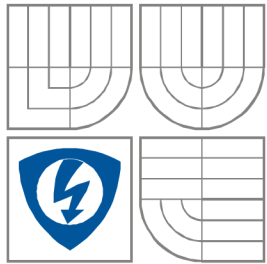


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

# MĚŘENÍ KVALITY OBRAZU PŘI PŘÍJMU ANALOGOVÉHO A DIGITÁLNÍHO TELEVIZNÍHO VYSÍLÁNÍ

QUALITY MEASUREMENT OF ANALOG AND DIGITAL TERRESTRIAL TELEVISION  
BROADCASTING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

ONDŘEJ ZACH

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. MARTIN SLANINA, Ph.D.

BRNO, 2011



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Elektronika a sdělovací technika**

**Student:** Ondřej Zach

**ID:** 119679

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2010/2011

## NÁZEV TÉMATU:

**Měření kvality obrazu při příjmu analogového a digitálního televizního vysílání**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se se základními parametry a vlastnostmi terestrického analogového a digitálního vysílání. Navrhněte metodiku měření kvality obrazu objektivními (případně i subjektivními) metodami při analogovém a digitálním přenosu tak, aby byly obě tyto formy přenosu srovnatelné. Ověřte použitelnost navržené metodiky.

Vyhodnoťte kvalitu obrazů při měnících se podmínkách šíření (např. útlum, nelinearita, nepřizpůsobené vedení, atd.). Zjistěte, zda se na kvalitě obrazu při digitálním příjmu projeví použití různých typů set-top boxů. Proveďte kritický rozbor a srovnání naměřených výsledků a parametrů.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] W.FISHER, Digital Video and Audio Broadcasting Technology, Springer-Verlag, 2008. ISBN 978-3-540-76357-4.

[2] HANUS. S. Základy televizní techniky II. Skriptum FEKT VUT v Brně. MJ servis spol. s r.o. Brno, 2009. ISBN 978-80-214-4022-7.

**Termín zadání:** 7.2.2011

**Termín odevzdání:** 27.5.2011

**Vedoucí práce:** Ing. Martin Slanina, Ph.D.

**prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

# Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá popisem základních vlastností analogového a digitálního televizního vysílání a návrhem metody pro objektivní srovnání kvality obrazu při příjmu obou typů vysílání. Základem práce je popis technologie přenosu obrazu v analogové a digitální podobě. Dále jsou popsány principy některých metrik pro určování kvality obrazu. V práci je navržena metoda pro srovnání kvality obrazu při analogovém a digitálním příjmu včetně ověření této metody. Dle navržené metody byly zaznamenány videosekvence při měnících se podmínkách přenosového kanálu pro oba typy vysílání. Pomocí těchto metrik byly vypočítány jednotlivé koeficienty kvality a na jejich základě byly srovnány analogový a digitální způsob vysílání.

## Klíčová slova

analogová televize, digitální televize, TV, televizní vysílání, DVB-T, DVB, MPEG-2, kvalita obrazu, kvalita videa, měření kvality, metrika, PSNR, SSIM, VQM, CPqD, ITU-R BT.1683

## Abstract

This bachelor's thesis deals with the description of basic features of the analog and digital television broadcasting and suggestion of a method for objective video quality evaluation at both broadcasting types. The base of this thesis is description of picture broadcast technology in analog and digital form. Also principles of some video quality evaluation metrics are described. In this thesis, a method for video quality comparison is suggested, including a verifying of this method. According to this method, sequences at changing broadcasting conditions were recorded for both broadcasting types. The quality factors of these sequences were computed and on the basis of these factors, the analog and digital TV broadcasting were compared.

## Keywords

analog television, digital television, TV, television broadcasting, DVB-T, DVB, MPEG-2, picture quality, video quality, quality measurement, metric, PSNR, SSIM, VQM, CPqD, ITU-R BT.1683

ZACH, O. *Měření kvality obrazu při příjmu analogového a digitálního televizního vysílání*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 58 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Slanina, Ph.D.



## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Měření kvality obrazu při příjmu analogového a digitálního televizního vysílání jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 27. května 2011

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Slaninovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 27. května 2011

.....  
podpis autora

# Obsah

Seznam obrázků .....	7
Seznam tabulek .....	8
1 Úvod .....	9
2 Analogová televize .....	10
2.1 Rozklad obrazu .....	10
2.1.1 Neprokládané řádkování .....	10
2.1.2 Prokládané řádkování .....	11
2.2 Černobílý obraz a jasový signál .....	12
2.3 Barevný signál .....	13
2.4 Televizní signál a zvuk .....	14
2.5 Televizní normy .....	14
2.5.1 Soustavy barevné televize .....	15
2.6 Měření analogových televizních signálů a rušení .....	15
3 Digitální televize .....	17
3.1 Důvody zavádění digitální televize a DVB .....	17
3.2 Digitalizace obrazového signálu a doporučení ITU-R BT. 601 .....	17
3.3 Zdrojové kódování .....	18
3.4 MPEG-2 .....	19
3.4.1 Diferenční pulsní kódová modulace a GOP .....	19
3.4.2 Diskrétní kosinová transformace DCT a kvantování .....	20
3.4.3 Entropické kódování .....	21
3.4.4 Kompresce zvukového doprovodu .....	21
3.5 Multiplexování .....	22
3.6 Kanálové kódování .....	22
3.7 Digitální modulace .....	23
3.8 Příjem digitální televize DVB-T a její budoucnost .....	24
4 Metriky k určování kvality .....	26
4.1 Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) .....	26
4.2 Structural Similarity (SSIM) .....	26
4.3 CPqD - IES .....	27
4.4 NTIA VQM .....	28
5 Návrh metody k porovnávání kvality obrazu .....	29
5.1 Metoda pro digitální příjem .....	29
5.2 Metoda pro analogový příjem .....	29
5.3 Výsledné zpracování sekvencí .....	30
5.4 Ověření funkčnosti metody .....	32
6 Záznam a zpracování sekvencí .....	33
6.1 Vliv úrovně signálu na kvalitu obrazu .....	33
6.2 Vliv nelineárního zkreslení na kvalitu obrazu .....	37
6.3 Vliv citlivosti set-top-boxů na kvalitu obrazu .....	42
6.4 Vliv úzkopásmového rušení na kvalitu obrazu .....	46
6.5 Subjektivní hodnocení kvality .....	51
7 Závěrečné zhodnocení výsledků .....	52
8 Závěr .....	54
Seznam literatury .....	55
Seznam zkratk .....	57
Seznam příloh .....	58

# Seznam obrázků

Obr. 1 Rozklad obrazu při neprokládaném řádkování [3].....	10
Obr. 2 Rozklad obrazu při prokládaném řádkování [3] .....	11
Obr. 3 Snímání černobílého obrazu a jasový signál 3.řádku [2] .....	12
Obr. 4 Průběh jasového signálu spolu se synchronizační směsí pro normu CCIR D/K [1].....	12
Obr. 5 Časový průběh úplného barevného signálu v soustavě NTSC [3].....	13
Obr. 6 Spektrum úplného televizního signálu [ 3] .....	14
Obr. 7 Typy rušení v analogové televizi .....	16
Obr. 8 Formáty vzorkování obrazových signálů podle ITU-R BT. 601 [1].....	18
Obr. 9 Zapojení prediktoru (DPCM) [7] .....	19
Obr. 10 Struktura skupiny snímků GOP [7].....	20
Obr. 11 Způsob vyčítání frekvenčních koeficientů [12] .....	21
Obr. 12 Schéma programového a transportního multiplexeru .....	22
Obr. 13 Závislost kvality obrazu ATV a DTV na vzdálenosti od vysílače [7] .....	24
Obr. 14 Schéma výpočetního algoritmu CPqD-IES.....	27
Obr. 15 Schéma pracoviště pro příjem DVB-T.....	29
Obr. 16 Schéma pracoviště pro příjem analogové TV .....	30
Obr. 17 Ověřovací sekvence, originální (vlevo) a zarušený snímek (vpravo).....	32
Obr. 18 Schéma pracoviště pro zjištění vlivu úrovně signálu , analogový příjem.....	33
Obr. 19 Schéma pracoviště pro zjištění vlivu úrovně signálu , digitální příjem .....	33
Obr. 20 Vliv úrovně signálu na kvalitu obrazu, index PSNR .....	34
Obr. 21 Vliv úrovně signálu na kvalitu obrazu, index SSIM.....	35
Obr. 22 Vliv úrovně signálu na kvalitu obrazu, index CPqD .....	35
Obr. 23 Vliv úrovně signálu na kvalitu obrazu, index VQM.....	36
Obr. 24 Ruchy v obraze způsobené nízkou úrovní signálu, analogový (vlevo) a digitální příjem (vpravo).....	36
Obr. 25 Schéma pracoviště pro zjištění vlivu nelineárního zkreslení, analogový příjem.....	37
Obr. 26 Schéma pracoviště pro zjištění vlivu nelineárního zkreslení, digitální příjem .....	38
Obr. 27 Vliv nelinearity přenosového kanálu na kvalitu obrazu, index PSNR.....	39
Obr. 28 Vliv nelinearity přenosového kanálu na kvalitu obrazu, index SSIM .....	39
Obr. 29 Vliv nelinearity přenosového kanálu na kvalitu obrazu, index CPqD .....	40
Obr. 30 Vliv nelinearity přenosového kanálu na kvalitu obrazu, index VQM .....	40
Obr. 31 Spektrum signálu DVB-T, nezkraslený (vlevo) a nelineárně zkraslený signál (vpravo) .....	41
Obr. 32 Ruchy v obraze způsobené nelineárním zkraslením, analogový (vlevo) a digitální příjem (vpravo).....	41
Obr. 33 Schéma pracoviště pro testování vlivu citlivosti set-top-boxů na kvalitu obrazu.....	42
Obr. 34 Vliv citlivosti set-top-boxů na kvalitu obrazu, index PSNR.....	43
Obr. 35 Vliv citlivosti set-top-boxů na kvalitu obrazu, index SSIM .....	43
Obr. 36 Vliv citlivosti set-top-boxů na kvalitu obrazu, index CPqD.....	44
Obr. 37 Vliv citlivosti set-top-boxů na kvalitu obrazu, index VQM .....	44
Obr. 38 Schéma pracoviště pro zjištění vlivu úzkopásmového rušení.....	46
Obr. 39 Vliv úzkopásmového rušení na kvalitu obrazu, index PSNR .....	48
Obr. 40 Vliv úzkopásmového rušení na kvalitu obrazu, index SSIM.....	48
Obr. 41 Vliv úzkopásmového rušení na kvalitu obrazu, index CPqD .....	49
Obr. 42 Vliv úzkopásmového rušení na kvalitu obrazu, index VQM.....	49
Obr. 43 Vliv nemodulovaného (vlevo) a modulovaného (vpravo) úzkopásmového rušení na kvalitu obrazu.....	50

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Některé z užívaných norem CCIR [5].....	14
Tabulka 2 Přenosové rychlosti v DVB-T na jeden kanál 8 MHz [14].....	24
Tabulka 3 Hodnoty koeficientů kvality pro jednotlivé metriky, ověřovací sekvence.....	32
Tabulka 4 Vliv úrovně signálu na kvalitu obrazu .....	34
Tabulka 5 Vliv nelineárního zkreslení na kvalitu obrazu, analogové vysílání .....	38
Tabulka 6 Vliv nelineárního zkreslení na kvalitu obrazu, digitální vysílání .....	38
Tabulka 7 Vliv citlivosti set-top-boxů na kvalitu obrazu.....	42
Tabulka 8 Vliv úzkopásmového rušení na kvalitu obrazu .....	47
Tabulka 9 Hodnocení kvality obrazu při patrném vlivu úzkopásmového rušení, digitální příjem .....	50

# 1 Úvod

Televizní vysílání od dob svého počátku doznalo mnohých změn. Od prvních experimentů s mechanickou televizí uplynulo již přes sto let a přes dlouhé období vlády analogové elektronické televize nyní přichází éra televize digitální. Digitální televize znamená nejen vylepšení stávajícího způsobu šíření televizního signálu, ale také poskytuje možnost dalšího rozvoje, např. televizi s vysokým rozlišením HDTV či v poslední době velmi často zmiňovanou trojrozměrnou televizi 3DTV, které v analogovém systému již nelze provozovat.

Analogová televize datuje svůj vznik do dvacátých let minulého století. První taková televize byla schopna poskytnout pouze černobílý obraz s monofonním zvukem. Nedlouho po zavedení pravidelného televizního vysílání roku 1935 v USA, Velké Británii a Německu byl zaveden i první standard televizního vysílání, americký NTSC (National Television System Committee). V padesátých letech byla postupně zaváděna i televize barevná, v principu šlo jen o vylepšení stávajícího černobílého systému a tedy barevná televize je zpětně kompatibilní s černobílou. Evropská barevná televizní soustava PAL (Phase Alternating Line) spatřila světlo světa roku 1967. Systémy NTSC i PAL jsou dodnes používány, většina zemí však postupně přechází na vysílání digitální.

Digitální televize má své počátky v devadesátých letech minulého století a znamená velký pokrok v dějinách televize. Digitální televize je schopna nejen zlepšit kvalitu přenášeného obrazu, ale uspořít i frekvenční spektrum. V současné době se provozuje několik standardů digitální televize ve standardním rozlišení. V Evropě a tedy i u nás se jedná o systém DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial), který bude dále podrobně rozebrán v textu. Všechny tyto systémy však již nejsou slučitelné se standardy analogové televize, a proto je pro jejich příjem nutný nový přijímač.

Logicky vyvstává otázka, zda je digitální televizní vysílání skutečně lepší než analogové. Existuje mnoho způsobů, jak oba systémy porovnávat, tato práce se bude zabývat čistě porovnáním kvality obrazu. K tomu lze úspěšně použít metriky pro určování kvality videa. Mezi nejznámější patří PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) a SSIM (Structural Similarity). Dále budou použity metriky podle doporučení ITU–R BT.1683, konkrétně CPqD–IES, což je metoda založená na segmentaci obrazu, a dále metoda NTIA VQM.

Cílem práce je návrh metody, pomocí které bude možné objektivně porovnat obrazovou kvalitu obou způsobů příjmu. Hlavní částí práce je aplikace navržené metody na sekvence, které byly zaznamenány při měnících se podmínkách vysílání. Vzhledem k tomu, že nás převážně zajímá vliv přenosu obrazu vysílaného v obou televizních systémech, metoda nezahrnuje vliv např. zdrojového kódování obrazu či další vlivy, které mohou obraz postihnout před samotným vysíláním.

Druhá a třetí kapitola práce se zabývají popisem základních vlastností analogového a digitálního televizního systému. Kapitola 4 popisuje metriky pro hodnocení objektivní kvality obrazu v případě přítomnosti referenčního snímku. Následující kapitola obsahuje samotný návrh metody a ověření její funkčnosti. Šestá kapitola se zabývá zhodnocením vlivu jednotlivých typů rušení na samotný obraz. Kapitola 7 obsahuje celkové zhodnocení všech zjištěných hodnot a jednotlivých vlivů a obsahuje též stručný komentář k použitým metrikám.

## 2 Analogová televize

Hlavním principem záznamu pohyblivého obrazu je využití nedokonalostí lidského zraku. Pro dosažení vjemu plynulého obrazu je zapotřebí, aby bylo za 1 sekundu zobrazeno alespoň 25 snímků. Snímkový kmitočet  $f_{SN}$ , kterým je snímán obraz kamerou a rovněž zobrazován na televizní obrazovce, je jedním z důležitých parametrů každé televizní normy [3].

Dalším požadavkem je, aby divák vnímal obraz bez blikání. Zde je využito setrvačnosti lidského zraku, kdy lze určit kritický kmitočet blikání  $f_{KRIT}$ , při kterém již divák vnímá obrazový bod souvisle. Tento kmitočet je podle [3]  $f_{KRIT} \cong 55$  Hz. Evropská televizní norma PAL pro dostatečnou kompenzaci blikání počítá s kmitočtem 50 Hz.

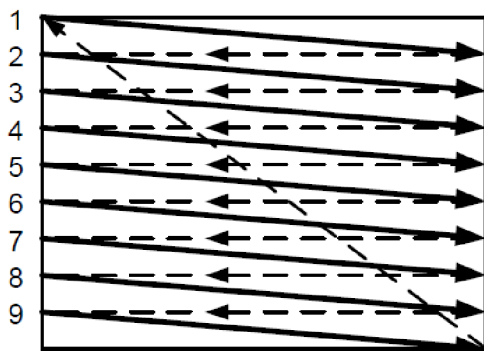
### 2.1 Rozklad obrazu

Základním principem snímání a zobrazování obrazu v analogové televizi je rozdělení obrazu na řádky. V současné době se využívá buď 525 řádků (americká soustava NTSC) nebo 625 řádků (PAL) [1], [2].

Analogové snímání televizního obrazu je možné provádět dvěma způsoby. V obou případech je elektronový paprsek ve snímací elektronce vychylován současně ve vodorovném i svislém směru elektromagnetickým vychylovacím systémem a snímá tak postupně obrazovou informaci ze snímací elektrody na stínítku [3].

#### 2.1.1 Neprokládané řádkování

Při lineárním neprokládaném snímání se paprsek pohybuje zleva doprava konstantní rychlostí a snímá obrazovou informaci. To je tzv. horizontální činný běh. Po dosažení pravého konce obrazu se paprsek rychle vrací zpět a koná tzv. horizontální (řádkový) zpětný běh. Díky vychylování i ve vertikálním směru se paprsek však nevrací na své původní místo ale o jeden řádek níž, to se nazývá vertikální (snímkový) činný běh. Takto je postupně sejmut celý jeden snímek. Poté se paprsek vrací z pravého dolního rohu zpět do levého horního rohu – vertikální zpětný běh. Postup paprsku je naznačen na obr. 1. Poté se začíná obdobně snímat další snímek. Vychylování je řízeno řádkovými a synchronizačními impulsy, které musí být pro správné zobrazování přenášeny spolu s obrazovým signálem [3], [1].

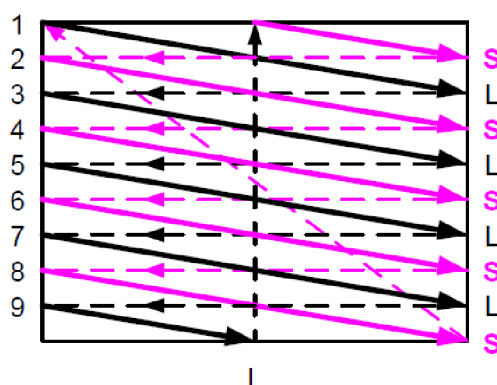


Obr. 1 Rozklad obrazu při neprokládaném řádkování [3]

Neprokládané řádkování je však nevhodné z hlediska šířky pásma přenášeného signálu. Při přenosu 50 snímků za 1 vteřinu a 625 řádky ve snímku bude za vteřinu přeneseno  $50 \cdot 625 = 31.250$  řádků, tedy řádkový kmitočet je  $f_R = 31\,250$  Hz. Uvažujeme-li ve vodorovném i svislém směru stejnou rozlišovací schopnost, tak při klasickém poměru stran obrazovky 4:3 musí být v řádku  $(4/3) \cdot 625 = 833$  bodů. Jestliže v řádku předpokládáme střídání černého a bílého bodu, odpovídá to obdélníkovému signálu, který má na jednom řádku 417 period. Výsledná šířka pásma by poté musela být  $f = 417 \cdot 31.250$  kHz  $\approx 13$  MHz [1], [3].

### 2.1.2 Prokládané řádkování

Při prokládaném řádkování se z jednoho snímku vytvoří dva pulsnímky. V každém pulsnímku jsou obsaženy buď jen liché nebo jen sudé řádky, tím vznikne lichý či sudý pulsnímek. Postup elektronového paprsku v tomto případě zobrazuje obr. 2. Místo jednoho snímku se tedy zobrazují dva pulsnímky, nejdříve lichý a poté sudý. Tento princip je použitelný za předpokladu, že se obrazová informace obou pulsnímků liší jen nepatrně. V limitním případě, např. při snímání tzv. „rolety“, což je obraz kde se střídají např. bílý a černý řádek, vnímá divák na obrazovce změnu bílých a černých řádků jako blikání. Prokládaným řádkováním je však vytvořen dvojnásobný počet pulsnímků, přičemž počet snímků za 1 vteřinu zůstává stejný. Tím je odstraněno blikání obrazu [3].



