupinu s názvem JPEG (Joint

Photographic Experts Group), která měla za úkol vytvořit mezinárodní standard pro kompresi obrazových informací v různých rozlišeních Y, Cr, Cb, nebo RGB formátu. Výsledný mezinárodní standard (široce známý jako JPEG) byl publikován v roce 1993 v rámci

reference ISO / IEC 10918. Na základech tohoto standardu funguje kompresní formát MPEG. Kompresi JPEG probíhá v šesti krocích:

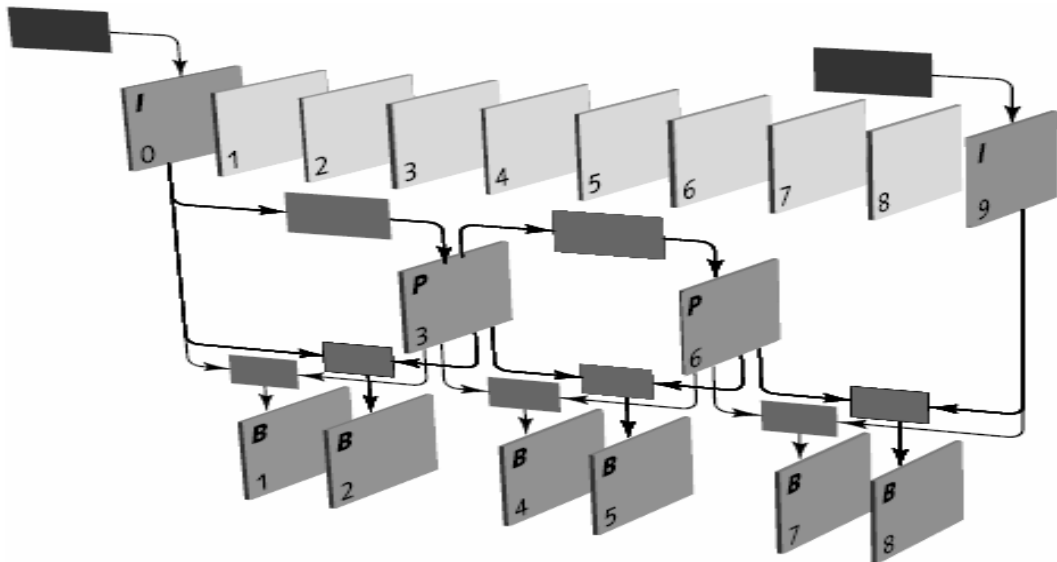
1. Rozklad obrazu do bloků. Obrázek je rozdělen na elementární bloky  $8 \times 8$  pixelů, což představuje pro 4:2:2 CCIR-601 obrázek celkový počet 6480 bloků jasových složek (Y) a 3240 bloky pro každou  $C_r$  a  $C_b$  složku. Každý blok je tvořen 64 čísly v rozsahu od 0 do 255 (při digitalizování na 8 bitů) pro jas a -128 až +127 pro barevnost signály  $C_r$  a  $C_b$ .
2. Diskrétní kosinová transformace, pomocí které jsou generovány  $8 \times 8$  matice koeficientů. Pokud je blok jednotného jasu nebo barvy jediný nenulový koeficient bude na pozici 0,0 (obr. 3.12) a pouze tato hodnota bude dále přenášena (bývá označován jako DC koeficient).
3. Ohraničení a kvantování. Tento krok bere v úvahu specifika lidského vnímání, zejména skutečnost, že oko nerozlišuje jemné detaily pod určitou hranici jasu. V tomto kroku jsou nulovány koeficienty pod danou frekvenční hranicí kvantování ostatních se snižující se přesností při rostoucí frekvenci.
4. Provede se cik-cak metoda čtení koeficientů, s výjimkou koeficientu DC, který se zpracovává samostatně. Zbýlých 63 koeficientů je zpracováno do sériového toku dat pro další zpracování.
5. RLC algoritmus. Pro co nejlepší využití dlouhých řad nul, které vznikly po 3. a 4. kroku se počet výskytů nuly kóduje pomocí RLC algoritmu. Tímto dochází k velké redukci objemu informací pro přenos.
6. Kódování s proměnnou délkou slova (Huffmannovo kódování). Tento poslední krok používá převodní tabulku pro kódování nejčastěji se vyskytující hodnoty s krátkou délkou a méně často vyskytujícími se hodnotami s delší délkou. Tyto poslední dva kroky (RLC a VLC) samy o sobě zajistit kompresní faktor v rozmezí 2 a 3.

Když doba komprese / dekomprese není prvořadá všechny tyto kroky lze provést výhradně pomocí softwarového řešení.

V roce 1990 potřeba uchovávat a reprodukovat pohyblivé obrázky doplněné o zvuk v digitální podobě pro různé multimediální aplikace vedla ISO k vytvoření skupiny odborníků podél stejné linie jako JPEG. S členy pocházející z mnoha oborů (počítačový průmysl, telekomunikace, spotřební elektronika, polovodiče, univerzity, atd.), přičemž tato skupina byla nazývána MPEG (Motion Pictures Experts Group).

Video kódování používá stejné principy jako JPEG, nové techniky jsou přidávány ve formě rozšiřujících nástrojů. Tato technika využívá silnou korelaci mezi po sobě následujícími obrázky, aby podstatně snížila množství informací potřebných pro přenos nebo uložení. Tyto techniky známé jako "predikce s pohybovou kompenzací" se snaží predikovat obsah obrázků z následných i předchozích a minimalizovat přídavnou informační hodnotu, která reprezentuje rozdíly mezi nimi. To vyžaduje, aby v MPEG kodéru byl přítomen blok pro odhad pohybu. Tento prvek je velice komplexní a výrazně určuje výkon kodéru, naštěstí tato funkce není požadována na straně dekodéru. Při dekódování video záznamu je často nutné aby probíhalo v reálném čase. Dekódování tudíž musí mít konstantní zpoždění díky zpracování signálu. Praktická realizace kodéru je kompromis mezi rychlostí, kompresním poměrem, složitostí a kvalitou obrazu. V MPEG, počáteční, soběstačný obrázek poskytuje základní hodnotu – tím se vytvoří kotevní obrázek. Následující obrázky pak mohou být kódovány jen jako rozdíly pixelů oproti kotevnímu obrázku. Jakmile dekodér obdrží kotevní obrázek, vytvoří odhad pro následující obrázky. Tento odhad je přesnější, pokud kodér přenáší předpověď chyb. Tento režim je efektivní za předpokladu, že predikce chyby mohou být kódovány více kompaktně než surové obrazové informace. Pomocí těchto chyb je rekonstruován obraz na straně dekodéru. Video sekvence jsou rozděleny do po sobě jdoucích skupin obrázků (označované zkratkou GOPs – groups of pictures). První snímek v každé GOP skupině je kódován nezávisle na ostatních snímcích pomocí JPEG algoritmu, označuje se jako klíčový snímek nebo I-snímek. Po rekonstrukci se z I-snímku stává kotevní obraz, který slouží pro predikci sousedních obrázků. Příklad GOP skupiny snímků je na obr. 4.4. P-snímek obsahuje prvky, které jsou předpokládány z posledního kotevního obrazu. Jakmile je P-snímek zrekonstruován, dojde k jeho zobrazení a kromě toho se stane novým kotevním obrazem pro predikci dalšího snímku. MPEG využívá i nepovinný třetí prvek označovaný jako B-snímek. Prvky B-snímku mohou být obousměrně předpovídané průměrnou pohybovou kompenzací prvků z minulého kotevního obrazu a pohybovou

kompensací prvků z budoucího kotevního obrazu. B-snímek slouží jen pro rekonstrukci a zobrazení, na základě informací z B-snímku nedochází k žádné predikci dalších snímků. B-snímky přináší podstatný nárůst účinnost komprese oproti kódování jen s I-a P-snímky.



Obrázek 3.13 MPEG hierarchie snímků

Jednoduchý kodér obvykle produkuje datový tok, který má pevný plán I-, P-a B-snímků. Typická GOP struktura je označována IBBPBBPBBPBBPBB. Při 30 snímcích za sekundu, jsou tam dvě takové GOP struktury. Pravidelná GOP struktura je popsána dvojicí celých čísel  $n$  a  $m$ ,  $n$  je počet snímků z jednoho I-snímku (včetně) k dalšímu (mimo) a  $m$  je počet obrázků z jednoho kotevního obrázku (včetně) na další. Obrázek 4.4 ukazuje pravidelnou GOP strukturu I-snímkový interval  $n = 9$  a interval kotevních obrázků  $m = 3$ .  $M = 3$  také ukazuje na dva B-snímky mezi kotevními obrázky. Kódování B-snímků v GOP závisí na P- a I-snímcích, kódování P-snímku závisí na dřívějších P- a I-snímcích. Vzhledem k této vzájemné závislosti MPEG sekvence nemůže být upravena, kromě přímého zásahu do GOP hierarchie. Jediná možnost je sekvenci dekódovat, upravit a následně kódovat zpět, díky tomu je MPEG velmi vhodný pro distribuci.

Prvním výsledkem práce této skupiny je mezinárodní norma ISO / IEC 11172, široce známá jako MPEG-1. Hlavním cílem bylo umožnit ukládání na CD-ROM nebo CD-I (single speed v té době) video a stereo zvuk, což znamenalo maximální přenosovou rychlost 1,5 Mb/s. Vzhledem k velmi vysokému cílovému kompresnímu poměru této aplikace (více než 100 ve srovnání s původním 4:2:2 / CCIR 601), došlo ke snížení

rozlišení. Zvoleným formátem pro obrázky se stal formát SIF ( $360 \times 288 @ 25 \text{ Hz}$  nebo  $360 \times 240 @ 30 \text{ Hz}$  v závislosti na původním video standardu), což odpovídá zhruba na rozlišení spotřebitelské videorekordéru. MPEG-1 standard se skládá ze tří odlišných částí, zveřejněné v listopadu 1992:

- MPEG-1 (ISO / IEC 11172-1): definuje MPEG-1 multiplex
- MPEG-1 video (ISO / IEC 13818-2): definuje MPEG-2 video kódování
- MPEG-1 audio (ISO / IEC 13818-3): definuje MPEG-2 audio kódování

Kvalita obrazu MPEG-1 není vhodná k vysílání, protože neobsahovala kódování prokládaného obrazu nebo evoluci směrem k HDTV. Skupina MPEG tedy pracovala na definici flexibilního standardu optimalizováno pro rozhlasové a televizní vysílání. Tato mezinárodní norma je známá jako MPEG-2. Jako jeho předchůdce, je MPEG-2 specifikován ve třech odlišných částech, publikován byl v listopadu 1994:

- MPEG-2 (ISO / IEC 13818-1): definuje MPEG-2 kanál
- MPEG-2 video (ISO / IEC 13818-2): definuje MPEG-2 video kódování
- MPEG-2 audio (ISO / IEC 13818-3): definuje MPEG-2 audio kódování

MPEG-2 je zdrojové kódování, které je používáno v Evropě pro DVB (Digital Video Broadcasting) televizní vysílání. MPEG-2 byl vyvinut s cílem rozšířit MPEG-1 o prokládané skenování, větší rozlišení a umožnit vyšší rychlost přenosu dat než 1,5 Mb/s. To bylo vše splněno a standard MPEG-2 se stal velice využívaným kompresním nástrojem. Know how je velice rozšířené v oblasti průmyslu tak i geograficky. Profesionální kodéry, integrované obvody pro dekodéry apod. jsou snadno dostupné od mnoha výrobců. MPEG-2 ovládá všechny prostředky jako MPEG-1 a přidává další vylepšení, dekodér MPEG-2 dokáže dekódovat všechny MPEG-1 datové přenosy.

MPEG-2 standard má čtyři úrovně, které definují rozlišení obrazu a pět profilů, které definují sady komprimačních nástrojů. Jisté kombinace úrovní a profilů nejsou používány. Čtyři úrovně dle rozlišení jsou definovány:

- „low level“ nejnižší úroveň představuje rozlišení použité u MPEG-1 (až  $360 \times 288$ )
- „main level“ střední úroveň koresponduje se standardem 4:2:0 (až po  $720 \times 576$ )
- „high-1440 level“ vyšší úroveň je zaměřena na HDTV (rozlišení až  $1440 \times 1152$ )
- „high level“ optimalizováno pro široké obrazovky HDTV (rozlišení až  $1920 \times 1152$ )

Čtyři profily jsou následující:



- „simple profile“ využívá si při potřebě zjednodušit kodér a dekodér na úkor vyššího bit-rate. Nevyužívá obousměrnou predikci snímků (B-snímek)
- „main profile“ je nejlepší kompromis. Využívá všechny tři typy snímků (I, P, B), ale má komplexnější kodér a dekodér. Pracuje ve formátu 4:2:0. Jde o základní profil používaný dodnes v DVB vysílání.
- „4:2:2 profile“ oproti main profilu se liší jen formátem 4:2:2 a vyšší maximální rychlostí (50 Mb/s). Využívá se ve studiových aplikacích, kde se využívá i možnost kódovat pouze I-snímky. To umožňuje snadné režijní zpracování signálu.
- „high profile“ poskytuje všechny zmíněné vlastnosti nižších profilů. Pracuje v obou formátech (4:2:2 i 4:2:0). Je používán hlavně pro HDTV.

Mezi úrovněmi platí sestupné pravidlo kompatibility. Dekodér s danou úrovní je schopen dekódovat všechny nižší, ale ne vyšší úrovně.

MPEG-3 byl vyvíjen speciálně pro kompresi HDTV signálu, ale jeho vývoj byl zastaven, jelikož MPEG-2 v high profilu zcela postačovalo praktickému využití. Standard byl sloučen s MPEG-2.