Obr. 2 Rozklad obrazu při prokládaném řádkování [3]

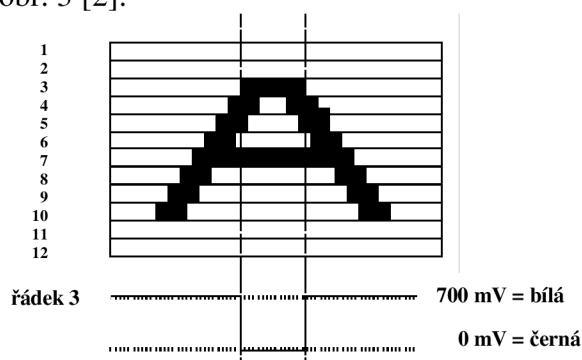
Další výhodou prokládaného řádkování je zejména snížení požadované šířky pásma přenášeného signálu. Při prokládaném řádkování je přenášeno 50 pulsnímků přičemž každý má  $625/2 = 312,5$  řádků. Řádkový kmitočet je pak  $f_R = 50 \cdot 312,5 = 15.625$  Hz. Uvažujeme-li stejný případ obrazu jako při neprokládaném řádkování, tedy střídání černých a bílých bodů v řádku a stejnou rozlišovací schopnost v obou směrech, bude potřebná šířka pásma  $f = 417 \cdot 15\,625 \approx 6,5$  MHz. Je vidno, že oproti neprokládanému řádkování je úspora šířky pásma 50 % při zachování téměř stejného obrazového vjemu. Nevýhodou je nedokonalé zobrazování šikmých čar a oblouků, kde původně hladká čára bude zobrazena jakoby sestávala z krátkých úseků [1], [3].

Z obr. 1 a obr. 2 je patrné, že se elektronový paprsek nepřesouvá z pravého dolního rohu obrazu do levého horního rohu skokově, tedy horizontální i vertikální zpětné běhy nejsou okamžité. Z toho důvodu byly zavedeny tzv. řádkový a pulsnímkový zatemňovací impuls. Během těchto impulsů se přesouvá elektronový paprsek. V tu dobu není vykreslován obraz, tedy část řádku a dokonce i část snímku jsou zatemněné. V době pulsnímkového zatemňovacího intervalu se přenáší i pulsnímkový synchronizační impuls, který svojí náběžnou hranou spouští snímkový rozkladový generátor. Ten řídí právě vertikální a horizontální vychylování paprsku. U soustavy PAL je z celkového počtu 625 řádků plných 50

řádků zatemněno ( 25 řádků v každém pulsnímku), obraz má tedy aktivních jen 575 řádků. V zatemněných řádcích se tedy nepřenáší obrazová informace, je však možné je využít pro přenos doplňkových dat typu teletext, signály VPS, testovací a kontrolní signály apod. [2], [1].

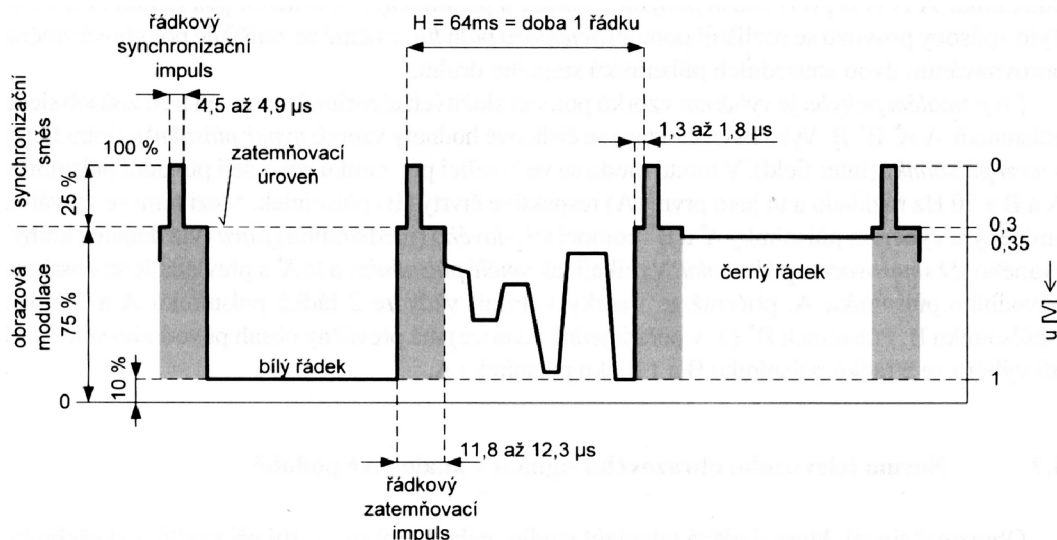
## 2.2 Černobílý obraz a jasový signál

V počátcích televize bylo možné snímat obraz jen černobíle. Princip snímání a výsledný tzv. jasový signál zobrazuje obr. 3 [2].



Obr. 3 Snímání černobílého obrazu a jasový signál 3.řádku [2]

Z obrázku je patrné, že při snímání odpovídá bílému bodu obrazu vysoká úroveň jasového signálu, černému bodu odpovídá nulová úroveň signálu. To je označováno jako pozitivní polarita. Ve většině případů se však dnes přenáší jasový signál v tzv. negativní polaritě, kdy nulovému napětí odpovídá světlý bod a vyššímu napětí zase tmavý bod. Hlavním důvodem je energetická výhodnost takového přenosu. Průběh jasového signálu spolu se synchronizačními a zatemňovacími řádkovými impulsy pro tři řádky snímku můžeme vidět na obr. 4 [1]. Jedná se o signál s negativní polaritou. Na obrázku detailně vidíme, jaké jsou jednotlivé napěťové úrovně a doby trvání řádkového zatemňovacího a synchronizačního impulsu. V praxi se také nepoužívá nulová úroveň napětí pro bílý bod, ale úroveň 10 % celkového napěťového rozkmitu jasového signálu [3].



Obr. 4 Průběh jasového signálu spolu se synchronizační směsí pro normu CCIR D/K [1]

Šířka pásma jasového signálu závisí na použité normě televizního vysílání. V textu budeme nadále předpokládat normu CCIR D/K. Pro tuto normu lze podle [3] určit maximální šířku pásma, která je  $f_{\text{MAX}} \cong 7,366 \text{ MHz}$ . Obraz, který by však danou šířku pásma vyžadoval



se však vyskytuje velmi zřídka a je tedy možné se spokojit s menší šířkou pásma, která se podle normy pohybuje v rozmezí 0 – 6 MHz. V dnešní době, kdy je možné snímat i barevné obrazy, se tvoří jasový signál  $U_Y$  jiným způsobem. Jsou snímány jednotlivé základní barevné signály, červený  $U_R$ , zelený  $U_G$  a modrý  $U_B$ . Jasový signál je poté v maticových obvodech vypočítaný podle rovnice [3]

$$U_Y = 0,30 \cdot U_R + 0,59 \cdot U_G + 0,11 \cdot U_B. \quad (1)$$

## 2.3 Barevný signál

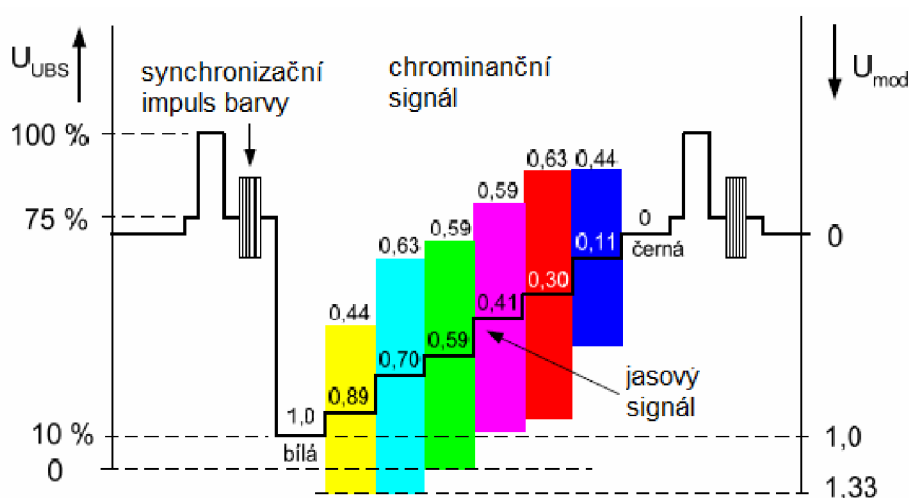
Jak bylo zmíněno, základními barevnými televizními signály jsou  $U_R$ ,  $U_G$  a  $U_B$ . Ty však mají každý šířku pásma 6 MHz, a proto se používají pro studiové aplikace. Pro přenos obrazového signálu k divákovi jsou nevhodné, navíc by nebyla zaručena zpětná kompatibilita s černobílým televizním přenosem. Proto se pro přenos informace o barvě používají tzv. chrominanční signály, které jsou lineární kombinací základních barevných signálů a signálu jasového. Jedná se o signály  $U_R-U_Y$ ,  $U_G-U_Y$  a  $U_B-U_Y$ . Jelikož je barevná rozlišovací schopnost lidského zraku nižší než pro jasový signál, je možné pro chrominanční signály užít šířku pásma 0 – 1,6 MHz [3].

V televizní praxi se přenášejí chrominanční signály  $U_U$  a  $U_V$ , které se získávají též v maticových obvodech podle předpisu [2]

$$U_U = 0,49 \cdot (U_B - U_Y), \quad (2)$$

$$U_V = 0,88 \cdot (U_R - U_Y). \quad (3)$$

Signály  $U_U$  a  $U_V$  jsou poté pomocí kvadraturní amplitudové modulace QAM modulovány na nosný kmitočet barvy, který je podle [3]  $f_{nb} \cong 4,43$  MHz. Barvonosná frekvence je zvolena tak, aby nezasahovala do spektra jasového signálu. Černobílý přijímač tedy informace o barvě ignoruje a korektně zobrazí černobílý signál. Barevný přijímač pomocí jasového a obou chrominančních signálů vypočítá původní barevné signály  $U_{R,G,B}$  a zobrazí korektní barevný obraz. Superpozicí jasového signálu, synchronizačních impulsů, chrominančních signálů modulovaných na příslušné barvonosné frekvenci a synchronizačního impulsu barvy vzniká tzv. úplný barevný signál, označovaný jako CVBS (Color Video Blanking Synchronisation). Synchronizační impuls barvy, označovaný též jako burst, slouží ke správné generaci barvonosné frekvenci v přijímači a vkládá se do zatemňovacího řádkového impulsu. Časový průběh CVBS signálu pro signál barevných pruhů zobrazuje obr. 5. Vidíme zde zejména umístění signálu burst a úrovně jasového signálu pro jednotlivé barevné pruhy [3].

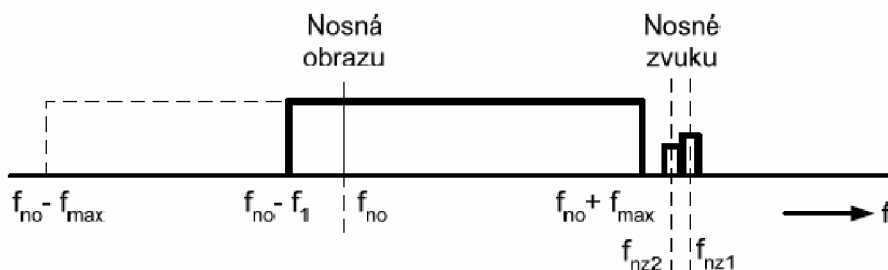


Obr. 5 Časový průběh úplného barevného signálu v soustavě NTSC [3]

## 2.4 Televizní signál a zvuk

Jako televizní signál se označuje CVBS signál modulovaný na vysokofrekvenční nosnou obrazu  $f_{no}$ . Pro analogové pozemní (terestriální) vysílání se používá amplitudová modulace s částečně potlačeným dolním pásmem. To se používá k odstranění nežádoucího způsobu demodulace, ke kterému by jinak docházelo při použití AM se dvěma postranními pásmy. Kvůli chybné demodulaci by dolní část spektra obrazového signálu měla dvojnásobný výkon než horní část spektra a signál by byl znehodnocen. Jak již bylo řečeno výše, užívá se v praxi kvůli energetické výhodnosti modulace nosné signálem s negativní polaritou. Také různé poruchy amplitudového charakteru se v obraze projeví jako černé body, což je pro diváka přijatelnější než světlé body [3].

Aby byl televizní signál kompletní, je k němu třeba přidat zvukový doprovod. Takový signál poté nazýváme úplný televizní signál. Zvuk se moduluje na vysokofrekvenční nosnou zvuku  $f_{nz}$ . Pro stereofonní přenos zvuku se využívají dvě nosné  $f_{nz1}$  a  $f_{nz2}$ . Umístění nosné zvuku ve spektru úplného televizního signálu zobrazuje obr. 6. Odstup nosných obrazu a zvuku závisí na použité televizní normě, pro u nás používané normy D/K a B/G je to 6,5 MHz nebo 5,5 MHz. K modulaci zvuku se nejčastěji používá frekvenční modulace [3].



Obr. 6 Spektrum úplného televizního signálu [ 3]

## 2.5 Televizní normy

Televizní norma je souhrn pravidel pro tvorbu televizního signálu a technických údajů nezbytných pro televizní vysílání. U analogové televize jsou v normě definovány technické parametry obrazových a zvukových signálů, systém kódování barevné informace a parametry umístění doplňkových služeb. Televizní normy definovala v roce 1961 ve Stockholmu odborná komise CCIR (Comité consultatif international pour la radio). Byly definovány normy CCIR A – CCIR N. Spolu s informací o soustavě barevné televize tvoří TV norma jednoznačnou definici použitého standardu. Některé z dosud používaných norem zobrazuje tabulka 1 [5]. V tabulce jsou zvýrazněny některé nezvyklé hodnoty parametrů, např. počet řádků u normy M, který je na rozdíl od ostatních zobrazených norem pouhých 480, a také šířka pásma u normy B, která je na rozdíl od ostatních v Evropě užívaných norem jen 7 MHz [3].

Tabulka 1 Některé z užívaných norem CCIR [5]

	B	G	D	K	M	N
Pásmo	VHF	UHF	VHF	UHF	UHF/VHF	UHF/VHF
Počet řádků / pulsnímkový kmitočet	625/50	625/50	625/50	625/50	525/60	625/50
Počet aktivních řádků	576	576	576	576	<b>480</b>	576
Obrazová šířka pásma	5,0 MHz	5,0 MHz	6,0 MHz	6,0 MHz	4,2 MHz	5,0 MHz
Nosná frekvence zvuku	5,5 MHz	5,5 MHz	6,5 MHz	6,5 MHz	4,5 MHz	5,5 MHz
Šířka pásma TV kanálu	<b>7 MHz</b>	8 MHz	8 MHz	8 MHz	6 MHz	6 MHz

V České republice se užívají normy D/K. V západní Evropě a na Slovensku nalezneme normy B/G, norma M se svými 525 řádky je typická pro Ameriku, normu N užívá Uruguay a Paraguay. Všechny tyto normy používají negativní polaritu televizního signálu a FM modulaci zvukového doprovodu. Ve Francii užívané normy L/L' vycházejí z norem D/K, přičemž hlavním rozdílem je amplitudová modulace zvukového signálu a vysílání v pozitivní polaritě [3].

### 2.5.1 Soustavy barevné televize

První soustavou barevné televize je soustava NTSC. Tato soustava je od roku 1954 využívána v USA a později byla zavedena i v Japonsku, v Kanadě a části Jižní Ameriky. Využívá normu CCIR M, a je tedy spojována s 525 řádky. K modulaci chrominančních signálů se využívá modulace QAM. Přenos informací o barvě je současný. Soustava nekoriguje fázové zkreslení a může tedy docházet ke zkreslení tónu barvy [1], [4], [8].

První evropskou barevnou soustavou je francouzská soustava SECAM (Séquentiel couleur à mémoire). Tato soustava přenáší současně jen jasový a jeden chrominanční signál. Chrominanční signály  $U_R-U_Y$  a  $U_B-U_Y$  se střídají každý po dobu jednoho řádku. V přijímači tedy musí být zavedena paměť, aby se oba chrominanční signály vyskytovaly současně. Rozdílové signály barev se přenášejí frekvenční modulací. Pro střídání chrominančních signálů ji označujeme za soustavu následnou. Dodnes je soustava SECAM využívána ve Francii, Rusku a některých asijských státech. Do roku 1992 byla používána i u nás [6], [1].

Problém zkreslení tónu barvy při lineárním zkreslení signálu odstraňuje evropská norma PAL. Zde se v každém následujícím snímku mění fáze signálu  $U_R-U_Y$  o  $180^\circ$ . Chrominanční signály se stejně jako u NTSC modulují pomocí QAM. Soustava PAL je nejčastěji užívána spolu s normami CCIR B/G a D/K, tedy s normami o 625 řádcích [1], [5].

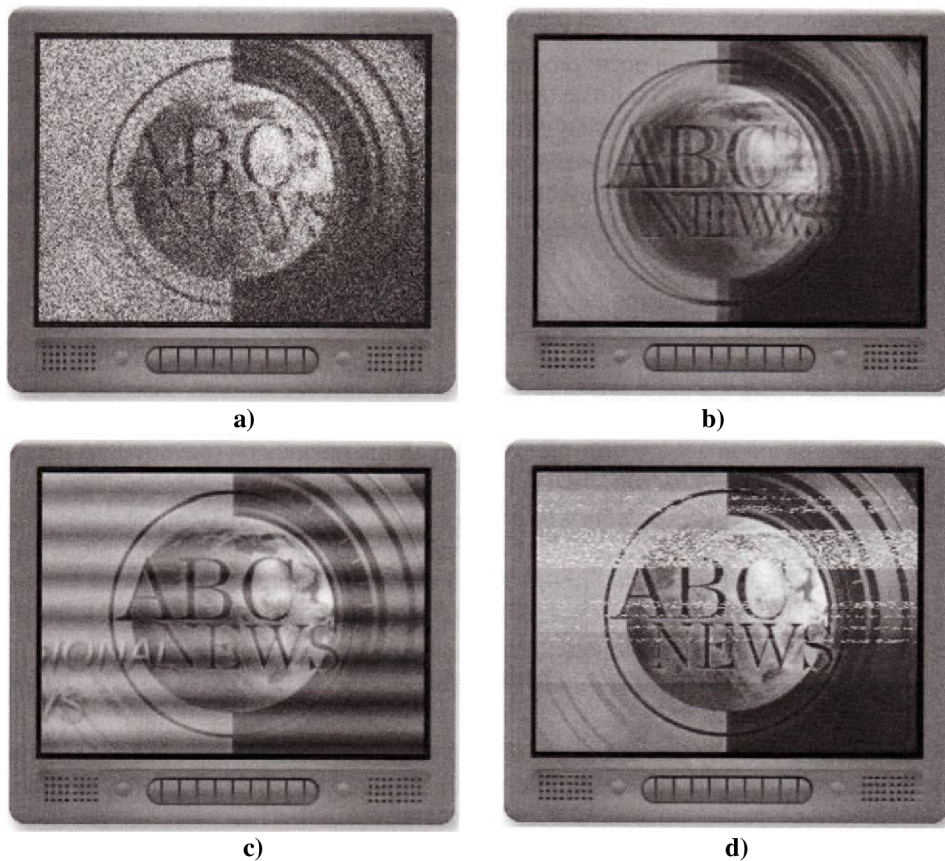
## 2.6 Měření analogových televizních signálů a rušení

Signály analogové televize byly měřeny už od počátků televizního vysílání, nejdříve za pomoci běžného osciloskopu, později vektroskopy. Nyní se užívají pokročilé metody měření za pomoci video analyzátorů. Všechna tato měření slouží zejména ke zjištění rušení televizního signálu. K měření se využívají především testovací televizní řádky. Zjišťovat např. lze:

- úroveň bílé (white bar amplitude)
- úroveň synchronizačních pulsů
- úroveň impulsu BURST

Za pomoci měřicího přijímače lze zjišťovat i amplitudy nosných frekvencí obrazu a zvuku a jejich kmitočty [2].

Tato měření slouží zejména ke zjištění typu rušení, které se může v signálu objevit. Jak se projevují různé typy rušení přímo na kvalitě obrazu zobrazují obrázky 7 a) až 7 d) [7].



**Obr. 7 Typy rušení v analogové televizi: a) vliv nízké úrovně signálu (sněžení) b) vliv odrazu signálu (duchy) c) vliv intermodulace d) vliv rušení z impulsních zdrojů [7]**

Na předešlých obrázcích vidíme, jak se na obraze analogové televize projeví konkrétní typy rušení. Tato rušení jsou důležitá pro další část této práce, protože v nadcházející části budeme tato rušení uměle přidávat do televizního signálu a dále zjišťovat jejich konkrétní vliv na objektivní kvalitu obrazového signálu.