Toto jsou základní principy komprese digitálního signálu a nejrozšířenější kompresní standardy MPEG. Celá teoretická část mapuje vývoj od počátku televizního vysílání až po jeho přechod na digitální podobu. Tento vývoj velice ovlivnil hlavně koncové uživatele, například v roce 2000 většina spotřebitelů přijímala analogový televizní signál. Tento signál bylo možné zaznamenat na VHS video pásku pro následnou reprodukci. Video kamery určené pro konzumní spotřebitele využívali záznamu na pásku a domácí video většinou zůstávalo v domácnosti. Připojení k internetu bylo velice pomalé, realizované pomocí vytáčeného připojení přes telefonní modem. Digitalizace analogového signálu spolu s ostatními technologickými pokroky tento stav za deset let dokázaly posunout o velký krok kupředu. V roce 2010 většina spotřebitelů přijímá digitální televizní signál pomocí pozemního vysílání, kabelové přípojky, satelitu nebo přes internet s daleko většími benefity a možností výběru. Analogové televizní vysílání je v některých zemích kompletně zrušeno. DVD se stalo hlavním médiem pro koncové přehrávání a zaznamenávání filmů. Digitální media umožňují sledovat filmy přes internet nebo je přímo stahovat do počítače (legálně i nelegálně). Domácí připojení k internetu několikanásobně zrychlilo a umožnilo široké sdílení video nahrávek pořízených pomocí

digitálních videokamer, tyto nahrávky jsou přístupné lidem z celého světa v řádu několika sekund. Toto vše pomohlo k rozšíření formátu vysokého rozlišení nejen na úrovni studiového využití, ale i do domácností.

#### 4. Analytická část

High Definition (HD) odkazuje na rodinu video a zvukových formátů vysoké kvality. Základem tomu všemu se stal formát televize ve vysokém rozlišení.

##### 4.1 High Definition Television

První vědecké pokusy s televizním signálem ve vysokém rozlišení probíhaly v japonských laboratořích státní televize NHK již od 60. let 20. století. Výsledkem jejich vývoje byl analogový signál s 1125 řádky. Evropské televizní stanice přišli s vlastním systémem HD-Mac, který poskytoval analogový signál pro video a digitální audio stopu. V USA se rozhodli vyvíjet vlastní zcela digitální formát. Všechny tyto signály byly testovány na olympijských hrách širokou veřejností. Muse formát byl testován v roce 1988 na hrách v Soulu, HD-MAC byl vyzkoušen o čtyři roky později na hrách v Barceloně a Americký standard měl svojí premiéru v roce 1996 v Atlantě. Pouze plně digitální standard vyvinutý v USA měl budoucnost. Japonsko a Korea vypustily satelit, který poskytoval vysílání HDTV ve formátu Muse deset let, poté byl odstaven. HD-MAC zažil na olympijských hrách v roce 1992 svojí premiéru i derniéru zároveň, formát byl odsunut a vývoj pozastaven. Evropské televizní společnosti si uvědomovali výhody digitálního vysílání, ale upřednostnili šíření standardního rozlišení, ve formátu PAL. Tímto krokem zvolili kvantitu před kvalitou, jelikož v šířce pásma, ve kterém lze přenést, až pět programů ve formátu PAL, šlo přenést jeden program v HD rozlišení. Evropa tak zůstala k formátu HDTV zády až do roku 2003 kdy belgická televizní stanice Euro1080 promítala fotbalový zápas kvalifikace na ME mezi Dánskem a Norskem v HDTV kvalitě ve dvou kinech. Ve vývoji po roce 1992 pokračovali pouze Spojené státy.

Ve Spojených státech byl původně formát ve vysokém rozlišení definován jako jakýkoli video formát, který měl více než 720 (horizontálních) řádků vertikálního rozlišení. ATSC (Advanced Television Systems Committee), která vytvořila normy pro digitální televizi, definovala nejen vertikální rozlišení, ale také další aspekty obrazu a velikosti HD formátu. Definovány jsou dvě velikosti obrazu ve vysokém rozlišení: 720 (horizontální) na 1280 (vertikální) pixelů a 1080 (horizontální) na 1920 (vertikální) pixelů. Spolu s těmito dvěma velikostmi došlo také k výběru snímkových frekvencí: 23,98, 24, 29,97, 30, 59,94 a 60 snímků za sekundu.

První digitální HDTV systém, který byl standardizován v roce 1998, byl americký ATSC systém, založený na kompresním standardu MPEG-2. Skládal se ze dvou formátů

vysokého rozlišení: 720p60 (1280 × 720, progresivní skenování, 60 snímků za sekundu) a 1080i30 (1920 × 1080, prokládané skenování, 30 snímků za sekundu). Tato dvě rozlišení se stala standardy pro digitální televizi ve vysokém rozlišení. Evropská varianta se později lišila pouze obnovovací frekvencí 50 a 25 snímků / sekundu pro 720 progresivní a 1080 prokládané.

Základními parametry pro přijímač na zajištění kompatibility s HDTV vysíláním jsou:

- Obrazovka s minimálním počtem 720 řádků v širokoúhlém formátu 16:9
- Jeden analogový HD vstup (YP<sub>B</sub>P<sub>R</sub>)
- Jeden digitální HD vstup (DVI nebo HDMI) vybavený HDCP ochranou obsahu
- Schopnost přijímat 720p a 1080i formáty s frekvencí 50 Hz nebo 60 Hz na všech HD vstupech

Rozvoj HDTV byl výrazně urychlen s dostupností nových, účinnějších kompresních standardů než je MPEG-2 (MPEG-4.10/H.264, WM9/VC1). Vysílání HDTV bylo zahájeno na konci roku 2005 stanicí Premiere - Německou satelitní placenou televizí. Ostatní velcí evropští provozovatelé placených stanic (BSkyB, Canal +, TPS, Sky Italia) začaly nabízet své HDTV služby ve druhém čtvrtletí roku 2006. Bylo to ve stejné době jako mistrovství světa ve fotbale. Neplacené HDTV vysílání začaly o něco později ve druhé polovině roku 2006. Hlavní stanice, které poskytly neplacené vysílání, jako první jsou BBC, ARD / ZDF. V České republice začalo HDTV vysílání výrazně později. Jako hlavní důvod lze uvést nevybavenost domácností přijímačem s alespoň 720 řádky, nedostatek materiálu ve vysokém rozlišení a počáteční neochota vysílacích stanic investovat do distribučních kanálů pro poskytnutí dostatečné šíře pásma. První experimenty provedla televize Nova na podzim 2007 a nabídla svůj hlavní vysílací program v HD kvalitě přes internetové vysílání. Česká televize provedla první experimenty v září 2009 a pravidelně začala vysílat v HD formátu od února 2010.

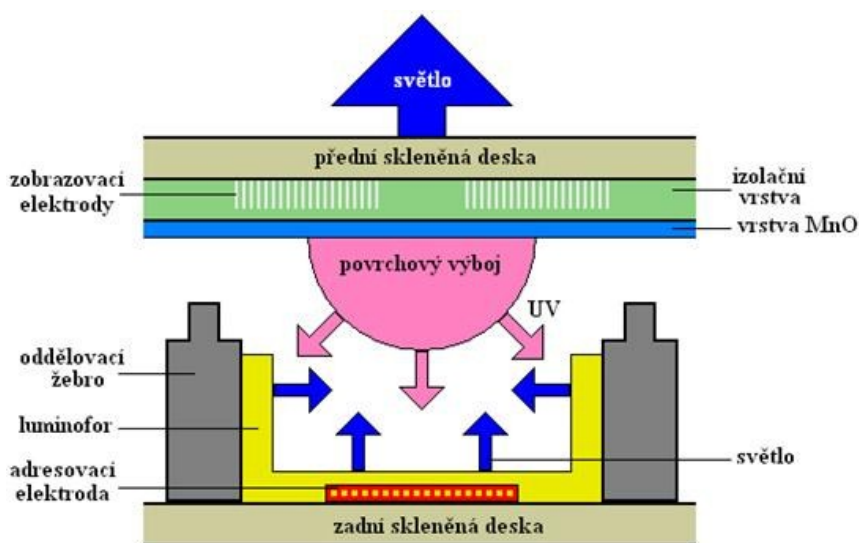
## 4.2 Zobrazovací prvky pro formát HD

Tato část práce je věnována zobrazovacím prvkům, které nám umožní sledovat video ve formátu vysokého rozlišení. Pro tento účel jsem vybral plazmové a LCD displeje, dle mého názoru se jedná o nejčtenější zástupce zobrazovacích prvků, které se využívají právě ve spojitosti s formátem vysokého rozlišení. Tyto dvě technologie hlavně u televizních přijímačů vystřídali CRT trubicové obrazovky. Nejdříve dojde k základnímu popisu činnosti obou technologií a poté k jejich vzájemnému srovnání.

### 4.2.1 Plazmová obrazovka

Základním principem činnosti plazmových obrazovek je ozáření fosforeskující látky ultrafialovým zářením, které vznikne při elektrickém výboji v mírně stlačeném plynu. Prakticky je toho docíleno tak, že obrazovka je složená z buněk, které mají podobu úzkého kanálku. Tyto buňky jsou umístěny jedna vedle druhé vždy po třech, jedna pro každou základní barvu RGB modelu. Jev, při kterém látka ozářená ultrafialovým zářením vydává viditelné světlo, se nazývá fotoluminiscence. Každá tato trojice buněk tvoří jeden pixel výsledného obrazu. Plyn, který je pod tlakem 70kPa v kanálku každé buňky je směsí vzácných plynů helia, xenonu a argonu. Průřez jednou buňkou plazmové obrazovky

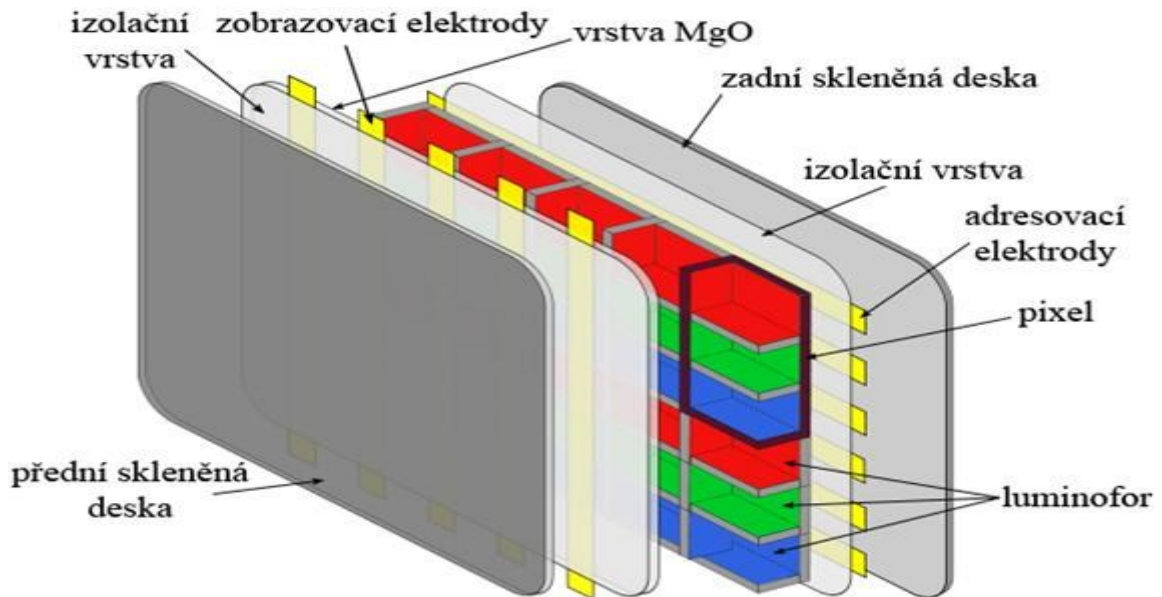
je zobrazen na obrázku 4.1. Každá buňka potřebuje dvě elektrody (zobrazovací a podpůrné) pro vznik výboje a následnou tvorbu UV záření. Tyto dvě elektrody jsou odděleny



Obrázek 4.1 průřez buňkou plazmové obrazovky

od buňky vrstvou oxidu hořečnatého (MgO). Každá buňka navíc vyžaduje adresovací elektrodu, která je umístěna kolmo na zobrazovací a podpůrné. Tato elektroda řídí přívod napětí k dané buňce – je často označována jako adresní elektroda. Mezi zobrazovací a podpůrnou elektrodou je přivedeno střídavé napětí 200 V. Tím dojde k počáteční ionizaci směsi plynu v buňce. K elektrickému výboji dochází, když je na adresovací elektrodě přivedeno napětí s přibližnou efektivní

hodnotou 50 V. Plyn je v excitovaném stavu, vzniká plazma. Během Ionizace plazmy přechází ionty na vyšší energetické hladiny a při následné deexcitaci vzniká UV záření. Toto záření dopadá na vrstvu luminoforu, kde se mění na viditelné světlo o vlnové délce odpovídající jednomu ze tří barev RGB modelu.



Obrázek 4.2 schéma plazmové obrazovky

Celkový průřez vrstvami plazmové obrazovky je znázorněn na obrázku 4.2. Plazmové obrazovky bývají označovány také zkratkou PDP (Plazma display panel).