## 3 Digitální televize

Vzhledem k nemožnosti dalšího rozvoje stávajícího pozemního analogového televizního vysílání vznikla tendence na inovaci tohoto systému. Jejím důsledkem je digitální televizní vysílání. V současné době existují čtyři hlavní standardy pozemního digitálního televizního vysílání. Jsou jimi americký standard ATSC (Advanced Television System Comitee), standard vyvinutý v Japonsku ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial), který se kromě země původu používá i ve většině latinské Ameriky, dále čínský standard DTMB (Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting) a samozřejmě i evropský standard DVB-T (Digital video broadcasting – Terrestrial). Vzhledem k tomu, že Česká republika přijala právě standard DVB-T, budeme na následujících stránkách popisovat právě tento standard.

### 3.1 Důvody zavádění digitální televize a DVB

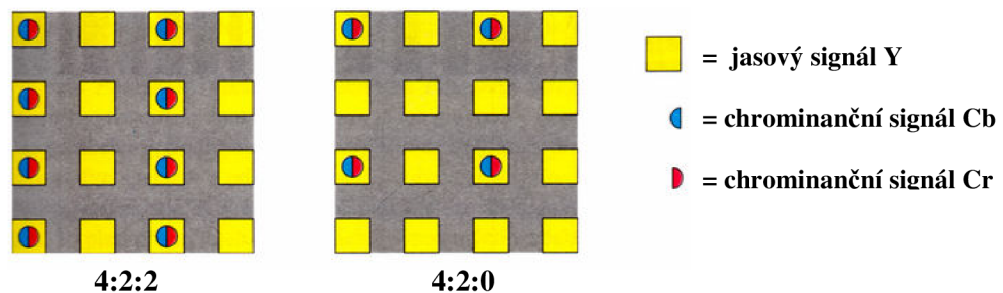
Hlavními důvody zavádění digitálních televizních systémů v pozemní televizi je nedostatek prostoru pro další televizní programy. V analogové televizi může na jednom kanále vysílat jen jeden televizní program. Naproti tomu digitální televizní vysílání umožňuje díky multiplexování, které bude vysvětleno dále, umístit do jednoho televizního kanálu obvykle 3–5 televizních programů ve standardním rozlišení odpovídajícímu vysílání v systému PAL. Dochází tedy k významné úspoře spektra, které lze ještě dále uspořit díky možnosti tzv. jednofrekvenčních sítí (SFN), kdy lze v rámci ucelené oblasti vysílat tentýž signál na stejném kmitočtu společném pro několik vysílačů. Neposledním důvodem je vyšší odolnost digitálního televizního vysílání vůči rušení a také všeobecná tendence zavádění digitálních systému do většiny odvětví [7], [9].

Vytvoření standardu pro digitální vysílání v Evropě má na starost konsorcium DVB. Toto mezinárodní konsorcium tvoří zejména televizní společnosti, výrobci audio-video zařízení, operátoři vysílacích sítí, státní telekomunikační regulátoři a další členové. Od dob vzniku DVB se jeho specifikace staly normami pro digitální vysílání. Rozlišujeme tři základní způsoby digitálního televizního vysílání: DVB-S pro satelitní příjem, DVB-C pro příjem přes kabelové rozvody a již zmiňované DVB-T pro příjem pozemní. V současné době známe i specifikace jejich následovnických systémů, a to DVB-S2, DVB-C2 a DVB-T2. Trochu stranou od těchto formátů stojí formát DVB-H pro příjem v kapesních zařízeních, který je též určen pro pozemní příjem a počítá se společným zaváděním se systémem DVB-T. V České republice však tento systém není v provozu a v dohledné době se jeho spuštění ani neplánuje [7], [10].

### 3.2 Digitalizace obrazového signálu a doporučení ITU-R BT. 601

Základem pro digitální televizní vysílání jsou, stejně jako pro analogové, jasový a chrominanční obrazový signál. Na základě doporučení mezinárodní telekomunikační unie ITU byl pod označením ITU-R BT.601 vydán soubor norem, které definují pravidla pro převod analogového signálu v soustavách barevné televize NTSC, PAL a SECAM a normách B/G a D/K do digitální podoby. Jasový signál a chrominanční signály jsou převáděny na digitální signály  $Y$ ,  $C_B$  a  $C_R$ . Informace z měřicích řádků a data teletextu se nevzorkují, ale

tvoří vlastní datový tok. Také zvukový signál se přenáší zvlášť. Základní pravidla pro převod analogového signálu na digitální jsou následující. Jasový signál je vzorkován frekvencí  $f_{vzY} = 13,5$  MHz, chrominanční signály  $C_B$  a  $C_R$  jsou z důvodu nižší barevné rozlišovací schopnosti zraku vzorkovány kmitočtem  $f_{vzCB,R} = 6,5$  MHz. Formát vzorkování je 4:2:2, což znamená, že na 4 vzorky jasového signálu Y připadá po dvou vzorcích chrominančních signálů  $C_B$  a  $C_R$ . Pro další číslicové zpracování, zejména pro kompresi, se hojně používá formát 4:2:0, kdy se vzorky chrominančních signálů vynechají v každém druhém řádku a na přijímací straně jsou poté chybějící vzorky dopočítány. Situaci popisuje obrázek 8 [1].



Obr. 8 Formáty vzorkování obrazových signálů podle ITU-R BT. 601 [1]

Ve studiových aplikacích lze využívat i velmi kvalitní formát 4:4:4, kdy je počet vzorků jasového a chrominančních signálů stejný, a tedy i vzorkovací frekvence všech signálů je shodně 13,5 MHz. Doporučení dále počítá s 864 obrazovými body v jednom řádku pro soustavy s 625 řádky. Při takovémto vzorkování by byl nekomprimovaný datový tok potřebný pro televizní normu 625/50 s předpokladem 8bitového kvantování následující:  
 Pro jasový signál Y:  $864 \cdot 625 \cdot 8 \cdot 25 = 108$  MBitů/s. Pro chrominanční signály je vzorkovací kmitočtem poloviční, tedy i datový tok je poloviční, 54 MBitů/s. Celkový datový tok je poté tedy  $108 + 2 \cdot 54 = 216$  MBitů/s. Takový datový tok by potřeboval nejméně šířku pásma 216 MHz, což je pro pozemní vysílání nepředstavitelné. Proto je třeba tento datový tok snížit za pomoci komprese na úroveň přibližně 3-5 MBitů/s [1], [7], [11].

### 3.3 Zdrojové kódování

Ke snížení datového toku video signálu se užívají dvě hlavní metody redukce datového toku. Jsou jimi redukce redundance a redukce irelevance. Redukce redundance spočívá v odstranění nadbytečných informací, např. je-li celý řádek bílý, stačí zaznamenat že první bod je bílý a počet následujících bodů, které jsou též bílé. Tímto se žádná informace neztrácí, redukce redundance je tedy bezztrátová. Naproti tomu redukce irelevance spoléhá na nedokonalost lidských smyslů, a přestože nemusíme subjektivně vnímat kvalitativní zhoršení přenášené informace, je redukce irelevance ztrátová. Oba tyto typy redukce datového toku používá kompresní standard MPEG-2, který je standardní kompresí používanou v DVB-T. Problematika MPEG-2 kodéru je však příliš rozsáhlá a pro potřeby této práce není nezbytná, a proto bude popsána jen stručně [9].



### 3.4 MPEG-2

MPEG-2 je komprimovaný datový formát vytvořený expertní skupinou MPEG (Motion Picture Expert Group). Je to stavebnicový systém, umožňující různým složením kódovacích metod použít standard pro různé účely. Nás bude zajímat jeho tzv. hlavní profil s hlavní úrovní, který se používá jak v systémech DVB, tak jej nalezneme též na discích DVD. Hlavní profil předpokládá rozlišení obrazu 720x576 aktivních bodů a formát vzorkování 4:2:0 [7].

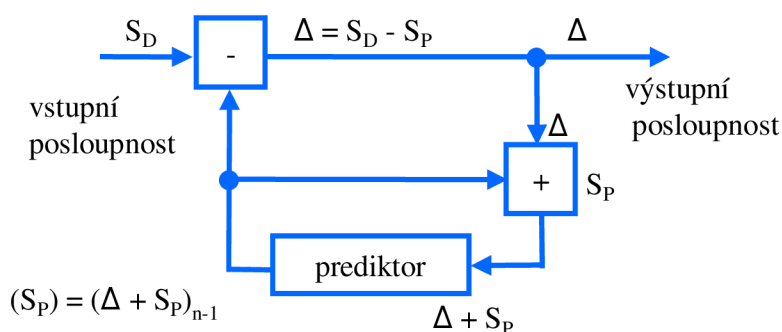
Jak již bylo zmíněno, základem MPEG-2 je redukce redundance a irelevance. Toho se dosahuje pomocí následujících kroků:

- vypuštění zatemňovacích intervalů,
- redukce barevného rozlišení ve svislém směru (užití formátu 4:2:0),
- diskretní kosinová transformace DCT a kvantování,
- kódování s proměnnou délkou slova.

Samotným vypuštěním řádkových a pulsníkových intervalů snížíme datový tok na cca 166 MBitů/s. Vzorkováním 4:2:0 snížíme tok o 25% na 124,5 Mbitů/s. To je však stále příliš velká hodnota, a proto data podrobujeme dalším kódováním, kterými jsou diferenční kódování DPCM a dále transformace DCT [2].

#### 3.4.1 Diferenční pulsní kódová modulace a GOP

Diferenční pulsní kódová modulace DPCM využívá faktu, že se jednotlivé snímky pohyblivého obrazu liší jen mírně (nepočítáme-li střih). Některé části obrazu jsou přímo statické (např. pozadí). Dále jsou části, kde dochází jen k malým změnám a části, kde se objevuje zcela nový objekt. DPCM spočívá v porovnávání skutečné hodnoty určitého vzorku s hodnotou např. některého dřívějšího vzorku. Princip prediktoru zobrazuje obrázek 9 [7].

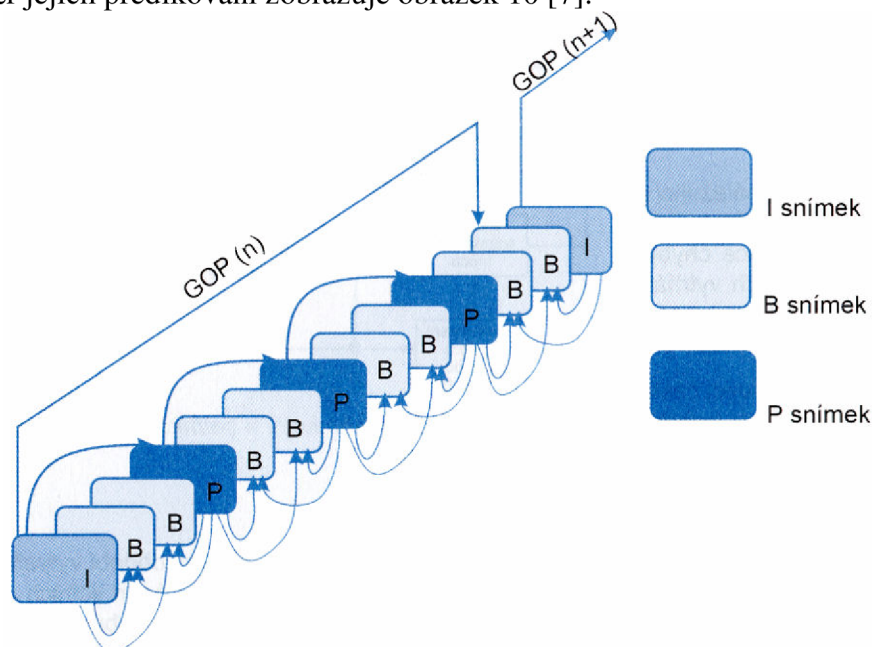


Obr. 9 Zapojení prediktoru (DPCM) [7]

Z obrázku vyplývá, že pomocí DPCM se vytváří signál, který je rozdílem mezi vstupním číslicovým signálem  $S_D$  a predikčním signálem  $S_P$ . Přenáší se tedy jen rozdíly mezi skutečnou hodnotou a hodnotou předpovězenou, tedy jen tzv. predikční odchylky. K predikci lze užít jednu či více hodnot buď z téhož řádku nebo ze sousedního minulého řádku téhož či předchozího snímku. Podle toho rozlišujeme predikci prostorovou, jedná-li se o týž snímek, nebo časovou, užíváme-li snímek sousední [7].

Na základě toho, jak byly predikce určeny, rozlišujeme tři typy snímku: snímek I, snímek P a snímek B. Snímek I (Intra frame coded Picture) je kódovaný pouze v rámci sebe

samého, je tedy bez predikce. Snímky P (Inter frame forward predicted Picture) jsou kódovány za pomoci předešlého snímku, jedná se tedy o jednosměrnou predikci směrem vpřed. B snímky (Bidirectional predicted picture) jsou snímky s obousměrnou predikcí, jsou tedy tvořeny na základě předešlého a následujícího snímku. Všechny tyto snímky jsou poté uspořádány do tzv. skupiny snímků GOP (Group of Pictures), délka této skupiny je ohraničena I snímkem. Typické trvání GOP je 480 ms. Uspořádání jednotlivých typů snímků v GOP a směr jejich predikování zobrazuje obrázek 10 [7].



Obr. 10 Struktura skupiny snímků GOP [7]

### 3.4.2 Diskrétní kosinová transformace DCT a kvantování

Pro komprimaci vstupních signálů se využívá transformační kódování. Jeho úkolem je převést hodnoty na sobě závislých vzorků na jiné vzorky, které již budou na sobě nezávislé, a jejichž hodnoty by byly soustředěny do menší rozlohy matice, než je tomu u vzorků před transformací. Transformační funkce převádí diskrétní signál z časové oblasti do oblasti kmitočtové, tedy do tzv. prostorového spektra signálu. Teoreticky lze provádět transformace na celém snímku, tj. na bloku 720x576 bodů. Nároky na výpočet by však byly zbytečně vysoké s ohledem na dosažený výsledek. Proto byl zvolen kompromis mezi dostatečnou kompresí a únosnou výpočetní zátěží, kdy se transformační kódování provádí na blocích 8x8 bodů, na které je vstupní snímek rozložen [7].

Standard MPEG-2 využívá diskrétní kosinovou transformaci DCT. Proto lze přetransformovat matici s prostorovými prvky  $x$  a  $y$  na kmitočtovou matici  $f_x=u$  a  $f_y = v$ . Koeficienty DCT se počítají pro  $N = 8$  (tj. matici 8x8) podle vztahu [1]

$$G(u, v) = \frac{1}{4} C(u)C(v) \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 g(x, y) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{16}, \quad (4)$$

kde  $u, v$  jsou souřadnice v kmitočtové oblasti a  $x, y$  souřadnice v časové oblasti [1].

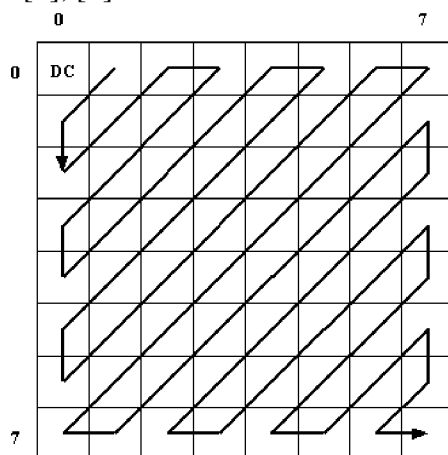
Úspora datového toku při použití DCT spočívá v tom, že čím více je vstupní diskrétní signál korelovaný, tím více frekvenčních koeficientů je po DCT nulových. Například má-li vstupní matice 8x8 všechny své vzorky totožné, po DCT získáme pouze jeden vzorek.



Z principu můžou vzorky po kosinové transformaci nabývat i záporných hodnot. To by však při přenosu znamenalo delší bitová slova, a tudíž i horší kompresní poměr. Z toho důvodu se aplikuje kvantování, kdy je matice prvků po DCT celočíselně vydělena kvantizační tabulkou, čímž získáme další nulové frekvenční koeficienty. Tím se však již stává transformace ztrátovou kompresí. Kvantizační tabulky nelze matematicky definovat a byly určeny experimentálně. Další operací, kterou lze nad získanou maticí provést, je prahování, kdy zanedbáme koeficienty s nižší hodnotou než je náš stanovený práh. Tím opět snížíme datový tok na úkor akceptovatelného zhoršení kvality [7], [9].

### 3.4.3 Entropické kódování

Při dalším zpracování kvantovaných frekvenčních koeficientů dále zmenšujeme redundanci signálu entropickým kódováním v podobě kódování s proměnnou délkou slova VLC. Délka slova daného vzorku se pak mění podle četnosti výskytu hodnot. Často vyskytující se hodnoty jsou kódovány krátkými bitovými slovy, naopak velmi zřídka vyskytující se hodnoty se kódují slovy dlouhými. Soustava MPEG-2 používá Huffmanovo kódování. Frekvenční koeficienty jsou z matice vyčítány stylem „cik-cak“, jak zobrazuje obrázek 11. Tento styl je výhodný, protože tímto směrem hodnoty frekvenčních koeficientů klesají. Výstupem čtení je sériový tok dat, kde jsou od určitého koeficientu všechny následující koeficienty nulové [7], [9].



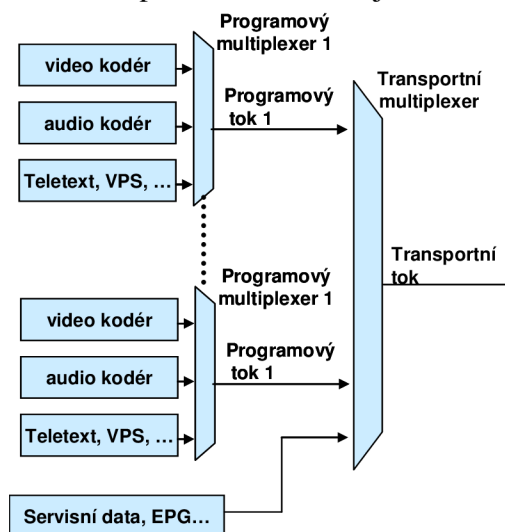
Obr. 11 Způsob vyčítání frekvenčních koeficientů [12]

### 3.4.4 Kompresce zvukového doprovodu

Jak již bylo řečeno, zvukový doprovod je přenášen mimo obrazový signál. Také zvuk je podroben kompresi, aby se snížil jeho datový tok. V systému DVB se nejčastěji používá kódování zvuku MPEG-1 Layer II. Toto kódování patří mezi tzv. perceptuální kódování. Zvukový signál je rozdělen na základě kmitočtového spektra do subpásem. Na ty je dále aplikován psychoakustický model, který respektuje vlastnosti lidského sluchu. Jednou z nich je tzv. maskovací efekt, kdy zvuk vysoké intenzity zamaskuje slabší zvuky v daném subpásmu a není je tedy třeba přenášet. Dále psychoakustický model zahrnuje nerovnoměrnost citlivosti lidského sluchu v celém spektru, tzv. Fletcher-Munsonovy křivky stejné hlasitosti. Ty udávají, závislost hlasitosti zvuku na frekvenci, přičemž je posluchačem vnímána konstantní hlasitost. Kompresní algoritmus MPEG připouští vzorkovací kmitočty 16, 22,05, 24, 32, 44,1 a 48 kHz, ovšem v DVB je doporučeno používat kmitočty 48 kHz příp. 44,1 nebo 32 kHz. Povolené bitové toky jsou 32 až 384 kbit/s [14].

### 3.5 Multiplexování

Datové toky vycházející z audio a video kodéru je třeba sloučit do jednoho datového toku. Děje se tak v primárním tzv. programovém multiplexeru. Zde jsou k obrazovým a zvukovým datům přidána i doplňková data, jako signál VPS či teletext. Výstupem programového multiplexeru je programový tok PS. Jak bylo již zmíněno, v systému DVB-T se obvykle přenáší v rámci jednoho televizního kanálu 3-5 televizních programů. Slučování jednotlivých programových toků se děje v transportním multiplexeru, kde jsou k PS přidána další data. Kromě servisních dat a identifikace daného multiplexu se zde přidávají i data elektronického programového průvodce EPG či data interaktivních aplikací. Výstupem je poté tzv. transportní tok TS. Schéma multiplexování zobrazuje obrázek 12.