#### 4.2.2 LCD obrazovka

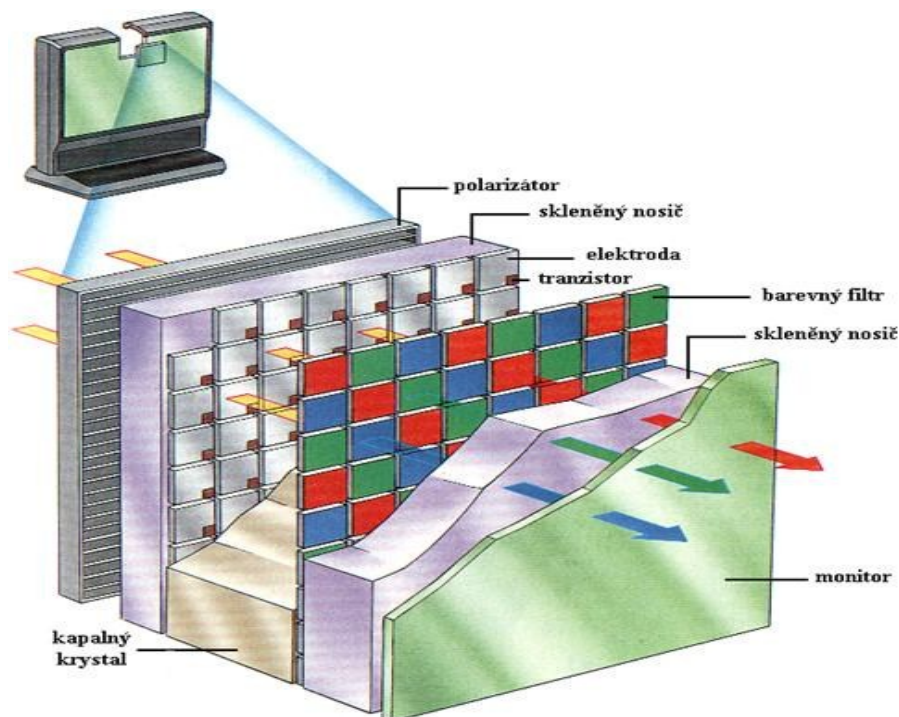
Zkratka LCD ukrývá výraz liquid crystal display ve volném překladu znamená displej z tekutých krystalů. Vývoj tohoto způsobu zobrazení začal již před 150 lety, kdy tři chemici (Mettenheimer, Virchow a Valentin) při zkoumání nervových vláken objevily látku myelin, která nervová vlákna pokrývá. Tato látka při vložení do vody vytvořila podivnou substanci. Tuto substanci později zkoumal Otto Lehmann s pomocí polarizačního mikroskopu a měření teploty zjistil, že látka při přechodu z kapalné do tuhé fáze vytvoří mezifázi. Tato mezifáze je označena jako tekutý krystal. V roce 1922 Georges Freidel vložil tekutý krystal do elektrického pole a zjistil tak, že krystal mění svoji orientaci podle orientace elektrického pole. V 70. letech 20. století došlo k výrobě prvních displejů založených na principu tekutého krystalu. Velké využití našel u kalkulaček a měřících zařízeních. Jednalo se primárně o nebarevné displeje. Teprve v 80. letech se začali vyvíjet desky, které byly schopné polarizovat světlo tak, aby v sousedních krystalech vznikala jiná barva světla.

Základním prvkem každého LCD displeje je zdroj světla. To je základní rozdíl oproti plazmové obrazovce, která sama světlo vytváří. LCD technologie světlo pouze ohýbá, mění, ale negeneruje. Základními bloky každého LCD displeje jsou tedy: zdroj světla, blok tekutého krystalu, polarizační filtr. Jeden pixel se skládá ze tří subpixelů (jeden pro každou barvu z modelu RGB). Zdroj světla na pozadí je neustále aktivní a podle napětí, které je přiváděné na blok tekutého krystalu, krystaly ovlivňují průchod tohoto světla. Teoreticky jsme schopni průchod zcela blokovat (černá barva), nechat ho projít (bílá barva) nebo pomocí napěťové úrovně pozměnit jeho intenzitu (vznik požadované barvy). Vrstva, která ovládá napětí a tudíž i jednotlivé subpixely je tvořena tenkou vrstvou tranzistorů a označuje se zkratkou TFT (Thin Film Transistor). Někdy bývá mylně touto zkratkou označována samotná technologie LCD displejů. U LCD obrazovek měříme nové parametry, které u CRT obrazovek neexistovaly. Mezi nejdůležitější patří doba odezvy, která udává za jaký časový úsek, je schopen pixel změnit stav ze zhasnutého, na plně rozsvícený a zase zpět na zhasnutý. Tato doba bývá uváděna v milisekundách. Čím nižší je tato doba, tím se snižuje pravděpodobnost výskytu degradace obrazu stíny za předměty při jejím pohybu. Technologie LCD je již dlouhou dobu ve vývoji a proto vzniklo několik různých modelů, které si našli své uplatnění.

Panely s technologií TN (Twisted nematic) jsou nejstarší LCD panely. Jejich hlavní výhodou byla rychlá odezva a nízké výrobní náklady. Krystaly jsou tvořeny molekulami obsahujícími uhlík s asymetrickou vazbou. Molekuly mají tvar spirály (označované jako cholesterická). V okamžiku kdy se tato spirála ocitne pod napětím, rozpadne se a zamezí tak průchodu světla. Tato technologie je využívána u levnějších monitorů a notebooků, nepoužívá se u televizních obrazovek.

Technologie IPS (in-plane switching) byla vyvinuta společností Hitachi a měla odstranit nedostatky panelů TN. Mezi hlavní cíle si kladla zlepšení barevného podání a lepší kontrast obrazu. Molekuly jsou u této technologie orientovány souběžně s polarizátory světla, tudíž v klidovém stavu, kdy není přivedeno napětí, nedochází k propuštění světla. Tuto technologii dále rozvíjelo několik výrobců, čímž dalo vzniknout odlišným derivátům. DD-IPS a ACE od společností IBM a Samsung neměly velký úspěch, ale model S-IPS od společností LG a Philips slaví velké úspěchy. Díky dobrému barevnému podání a rychlosti odezvy jsou tyto panely využívány pro monitory střední a vyšší třídy a televizní panely.

Technologie VA (označována též xVA, pro velkou míru modifikací) je postavena na myšlence orientovat molekuly vertikálně. Odtud vznikl i její název vertical alignment. Tento systém orientace krystalů vyvinula společnost Fujitsu. Hlavní myšlenka spočívala ve zkrácení doby odezvy díky tomu, že se molekuly otáčejí jen o 45°. U předchozích metod TN a IPS se vždy otáčejí o 90°. U základní technologie VA tento princip v praxi bohužel způsoboval velice nízké pozorovací úhly, a proto se základní specifikace prakticky nepoužívá. První vylepšení této metody poskytl sama společnost Fujitsu a mělo označení MVA (multi domain vertical alignment). Molekuly rozdělili do domén, které orientovali prostorově tak, aby docházelo k optické kompenzaci. Společnosti Samsung a Sony vytvořili vlastní modifikaci označenou jako S-PVA, která vyniká v barevném podání a má výrazně lepší pozorovací úhly. Tento typ matice se využívá u monitorů na grafické aplikace.



Obrázek 4.3 základní schéma LCD obrazovky

U LCD obrazovek rozhoduje velkým podílem také technologie podsvícení. Jak už bylo zmíněno LCD systém obrazovky negeneruje sám o sobě žádné světlo a pro svoji činnost vyžaduje světelný zdroj. Kvalita a umístění tohoto zdroje dokáže velice výrazně ovlivnit výslednou kvalitu zobrazení. Pro zdroj světla se nejdříve používali osvětlovací trubice. Trubice byly různě umístěné, u monitorů většinou v dvou párech nahoře a dole.



LCD televize mívají rovnoměrně rozmístěné vodorovné trubice po celé ploše obrazovky. Dvě nejvíce používané technologie zpracování trubic jsou:

- Cold cathode fluorescent lamp (CCFL) – uvnitř skleněné trubice, která je vybavena elektrodami na obou koncích je inertní plyn (argon, neon) s přísadkou malého množství rtuti. Po přivedení napětí začne plyn ionizovat a vyzařovat ultrafialové světlo. To při dopadu na vrstvu luminoforu, kterou je potažena vnitřní stěna trubice, se mění na viditelné světlo. Barva světla závisí na složení plynu uvnitř trubice a luminoforu. Trubice CCFL se používaly jako první zdroje světla u LCD obrazovek.
- External electrode fluorescent lamp (EEFL) – tento systém se liší od CCFL tím, že elektrody již nevedou dovnitř trubice, ale jsou umístěny na její vnější straně. Díky tomu jsou odstraněny problémy s možnou netěsností trubice a následným únikem plynu. Navíc vyžaduje menší množství rtuti. Mezi její hlavní výhody dále patří vyšší účinnost a generace méně tepla, což vedlo k menšímu opotřebení elektrod a luminoforu. Tato technologie se využívá hlavně u televizních obrazovek větších formátů (od 80 cm).

Podle [25] V dnešní době je podsvícení pomocí trubic výrazně vytlačováno technologií LED a s trubicemi se setkáme jen u starších, nebo velice levných modelů. Technologie LED měla v roce 2005 adresovat základní nedostatky, které obrazovky měly při použití katodových zářivek. Hlavně tedy šlo o úroveň jasu a kontrastu. LED diody lze totiž úplně zhasnout a tím docílit skutečné černé barvy. Toto u zářivek možné není. Další výhodou je elektrická úspora. LED diody jsou až o 40% úspornější než trubicové podsvícení a jejich životnost je až dvojnásobná. Posledním velkým plusem této technologie je možnost vyrábět daleko tenčí zobrazovací panely. Způsobů podsvícení je samozřejmě více. Rozlišujeme: RGB LED, Direct LED a Edge LED.

- RGB LED – LED diody jsou maticově rozmístěny po celé ploše panelu. Používají se čtyři samostatné diody sloučené do skupiny (červená, modrá a dvě zelené). Tato technologie podsvícení dosahuje většího barevného spektra (gamutu). Tuto technologii využívá firma Sony a Sharp ve svých modelech televizí.
- Direct LED – je obdobná metoda jako RGB, ale v matici jsou umístěny pouze bílé diody. Tím se snižuje barevné podání. Tuto technologii využívá hlavně společnost LG.
- Edge LED – diody jsou umístěny pouze na bočních stěnách panelu a světlo je rozváděno pomocí světlovodů s odraznými ploškami. Tato technologie ztrácí barevné

podání a nelze přímo vypínat určité diody pro získání lepší černé barvy. Diody svítí pořád. Hlavním přínosem této technologie jsou nízké výrobní náklady (diod je třeba výrazně méně pokud jsou jen po obvodu panelu a ne po celé ploše) a možnost vyrobit nejtenčí obrazovky. Tento systém využívá hlavně Samsung a LG.

#### 4.2.3 Porovnání LCD a PDP obrazovek

Na začátek je dobré zmínit, že technologie PDP obrazovek je zcela nevhodná pro výrobu monitorů k počítačům. Základním problémem je výrobní proces, který zatím neumožňuje výrobu buňky subpixelu o nižších rozměrech než 200  $\mu\text{m}$  a rozteč bodů je minimálně 0,3 mm. Tyto dva aspekty velice znesnadňují výrobu panelu s full HD rozlišením, který by měl menší úhlopříčku než 94 cm. Technologie LCD obrazovek tudíž ovládá segment monitorů a notebook displejů. Možné srovnání je tedy pouze u televizních obrazovek.

Výhody	LCD	PDP
	Jemnější rozlišení	Širší barevné spektrum
	Nižší spotřeba	Dobré pozorovací úhly
	Menší generování tepla	Vyšší kontrast
Nevýhody	Nepřirozené barvy (záleží na technologii podsvícení)	Vyšší hmotnost
	Slabý kontrast	Vyšší rozměry
		Vyšší spotřeba

*Tabulka 4.1 základní rozdíly mezi LCD a PDP obrazovkou*

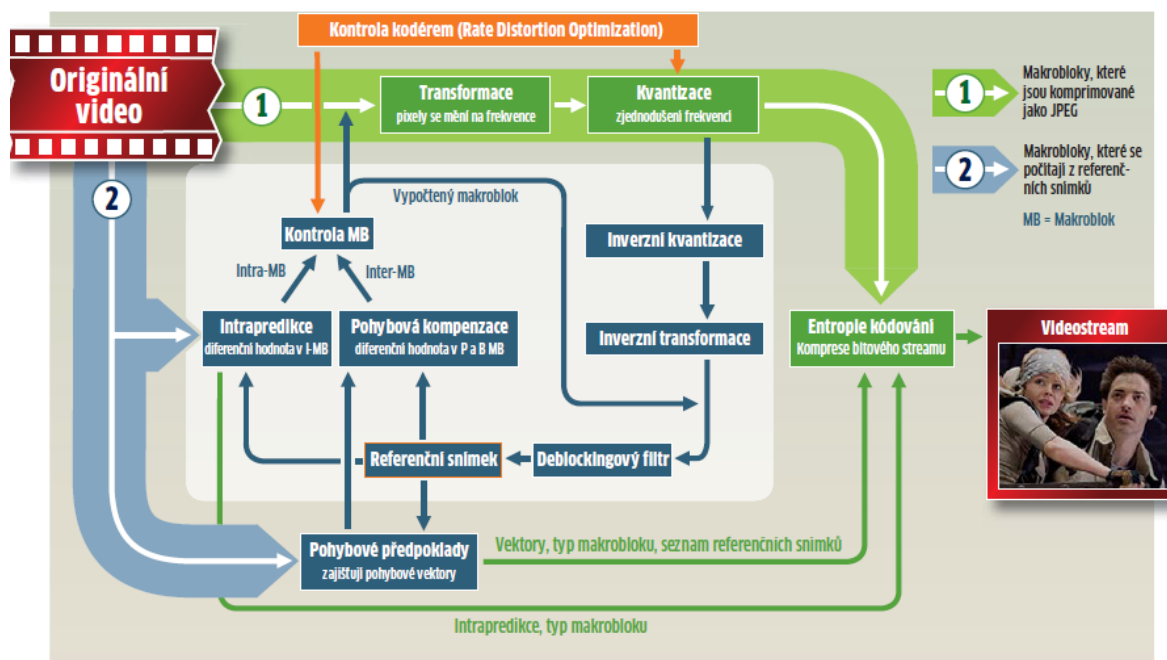
Obecně PDP obrazovky lépe zobrazují televizní signály a hlavně sportovní přenosy jsou na nich velice příjemným zážitkem. Plazmová televize má stále lepší odezvu než LCD. I když byl tento problém u LCD obrazovek řešen a doba odezvy se snížila na hodnoty kolem 3-5 ms. PDP technologie nabízí odezvu pod 0,1 ms. Pro LCD zase jasně hovoří nižší spotřeba a lepší širší využití například pro čtení textu na TV nebo používání herních konzolí.

#### 4.3 H.264 - Advance Video Coding

H.264 (také označovaný jako Advanced Video Coding) je standard pro kódování reprezentace vizuální informace. Norma především definuje dvě věci, kódovanou reprezentaci (nebo syntaxi), která popisuje vizuální data v komprimované podobě a metodu dekódování syntaxe pro zpětnou rekonstrukci vizuální informace. Vývoj tohoto standardu zahájila Video Coding Experts Group (VCEG), pracovní skupina Mezinárodní

telekomunikační unie (ITU-T), které působí podobným způsobem jako skupina MPEG a byla zodpovědná za sérii vizuálních telekomunikačních standardů. Závěrečné etapy rozvoje standardu H.264 byly provedeny společným úsilím obou skupin vývojářů (VCEG a MPEG), aby bylo možné zveřejnit výsledný standard pod společnou záštitou ISO / IEC (jako MPEG-4 Part 10) a ITU-T (H.264) v roce 2003. Díky tomu, že tento standard byl vyvíjen několika skupinami, získal několik označení: „H.264“, „MPEG-4 Part 10“ a „Advance video coding“. Tento standard pro kódování digitálního video záznamu se stal velice populární a vytlačuje kódování MPEG-2, které se původně používalo pro video ve vysokém rozlišení. Používá se kompresi nahrávek na Blu-ray discích a videokamery, které jsou schopny zaznamenávat ve vysokém rozlišení využívají H.264 také. Některé země přecházejí na H.264 i u vysílání DVB-T.

Dle [24, s 54] základní funkce vyplývá z formátu MPEG-2. H.264 také dělí snímky do skupin označovaných GOP. V každé z nich bývá 12 snímků. Snímky dále dělí na I, B a P-snímky tak jako to dělá i standard MPEG. První rozdíl nastává při zpracování bloků, které vznikají z GOP skupin. MPEG využívá diskrétní kosinovu transformaci zatímco H.264 využívá celočíselnou transformaci po blocích. Tím dosahuje přesnějšího frekvenčního rozdělení oproti DCT a dokáže vystihnout i značné detaily. Největší úspora datového prostoru přichází při kvantizaci. H.264 využívá kvantizační parametr, který má 51 možných stupňů. Navíc nejde o lineární škálu, jakou využívá MPEG-2, ale o logaritmickou stupnici. Nízké frekvence jsou tudíž mnohem jemnější než vysoké a to odpovídá potřebám lidského oka. H.264 také nepoužívá pevnou strukturu GOP jako je tomu u MPEG. B-snímek lze odvodit od jiného B-snímku a pohybové vektory, které nejvíce zvyšují kompresní poměr, lze použít i z jiných snímků a ne jen z jednoho konkrétního. Standard dále využívá dalších technik pro zlepšení komprese, lepší entropii kódování a dodatečnou kontrolu kvality. Stejně jako u MPEG-2 jsou tyto přídatné funkce rozděleny do úrovní a profilů. Mezi základní tři používané patří „baseline“, „main“ a „high“. Základní profil („baseline“) pracuje bez použití B-snímku a je optimalizován na elektroniku s méně výkonným hardware (mobilní telefony). Využívá se také pro webová videa. Hlavní profil („main“) využívá například YouTube a dokáže poskytnout až 720p rozlišení. Profil „high“ je pak využíván u Blu-ray disku a HD kamer. Jednoduché blokové schéma funkce kodéru H.264 je na obrázku 4.4.



Obrázek 4.4 blokové schéma funkce H.264 Zdroj:(24)

Správný videokodér by měl být schopen s co možná nejmenším datovým tokem vytvořit pro lidské oko co možná nejpřirozenější obraz. Lidské oko se chová nelineárně, popsat tedy jeho chování pomocí matematického modelu je velmi složité. Oko vnímá nízké frekvence a jemné barevné odstíny. Ze všech současných umí právě H.264 nejlépe vystihnout vnímání lidského oka.

H.264 je vynikající pro přenos bohatých interaktivních médií přes širokopásmové sítě a lze snadno integrovat do stávajících a budoucích sítí. Kódovací účinnost se zvyšuje nejméně na dvojnásobek předchozí MPEG normy. H.264 poskytuje dobré přenosové rychlosti, přizpůsobivost a rozšiřitelnost, která vyhovuje potřebám různých aplikací a umožňuje přidávání nových rozšíření, které mohou zlepšovat jeho vlastnosti.

#### 4.3.1 Kontejner pro HD video

Dle [27] multimediální kontejner je označení používané pro pomyslnou obálku, která obsahuje video stopu a jednu nebo více audio stop. Audio i video stopy jsou uloženy do kontejneru pomocí daného kodeku. Kodek je potom označení vzniklé z počátečních slov spojení „kodér a dekodér“, to samo o sobě značně vystihuje jeho základní funkci. Jedná se o software, který transformuje datové proudy a ukládá je do zakódované formy. Nejčastěji se využívají kodeky při úpravě videa. Kontejner obvykle lze poznat podle koncovky, jakou je daný soubor vybaven. Nejznámější jsou AVI, MKV, MOV, WMV a MPG. V příložené specifikaci je možné najít seznam kodeků, které podporují pro zpracování audio a video stop. Tento seznam je u většiny kontejnerů obsáhlý, protože

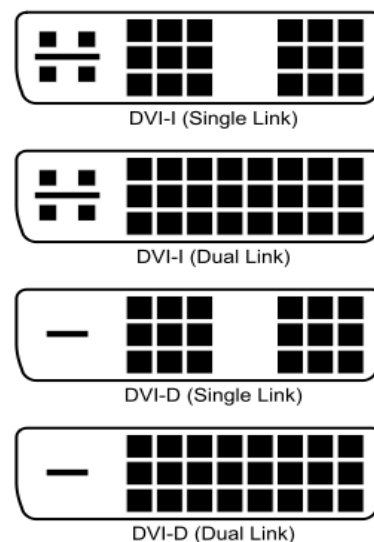
se tím předchází budoucím nárokům nebo licencování. Nejvíce využívaným kontejnerem pro HD video se stal Matroska s koncovkou MKV. Tento kontejner byl vyvinut již v roce 2002, ale v té době neměl moc velké využití, jelikož se hojně využívali jiné modely (hlavně AVI). Ten správný okamžik přišel až v roce 2006 kdy do osobních počítačů pronikl formát H.264. Nejprve byl oficiálně vybrán jako kontejner pro HD video MP4, ale ten trpěl velkou nevýhodou v podobě nepodporování prostorového zvuku. Jediným kontejnerem v té době co podporoval H.264 společně s AC3 zvukem, byl právě MKV. Tento kontejner je dnes již velice rozšířený a je podporován přímo i v přehrávačích a televizích.

#### 4.4 Konektory DVI a HDMI pro propojení audiovizuálního vybavení

Pro co nejlepší využití maticových displejů (LCD, plazma, DLP projektor) je potřeba aby spojení mezi zdrojem digitálního video signálu a zobrazovacím prvkem bylo také digitální z důvodu snížení ztrátovosti přenosu informace, která nastává při nadbytečných převodech analogového signálu na digitální a naopak. Tento problém nastal hlavně u počítačů. Systém kdy grafická karta převáděla digitální signál pro CRT monitor na analogovou podobu kvůli přenosu pomocí VGA rozhraní fungoval od počátků výpočetní techniky.

##### 4.4.1 DVI rozhraní

Příchod LCD panelů přinesl problém právě v přenosu signálu mezi grafickou kartou a zobrazovacím prvkem, jelikož LCD monitory fungovali na digitálním režimu prvotní řešení signál převádět na analogovou podobu jen pro přenos a následně ho převádět zpět na digitální formu uvnitř monitoru nebyl žádaný, kvůli vzniku velké šumové složky. S příchodem televize s vysokým rozlišením je zapotřebí aby přenosová soustava byla schopná přenášet velmi vysoké přenosové rychlosti (alespoň do 2,2 Gb / s Pro rozlišení 720p nebo 1080i). Kromě toho držitelé práv k video obsahu (Hollywood studia například) vyžadují, aby efektivní systém ochrany proti kopírování



Obrázek 4.5 DVI konektor

byl součástí tohoto přenosu, zabránil se tím uživatelům v kopírování obsahu s vysokým rozlišením v digitální kvalitě na úrovni spojení se zobrazovacím zařízením. Problém

připojení počítačů k novým zobrazovacím prvkům vyřešila skupina DDWG (Digital Display Working Group) v roce 1999 v čele se společností Intel, novým řešením a to konektorem DVI (Digital Video Interface). Existuje ve dvou formách:

- DVI-I: obsahuje 24 pinů pro digitální části a 5 samostatných kolíky umožňující zpětnou kompatibilitu s analogovým VGA konektorem
- DVI-D (pouze digitální): obsahuje 24 digitálních pinů

DVI-I a DVI-D jsou standardizované řešení. První řešení přenášelo pouze digitální formu signálu (DVI-D), což znemožnilo zpětnou kompatibilitu s analogovým CRT monitorem. Proto vznikl nový formát DVI konektorů s označením DVI-I, jenž byl navržen tak, aby na jeho výstupu byla jak analogová obrazová informace, tak digitální. Konektor je osazen 3 řadami pinů po osmi (24 pinů) a dávají tzv. pravý digitální video obrazový signál využívající pro připojení k digitálním LCD panelům. Konektory mohou mít také tzv. „link“ datový spoj určený pro přenos signálu ve vysokém rozlišení. Nové grafické karty bývají osazeny těmito konektory, nebo konektorem DVI-D a vedle konektorem VGA 15-pin Mini D-sub kvůli kompatibilitě použití jak pro analogové, tak digitální zobrazovací systémy. Díky tomu, že grafické rozhraní DVI-I jsou plně kompatibilní s konektory DVI-D, je možné přímo zapojit konektor typu DVI-D do samice konektoru typu DVI-I, ale ne naopak. Maximální délka kabelu není specifikována, protože záleží na šířce pásma (rozlišení) přenášeného obrazu. Obecně se udává délka do 4,5 metru pro rozlišení 1920 x 1200. Kabel o délce 15 metrů lze použít pro maximální rozlišení 1280 x 1024 a pro větší vzdálenosti je již doporučováno použít externí zesilovač DVI signálu, který zabrání degradaci signálu.

Specifikace DVI dosahuje následujících hodnot:

- Minimální obnovovací frekvence: 25,175 MHz
- Maximální rychlost – podle kvality kabelu (až do 7,92 Gbit/s)
- Pixelů za během instrukce: 1 (single link) nebo 2 (dual link)
- Bitů na pixel: 24 (single a dual link) nebo 48 (pouze dual link)
- Příklady rozlišení pro single link:
  - HDTV (1920 × 1080) @ 60 Hz s CVT-RB (139 MHz)
  - UXGA (1600 × 1200) @ 60 Hz s GTF (161 MHz)
  - WUXGA (1920 × 1200) @ 60 Hz s CVT-RB (154 MHz)

- SXGA (1280 × 1024) @ 85 Hz s GTF (159 MHz)
- WXGA+ (1440 × 900) @ 60 Hz (107 MHz)
- WQUXGA (3840 × 2400) @ 17 Hz (164 MHz)
- Příklady rozlišení pro dual link:
  - QXGA (2048 × 1536) @ 75 Hz s GTF (2 × 170 MHz)
  - HDTV (1920 × 1080) @ 85 Hz s GTF (2 × 126 MHz)
  - WUXGA (1920 × 1200) @ 120 Hz s GTF (2 × 154 MHz)
  - WQXGA (2560 × 1600) @ 60 Hz s GTF (2 × 174 MHz)
  - WQXGA (2560 × 1600) @ 60 Hz s CVT-RB (2 × 135 MHz)
  - WQUXGA (3840 × 2400) @ 33 Hz S GTF (2 × 159 MHz)

DVI rozhraní není primárně optimalizováno pro koncové spotřebitele. Jeho zpětná kompatibilita pro analogový přenos nebyla v televizní technice potřeba a samotný konektor nebyl úplně kompaktní, jelikož vyžadoval dvou šroubky pro fixování v zasunuté pozici. Proto již od roku 2002 začal vývoj nového rozhraní, které by odstranilo DVI z televizních přijímačů a DVD přehrávačů.

#### 4.4.2 HDMI rozhraní

High Definition Multimedia Interface (HDMI) bylo vyvinuto ze základů DVI rozhraní, používá stejné principy a má stejné elektrické vlastnosti. Je zpětně kompatibilní pomocí jednoduchého mechanického adaptéru. Toto rozhraní je vyvinuté speciálně pro přenos nekomprimovaného obrazu a zvuku (oproti DVI HDMI přenáší i zvukové data) v digitální podobě pomocí jednoho kabelu. HDMI je náhrada rozhraní SCART. Žádná dedikovaná linka pro zprostředkování zvuku v této specifikaci obsažena není. Místo toho, HDMI využívá skutečnost, že obrazové signály obsahují prázdné intervaly. Tyto prázdné oblasti neobsahují žádné obrazové informace, ale místo toho se používají k přípravě zobrazovací jednotky pro další řádek. HDMI audio stopa je přenášena v datových paketech vložených do zatemňovacích intervalů video signálu. Tento vložený přístup snižuje náklady, velikost kabelů a konektory.