Obr. 12 Schéma programového a transportního multiplexeru

Datové toky z audio a video kodéru nepřicházejí do multiplexeru spojitě, ale jsou rozděleny na pakety. Každý paket je tvořen 6bajtovým záhlavím, za ním následují specifikující informace, které mohou mít 3 až 259 bajtů, a poté samotná data. Ta mají proměnnou délku, aby byla výsledná délka paketu konstantní. Takový datový tok nazýváme Packetized Elementary Stream (PES). Jelikož je signál na přenosové cestě vystaven různým typům rušení, je třeba jej zabezpečit proti vzniku chyb. Děje se tak pomocí tzv. kanálového kódování [14], [9].

### 3.6 Kanálové kódování

Kanálové kódování je proces, při kterém se k transportnímu toku přidávají další data, která slouží k opravě chyb, ke kterým mohlo dojít vlivem rušení na přenosové cestě. Tato data tedy představují přídavnou redundanci. K eliminaci ojedinělých chyb se využívají samoopravné kódy, k eliminaci shluků chyb se využívá metoda prokládání. Transportní tok může být zabezpečen až dvěma druhy ochranného kódování FEC (Forward Error Correction). Tzv. vnější ochranný kód FEC1 slouží k opravě jednotlivých bajtů. Využívá se k němu samoopravný Reed-Solomonův kód. Tento kód ke transportnímu toku tvořenému 188 bajty přidává dalších 16 bajtů. Takto lze opravit až 8 chybných bajtů. Vnitřní ochranný kód FEC2 slouží k zabezpečení na úrovni bitů, využívá se k tomu konvoluční kód. Ten nepřidává žádné bity navíc, ale bity se předepsaným způsobem konvolují [7], [9].

Posledním z protichybových mechanismů je prokládání. To pracuje na jednoduchém principu, kdy jednotlivé bity jsou z kodéru do paměti ukládány postupně bit po bitu, a to po řádcích. Před přenosem se z této paměti načítají opět bit po bitu, ale po sloupcích, a takto jsou také přenášeny. Na přijímací straně jsou bity do paměti ukládány též po sloupcích, ale vyčítány jsou po řádcích. To velmi jednoduše zamezí výskytu shlukových chyb. Jestliže byl přenosovým kanálem poškozen shluk bitů, tedy celý jeden sloupec, v dekodéru bude chyba pouze jen jedna na každém řádku. To však již jsme schopni opravit samoopravným kódem [7], [9].

### 3.7 Digitální modulace

Systém DVB-T používá modulační princip OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex), který je založen na tom, že přenosový kanál obsahuje velký počet rovnoměrně rozmístěných dílčích subnosných kmitočtů. Norma připouští dva základní módy modulace OFDM: mód 2k (1705 subnosných), který je používán pouze ve Velké Británii, a mód 8k (6817 subnosných), používaný ve většině ostatních zemí. Z celkového počtu 6817 subnosných je 6048 aktivních (určených pro přenos dat) a 769 referenčních (sloužících k tzv. vzorkování kanálu). Každá dílčí subnosná vlna je modulována některým ze tří typů tzv. vícestavových digitálních modulací (QPSK, 16-QAM nebo 64-QAM). Je-li použita modulace QPSK, pak jedna subnosná vlna přenáší 2 bity informace, modulace 16-QAM umožňuje přenášet 4 bity a modulace 64-QAM 6 bitů jednou subnosnou vlnou. Tyto modulace byly již detailně popsány v literatuře, např. [1] a [9], a jejich rozbor by již přesahoval rámec této práce, a proto je nebudeme dále rozebírat. Samotný OFDM modulátor poté přerozdělí kontinuální tok bitů TS mezi 6048 aktivních subnosných vln, čímž dojde ke změně principu přenosu dat ze sériového na paralelní, a zároveň k prodloužení trvání každého bitu resp. symbolu [12].

Hlavní výhodou OFDM modulace je možnost pracovat v jednofrekvenčních sítích SFN. Pokud vysílače vysílají totožný datový tok, mohou vysílat na stejném kmitočtu. Signály jednotlivých vysílačů se nemusí vyrušit, jak tomu je u analogové televize, vysílače se naopak mohou v některých případech i vzájemně podporovat. Jelikož však signál může dorazit s různým časovým zpožděním, zavádí se tzv. ochranný interval. Je to doba, po kterou dekodér nepřijímá. Pokud by tedy vzdálenější signál či odražený signál dorazil v době trvání ochranného intervalu, nebude na přijímací straně vůbec detekován. Ochranný interval také udává maximální vzdálenost jednotlivých vysílačů v síti SFN. Pro české podmínky, tj. OFDM mód 8k a užívaný ochranný interval 1/4, je vzdálenost vysílačů podle [2] přibližně 67,6 km. Aby však mohly sítě SFN správně fungovat, je kladen velký důraz nejen na kmitočtovou, ale i na bitovou synchronizaci, kdy je třeba, aby všechny vysílače vysílaly v tentýž okamžik stejná data. Délka ochranného intervalu logicky zmenšuje přenosovou rychlost jednoho kanálu. Hodnoty přenosových rychlostí v závislosti na typu použité modulace, na délce ochranného intervalu a na poměru konvolučního kódu FEC zobrazuje tabulka 2. Nastavení používané v ČR je vyznačeno tučně [9], [7].

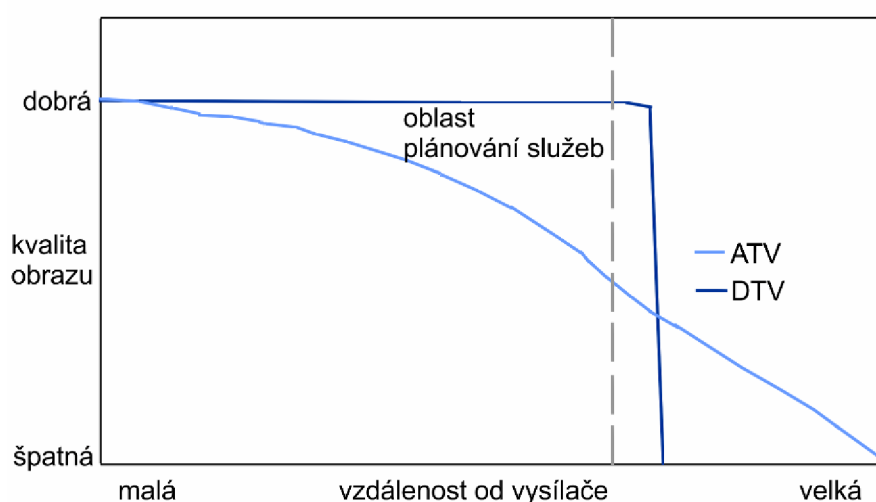
Tabulka 2 Přenosové rychlosti v DVB-T na jeden kanál 8 MHz [14]

Typ modulace	Kódový poměr FEC	Ochranný interval			
		1/4	1/8	1/16	1/32
		bitová rychlost kanálu [Mbitů/s]			
QPSK	1/2	4,98	5,53	5,85	6,03
QPSK	2/3	6,64	7,37	7,81	8,04
QPSK	3/4	7,46	8,29	8,78	9,05
QPSK	5/6	8,29	9,22	9,76	10,05
QPSK	7/8	8,71	9,68	10,25	10,56
16-QAM	1/2	9,95	11,06	11,71	12,06
16-QAM	2/3	13,27	14,75	15,61	16,09
16-QAM	3/4	14,93	16,59	17,56	18,10
16-QAM	5/6	16,59	18,43	19,52	20,11
16-QAM	7/8	17,42	19,35	20,49	21,11
64-QAM	1/2	14,93	16,59	17,56	18,10
64-QAM	2/3	<b>19,91</b>	22,12	23,42	24,13
64-QAM	3/4	22,39	24,88	26,35	27,14
64-QAM	5/6	24,88	27,65	29,27	30,16
64-QAM	7/8	26,13	29,03	30,74	31,67

### 3.8 Příjem digitální televize DVB-T a její budoucnost

Jak již bylo řečeno v úvodu, digitální televizní vysílání je neslučitelné s analogovými televizními systémy. Pro příjem digitálního vysílání je zapotřebí buď přijímač DVB-T, tzv. set-top-box, nebo televizní přijímač, který má digitální tuner již integrovaný. Přesto se však investice do nového zařízení vyplatí.

Jednou z hlavních výhod digitálního vysílání DVB-T je tak zvaný „cliff efekt“. Ten spočívá v tom, že vzdalujeme-li se od vysílače, je kvalita obrazu při příjmu DVB-T povětšinou konstantní a prudce klesá až překročíme-li tzv. oblast plánování služeb. U analogové televize platí, že čím větší vzdálenost od vysílače, tím větší snížení kvality obrazu můžeme pozorovat. Přehledně zobrazuje tento „cliff efekt“ obrázek 13 [7].



Obr. 13 Závislost kvality obrazu ATV a DTV na vzdálenosti od vysílače [7]

Po překročení jisté vzdálenosti již však ani ochranné mechanismy nejsou schopny zcela obnovit signál. Na přijímači poté pozorujeme buď tzv. „kostičkování“ nebo je příjem zcela znemožněn [9].

Další výhodou DVB-T je vyšší odolnost na případné rušení. Prakticky jediný typ rušení, který se projeví na kvalitě obrazu, je rušení z impulsních zdrojů. Toto rušení se může projevit náhlým „zamrznutím“ obrazu či zvuku, nebo již zmiňovaným „kostičkováním“. Projevy rušení známé z ATV, jako např. duchy apod., v digitální televizi nejsou [7].

Budoucnost DVB-T stojí zejména na zavádění televize ve vysokém rozlišení HDTV. Ta vyžaduje větší datový tok a ve stávajícím systému by na jednom kanále mohl vysílat jediný televizní program ve vysokém rozlišení. Z toho důvodu byl standardizován nástupce systému DVB-T, a to systém DVB-T2. Ten je jednak schopen poskytnout přibližně o 30% vyšší přenosové rychlosti, navíc se v něm počítá i s využitím efektivnějšího algoritmu na kompresi obrazu a zvuku, jakým je MPEG-4 AVC [12].

## 4 Metriky k určování kvality

Vzhledem ke stále se rozšiřujícím kompresním algoritmům, bylo třeba zavést způsob, kterým bude možné posoudit kvalitu komprimovaného obrazu. Subjektivní metody založené na rozhodnutích pozorovatelů, zda je obraz přijatelný či nikoliv, nejsou pro porovnávání příliš praktické. Z tohoto důvodu vznikly metody objektivní, které jsou založeny na matematických výpočtech. Kromě prvních metod, které příliš nevypovídaly o skutečném vjemu obrazu na reálného pozorovatele, máme dnes i metody, které počítají i s vlastnostmi lidského zraku.

### 4.1 Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)

Jednou z nejjednodušších metod pro určování kvality obrazu je metoda PSNR. Je to vlastně poměr vrcholového signálu k šumu. Tato metoda je velmi jednoduchá na výpočet, nepočítá však s vlastnostmi lidského zraku. Hodnota PSNR je obvykle udávána v decibelech. Typické hodnoty pro kompresi videa jsou mezi 30 dB – 50 dB, čím vyšší hodnota, tím je kvalitnější obraz. Vzorec pro výpočet PSNR je následující [15]:

$$PSNR_{dB} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{m^2}{MSE} \right), \quad (5)$$

kde  $m$  je maximální hodnota, kterou může pixel nabývat (např. 255 pro 8bitový obrázek) a MSE (Mean Squared Error) je střední kvadratická chyba, která se počítá podle vzorce [15]

$$MSE = \frac{1}{TXY} \sum_t \sum_x \sum_y [I(t, x, y) - \tilde{I}(t, x, y)]^2, \quad (6)$$

kde  $I, \tilde{I}$  jsou černobílé obrazy o rozměrech  $X$  a  $Y$  a  $T$  snímcích. Z toho plyne, že PSNR lze používat jen pro černobílé obrazy, či jen pro jasovou složku barevných obrazů, pro barevné obrazy není výpočet standardizován

### 4.2 Structural Similarity (SSIM)

SSIM je další z metrik, kterými lze objektivně hodnotit kvalitu videa. Je založena na výpočtu strukturální podobnosti daných snímků. Patří tedy mezi perceptuální metriky, které respektují vlastnosti lidského zraku. U barevných obrazů se počítá jen pro lumenční složku. Definice indexu SSIM je následující [16]:

$$SSIM(x, y) = l(x, y)^\alpha c(x, y)^\beta s(x, y)^\gamma, \quad (7)$$

kde  $l$  je funkce srovnávání jasu,  $c$  je funkce srovnávání kontrastu, a konečně,  $s$  je funkce sloužící k porovnání struktury daného obrazu. Funkce  $l$ ,  $c$  a  $s$  jsou počítány podle vztahů [16]:

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1}, \quad (8)$$

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2} \quad \text{a} \quad (9)$$

$$s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x \sigma_y + C_3}, \quad (10)$$

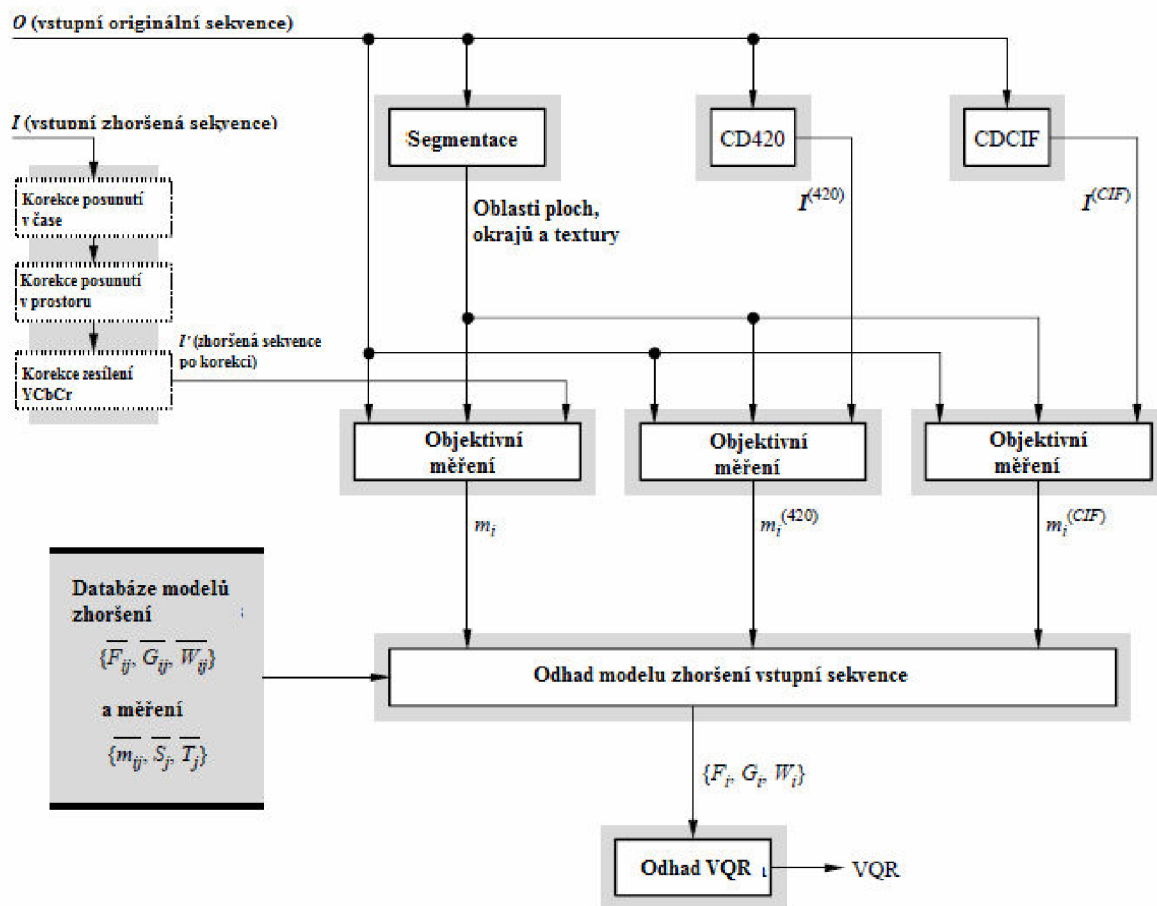
kde

$x, y$  jsou souřadnice,  
 $\mu_x, \mu_y$  jsou střední hodnoty intenzity daného pixelu,  
 $\sigma_x, \sigma_y$  jsou variance  $x$  a  $y$  a  
 $\sigma_{xy}$  je vzájemná kovariance  $x$  a  $y$ .  
 $\alpha, \beta, \gamma$  jsou kladné váhovací koeficienty.

Index SSIM může nabývat hodnot od -1 do 1, přičemž hodnotu 1 získáme jen při zcela identických obrazech.

### 4.3 CPqD - IES

Metoda CPqD –IES je založena na segmentaci obrazu. Patří mezi perceptuální metody, počítá tedy s vlastnostmi lidského zraku. Vstupem výpočetního algoritmu jsou dvě sekvence, označované  $O$  (original scene) pro originální snímek a  $I$  (impaired scene) pro snímek obsahující rušení. Metoda je navržena i pro výpočet časově a prostorově si neodpovídajících snímků. Kromě této synchronizace je před samotným výpočtem kvality obrazu zajištěna i správná úroveň chrominančního a barevných kanálů (jejich zisk). Segmentace obrazu spočívá v jeho rozdělení na oblasti ploch, oblasti okrajů a na texturey. Schéma výpočetního algoritmu zobrazuje obrázek 14 [17].



Obr. 14 Schéma výpočetního algoritmu CPqD-IES

Každý vstupní snímek je nejprve rozdělen na oblasti ploch, oblasti okrajů a na textury. Pro tyto segmenty jsou počítány hodnoty  $m_i$  objektivního měření, pro každý kanál Y, Cb a Cr zvlášť. Z jednoho snímku tedy získáme devět hodnot  $m_i$ . Z těchto hodnot se poté počítá úroveň zhoršení (impairment level)  $L_i$  podle vztahu [17]

$$L_i = \frac{100}{1 + \left(\frac{F_i}{m_i}\right)^{G_i}}, \quad (11)$$

kde hodnoty  $F_i$  a  $G_i$  jsou určeny na základě databáze modelů zhoršení, časového a prostorového offsetu a hodnot  $m_i$  po průchodu vstupního signálu přes MPEG-2 (CD420) a MPEG-1 CIF (CDCIF) kodek. Výstupní hodnota  $VQR_f$  pro jeden snímek je poté dána vzorcem [17]

$$VQR_f = \sum_{i=0}^9 W_i L_i, \quad (12)$$

kde  $W_i$  jsou váhovací koeficienty. Jejich výpočet je uveden v literatuře [17]. Dále je z těchto hodnot  $VQR_f$  vypočítán medián  $VQR'_f$ . Výsledný faktor kvality  $VQR$  celé sekvence je poté průměrem těchto mediánních hodnot [17], tedy

$$VQR = \frac{1}{n-2} \cdot \sum_{f=1}^{n-2} VQR'_f. \quad (13)$$

Rozsah hodnot indexu VQR je od 0 po 100, přičemž hodnota 0 vypovídá o identických snímcích, hodnota 100 pak o snímcích s vysokým stupněm zarušení.

## 4.4 NTIA VQM

Poslední metrikou, kterou budeme používat k určení kvality přenášeného obrazu, je metrika NTIA VQM (Video Quality Metric). Také tato metoda patří k perceptuálním metrikám. Základem VQM je správná časová a prostorová synchronizace, proto jsou součástí algoritmu funkce určující časovou a prostorovou nejistotu a pro jejich následnou kompenzaci. Dále je, podobně jako u metriky CPqD-IES, součástí i metodika pro kompenzaci zisku obrazu, tedy vyrovnání rozdílu ve světlosti či barevnosti scény [17].

Metrika VQM se neuplatňuje zároveň na celý obraz, ten je rozdělen na menší součásti, tak zvané platné oblasti (valid regions). Ty jsou obvykle čtvercové, dle doporučení 8x8 bodů. Z těchto sub-oblastí jsou poté extrahovány informace o vlastnostech obrazu. Z lumenční složky sub-oblasti se určuje zejména tvar obrazu. Lumenční signál je zpracován přes hrany-zvýrazňující filtry (ve svislém i vodorovném směru). Obě chrominanci složky vypovídají o barevné podobnosti zpracovávaných sekvencí. Dále je na základě informace o kontrastu zjišťováno např. případné rozmazání obrazu či případný přidaný šum [17].

Výsledný index VQM je poté počítán na základě těchto informací pomocí dosti složitých algoritmů, které jsou uvedeny v doporučení ITU-R BT.1683 [17]. Index VQM nabývá hodnot od 0 do 1, přičemž hodnota 0 odpovídá nezarušenému obrazu, hodnota 1 pak velmi zarušenému obrazu [17].

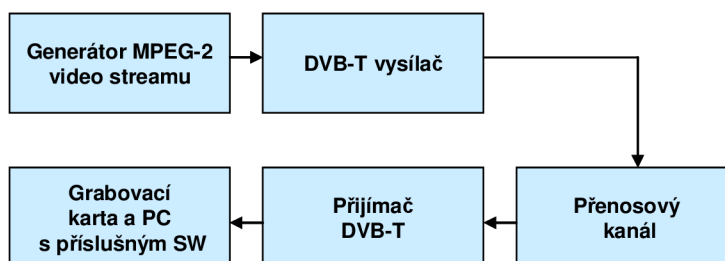


## 5 Návrh metody k porovnávání kvality obrazu

Jak bylo již řečeno v úvodu, hlavní náplní této práce je návrh metodiky pro porovnání kvality obrazu při příjmu jak analogového, tak digitálního televizního vysílání. Přestože je v ČR již pozemní digitální vysílání dostupné, pro naše účely je použití živého vysílání nevhodné. Potřebovali bychom totiž ke každé analogové a digitální sekvenci vlastní referenční obraz a výsledky by kvůli tomu neměli správnou výpovědní hodnotu, nehledě na komplikovanost nutného trojího záznamu sekvencí. Proto navržená metoda počítá s tvorbou vlastního vysílání, které bude mít pro oba druhy vysílání vždy totožný obsah.

### 5.1 Metoda pro digitální příjem

Navržené zapojení jednotlivých zařízení pro příjem vysílání DVB-T je patrné z následujícího schématu:



Obr. 15 Schéma pracoviště pro příjem DVB-T

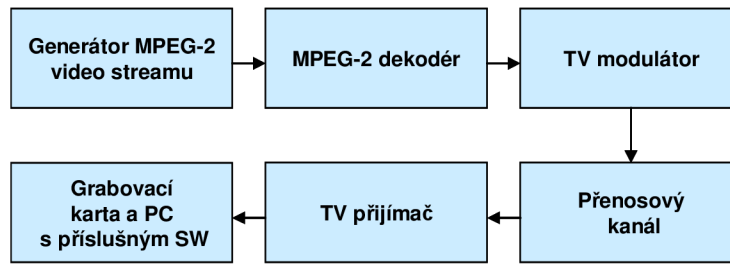
Jako zdroj obrazu je použit Digitální video rekordér a generátor Rohde&Schwarz DVRG. Jeho výstupem je transportní stream MPEG-2, který je veden na vstup laboratorního vysílače DVB-T R&S SFL-T. Přes přenosový kanál je signál veden do Přijímače DVB-T. Ten je poté svým kompozitním výstupem připojen ke grabovací kartě v počítači. O záznam videosekvence se stará obslužný software, v našem případě VirtualDub. Zaznamenané sekvence budou potom dále zpracovány, viz níže.

Parametry námi vytvořeného vysílání jsou následující:

- mód 8k
- modulace 64-QAM
- ochranný interval 1/4
- FEC 2/3

### 5.2 Metoda pro analogový příjem

Základ pro tvorbu analogového televizního vysílání je stejný jako v případě DVB-T, tedy videogenerátor Rohde&Schwarz DVRG. Tím máme zaručen totožný obsah obou typů vysílání. Jeho výstup je veden na MPEG-2 dekodér R&S DVMD, který slouží k dekodování transportního streamu MPEG-2 a jeho převodu na kompozitní signál. Ten je poté vstupem pro TV modulátor. Z TV modulátoru získáme již analogový TV signál vysílaný na příslušném navoleném kanále. Po průchodu přenosovým kanálem je signál veden do TV přijímače a z něj obdobným způsobem, jako při digitálním příjmu, na vstup grabovací karty v PC. Schéma zapojení je naznačeno na obrázku 16.



Obr. 16 Schéma pracoviště pro příjem analogové TV

Na první pohled se může jevit, že jelikož používáme jako zdroj pro analogové vysílání generátor MPEG-2 videostreamu, vědomě tak degradujeme kvalitu obrazu v případě analogového příjmu. Je sice pravda, že pravý analogový obrazový signál v systému PAL by nám z důvodu absence jakékoliv komprese poskytl jakostnější obraz, nicméně v současné době již není zdroj takového signálu běžně dostupný. Navíc jsme pro zmenšení vlivu komprese MPEG-2 použili sekvenci s vysokým datovým tokem (cca 15 Mbps) a také tutéž sekvenci používáme jako referenční sekvenci, se kterou srovnáváme sekvence zaznamenané. V neposlední řadě není cílem práce porovnat analogový a digitální systém přenosu televizního signálu jako celek, ale zaměřujeme se pouze na tu část, která je zodpovědná za přenos signálu k divákovi, resp. na vliv téhož rušení na kvalitu obrazu v případě obou typů vysílání. Z toho důvodu nepředstavuje tento fakt nijak zásadní problém pro celou práci.

Přenosovým kanálem budeme posléze u obou případů příjmů simulovat různé situace, které mohou vzniknout při skutečném příjmu. Zejména budeme regulovat úroveň signálu, simulovat různé druhy rušení a podobně.

Již zmíněná testovací sekvence je součástí základního vybavení generátoru DVRG. Jedná se o sekvenci s názvem *Factory\_15M.gts*, její datový tok je přibližně 15 Mbps. Sekvence zobrazuje automatizované osazování desky plošného spoje, obsahuje tedy dynamické změny, neobsahuje však střih. Doba trvání sekvence je 3,8 vteřiny. Sekvence je barevná a se zvukem, pro naše potřeby však zvuk nebyl zaznamenáván.

### 5.3 Výsledné zpracování sekvencí

Takto zaznamenané sekvence poté podrobíme jednotlivým zmíněným metrikám kvality. Pro metodu PSNR použijeme aplikaci *bvqm*, [19], která je sice prvotně určena pro výpočet koeficientu VQM, ale obsahuje též klasický PSNR model, a navíc přidává k tomuto modelu i kompenzaci prostorového či časového offsetu.

Pro metodu SSIM bude použita pro studijní a nekomerční účely volně dostupná aplikace MSU Video Quality Measurement Tool [18]. Tato aplikace obsahuje více metrik, my však budeme využívat právě metodu SSIM. Konkrétní model, který použijeme, je *SSIM (precise)*. Metrika SSIM neobsahuje kompenzaci časové a prostorové odchylky vstupních sekvencí.

Pro kvalitativní srovnání pomocí metody CPqD-IES bude použita oficiální aplikace *iescpqd24.exe* [20]. Syntaxe aplikace je následující:

```
iescpqd24 -i <input-file> -o <output-file> -s <format> ,
```

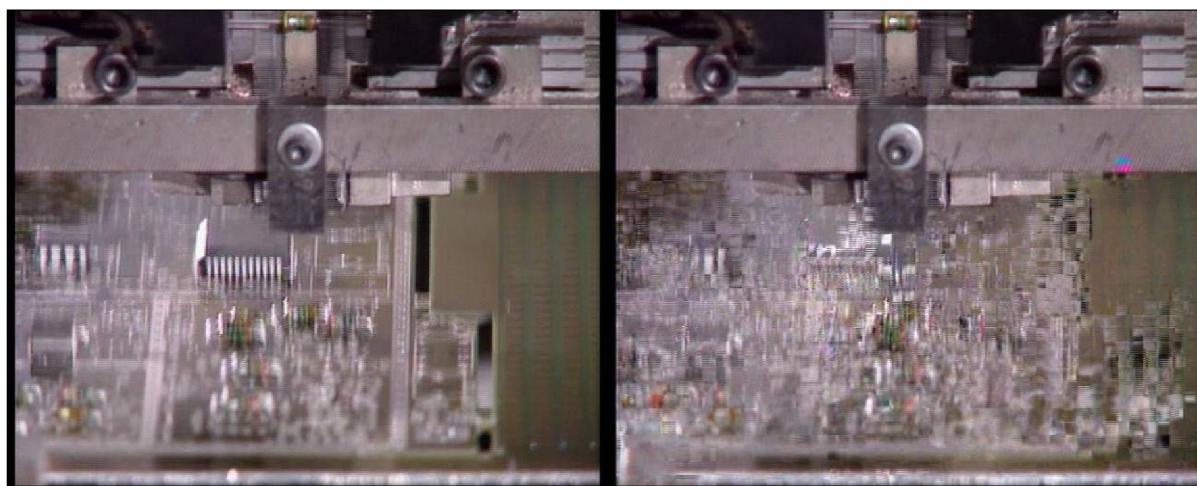
kde *<input-file>* je textový soubor obsahující adresy dvojic zpracovávaných sekvencí, *<output-file>* je určení souboru s výslednými hodnotami indexu kvality VQR a *<format>*

značí počet řádků sekvence dle norem PAL či NTSC, v našem případě tedy použijeme hodnotu 625.

Pro metodu NTIA VQM bude použita oficiální aplikace pro Matlab, *bvqm*, dostupná na oficiálních stránkách [19]. Aplikace je schopna sama identifikovat případnou časovou a prostorovou nesynchronnost. Nastavení aplikace *bvqm* je následující: Nastavení kalibrace Reduced Reference Calibration Version 2 (low bandwidth, ITU-T J.244), použitý model buď NTIA General Model (v případě metriky VQM) nebo PSNR Model (pro výpočet indexu PSNR). Hodnota Temporal registration uncertainty určující maximální časovou odchylku byla nastavena 1 vteřina a také byla zaškrtnuta volba Spatial Scaling řešící prostorový offset. V případě PSNR byla ještě k výpočtům použita jako maximální hodnota pixelu hodnota 255 (PC white).

## 5.4 Ověření funkčnosti metody

Navržená metoda byla dále pomocí experimentálního měření ověřena. Byly zaznamenány ověřovací sekvence při příjmu digitálního vysílání při různé úrovni výstupního signálu. Bylo dosaženo takových hodnot, že nízká úroveň se již projevila na obrazové kvalitě signálu. Na obrázku 17 vidíme odpovídající snímky z ověřovacích sekvencí při nezarušeném a zarušeném příjmu.



Obr. 17 Ověřovací sekvence, originální (vlevo) a zarušený snímek (vpravo)

Pro tyto sekvence byla poté na základě výše uvedených metod pro jednotlivé metriky změřena kvalita obrazu. Výsledky pro jednotlivé metriky zobrazuje tabulka 3.

Tabulka 3 Hodnoty koeficientů kvality pro jednotlivé metriky, ověřovací sekvence

PSNR [dB]	33,26
SSIM [-]	0,84
CPqD - IES [-]	10,07
NTIA VQM [-]	0,48

Vidíme, že hodnoty získané pomocí různých metrik si přibližně odpovídají. Všechny hodnoty vypovídají o středně zarušené sekvenci. To může být na základě předešlého obrázku relativně překvapivé, je to však způsobené tím, že ne všechny snímky zarušené sekvence byly chybné, některé se od originální prakticky nelišily.

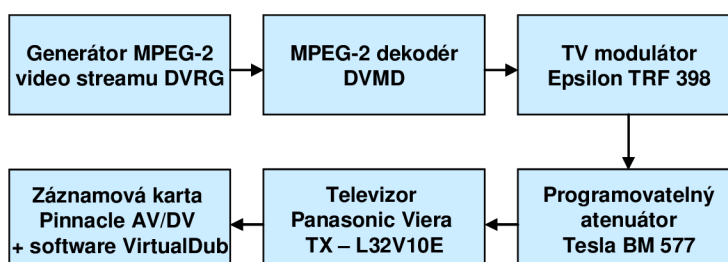
Na základě těchto ověřovacích sekvencí bylo dokázáno, že navržená metoda je funkční, a že bude poskytovat relevantní výsledky.

## 6 Záznam a zpracování sekvencí

Navržená metoda byla v praxi použita. Byla sestavena pracoviště pro zjištění vlivu některých typů rušení na kvalitu obrazu při analogovém a digitálním příjmu televizního vysílání. Pro oba typy vysílání byly zaznamenány videosekvence, na které byly dále uplatněny metriky pro hodnocení kvality videa.

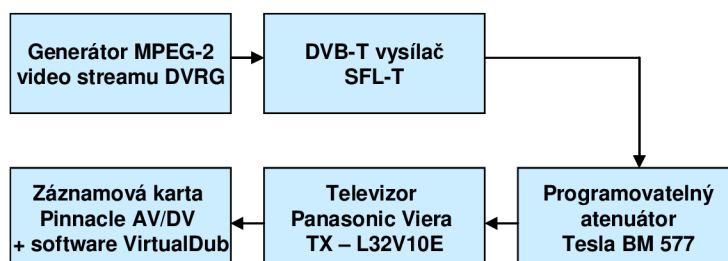
### 6.1 Vliv úrovně signálu na kvalitu obrazu

Jako první byl testován vliv úrovně signálu na kvalitu výsledného obrazu. Bylo sestaveno pracoviště, jehož schéma pro analogový příjem zobrazuje obrázek 18.



Obr. 18 Schéma pracoviště pro zjištění vlivu úrovně signálu , analogový příjem

Vidíme, že signál z TV modulátoru je do TV přijímače veden přes programovatelný atenuátor. Ten pro nás představuje přenosový kanál, ve kterém dochází k degradaci přijímaného signálu vlivem jeho útlumu. Zapojení pracoviště pro digitální vysílání je obdobné, konkrétně jej zobrazuje obrázek 19.



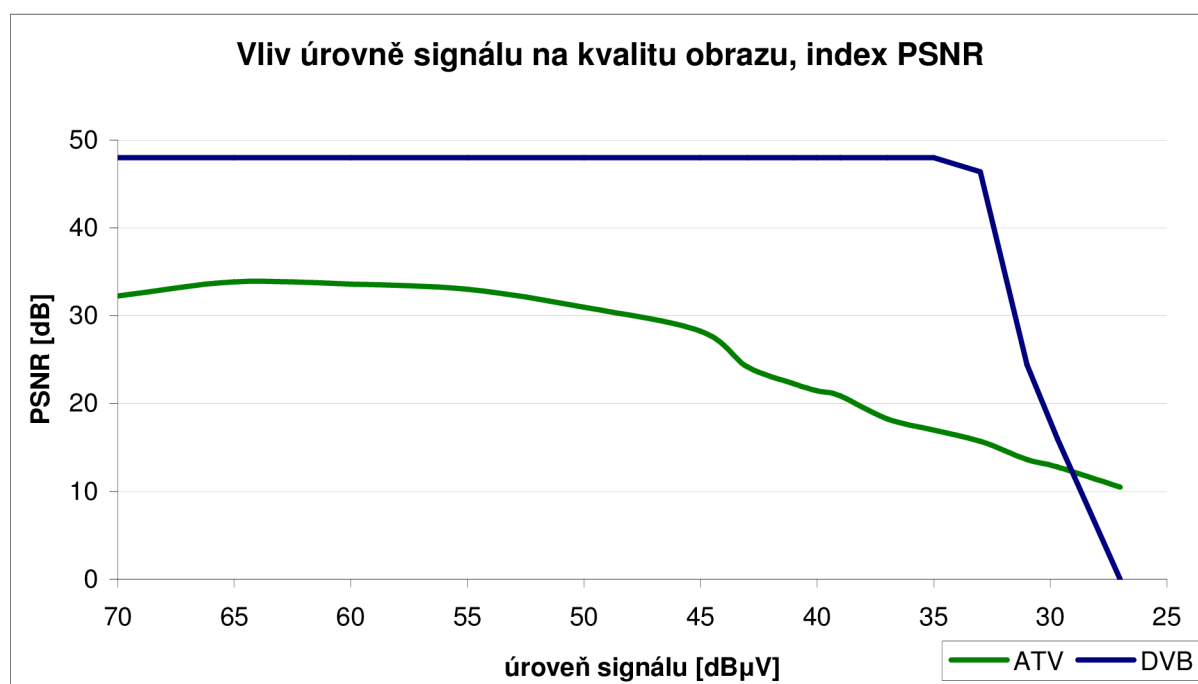
Obr. 19 Schéma pracoviště pro zjištění vlivu úrovně signálu , digitální příjem

I zde používáme též atenuátor k utlumení signálu. Výstupní kanál TV modulátoru pro analogové vysílání byl CH49 (nosná frekvence obrazu 695,25 MHz), výstupním kanálem vysílače DVB-T byl kanál CH21 (tedy střední frekvence 474 MHz). Testovací měření však prokázalo, že vliv nastaveného kanálu (frekvence) na výsledné zarušení signálu při utlumení je takřka zanedbatelný a pro naše měření jej netřeba zahrnovat, a můžeme tedy považovat problém rozdílných kanálů za nepodstatný. Počáteční úroveň ještě netlumeného analogového signálu byla 73,5 dB $\mu$ V, u digitálního signálu pak 63,5 dB $\mu$ V. Postupně byla zvětšována hodnota útlumu a pro každé nastavení byla zaznamenána sekvence jak pro analogové, tak i pro digitální vysílání. Pro tyto sekvence byly dále pomocí výše uvedených způsobů vypočítány koeficienty kvality obrazu. Hodnoty všech koeficientů kvality pro jednotlivé úrovně signálu zobrazuje tabulka 4.

Tabulka 4 Vliv úrovně signálu na kvalitu obrazu

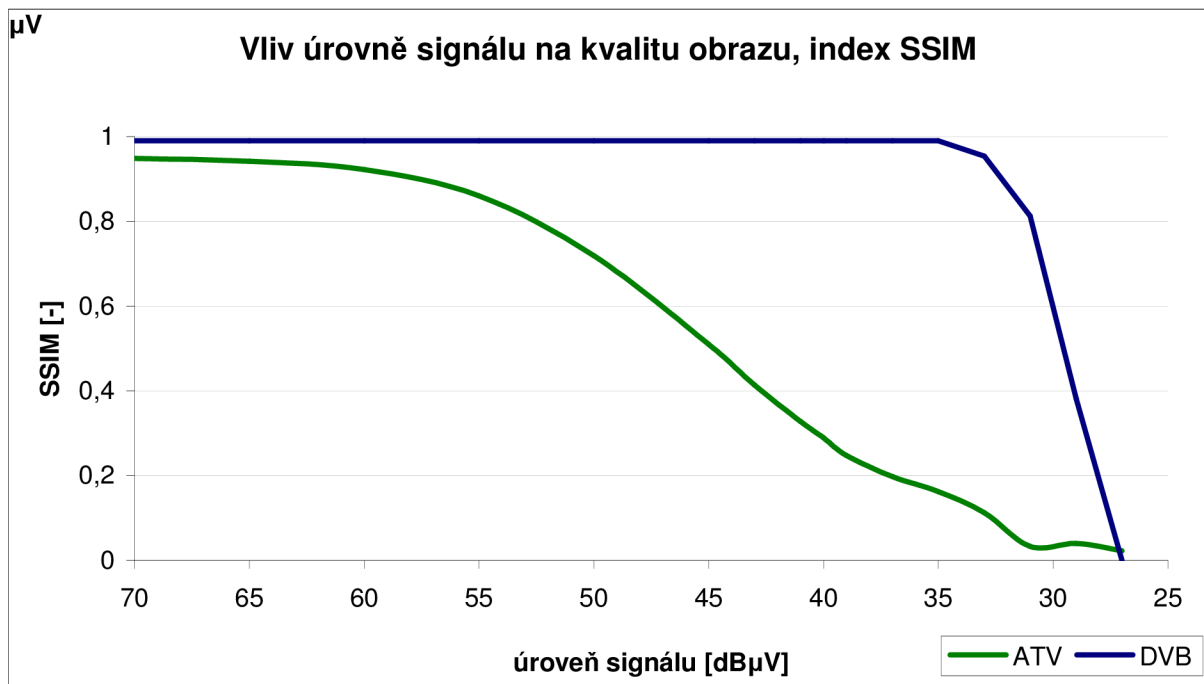
úroveň signálu [dB $\mu$ V]	Analogové vysílání				Digitální vysílání			
	PSNR [dB]	SSIM [-]	VQM [-]	CPqD [-]	PSNR [dB]	SSIM [-]	VQM [-]	CPqD [-]
70	32,2	0,95	0,2	10	-	-	-	-
65	33,9	0,94	0,2	13	-	-	-	-
60	33,6	0,92	0,2	20	48,0	1,00	0,0	0,12
55	33,0	0,86	0,2	48	48,0	1,00	0,0	0,12
50	31,0	0,72	0,3	82	48,0	1,00	0,0	0,13
45	28,3	0,51	0,5	100	48,0	1,00	0,0	0,12
43	24,2	0,41	0,7	100	48,0	1,00	0,0	0,13
41	22,3	0,37	0,8	100	48,0	1,00	0,0	0,13
40	21,5	0,35	0,9	100	48,0	1,00	0,0	0,13
39	20,9	0,25	1,0	100	48,0	1,00	0,0	0,13
37	18,3	0,20	1,0	100	48,0	1,00	0,0	0,13
35	17,0	0,16	1,0	100	48,0	1,00	0,0	0,12
33	15,7	0,11	1,0	100	48,0	1,00	0,0	0,13
31	<b>13,6</b>	<b>0,03</b>	<b>1,0</b>	<b>100</b>	<b>24,4</b>	<b>0,81</b>	<b>0,6</b>	<b>4</b>
29	12,8	0,04	1,0	100	16,7	0,38	0,9	20
27	10,5	0,02	1,0	100	0,0	0,00	1,0	100

Tučně zvýrazněná oblast označuje úroveň, kdy už docházelo k chybám v obraze také u digitálního vysílání. Vidíme však, že k těmto chybám došlo při mnohem nižších úrovních signálu než v případě analogového vysílání, a dále také to, že i přes tyto chyby vypovídají koeficienty o kvalitnějším obraze než při téže úrovni analogového signálu. Přehledně zobrazují situaci i následující grafy, obrázky 20 až 23. Svislé osy grafů jsou vždy orientovány tak, že hodnoty vypovídající o kvalitnějším obraze jsou v horní části grafů.