Další velkou výhodou je integrovaný systém ochrany označený HDCP (High-bandwidth Digital Content Protection). Byl vyvinut společností Intel Corporation na ochranu dat tekoucích přes digitální zobrazovací rozhraní. HDCP je spravován společností Digital Content Protection LLC a byl schválen pro použití na DVI a HDMI

rozhraní. Tato ochrana byla původně definovaná pro ochranu pouze obrazových dat, ale později došlo k aktualizaci na revizi 1.1 a byla přidána i audio ochrana. HDCP chráněné rozhraní se začaly objevovat ve Spojených státech v roce 2002. Během téhož období se začaly objevovat na DVD přehrávačích. HDCP definuje tři typy zařízení: vysílač, opakovač a přijímač. Vysílač posílá chráněná data přijímači. Opakovač je přijímač, který obsahuje jeden nebo více vysílačů. Až 127 různých zařízení může být připojeno k sobě, s tím omezením, že celková hloubka od kořenového vysílače k přijímači nepřesahuje sedm.

Rámec HDCP má tři hlavní složky: ověřování (autentizace), šifrování a obnovitelnost. Ověřování je výměna mezi video vysílačem a přijímačem. Umožňuje vysílači potvrdit, že přijímač je oprávněn přijímat chráněné video. Mechanismus se opírá skryté klíče. Každé zařízení HDCP, vysílač i přijímač, je vybaveno unikátním souborem čtyřiceti 56-bitových tajných klíčů. Klíče uložené ve vysílači jsou označeny jako A klíč. Přijímač je vybaven B klíčem. Každé zařízení je dále vybaveno unikátním 40-bitovým klíčem označovaným jako KSV, který je veřejný. V první části ověřování dvě zařízení použijí své KSV kódy a 64-bitové pseudo-náhodné číslo pro ověření, že jsou oba držitelem pravé licence HDCP zařízení. Poté vytvoří vysílač a přijímač zabezpečené spojení, pomocí kterého si předají klíče, které kódují video data. Ve druhé části ověřování protokol umožní vysílači shromáždit seznam všech KSV klíčů zařízeních k němu připojených. Tento seznam má danou integritu a vysílač může určit, zda někdo s hodnotami manipuloval. Třetí část ověřovacího procesu spočívá v generování nového šifrovacího klíče pro každý video snímek. To také umožňuje vysílači udržovat synchronizaci s přijímačem. Šifrovací algoritmus HDCP je veřejný. Synchronizované pseudo-náhodné generátory ve vysílači a přijímači vytvoří 24-bitové hodnoty pro každý pixel. Tyto hodnoty jsou následně pomocí logické funkce XOR pozměněny pomocí těchto generovaných klíčů a předány přijímači, který po aplikaci stejné logické funkce XOR a svého klíče, který je stejný získá původní data. 24-bitové pseudonáhodné číslo se nepřenáší přes rozhraní. Místo toho vysílač i přijímač nezávisle generují tuto hodnotu. Pokud má být zachována synchronizace je zapotřebí inicializovat tyto generátory stejným klíčem. Šifrovací algoritmus je veřejný, zabezpečení obsahu záleží na uchování klíčů v tajnosti. HDCP umožňuje uložit KSV klíč určitého zařízení na seznam zakázaných přístrojů, jejichž tajné klíče byly odhaleny. Pokud vysílač zjistí, že se kód přijímače



nachází na tomto seznamu, ověřovací postup selže. V roce 2001, Digital-CP vydala HDCP Upstream protokol. Tento protokol realizuje ochranu HDCP na PC. 16. Zář 2010 společnost Intel potvrdila, že kód byl prolomen.

Od počátku vývoje je toto rozhraní neustále vyvíjeno a od 9. prosince 2002 kdy byla vydána první specifikace, prošlo několika změnami. Nové úpravy přicházejí v podobě verzí. Obecně každá novější verze zvyšuje šířku pásma, potažmo schopnost přenášet další formáty signálů. Verze 1.1 byla vydána v květnu 2004, verze 1.2 v srpnu 2005, verze 1.2a v prosinci 2005 a verze 1.3 byla vydána v červnu 2006. Zatím nejvíce aktuální je verze 1.4 z května 2009. V následujících tabulkách jsou zachyceny hlavní benefity, které rozhraní získávalo s přibývajícími verzemi. U všech přídavných funkcí, které jsou uvedené v tabulce 4.1, platí nutná podpora jak zdroje, tak přijímače signálu.

verze HDMI	1.0	1.1	1.2, 1.2a	1.3	1.3a, b, c	1.4
sRGB	✓	✓	✓	✓	✓	✓
YCbCr	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8kanálové audio (LPCM) 192 kHz, 24 bitů *	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Blu-ray a HD DVD video/audio v plné kvalitě *	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Consumer Electronic Control (CEC) *	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Podpora DVD-Audio *	✗	✓	✓	✓	✓	✓
Podpora Super Audio CD (SACD) *	✗	✗	✓	✓	✓	✓
Deep Color *	✗	✗	✗	✓	✓	✓
xvYCC (x.v.Color) *	✗	✗	✗	✓	✓	✓
Automatická synchronizace Audia/Videa *	✗	✗	✗	✓	✓	✓
Dolby TrueHD datový tok *	✗	✗	✗	✓	✓	✓
DTS-HD Master Audio datový tok *	✗	✗	✗	✓	✓	✓
Rozšířená sada CEC povelů *	✗	✗	✗	✗	✓	✓
Podpora 3D obrazových formátů *	✗	✗	✗	✗	✗	✓
Ethernetový kanál *	✗	✗	✗	✗	✗	✓
Zpětný audio kanál (ARC) *	✗	✗	✗	✗	✗	✓
Podpora rozlišení obrazu 4k × 2k *	✗	✗	✗	✗	✗	✓

*Vlastnosti označené \* jsou v příslušné specifikaci uvedeny jako volitelné  
Tabulka 4.2 vlastnosti HDMI rozhraní Zdroj:(23)*

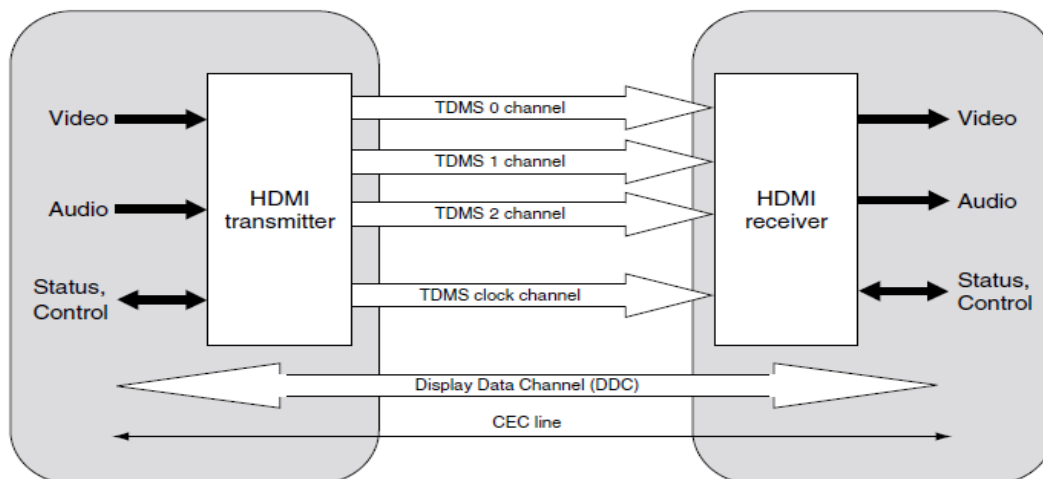
<b>Verze HDMI</b>	<b>1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>	<b>1,3</b>	<b>1,4</b>
Max. šířka pásma (MHz)	165	165	165	340	340
Max. datový tok TMDS (Gb/s) *	4,95	4,95	4,95	10,2	10,2
Max.datový tok pro video (Gb/s) *	3,96	3,96	3,96	8,16	8,16
Max.datový tok pro audio (Mb/s)	36,86	36,86	36,86	36,86	36,86
Max. rozlišení (barva 24 bitů) *	1920 × 1080p60	1920 × 1080p60	1920 × 1080p60	2560 × 1600p75	4096 × 2160p24
Max. rozlišení (barva 30 bitů) *	×	×	×	2560 × 1600p60	4096 × 2160p24
Max. rozlišení (barva 36 bitů) *	×	×	×	1920 × 1200p75	4096 × 2160p24
Max. rozlišení (barva 48 bitů) *	×	×	×	1920 × 1200p60	1920 × 1200p60

*\* hodnoty platí pro single-link HDMI kabel (3 páry TMDS vodičů)*

*Tabulka 4.3 hodnoty rozlišení a datového toku u HDMI rozhraní Zdroj:(23)*

Stejně jako DVI rozhraní, HDMI používá přenosový protokol s názvem Transition Minimized Differential Signalling (TMDS).

- Tři kanály (TMDS 0, 1, a 2) přenášejí audio, video signály a pomocné údaje
- Čtvrtý kanál (TMDS hodiny) přenáší hodinový signál
- Display data kanál (VESA DDC) umožňuje informační výměnu mezi zdrojem a příjemcem. Přenášejí se zde hlavně data o schopnostech rozlišení příjemce, podle standardu VESA. Pokud je to nutné, volitelný kanál -CEC- umožňuje výměnu kontrolních informací mezi různými audiovizuálními zařízeními. Čtyři TMDS kanály jsou přenášeny pomocí stíněného párového vinutí. VESA DDC kanál je přenášen prostřednictvím I<sup>2</sup>C sběrnice (sériová sběrnice vyvinutá společností Philips Semiconductors). Od verze 1.4 je přidán kanál HEC, který je využíván pro sdílení internetového připojení.



Obrázek 4.6 schéma kanálů rozhraní DVI a HDMI

Nové verze obsahovaly následující upgrady (v závorce je uvedeno datum, kdy změna vyšla):

Verze 1.0 (9. prosinec 2002)

Maximální datový tok 4,9 Gb/s, šířka pásma 165 MHz. Podpora přenosu videa ve formátu až 1080p60 s datovým tokem 3,96 Gb/s a osmikanálový zvuk 192 kHz/24 bitů.

Verze 1.1 (20. květen 2004)

Přibyla podpora formátu DVD-Audio.

Verze 1.2 (8. srpen 2005)

Přibyla podpora formátu Super Audio CD, byla přidána podpora RGB formátu pro PC (standardně HDMI používá YCbCr) a specifikován konektor pro použití v PC, dále přibyla podpora nízkonapěťových zdrojů.

Verze 1.2a (14. prosinec 2005)

Zahrnuta kompletní specifikace protokolu CEC (Consumer Electronics Control), který umožňuje vyspělé ovládání mnoha audiovizuálních přístrojů v domácnosti, díky jejich vzájemné komunikaci.

Verze 1.3 (22. červen 2006)

Vylepšení šířky pásma na 340 MHz a datového toku na 10,2 Gb/s (single-link). Přibyla podpora obrazových formátů s vyšší barevnou hloubkou, konkrétně 30, 36 a 48 bitů xvYCC, sRGB nebo YCbCr (v dřívějších verzích podpora max. 24 bitů). Nově možnost přenosu zvukových formátů Dolby TrueHD a DTS-HD Master Audio pro dekódování v externích AV recieverech. Definován nový typ konektoru (C) pro přenosná zařízení. Definovány a popsány kategorie HDMI kabelů 1 a 2. Kategorie 1 musí přenášet signály do

kmitočtu 74,25 MHz, Kategorie 2 musí zvládnout kmitočet 340 MHz. Automatická synchronizace zvuku s obrazem.

Verze 1.3a (10. Listopad 2006)

Modifikace konektoru C. Dílčí změny v CEC.

Verze 1.4 (28. květen 2009)

Maximální rozlišení přenášeného obrazu až 4K × 2K (4096 × 2160 px při 24 Hz a 3840 × 2160 px při 24 Hz/25 Hz/30 Hz, což je řešení používané v digitálních kinosálech).

HDMI Ethernet Channel (HEC) – sdílení připojení k internetu full duplex 100 Mb/s (pouze jeden přístroj může být připojen k internetu). Podpora protokolů TCP/IP, UPnP, DLNA, LiquidHD atd. Zpětný zvukový kanál (ARC, Audio Return Channel) umožňující přenos zvuku např. z televizoru do AV receiveru. Specifikována podpora přenosu stereoskopického (3D) obrazu až do formátu dual-stream 1080p. Definován nový mikro konektor typu D.

Verze 1.4a (4. březen 2010)

Aktualizovaná poslední verze standardu obsahuje komplexnější specifikaci podpory 3D obrazových formátů pro televizní, herní i filmový průmysl na základě předpokládaného vývoje trhu.

Konektory, které toto rozhraní využívá, jsou velice snadné na obsluhu. Nejprve byly definovány dva základní označené jako typ A a B v základní specifikaci 1.0. Od verze 1.3 je definován typ C a prozatím poslední typ D je dostupný od verze 1.4. Nejrozšířenější je typ A. Obsahuje 19 pinů ve dvou řadách a podporuje všechny módy televize (SDTV, EDTV, HDTV). Tento konektor je elektricky kompatibilní s rozhraním single link DVI-D pomocí mechanické redukce. Konektor B se zatím nepoužívá u běžně dostupných produktů. 29 pinů dokáže přenášet signál s dvojnásobnou šířkou pásma oproti konektoru A a proto lze použít pro přenos obrazů v rozlišení 3840x2400px. Stejně jako konektor A lze i typ B pomocí redukce změnit na DVI-D rozhraní, B je kompatibilní s dual link verzí. Verze konektoru C je znám od specifikace 1.3 a je primárně určen pro přenosná zařízení (např. fotoaparáty). Konektor má stejně jako typ A 19 pinů, ale jsou jinak umístěny. Zatím posledním konektorem je typ D. Konektor se objevil se specifikací 1.4 a má také 19 pinů, je ovšem ještě menší než specifikace C a je nejvíce využíván k propojení chytrých mobilních telefonů. Tři nejvíce používané konektory jsou vyobrazeny na následujícím obrázku.



*Obrázek 4.7 konektory HDMI zleva typ A,C,D*

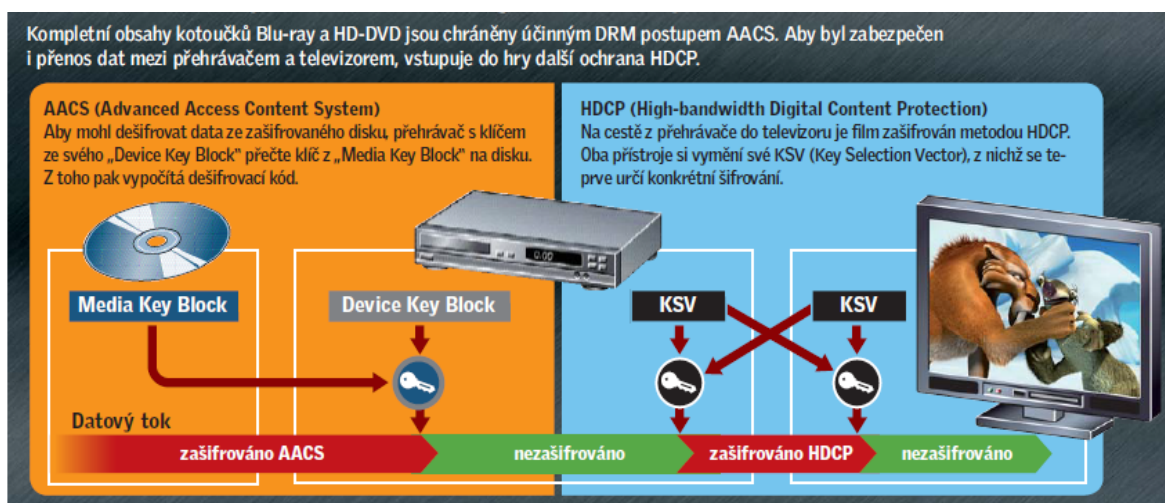
#### **4.5 Blu-ray disk**

Optické médium, které mělo nahradit DVD a doručovat nahrávky ve vysokém rozlišení, do domácností vzešlo ze dvou návrhů. Základní návrhy vznikly v roce 2002, kdy nejdříve společnost Toshiba v lednu oznámila technologii optického disku, využívající 405 nm modrý laserový paprsek. Toto médium bylo schopné uchovat až 30 GB dat na jedné straně. Na toto oznámení reagovalo devět společností (Hitachi, LG, Panasonic, Pioneer, Philips, Samsung, Sharp, Sony a Thomson) vlastním návrhem vysokokapacitního média, také založeného na technologii modrého laseru o vlnové délce 405 nm. Specifikace získala označení Blu-ray disk. Toshiba pojmenovala svojí specifikaci později v roce 2002 HD DVD. Tento spor o nástupce DVD (které mezi tím zažívalo zlatou éru a prodeje nosičů i přehrávačů strmě rostly) byl zpočátku pozitivní, protože se dva soupeři navzájem předháněli v prvních prototypch nosičů a přehrávačů. Později však začal působit spíše negativně, jelikož první video nosiče ve formátu vysokého rozlišení, které měly zaujmout koncového spotřebitele a donutit ho investovat do startující technologie, museli vycházet na obou formátech. Další problém měli vývojáři konzolových her. Sony vybavilo svojí poslední herní konzoli Playstation 3 mechanikou na Blu-ray disky, zatímco Microsoft oznámil sloučení sil s Toshiba a plány o vylepšení své herní konzole XBOX 360, která byla vybavena standardní DVD mechanikou, na podporu HD DVD disků. Tyto spory trvaly až do roku 2008, kdy společnost Warner Brothers, jeden z největších světových producentů filmových a televizních děl na světě, oznámila plnou budoucí podporu Blu-ray diskům. Tato podpora převážila pomyslný jazýček vah na stranu Blu-ray disku a o budoucím formátu optického média, které bude poskytovat nahrávky v HD formátu po celém světě, bylo rozhodnuto.

Blu-ray technologie také využívá modrého laseru o vlnové délce 405 nm. Pro uchování dat využívá stejného principu jako CD a DVD disk. Data se ukládají na optické

disky v podobě mikroskopických prohlubní. Read-only disky jsou lisovány z tekutého plastu jako polykarbonát nebo akryl a pak potaženy reflexní kovovou vrstvou. Přepisovatelné disky jsou vyrobeny z materiálu, který dokáže měnit fyzickou strukturu povrchu při působení tepla laseru a tím vytvářet značky. Jak se disk otáčí, značky procházejí pod čtecím laserovým paprskem a jsou detekovány. Blu-ray má velikost těchto značek 0,15  $\mu\text{m}$ , v kombinaci s již zmíněným modrým typem laseru je toto médium schopné uchovat 25 GB dat v jedné vrstvě. Vrstev je většinou více, kapacita může vzrůst až na 100 GB. Tato kapacita je zcela postačující pro uložení několika hodin video záznamu ve formátu vysokého rozlišení. Počáteční limitace prostorem u prvních HD filmů, které byly lisovány na DVD9 je tímto odstraněna. Video stopa je uložena v rozlišení 720p nebo 1080i/p (prokládané, progresivní) společně se zvukovou stopou v osmi kanálech. Mezi další speciální funkce Blu-ray disků je podpora speciální verze jazyku Java označovaná jako BD-J. Pokud je přehrávač dostatečně programově vybaven umožní uživateli hraní her nebo využívání sociálních funkcí (to ještě vyžaduje připojení k internetu).

Podle [26] disky také obdrželi nový způsob ochrany proti pirátským kopiím jejich obsahu. Filmový obsah je chráněn DRM ochranou nazývanou AACS. Tento systém chrání obsah kotoučů 128 bitovým šifrováním. Systém dešifrování v přehrávači je naznačen na obrázku 4.8. Budoucí vývoj počítá i s možností, že klíč nebude integrován na médiu, ale bude nutné ho získat z webových stránek dodavatele. Až proběhne autentizace na webové stránce, bude možné přehrát obsah Blu-ray disku. Aby nešel zachytit přenos mezi přehrávačem a zobrazovacím prvkem je rozhraní HDMI vybaveno ochranou HDCP, které je přiblíženo v předchozí kapitole.



Obrázek 4.8 dešifrování obsahu Blu-ray disku Zdroj (26)

## 5. Výsledky a diskuze

V této části práce je prostor pro nastínění možných vývoju technologií, které byly zmíněny v analytické části. Druhá část této kapitoly bude věnována průzkumu předvánočního trhu pomocí porovnání prodeje různých televizních modelů.

### 5.1 Možný budoucí vývoj

Jako první zmíním možný vývoj na poli záznamových médií. Důvodem pro vývoj nového formátu, náhrady za DVD byl jednoznačně formát vysokého rozlišení. Nosiče DVD měly hraniční kapacitu pro jeho přenos a bylo jasné, že tam již není prostor pro žádné vylepšení. Blu-ray je zřejmě poslední optické médium určené pro přenos dat. Sám manažer pro produktovou strategii ze společnosti Sony, Taka Miyama řekl: „Blu-ray je konečný formát pro optický disk, nemáme kratší laser“. Otázkou zůstává, jestli se nejednalo o marketingový tah na koncového zákazníka, který měl vzbudit dojem výjimečnosti technologie, na které se Sony podílelo. Jisté je, že kapacitní specifikace tohoto optického nosiče zatím postačují všemu, co trh může nabídnout. Filmy ve vysokém rozlišení mohou být doplněny o několik hodin bonusových materiálů, několik zvukových stop v různých jazycích a spousty titulkových stop. Disk si poradí i se stereovizí (3D videem), které zažívá v posledních letech velký rozmach. Jako nejvíce pravděpodobný následník optického disku se uvádí holografické uložení. Tento systém dokáže ukládat data ne jen na povrch materiálu, jak tomu bylo doposud, ale i dovnitř. První výrobky jsou známé od roku 2007 a jejich kapacita 300 GB je obrovská. Dle laboratorních výzkumů je dosažitelná úložná kapacita této metody až 1.6 TB. Společnost, která vyvíjela tuto technologii, ukončila činnost v únoru 2010 poté co jí stát Colorádo zabavil majetek pro krácení daní.

Je možné, že tato technologie si získá větší uplatnění na trhu, pokud se začne více prosazovat rozlišení 4K UHD (3840 x 2160 pixelů). Dle letošní výstavy CES, která proběhla v lednu 2013 v Las Vegas, je rozlišení 4K jasnou cestou v dalším vývoji. Na výstavě byly představeny první modely televizí s tímto rozlišením od společnosti LG. Jediným obsahem pro tento formát obrazu je zatím přírodovědný dokument TimeScapes, ale proslýchá se, že v Japonsku začne v roce 2014 vysílat televizní signál v tomto rozlišení. Mluví se i o formátu 8K UHD (7680 x 4320 pixelů) tento formát zatím testuje v Japonsku NHK.

Jako možným technologickým nástupcem LCD a DPD obrazovek je označována OLED technologie. Tento systém zobrazovacího panelu je známý dlouhou dobu (1987) a je hlavně využíván pro displeje mobilních telefonů (displeje s aktivní maticí AMOLED). Princip funkce je založen na využití technologie organických elektroluminiscenčních diod. Tento způsob zobrazení nabízí široké pozorovací úhly, výborný jas, dobrou časovou odezvu a je možné jej nanést na pružné podklady a tím docílit prohnutí obrazu. Toto právě bylo také předvedeno na CES výstavě. Obrazovka vyrobená OLED technologií na prohnutém podkladu má za úkol diváka pohltit do děje. Výrobci tím do jisté míry reagují na stagnující vývoj 3D zobrazení, které dle posledních informací velice vážně na straně filmových studií, která nejsou schopna zásobit trh dostatečným množstvím materiálu natočeného ve 3D. Doposud byla technologie OLED pro větší obrazovky příliš drahá, ale zdá se, že v blízké budoucnosti by i tento nedostatek mohl být odstraněn.

3D zobrazení zažilo doslova raketový start od roku 2010 – 2012. Dle mnohých zdrojů je rok 2010 označován jako rok, kdy si prostorový obraz našel cestu do domácích kin. 3D technologie v domácím použití spoléhá na tři základní způsoby jak obelhat lidský zrak a docílit tak vjemu trojrozměrného obrazu před divákem.

Aktivní 3D technologie spoléhá na vysílání obrazu při vyšší frekvenci (alespoň 120 Hz a vyšší). Na obrazovce se střídají snímky pro levé a pravé oko. Divák pro správný vjem musí být vybaven aktivními brýlemi, které synchronně s vysílaným signálem zatmívají pravé nebo levé oko a tím dávají divákovi trojrozměrnou scénérii. Tato technologie má velkou řadu nevýhod. Brýle jsou těžší než normální brýle, protože jsou vybaveny elektronikou a musejí mít i vlastní zdroj energie (baterii). Při tomto způsobu zobrazení dochází nejčastěji k neschopnosti vidět obraz trojrozměrně. Je prokázáno, že s přibývajícím věkem schopnost diváka vnímat takto podávaný obraz klesá, až zcela zanikne. Někteří lidé nejsou schopni vnímat 3D obraz vůbec.

Pasivní technologie naopak sází na oddělení obou obrazů pomocí polarizace světla. Jde o pozměnění principu původního prokládaného zobrazení. Sudé řádky vysílají obraz pro pravé oko a liché řádky vysílají obraz pro levé oko. Pomocí jednoduchých brýlí, které nevyžadují žádnou synchronizaci, jen pasivní polarizační filtr, dochází u diváka k 3D vjemu. Velkou výhodou je nízká cena brýlí a možnost si je například nasadit na dioptrické brýle. Nevýhodou je praktické snížení rozlišení



na polovinu. V kině je toto kompenzováno použitím dvou projektorů a míchání obrazů přes sebe, ale toto v domácím prostředí použitelné není. Výhodou této technologie je i znatelně plynulejší a stabilnější obraz. Nevýhodou jsou malé pozorovací úhly. Divák musí sedět v horizontální ose televize, jinak dochází k deformaci nebo kompletní ztrátě trojrozměrného vjemu.

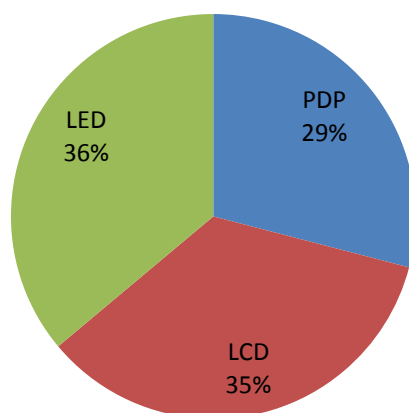
Poslední technologií jsou autostereoskopické obrazovky, které jsou schopny produkovat 3D scénu bez použití brýlí. Displej je osazen zdvojenými pixely, které zobrazují zároveň obraz pro levé i pravé oko. Nad každým pixelem je umístěna čočka, která obraz směřuje do příslušného oka. Oddělování obrazu je tudíž přímo součástí televize a není třeba mít cokoli na nose. Tento systém má jednoznačně nejdražší výrobní náklady a navíc prostor před televizorem, ve které se obraz složí a vznikne potřebný vjem, je omezený.

Trojrozměrné zobrazení v dnešní době stále výrazně ovládá trh. Díky úpravě standardu H.264 a rozhraní HDMI je možné sledovat 3D filmy z disků Blu-ray. Nicméně jak již bylo naznačeno na výstavě CES, která má každý rok přestavit ty nejdůležitější novinky z oblasti spotřební elektroniky, letos tato technologie úplně chyběla a větší důraz byl kladen na zakřivené televize s technologií OLED a rozlišení 4K UHD.