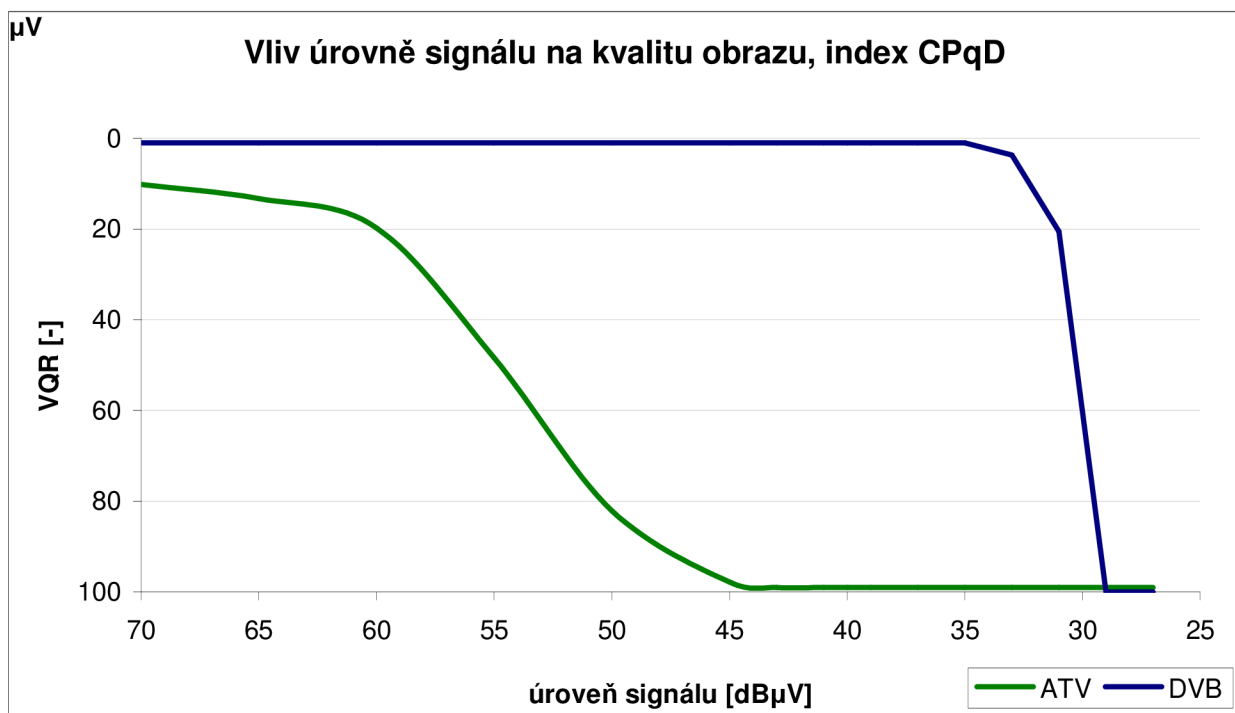


Obr. 20 Vliv úrovně signálu na kvalitu obrazu, index PSNR

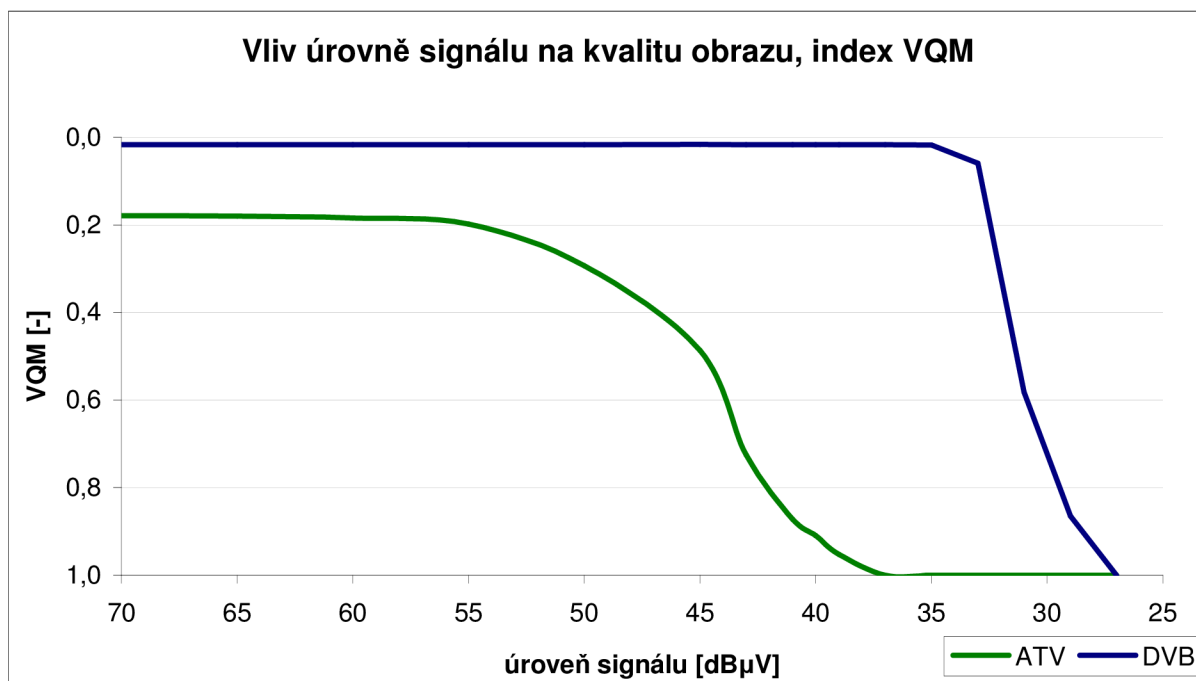




Obr. 21 Vliv úrovně signálu na kvalitu obrazu, index SSIM

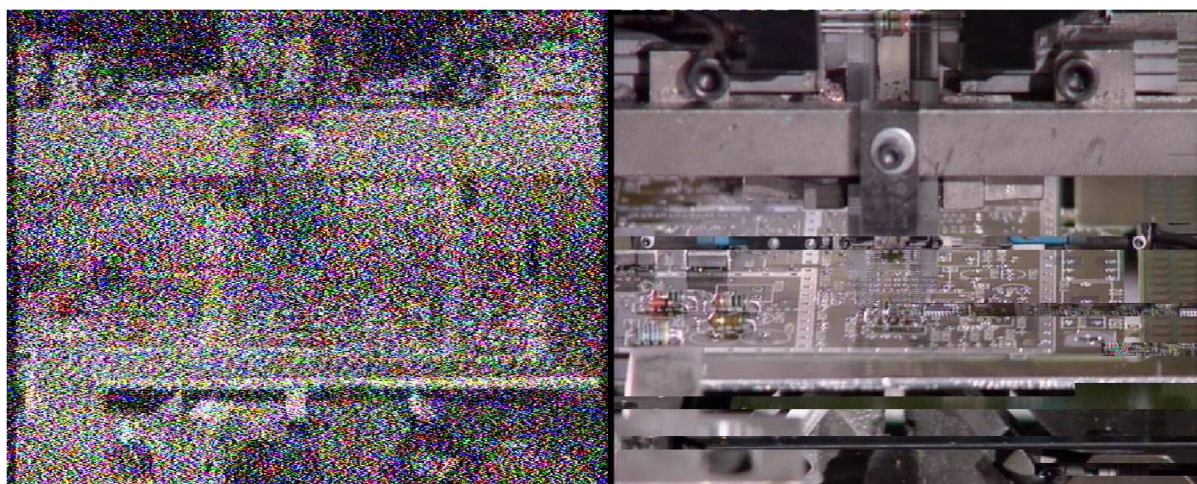


Obr. 22 Vliv úrovně signálu na kvalitu obrazu, index CPqD



Obr. 23 Vliv úrovně signálu na kvalitu obrazu, index VQM

Z grafů vidíme, že kvalita obrazu v případě analogového vysílání je značně závislá na úrovni signálu. To však pro nás není nikterak překvapivé a vychází to z podstaty analogového televizního přenosu. V souladu s předpokladem je se zvyšujícím útlumem (tedy s klesající úrovní signálu) kvalita obrazu v případě digitálního vysílání konstantní až po určitou úroveň a poté strmě klesá. Je to známý „cliff efekt“ a nejlépe je pozorovatelný na obrázku 20 pro koeficient PSNR. Překvapivými se mohou jevit výsledky u metriky CPqD pro analogový příjem, kde kvalita obrazu klesá rychleji, než bychom očekávali. To je hlavně způsobeno tím, že u analogového vysílání může vlivem přenosového docházet ke změnám v jasu scény, které jsou nežádoucí a zmiňovaná metrika (resp. použitá aplikace) je nedokáže zcela kompenzovat. Vliv nízké úrovně signálu na samotný obraz pro oba typy příjmu je patrný na obrázku 24. Zobrazeny jsou první snímky sekvencí zaznamenaných při stejné úrovni signálu 31 dBμV.

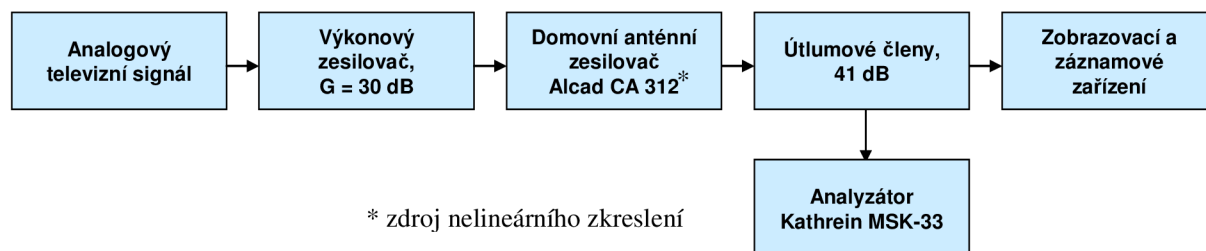


Obr. 24 Ruchy v obraze způsobené nízkou úrovní signálu, analogový (vlevo) a digitální příjem (vpravo)



## 6.2 Vliv nelineárního zkreslení na kvalitu obrazu

Dále byl zkoumán vliv nelineárního zkreslení na výslednou kvalitu přijímaného obrazu. Jelikož není zcela jednoduché tento typ zkreslení napodobit, vyšli jsme z jednoduchého poznatku, že nelineárně zkreslený signál získáme i v případě, že budeme přebuzovat vstup anténního zesilovače. Tato situace nám je známá i z praxe, kdy při špatně navrženém anténním rozvodu může dojít k přebuzení zesilovače, a my poté přijímáme více či méně zkreslený signál. Základní zapojení pracoviště je identické s předchozími zapojeními. Schéma samotného přenosového kanálu, ve kterém je generováno nelineární zkreslení, vidíme na obrázku 25.



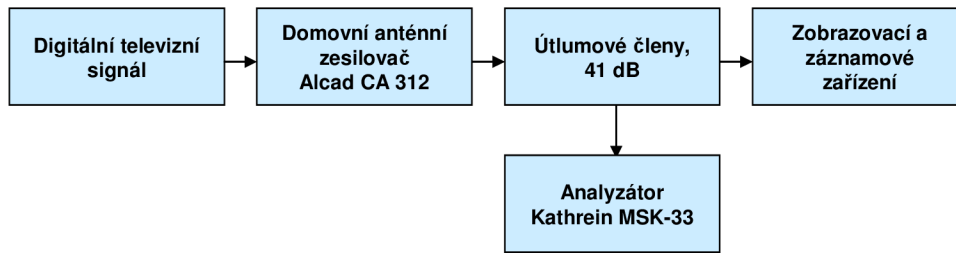
Obr. 25 Schéma pracoviště pro zjištění vlivu nelineárního zkreslení, analogový příjem

Zdroj analogového televizního signálu je totožný s předchozím, proto byl ve schématu vynechán a nahrazen blokem „Analogový televizní signál“. Jelikož je u použitého TV modulátoru konstantní výstupní úroveň signálu  $73,5 \text{ dB}\mu\text{V}$ , je v zapojení použit i průběžný výkonový zesilovač. Jeho parametry jsou následující:

- Pásmo kanálů K1-K60,
- $G = 30 \text{ dB}$ ,  $F = 4 \text{ dB}$ ,
- Vybuditelnost  $107 \text{ dB}\mu\text{V}/-60 \text{ dB}$ .

Takto zesílený signál, nyní o úrovni  $73,5 + 30 = 103,5 \text{ dB}\mu\text{V}$ , je veden na vstup Domovního anténního zesilovače Alcad 312, ve kterém dochází k přebuzení signálu a tedy k samotnému nelineárnímu zkreslení. Zesilovač má nastavitelné zesílení v rozmezí 14–30 dB. Postupnou změnou tohoto zesílení získáme signály s různým stupněm zarušení. Jelikož je to však i signál o velmi vysoké úrovni, jsou z důvodu ochrany koncových zařízení zařazeny do zapojení útlumové členy o celkovém útlumu 41 dB. Takto upravený signál o již bezpečné úrovni vedeme na vstup analyzátoru Kathrein, kde můžeme měřit jeho úroveň, a zároveň jej vedeme na vstup TV přijímače a pak dále do počítače k záznamu jako v předchozích měřeních. Opět používáme tentýž TV přijímač Panasonic Viera TX – L32V10E a záznamovou kartu Pinnacle.

Zapojení pracoviště pro digitální příjem je obdobné. Rozdílem však je, že v zapojení není použit výkonový zesilovač a tedy výstup DVB-T vysílače R&S SFL-T je připojen přímo na vstup zesilovače Alcad. To jsme si mohli dovolit z prostého důvodu, že DVB-T vysílač umožňuje plynulou regulaci úrovně výstupního signálu, a tedy veškerou regulaci obstará právě vysílač. Taktéž Domovní anténní zesilovač Alcad byl nastaven na své maximální hodnotě zisku 30 dB. Zbytek schématu je totožný s předchozím pro analogové vysílání a detailně jej zobrazuje obrázek 26. I zde jsou z důvodu ochrany použity útlumové členy 41 dB a analyzátor Kathrein, tentokrát nastavený v DVB-T módu, pro měření úrovně signálu. V případě měření vlivu nelineárního zkreslení bylo již použití shodných kanálů nutností (kvůli věrohodnosti výsledků), a proto byly pro oba typy vysílání použity kanály CH21.



Obr. 26 Schéma pracoviště pro zjištění vlivu nelineárního zkreslení, digitální příjem

Jelikož od jistého nastavení úrovně zesílení v případě analogové televize, resp. výstupní úrovně vysílače v případě DVB-T, je výstupní napětí ze zesilovače nadále konstantní (dojde k přebuzení zesilovače), nelze srovnávat oba typy vysílání podle změřené výstupní úrovně (ta je navíc měřena až za útlumovými členy). Proto pro srovnání zavedeme „teoretickou úroveň signálu“, kterou budeme definovat jako

$$U_{teor} = U_{out} + G - L, \text{ [dB}\mu\text{V, dB}\mu\text{V, dB, dB ]}, \quad (14)$$

kde  $U_{out}$  je výstupní napětí (z TV modulátoru nebo DVB-T vysílače),  $G$  je celkový zisk všech zesilovačů v zapojení a  $L$  je zařazený ochranný útlum, tedy v našem případě 41 dB. Výsledné hodnoty koeficientů kvality pro všechny použité metriky a oba typy příjmu zobrazuje tabulka 5 a tabulka 6.

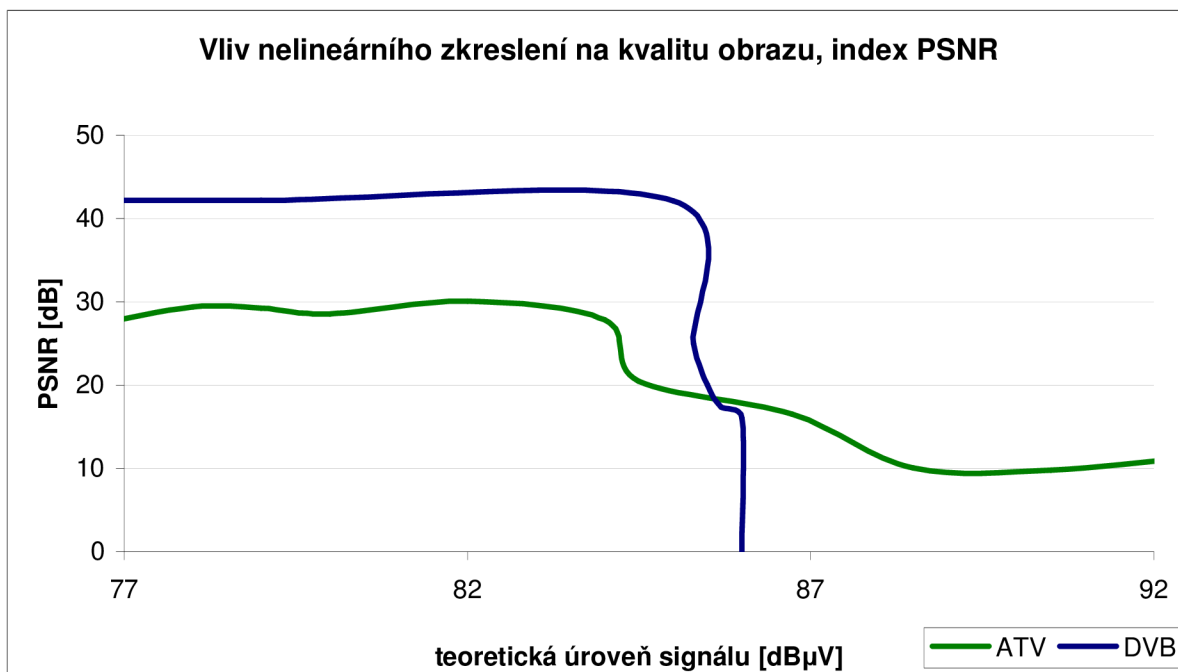
Tabulka 5 Vliv nelineárního zkreslení na kvalitu obrazu, analogové vysílání

teoretická úroveň signálu [dB $\mu$ V]	změřená úroveň signálu [dB $\mu$ V]	Analogové vysílání			
		PSNR [dB]	SSIM [-]	VQM [-]	CPqD [-]
76,5	76,5	27,15	0,66	0,35	81,01
78,0	78,0	29,40	0,89	0,45	41,95
79,0	79,0	29,25	0,70	0,34	76,58
80,0	80,0	28,56	0,64	0,36	81,32
82,0	82,0	30,12	0,58	0,31	90,43
84,0	84,0	27,84	0,49	0,31	97,10
84,5	84,5	20,50	0,36	0,54	97,90
86,5	84,5	16,51	0,31	0,86	100,00
88,5	84,5	10,02	0,18	0,98	100,00
90,5	84,5	9,82	0,16	0,98	100,00
92,5	84,5	11,27	0,16	0,98	100,00