## **5.2 Analýza předvánočního trhu s televizemi**

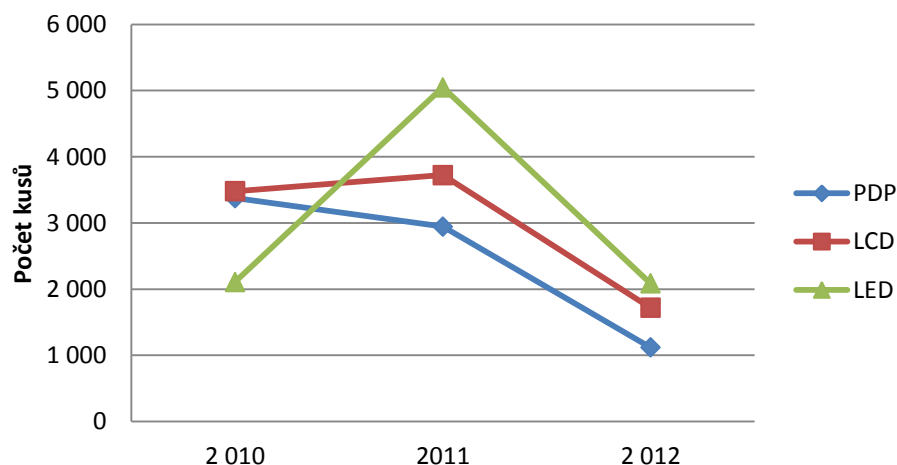
Pro analýzu byla vybrána data prodejů před vánočními svátky, kdy většina lidí nakupuje spotřební elektroniku. Data jsou za tři měsíce před vánoci – říjen, listopad, prosinec a jsou z let 2010, 2011 a 2012. Následující analýza předvánočního trhu s televizemi poodhalí trend spotřebitele. Data jsou zpracována do grafů pro lepší přehlednost, samotné hodnoty jsou v příloze práce. Data byla rozdělena do třech segmentů dle použité technologie obrazovky a z nich bylo vybráno deset nejprodávanějších modelů.

## Zastoupení technologie na trhu



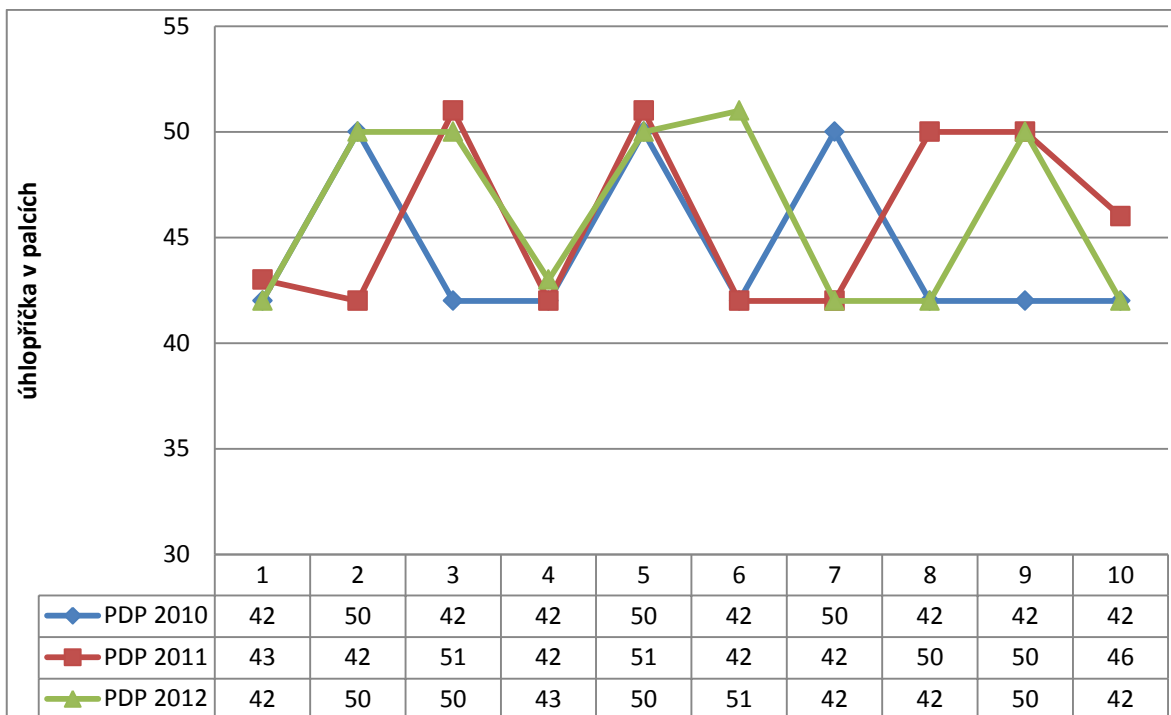
Graf 5.1 porovnání hodnot dané technologie

## Vývoj prodeje

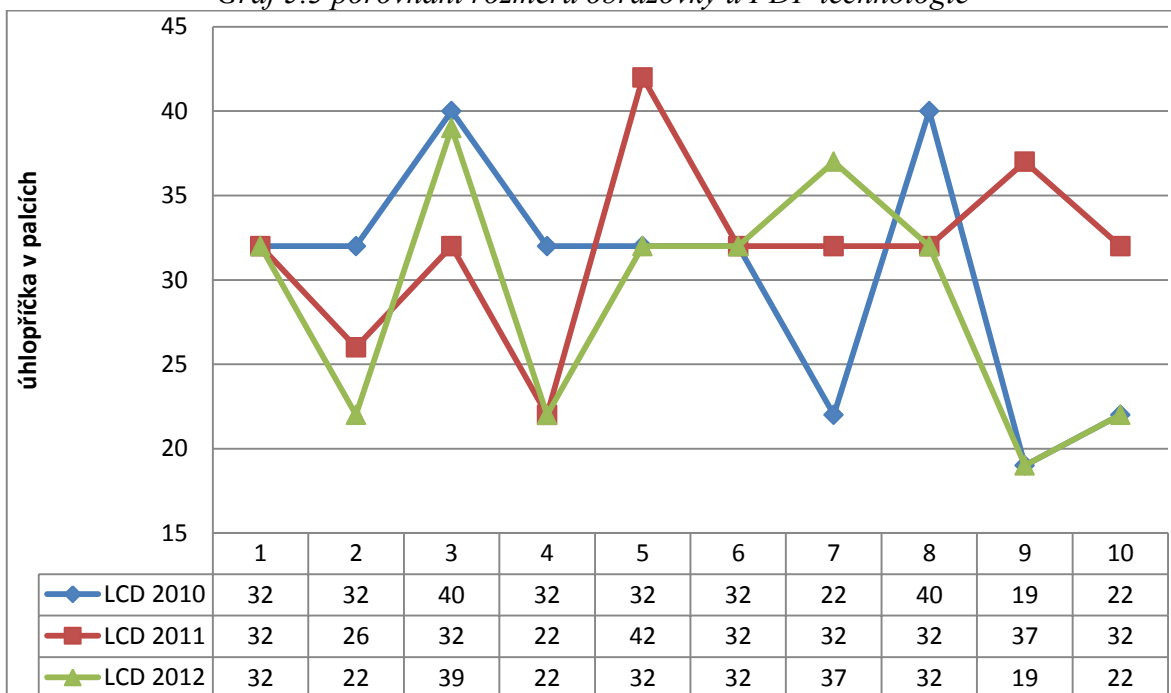


Graf 5.2 zobrazení prodeje během tří po sobě jdoucích let

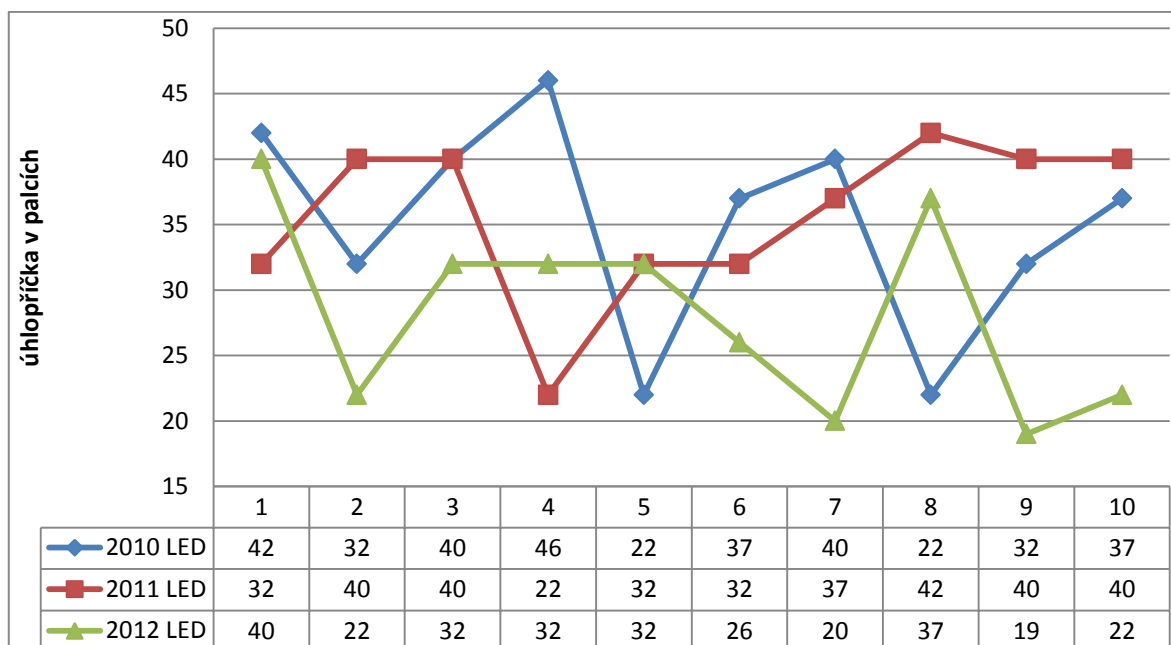
Graf 5.1 zobrazuje, jaké zastoupení mají dané technologie v prodejnosti na trhu při sečtení všech hodnot za tři roky. Je z něho jasně patrný silící trend LCD panelů s LED podsvícením. Tento trend je jen potvrzen druhým grafem 5.2, kde je zobrazeno porovnání prodejů daných technologií za jednotlivé roky.



Graf 5.3 porovnání rozměru obrazovky u PDP technologie



Graf 5.4 porovnání rozměru obrazovky u LCD technologie



*Graf 5.5 porovnání rozměru obrazovky u LED technologie*

Následující tři grafy porovnávají velikosti obrazovek prodaných modelů za jednotlivé roky. Výsledek co ukazuje první graf (5.3) jen potvrzuje technologické vlastnosti plazmových televizí, které jsou zmíněny v analytické části práce. Modely s rozměry menší než 42 palců se nedají ani sehnat. Následující dva grafy ukazují jak kvalitně LCD panely pokrývají zbytek trhu s televizemi. Z grafů je jasně vidět jejich zastoupení v pásmu pod PDP technologií. Najdeme zde i televize s úhlopříčkou kolem 50 cm, které jsou vhodné na cesty do karavanů nebo na chaty. Určitě to ale neznamená, že by technologie plazmových obrazovek byla jediná v segmentu televizí s rozměry 100 cm a více. Je zde i velké zastoupení hlavně obrazovek s LED podsvícením, ale ty nedosahují takových prodejů jako právě PDP. Důvodem je hlavně vyšší cena. Zajímavý vývoj lze ještě sledovat v zastoupení značek, hlavně u obrazovek s LED podsvícením. Značka Samsung tam drží nejpočetnější zastoupení se svými modely.

V této části práce byly analyzovány počty prodaných televizí za poslední tři roky v měsících říjen, listopad a prosinec. V tomto období jsou prodeje spotřební elektroniky a hlavně televizí za celý rok nejvyšší, proto jsem ho zvolil. Bohužel se nepodařilo sehnat širší data od více prodejců, aby mohla být statisticky zpracována pro stanovení lepších výsledků.

## 6. Závěr

Hlavním cílem práce bylo charakterizovat formát High-Definition v zobrazovacích prvcích. Tohoto cíle bylo postupně v průběhu práce dosaženo. Nejprve popisem technologií, které předcházeli formátu High-Definition. Důraz byl kladen na vývoj televizního signálu a zobrazovacích prvků. Tyto dvě technologická odvětví nám formát High-Definition dokážou poskytnout v prostředí domova. Velká část práce je věnována i převodu analogového signálu na digitální, který následně umožnil další práci s video signály. Jako nejdůležitější úpravu digitálně zpracovaného signálu považuji její možnost komprese a proto je i této disciplíně věnován dostatečný prostor, ve kterém jsou charakterizovány základní postupy a myšlenky. Bez kompresních standardů, by nebylo možné video nahrávky ve formátu High-Definition vůbec přenášet. Vývoj zobrazovacích prvků pak jasně definuje základní technologie, které se využívají nejčastěji pro reprodukci formátu. Zmíněny jsou i jejich základní vlastnosti a to jak kladné tak záporné. V této souvislosti je popsáno několik základních technologií tykajících se hlavně LCD technologie obrazovek. Tato technologie je známa dlouhou dobu a to umožnilo její plný vývoj a zkoumání všech možných parametrů a možností, které vedly k jejímu obohacení. V souvislosti s formátem vysokého rozlišení a komprese jeho datového signálu je zmíněn i standard H.264. Tento kompresní formát přináší kvalitní výsledky se zachováním kvality nahrávky na vysoké úrovni. Tento standard má velkou budoucnost, čemuž i napovídá jeho rychlá úprava, aby byl schopen pracovat se stereoskopickým formátem videa. Definice optického média schopného přenášet záznamy ve vysokém rozlišení a základních dvou rozhraní, které se starají o přenos z přehrávače, počítače do zobrazovacího prvku, uzavírají práci. Zajímavý byl vývoj na poli optických médií, kde dle odborníků, probíhala velká rivalita mezi výrobcí spotřební elektroniky o dominantní formát média. Tento spor mezi příznivci Blu-ray disku a HD-DVD trval několik let.

V poslední části práce jsem věnoval prostor možným budoucím trendům a technologiím. Zastávám názor, že technologie jako OLED obrazovky a holografické uložení se během nastávajících let dokážou posunout na úroveň zastoupení na trhu, jakou dnes obsazuje LCD obrazovka a Blu-ray disk. Tempo rychlosti vývoje nových technologií je v tomto odvětví opravdu velice rychlé. Na závěr je pak vypracován zajímavý vývoj

předvánočního trhu s televizemi za poslední tři roky. Grafické znázornění ukazuje některé preference koncového zákazníka.

## 7. Seznam použitých zdrojů:

1. HARTWING L. ROBERT:

*Basic TV Technology: Digital and Analog*, 3rd Edition

Focal Press, 2005, ISBN-10: 0240804171, ISBN-13: 978-0240804170

2. WATKINSON JOHN:

*Convergence in Broadcast and Communications Media*

Focal Press, 2001, ISBN-10: 0240515099, ISBN-13: 978-0240515090

3. POYNTON CHARLES:

*Digital Video and HDTV Algorithms and Interfaces*, 1st Edition

Morgan Kaufmann, 2003, ISBN-10: 1558607927, ISBN-13: 978-1558607927

4. VIDEOMAKER MAGAZINE:

*Videomaker Guide to Digital Video and DVD Production*, 3rd Edition

Focal Press, 2004, ISBN-10: 0240805666, ISBN-13: 978-0240805665

5. BENOIT HERVE:

*Digital Television: Satellite, Cable, Terrestrial, IPTV, Mobile TV in the DVB Framework*,  
3rd Edition

Focal Press, 2008, ISBN-10: 0240520815, ISBN-13: 978-0240520810

6. VLADIMÍR VÍT:

*Televizní technika - přenosové barevné soustavy*,

BEN – technická literatura, 1997, ISBN 80-86056-04-X

7. MARTIN LEGÍŇ:

*Televizní technika DVB-T*, 1. Vydání

BEN – technická literatura, 2006, ISBN 80-7300-204-3

8. BROWNE E. STEVEN:

*High Definition Postproduction: Editing and Delivering HD Video*, 1 edition

Focal Press, 2006, ISBN-10: 0240808398, ISBN-13: 978-0240808390

9. RICHARDSON IAIN:

*H.264 and MPEG-4 Video Compression: Video Coding for Next Generation Multimedia*,

Wiley, 2003, ISBN-10: 0470848375, ISBN-13: 978-0470848371

10. WATKINSON JOHN:

*Introduction to Digital Video*, 2nd Edition

Focal Press, 2001, ISBN-10: 0240516370, ISBN-13: 978-0240516370

11. WHITAKER JERRY, BENSON K. BLAIR:  
*Standard Handbook of Video and Television Engineering*, 4th Edition  
McGraw-Hill Professional, 2003, ISBN-10 : 0071411801
12. CAWKELL TONY:  
*The Multimedia Handbook*, 1st Edition  
Routledge, 1996, ISBN-10: 0415136660, ISBN-13: 978-0415136662
13. ROACH DAVID, JANUS SCOTT, JONES WAYNE, MACDONALD J. DONALD,  
MAJIDIMEHR AMIR:  
*High Definition Audio for the Digital Home*, 1st Edition  
Intel Press, 2006, ISBN-10: 097648322X, ASIN: B0014JC7DY
14. JIM TAYLOR, MICHAEL ZINK, CHARLES CRAWFORD, CHRISTEN  
ARMBRUST:  
*Blu-ray Disc Demystified*,  
McGraw-Hill Professional, 2008, ISBN-10/ASIN: 0071590927,  
ISBN-13/EAN: 9780071590921
15. BING BENNY:  
*3D and HD broadband video networking*,  
Artech House, 2010, ISBN-13: 978-1-60807-051-0
16. WHEELER PAUL:  
*High Definition Cinematography*, 3rd Edition  
Focal Press, 2009, ISBN: 978-0-240-52161-9
17. IAIN E. RICHARDSON:  
*The H.264 Advanced Video Compression Standard*, 2nd Edition  
Wiley, 2010, ISBN-10/ASIN: 0470516925, ISBN-13/EAN: 9780470516928
18. R. R. GULATI:  
*Monochrome and colour television*, revised 2nd Edition  
New age international publishers, 2005, ISBN (13) : 978-81-224-2489-8
19. HARTWING L. ROBERT:  
*Basic TV Technology: Digital and Analog*, 3rd Edition  
Focal Press, 2005, ISBN-10: 0240804171, ISBN-13: 978-0240804170
20. WATKINSON JOHN:  
*Convergence in Broadcast and Communications Media*  
Focal Press, 2001, ISBN-10: 0240515099, ISBN-13: 978-0240515090



21. BENOIT HERVÉ:  
*Digital Television: Satellite, Cable, Terrestrial, IPTV, Mobile TV in the DVB Framework*,  
3rd Edition  
Focal Press, 2008, ISBN-10: 0240520815, ISBN-13: 978-0240520810
22. TAYLOR JIM, ZINK MICHAEL, CRAWFORD CHARLES, ARMBRUST  
CHEISTEN:  
*Blu-ray Disc Demystified*  
McGraw-Hill Professional, 2008, ISBN-10/ASIN: 0071590927,  
ISBN-13/EAN: 9780071590921
23. PÍŠKULA JIŘÍ:  
*Tisíc podob HDMI* [on-line]  
2010-11-1. (HTML). Dostupný z WWW: [http://www.tvfreak.cz/art\\_doc-FD7994AC6FF92C09C125779E0036C9C0.html](http://www.tvfreak.cz/art_doc-FD7994AC6FF92C09C125779E0036C9C0.html)
24. MARKUS MANDAU:  
*H.264: Jeden standard pro všechna videa*  
Časopis CHIP, ročník IV/2009, strany 54-58. ISSN 0170-6632
25. PAVEL TROUSIL:  
*Bližší pohled na LED*  
Časopis CHIP, ročník XII/2009, strany 30-31. ISSN 0170-6632
26. FABIAN VON KEUDELL:  
*Ostrý souboj o ostrý obraz*  
Časopis CHIP, ročník III/2007, strany 68-69. ISSN 0170-6632
27. TOMÁŠ HOLČÍK:  
*HD video vládne internetu* [on-line]  
2009-12-8. (HTML). Dostupný z WWW: <http://www.zive.cz/clanky/hd-video-vladne-internetu/sc-3-a-150044/default.aspx>
28. JAROSLAV REICHL, MARTIN VŠETIČKA:  
*Encyklopedie fyziky* [on-line]  
2006-2013. (HTML). Dostupný z WWW: <http://fyzika.jreichl.com/>

## **8. Seznam obrázků:**

- Obrázek 3.1 schéma CRT obrazovky
- Obrázek 3.2 progresivní a prokládané skenování
- Obrázek 3.3 rozdíl mezi prokládaným a progresivním obrazem
- Obrázek 3.4 schéma barevné CRT obrazovky typ delta
- Obrázek 3.5 souhrnné schéma obrazovky typu delta
- Obrázek 3.6 souhrnné schéma hlavních prvků obrazovky typu in line
- Obrázek 3.7 schéma barevné CRT obrazovky typ in line
- Obrázek 3.8 souhrnné schéma hlavních prvků obrazovky typu Trinitron
- Obrázek 3.9 schéma vzorkovací metody 4:2:2
- Obrázek 3.10 základní schéma komprese signálu
- Obrázek 3.11 Huffmanův algoritmus
- Obrázek 3.12 cik-cak proces čtení koeficientů matice
- Obrázek 3.13 MPEG hierarchie snímků
- Obrázek 4.1 průřez buňkou plazmové obrazovky
- Obrázek 4.2 schéma plazmové obrazovky
- Obrázek 4.3 základní schéma LCD obrazovky
- Obrázek 4.4 blokové schéma funkce H.264
- Obrázek 4.5 DVI konektor
- Obrázek 4.6 schéma kanálů rozhraní DVI a HDMI
- Obrázek 4.7 konektory HDMI zleva typ A,C,D
- Obrázek 4.8 dešifrování obsahu Blu-ray disku

## **9. Seznam tabulek:**

- Tabulka 4.1 základní rozdíly mezi LCD a PDP obrazovkou
- Tabulka 4.2 vlastnosti HDMI rozhraní
- Tabulka 4.3 hodnoty rozlišení a datového toku u HDMI rozhraní

## **10. Seznam grafů:**

- Graf 5.1 porovnání hodnot dané technologie
- Graf 5.2 zobrazení prodeje během tří po sobě jdoucích vánoc
- Graf 5.3 porovnání rozměru obrazovky u PDP technologie
- Graf 5.4 porovnání rozměru obrazovky u LCD technologie
- Graf 5.5 porovnání rozměru obrazovky u LED technologie

## **11. Přílohy:**

- Tabulkové podklady pro grafické vyjádření analýzy předvánočního trhu

Prodeje plazmových obrazovek

	2010 Model	10	11	12	$\Sigma$
1	PS42C430	26	94	509	629
2	50PK350	182	241	195	618
3	TX-P42S20E	146	146	197	489
4	TX-P42G20E	130	153	177	460
5	PS50C670	45	121	247	413
6	42PJ350	140	140	100	380
7	50PK550	12	16	72	100
8	TX-P42S10E	9	45	42	96
9	TX-P42U20E	12	33	51	96
10	42PQ6000	10	35	49	94
	2011				$\Sigma=3\ 375$
1	PS43D450	120	241	229	590
2	TX-P42S30E	117	308	142	567
3	PS51D450	119	241	59	419
4	PS42C430	81	159	140	380
5	PS51D570	17	53	283	353
6	TX-P42G30E	20	49	208	277
7	TX-P42C3E	11	28	53	92
8	TX-P50G30E	23	28	40	91
9	50PV250	19	9	61	89
10	TX-P46G30E	12	22	54	88
	2012				$\Sigma=2\ 946$
1	42PA4500.AEB	20	90	153	263
2	50PM680S.AEB	38	46	96	180
3	50PA6500	45	43	81	169
4	PS43E450A1WXBT	31	33	68	132
5	50PA5500	12	26	43	81
6	PS51E450A1WXBT	9	20	4	33
7	TX-P42UT50E	10	18	24	52
8	TX-P42ST50E	9	15	46	70
9	TX-P50ST50E	5	15	30	50
10	42PM4700	8	18	64	90
					$\Sigma=1\ 120$

Prodeje LCD obrazovek

	2010 Model	10	11	12	$\Sigma$
1	LE32C530	26	94	509	629
2	32LD320	146	146	197	489
3	LE40C550	130	153	177	460
4	32LD350	140	140	100	380
5	LE32C550	65	126	143	334
6	LE32C450	140	69	67	276
7	22LD350	10	33	208	251
8	LE40C650	61	53	124	238
9	19LD320	37	61	125	223
10	LE22C350	76	55	69	200
					$\Sigma=3\ 480$
2011					
1	LE32D550	166	241	229	636
2	LE26D450	117	308	142	567
3	LE32D400	119	241	59	419
4	LE22D450	81	159	140	380
5	TX-L42U3E	17	53	283	353
6	32LK450	77	49	208	334
7	LC-32SH130E	103	145	62	310
8	32LD320	46	54	202	302
9	LE37D550	49	46	121	216
10	32LK530	40	51	116	207
					$\Sigma=3\ 724$
2012					
1	32CS460	65	189	240	494
2	SLT 2235DVBT	42	88	32	162
3	SLT 39F29DVBT	55	80	78	213
4	VISION 2 22-2930 T DVD	29	57	40	126
5	LE32E420E2WXBT	36	55	73	164
6	TX-L32C5E	40	42	53	135
7	37PFL3007H/12	15	38	58	111
8	32PFL3017H/12	20	34	81	135
9	VISION 2 19-2930 T	25	29	48	102
10	VISION 2 22-2930 T	6	28	44	78
					$\Sigma=1\ 720$

Prodej LED obrazovek

2010 Model	10	11	12	$\Sigma$
1 TX-L42V20E	69	113	158	340
2 UE32C6500	70	80	151	301
3 UE40C6500	65	90	108	263
4 UE46C6500	59	49	99	207
5 UE22C4000	44	57	106	207
6 UE37C6000	36	47	96	179
7 UE40C7000	36	52	79	167
8 22LE5500	26	32	108	166
9 32LE5500	33	51	70	154
10 37LE5500	34	60	31	125

$\Sigma=2$

2011 109

1 UE32D5000	277	391	419	1 087
2 UE40D5000	131	198	577	906
3 UE40D6530	93	254	200	547
4 UE22D5000	84	161	240	485
5 UE32D4000	85	125	230	440
6 UE32D5500	75	93	244	412
7 UE37D5000	81	122	166	369
8 42LV4500	71	111	119	301
9 UE40D5500	33	81	140	254
10 40PFL6606H/12	53	85	109	247

$\Sigma=5$

2012 048

1 UE40EH5000WXBT	110	129	140	379
2 SLE 22F06T	92	107	123	322
3 UE32EH5000WXBT	38	91	147	276
4 UE32ES5500WXXH	65	100	103	268
5 UE32EH4000WXBT	65	76	118	259
6 UE26EH4000WXBT	60	68	86	214
7 UE19ES4000WXBT	59	61	24	144
8 UE37ES5500WXXH	41	51	50	142
9 SLE 1906T	40	47	7	94
10 UE22ES5000WXBT	25	38	92	155

$\Sigma=2253$