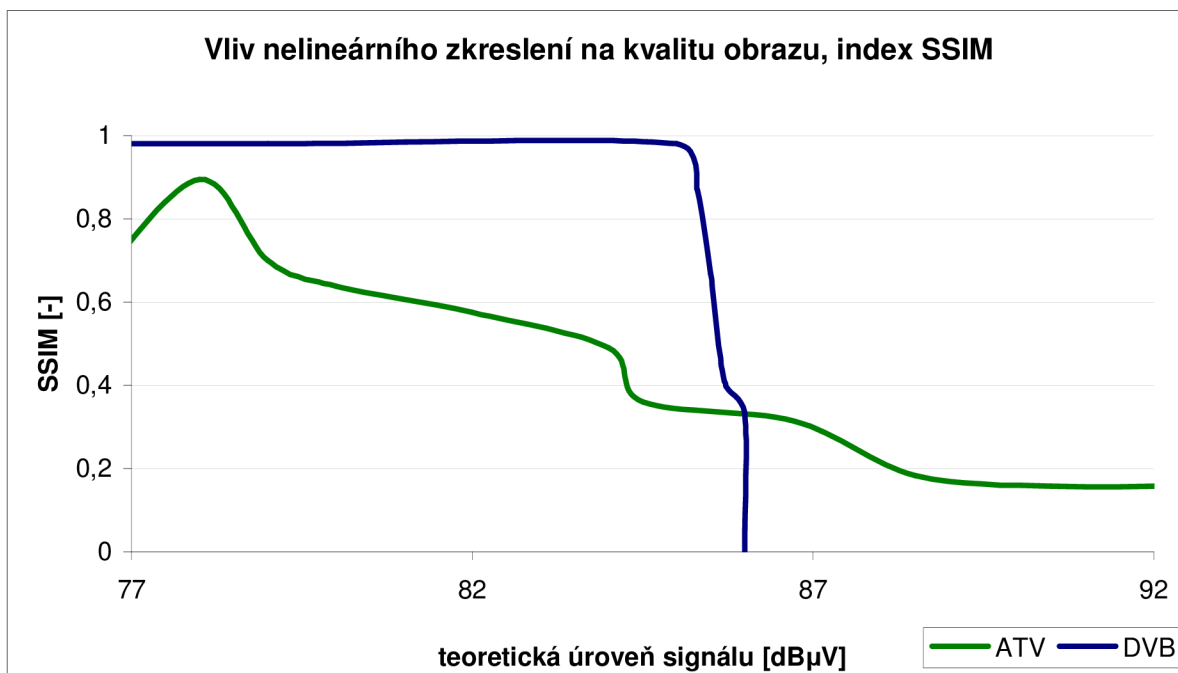
Tabulka 6 Vliv nelineárního zkreslení na kvalitu obrazu, digitální vysílání

teoretická úroveň signálu [dB $\mu$ V]	změřená úroveň signálu [dB $\mu$ V]	Digitální vysílání			
		PSNR [dB]	SSIM [-]	VQM [-]	CPqD [-]
60,5	60,5	42,20	0,98	0,02	1,61
64,5	64,5	42,19	0,98	0,02	1,62
69,0	68,5	42,17	0,98	0,02	1,62
74,0	73,0	42,15	0,98	0,02	1,62
79,0	78,0	42,17	0,98	0,02	1,61
85,0	82,5	42,15	0,98	0,07	8,40
85,3	82,0	24,94	0,87	0,53	66,85
85,5	82,0	20,05	0,67	0,68	100,00
85,7	82,0	17,34	0,41	0,76	100,00
86,0	82,0	16,06	0,33	1,00	100,00

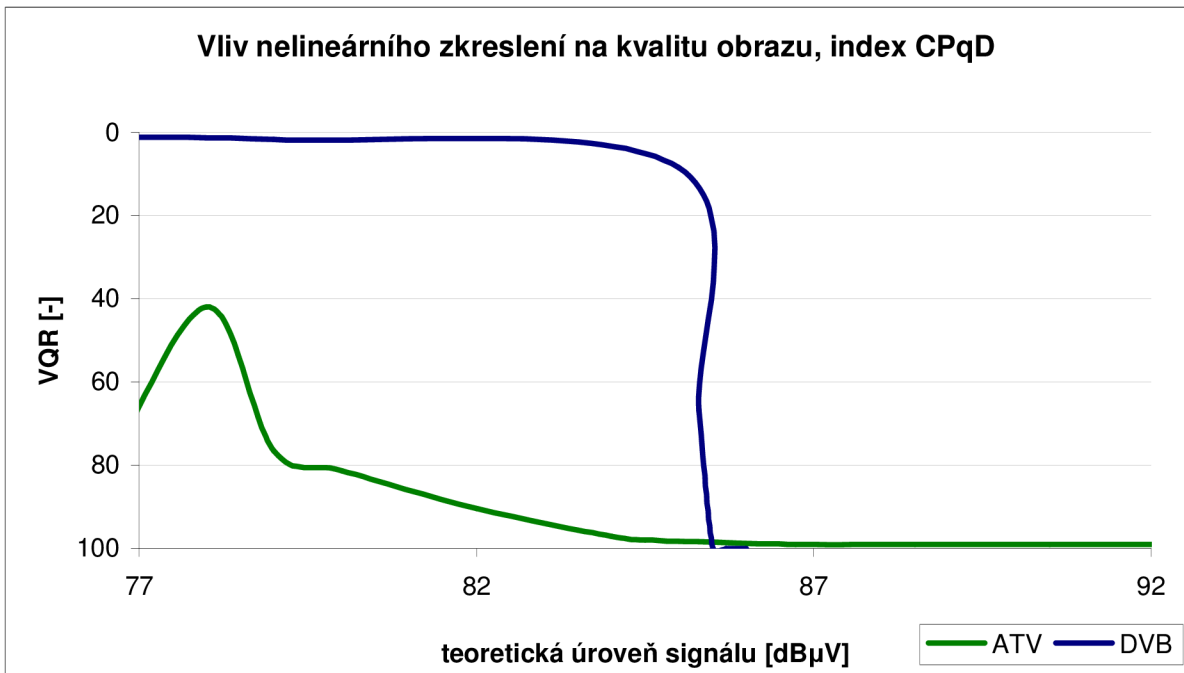
Grafické znázornění zobrazují grafy, obrázek 27 až obrázek 30. Jako u předchozích grafů, i zde platí, že orientace svislých os je volena tak, aby se hodnoty vypovídající o dobré kvalitě obrazu zobrazovaly v horní části grafů.



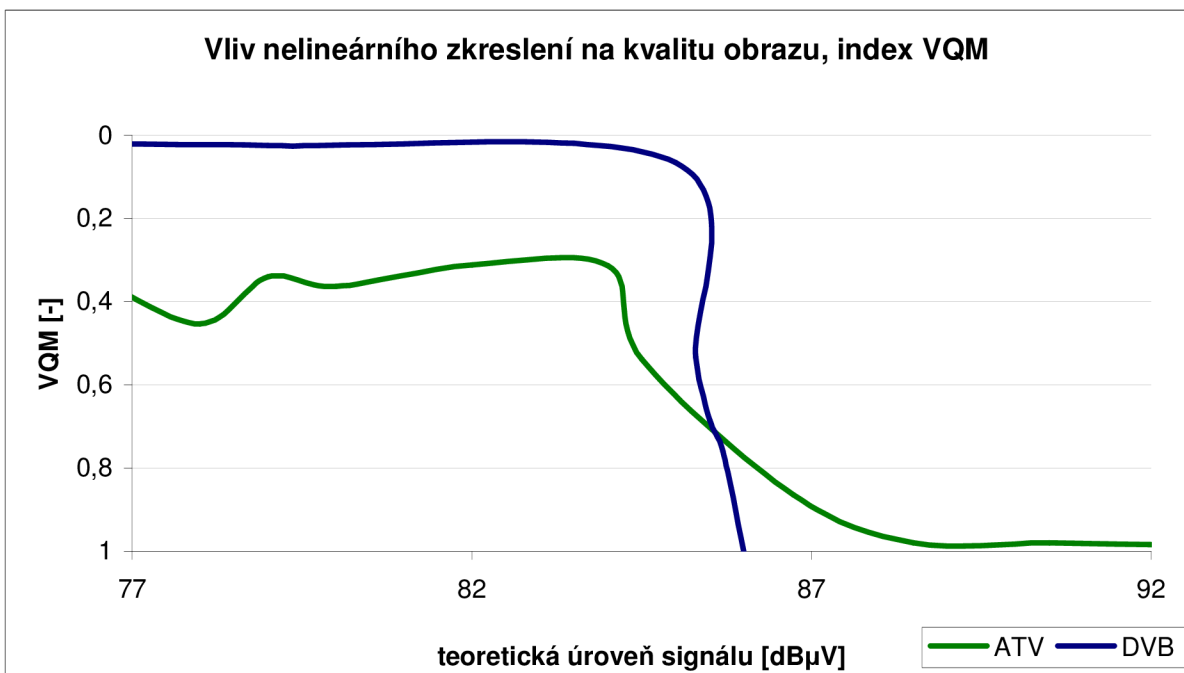
Obr. 27 Vliv nelinearity přenosového kanálu na kvalitu obrazu, index PSNR



Obr. 28 Vliv nelinearity přenosového kanálu na kvalitu obrazu, index SSIM

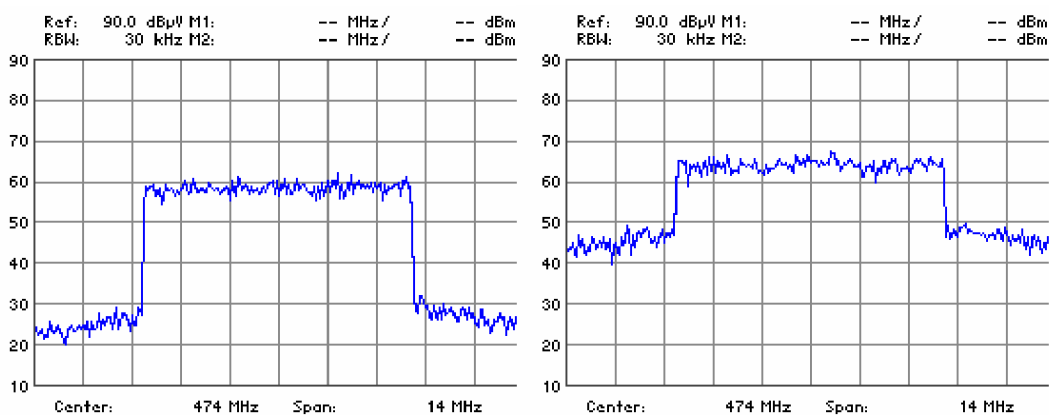


Obr. 29 Vliv nelinearity přenosového kanálu na kvalitu obrazu, index CPqD



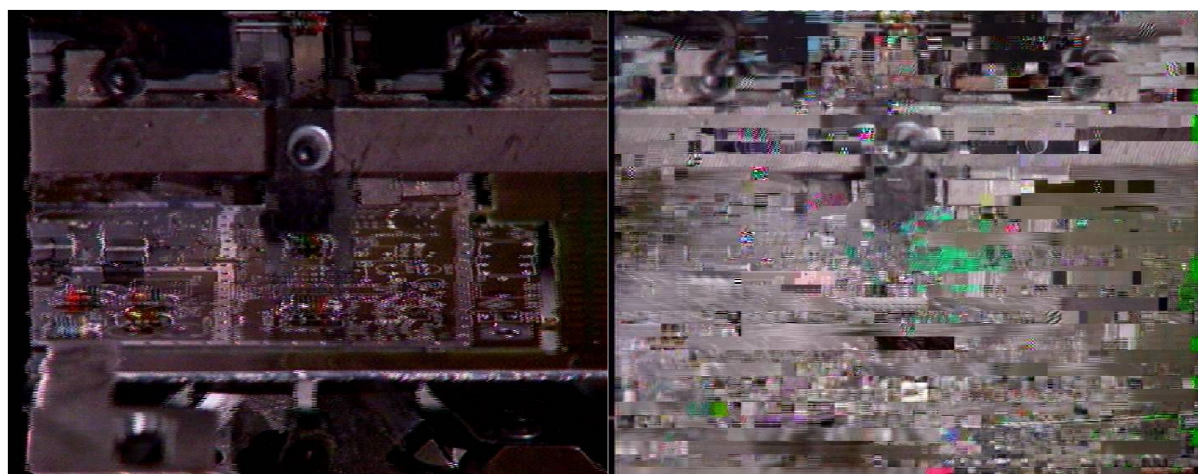
Obr. 30 Vliv nelinearity přenosového kanálu na kvalitu obrazu, index VQM

Z grafů lze pozorovat, že i v případě nelineárního zkreslení je digitální systém mnohem odolnější, než systém analogový, a vliv nelineárního zkreslení na obraz je minimální, resp. je pozorovatelný až při velmi velkém zkreslení. Jaký dopad má nelineární zkreslení na spektrum digitálního televizního signálu můžeme pozorovat na obrázku 31.



**Obr. 31** Spektrum signálu DVB-T, nezkraslený (vlevo) a nelineárně zkraslený signál (vpravo)

Vidíme tedy, že došlo jen ke zvýšení úrovně šumového pozadí. Vliv zkreslení na samotný obraz při analogovém i digitálním příjmu můžeme vidět na obrázku 32. Jedná se opět o první snímky sekvencí, které byly zaznamenány při teoretické úrovni signálu 86 dB $\mu$ V.

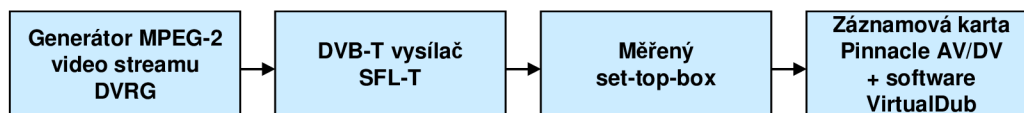


**Obr. 32** Ruchy v obraze způsobené nelineárním zkreslením, analogový (vlevo) a digitální příjem (vpravo)

Na základě těchto snímků vidíme, že u analogového příjmu došlo vlivem zkreslení ke zvětšení kontrastu a zároveň také k deformaci samotného obrazu. V případě digitálního vysílání dochází ke známému „kostičkování“ a k rozpadu obrazu.

### 6.3 Vliv citlivosti set-top-boxů na kvalitu obrazu

Dále jsme zkoumali vliv citlivosti přijímače digitálního televizního vysílání na výslednou kvalitu obrazu při snižující se úrovni vstupního signálu. Jako všechna zařízení, tak i set-top-boxy mohou mít různé parametry a výběr přijímače může měření též značně ovlivnit. Pro toto měření bylo sestaveno měřicí pracoviště, jehož schéma vidíme na obrázku 33.



Obr. 33 Schéma pracoviště pro testování vlivu citlivosti set-top-boxů na kvalitu obrazu

Do srovnání byl zahrnut i již dříve použitý televizor Panasonic Viera TX-L32V10E a dále pak následující set-top-boxy:

- i-Can 200T,
- Philips DTR 220,
- TechniSat Digipal 2 TX,
- Topfield TF7710HTCI.

Vysílač DVB-T byl nastaven stejně jako v předchozích měřeních, tedy mód 8k, modulace 64-QAM, ochranný interval 1/4 a FEC 2/3, vysílací kanál CH21. Hodnoty koeficientů kvality pro jednotlivé metriky v závislosti na citlivosti přijímače jsou uvedeny v tabulce 7.

Tabulka 7 Vliv citlivosti set-top-boxů na kvalitu obrazu

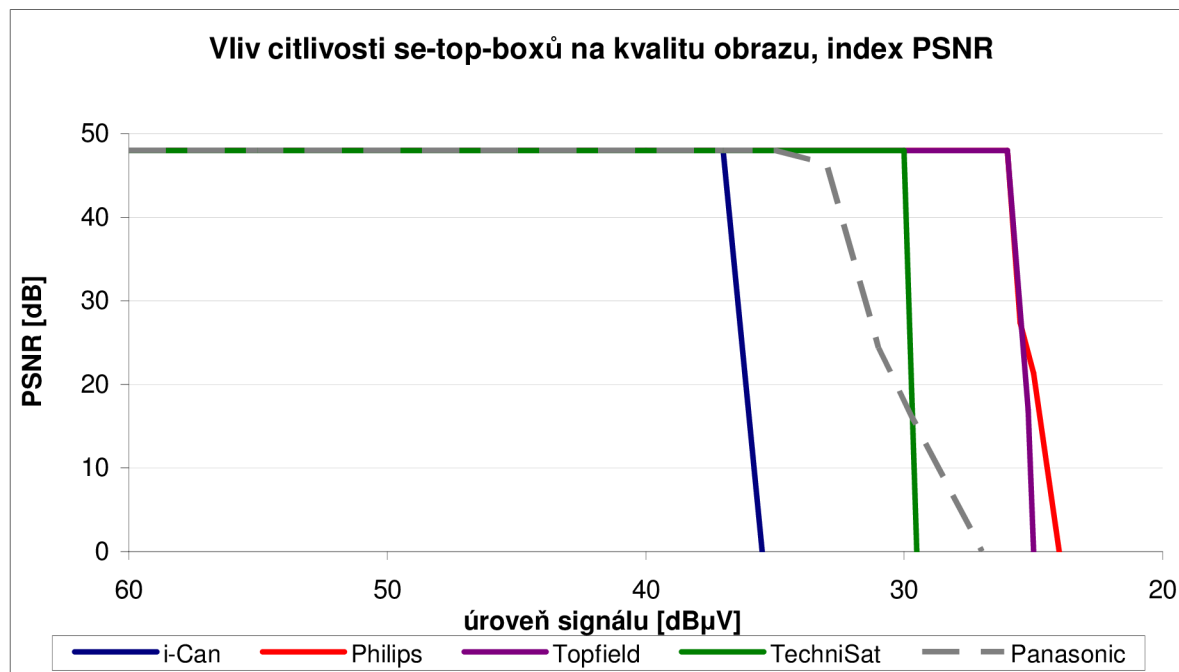
úroveň signálu [dBμV]	i-Can				úroveň signálu [dBμV]	Philips			
	PSNR [dB]	SSIM [-]	CPqD [-]	VQM [-]		PSNR [dB]	SSIM [-]	CPqD [-]	VQM [-]
60,0	48,00	0,99	0,00	0,02	60,0	48,00	0,99	0,00	0,02
50,0	48,00	0,99	0,00	0,02	50,0	48,00	0,99	0,00	0,02
40,0	48,00	0,99	0,00	0,02	40,0	48,00	0,99	0,00	0,02
37,0	48,00	0,99	0,00	0,02	30,0	48,00	0,99	0,00	0,02
35,5	19,97	0,80	27,02	0,59	26,0	48,00	0,99	0,00	0,02
35,0	18,78	0,66	62,10	0,48	25,5	27,42	0,95	40,13	0,13
34,5	17,76	0,54	67,52	0,83	25,0	21,31	0,70	36,64	0,60
34,0	0,00	0,00	100,00	1,00	24,0	0,00	0,00	100,00	100,00

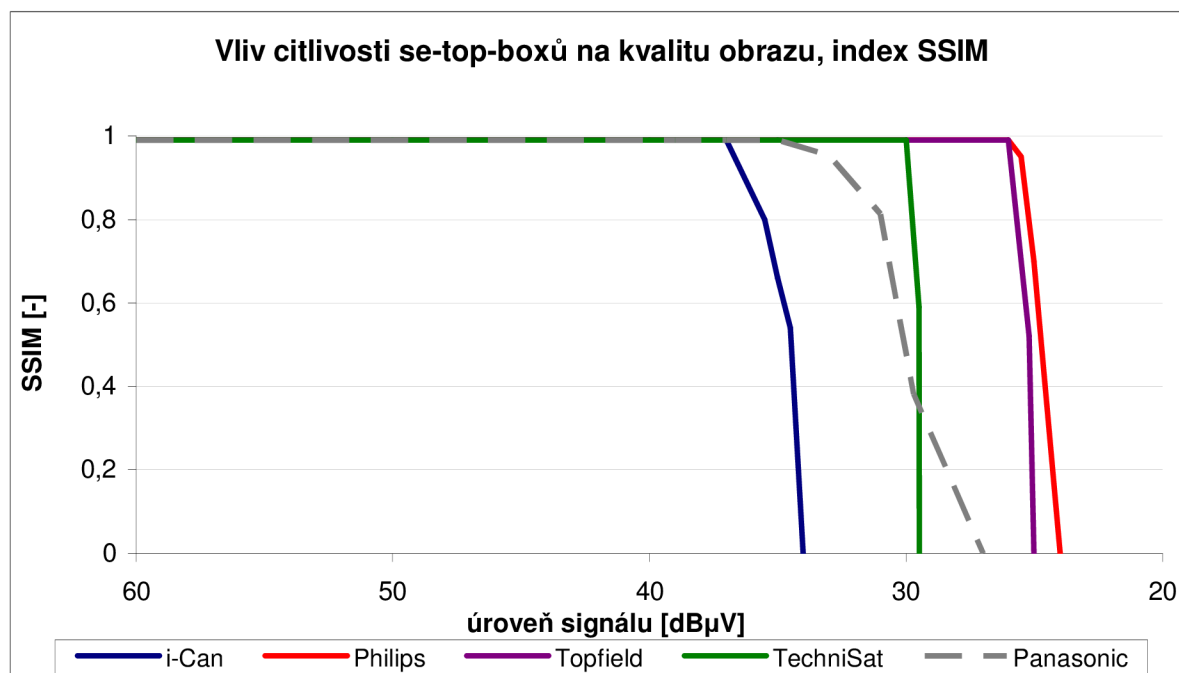
úroveň signálu [dBμV]	Topfield				úroveň signálu [dBμV]	TechniSat			
	PSNR [dB]	SSIM [-]	CPqD [-]	VQM [-]		PSNR [dB]	SSIM [-]	CPqD [-]	VQM [-]
60,0	48,00	1,00	0,00	0,02	60,0	48,00	0,99	0,00	0,02
55,0	48,00	1,00	0,00	0,02	50,0	48,00	0,99	0,00	0,02
50,0	48,00	0,99	0,00	0,02	40,0	48,00	0,99	0,00	0,02
40,0	48,00	0,99	0,00	0,02	35,0	48,00	0,99	0,00	0,02
35,0	48,00	0,99	0,00	0,02	30,0	48,00	0,99	0,00	0,02
30,0	48,00	0,99	0,00	0,02	29,5	17,89	0,59	61,14	0,08
26,0	48,00	0,99	0,00	0,02	29,1	16,55	0,57	62,03	0,87
25,2	16,95	0,52	57,76	0,86	28,8	17,48	0,52	61,81	0,86
25,0	0,00	0,00	100,00	1,00	28,0	0,00	0,00	100,00	1,00



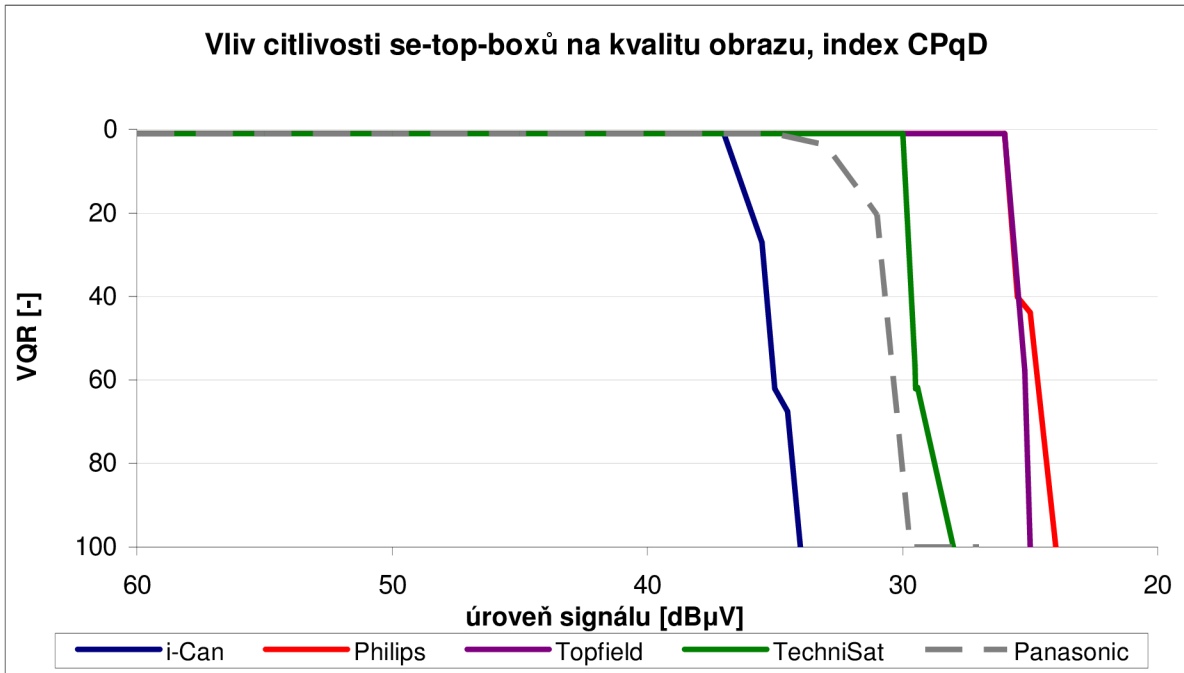
Grafické znázornění výsledků zobrazují obrázky 34 až 37. Pro srovnání obsahují grafy i hodnoty zjištěné v předchozím měření (kapitola 6.1) při použití televizoru Panasonic.



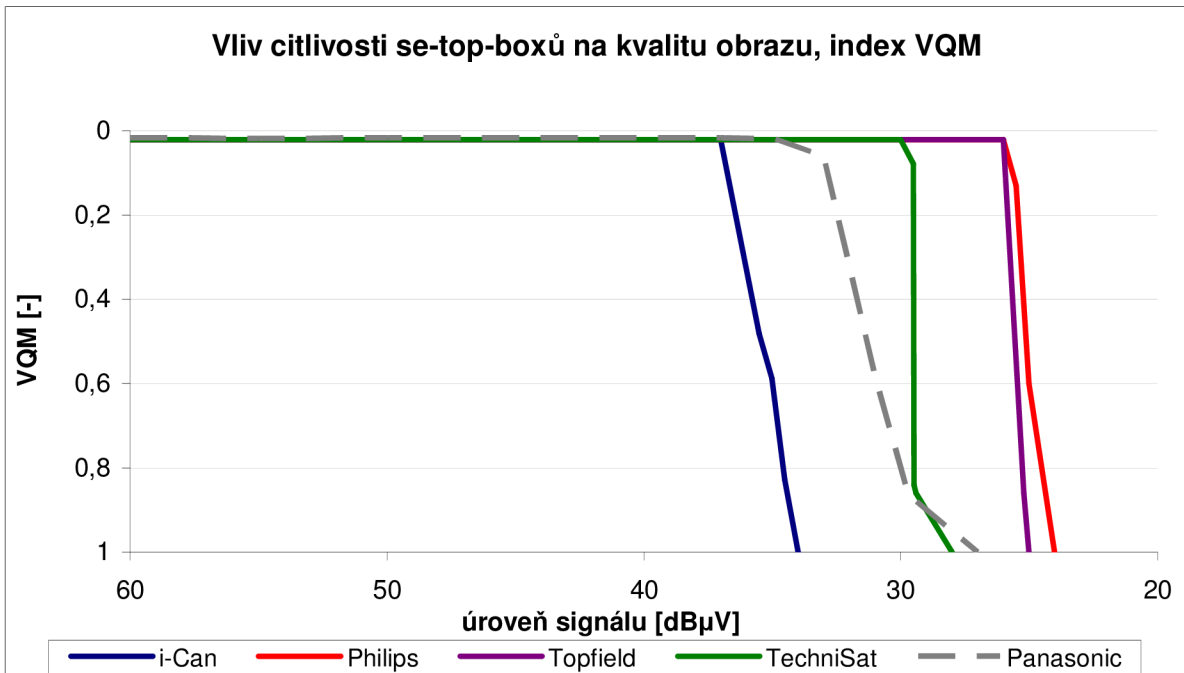
Obr. 34 Vliv citlivosti set-top-boxů na kvalitu obrazu, index PSNR



Obr. 35 Vliv citlivosti set-top-boxů na kvalitu obrazu, index SSIM



Obr. 36 Vliv citlivosti set-top-boxů na kvalitu obrazu, index CPqD



Obr. 37 Vliv citlivosti set-top-boxů na kvalitu obrazu, index VQM

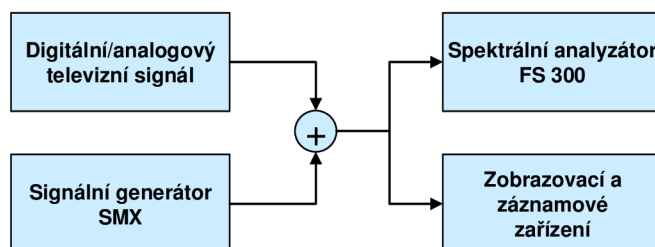


Z předešlých grafů vidíme, že vliv použitého přijímače digitálního televizního vysílání na měření může být značný. Rozdíl v citlivosti mezi měřenými set-top-boxy je až přibližně 10 dB, což je již hodnota relativně vysoká. Televizor Panasonic, který jsme používali v předešlých měřeních se sice, co se citlivosti týče, jeví jako druhý nejhorší v našem měření; jeho použití však má tu výhodu, že vzhledem k tomu, že přístroj používá tutéž vysokofrekvenční část pro zpracování jak analogového, tak i digitálního signálu, lze předpokládat, že oba typy vysílání budou mezi sebou snáze srovnatelné, a tedy v tomto případě pro nás nepředstavuje jeho menší citlivost výrazný problém. Jako hodnoty napětí, kdy jsme přestali jednotlivé set-top-boxy testovat, byl zvolen stav, kdy set-top-box ještě zobrazoval obraz, ten však byl po většinu času jen statický a plný artefaktů a nelze už mluvit o nějaké podobnosti s původní sekvencí. Takto zvolené limitní úrovně byly nutné např. z důvodu způsobu, jakým signál zpracovával přístroj Technisat Digipal 2 TX. U tohoto set-top-boxu docházelo k významným výpadkům a chybám v obraze při úrovni napětí přibližně 28 dB $\mu$ V, kdežto k hlášení o žádném signálu došlo až při úrovni 24 dB $\mu$ V. U ostatních zařízení došlo k hlášení o žádném či slabém signálu bezprostředně po prvních chybách v obraze.

Z hlediska samotné citlivosti set-top-boxů je překvapivé zjištění, že jako nejlepší se nám projevil set-top-box Philips, který patří do segmentu velice jednoduchých a relativně levných zařízení. Naproti tomu set-top-box i-Can je zástupcem třídy velmi dobře vybavených zařízení, výsledky měření citlivosti jej však řadí na poslední místo.

## 6.4 Vliv úzkopásmového rušení na kvalitu obrazu

Posledním vlivem, který jsme testovali, je vliv úzkopásmového rušení. I toto rušení patří mezi takové, které se mohou objevit i v praxi, a proto je pro nás zajímavým. Pro zkoumání jeho vlivu bylo navrženo zapojení pracoviště, které zobrazuje obr. 38.



Obr. 38 Schéma pracoviště pro zjištění vlivu úzkopásmového rušení

Způsob, kterým získáváme digitální či analogový televizní signál, je totožný s předchozími zapojeními, a proto je zde celý řetězec nahrazen pouze blokem *Digitální/analogový televizní signál*. Televizní signál poté slučujeme se signálem ze signálního generátoru Rohde&Schwarz SMX, který je schopný generovat signály v pásmu (0,1 - 1000) MHz, včetně signálů modulovaných. Sloučený signál jsme poté vedli na vstup spektrálního analyzátoru, kde jsme zajišťovali, aby rušivý signál nepřekročil mez, která by mohla poškodit zobrazovací zařízení. I v tomto případě je zobrazovacím zařízením TV Panasonic Viera TX-L32V10E, způsob samotného záznamu a zpracování sekvencí je totožný s předchozími měřeními.

V případě analogového i digitálního vysílání jsme použili kanál 21, jehož frekvenční rozsah je 470 MHz až 478 MHz. V tomto rozsahu jsme také ladili signální generátor s krokem 0,5 MHz. V druhé fázi jsme tento signál navíc i amplitudově modulovali s hloubkou modulace 70% a s frekvencí modulačního signálu  $F = 50$  kHz, tím jsme získali rušivý signál o šířce pásma 100 kHz. Úrovně analogového i digitálního televizního signálu ještě před sloučením byly shodně nastaveny na 63,5 dB $\mu$ V, změřená úroveň rušivého signálu byla přibližně 50 dB $\mu$ V. Hodnoty koeficientů kvality pro analogové a digitální vysílání v případě nemodulovaného a modulovaného rušivého signálu zobrazuje tabulka 8.

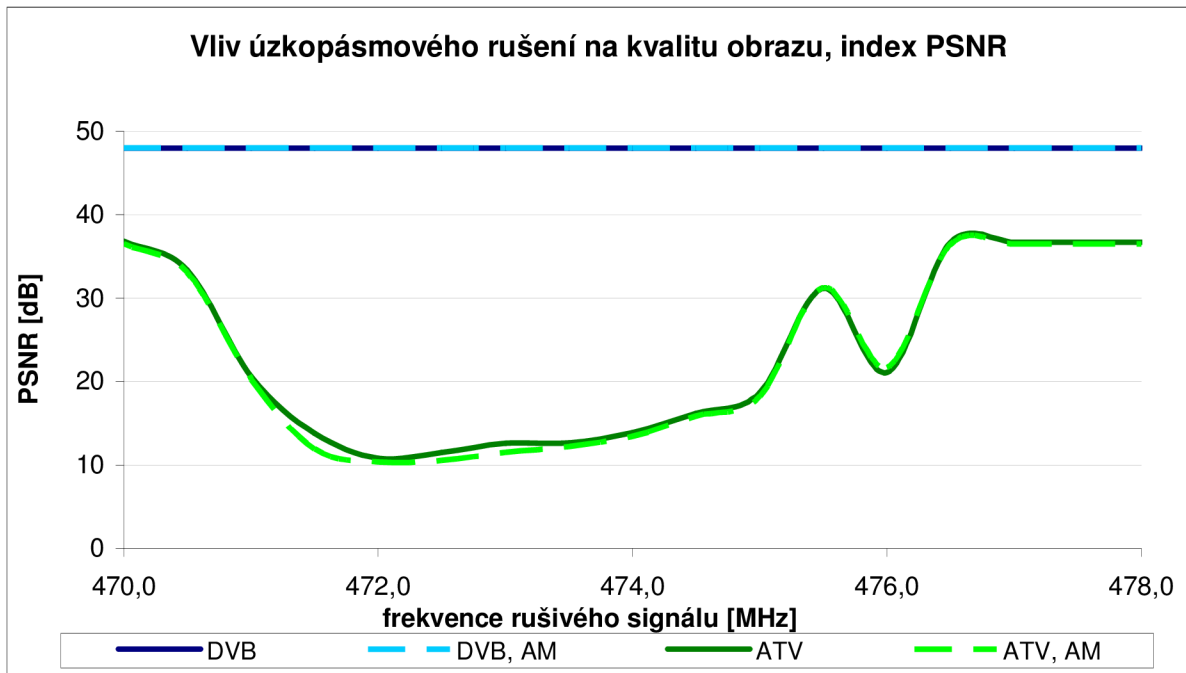
Pohledem do tabulky zjistíme, že v případě digitálního vysílání nemělo toto rušení žádný vliv a všechny hodnoty všech čtyř koeficientů kvality obrazu vypovídají o jakostním obraze. Zajímavého výsledku jsme dosáhli v případě frekvence rušivého signálu 475,5 MHz (v tabulce zvýrazněno tučně). Tato frekvence je prakticky v pásmu, ve kterém se v analogovém televizním signálu přenáší chrominanční signály (pro kanál 21). Tím došlo k jejich výrazné degradaci a na přijímači došlo k tzv. „vypnutí barvy“, kdy přijímač ignoruje chrominanční signály a obraz vytvoří pouze na základě signálu jasového. Dostali jsme tedy pouze černobílý obraz, který však byl velmi dobrý, protože rušení bylo prakticky mimo spektrum jasového signálu. A jelikož i námi použité metriky počítají zejména s jasovou složkou obrazu, získali jsme koeficienty kvality odpovídající kvalitnějšímu obrazu, než bychom očekávali.

Grafické znázornění hodnot zobrazují grafy na obrázcích 39 až 42. Hodnoty při nemodulovaném rušivém signálu jsou označeny jako „ATV“ či „DVB“, hodnoty v případě, kdy byl rušivý signál amplitudově modulován, pak „ATV, AM“ či případně „DVB, AM“. Osy grafů jsou opět orientovány tak, že hodnoty vypovídající o jakostním obraze jsou v horní části grafů.

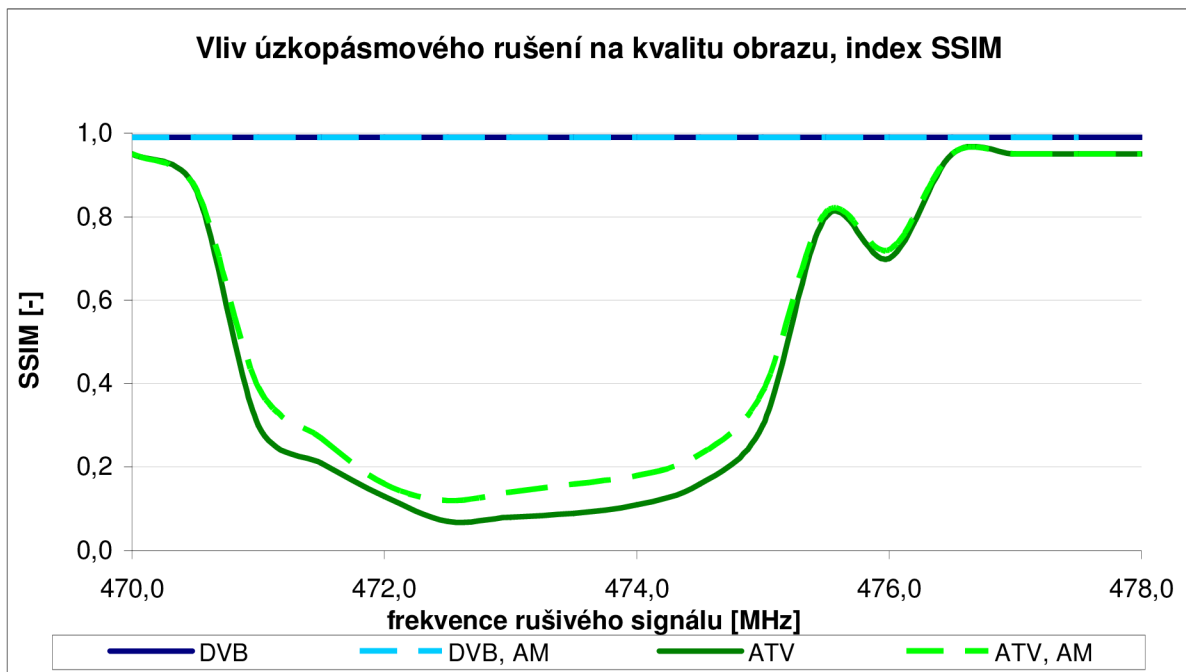
Tabulka 8 Vliv úzkopásmového rušení na kvalitu obrazu

Frekvence rušení [MHz]	PSNR [dB]				SSIM [-]			
	Analogové vysílání		Digitální vysílání		Analogové vysílání		Digitální vysílání	
	bez modulace	s AM modulací	bez modulace	s AM modulací	bez modulace	s AM modulací	bez modulace	s AM modulací
470,0	36,80	36,50	48,00	48,00	0,95	0,95	0,99	0,99
470,5	33,35	33,08	48,00	48,00	0,87	0,87	0,99	0,99
471,0	20,59	20,26	48,00	48,00	0,30	0,39	0,99	0,99
471,5	13,82	11,87	48,00	48,00	0,21	0,27	0,99	0,99
472,0	10,82	10,38	48,00	48,00	0,13	0,16	0,99	0,99
472,5	11,53	10,54	48,00	48,00	0,07	0,12	0,99	0,99
473,0	12,62	11,54	48,00	48,00	0,08	0,14	0,99	0,99
473,5	12,66	12,18	48,00	48,00	0,09	0,16	0,99	0,99
474,0	13,89	13,45	48,00	48,00	0,11	0,18	0,99	0,99
474,5	16,20	15,88	48,00	48,00	0,16	0,23	0,99	0,99
475,0	18,67	18,24	48,00	48,00	0,30	0,38	0,99	0,99
<b>475,5</b>	<b>31,18</b>	<b>31,27</b>	<b>48,00</b>	<b>48,00</b>	<b>0,80</b>	<b>0,81</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>
476,0	21,07	21,67	48,00	48,00	0,70	0,72	0,99	0,99
476,5	36,66	36,41	48,00	48,00	0,95	0,95	0,99	0,99
477,0	36,69	36,53	48,00	48,00	0,95	0,95	0,99	0,99
477,5	36,72	36,52	48,00	48,00	0,95	0,95	0,99	0,99
478,0	36,73	36,48	48,00	48,00	0,95	0,95	0,99	0,99

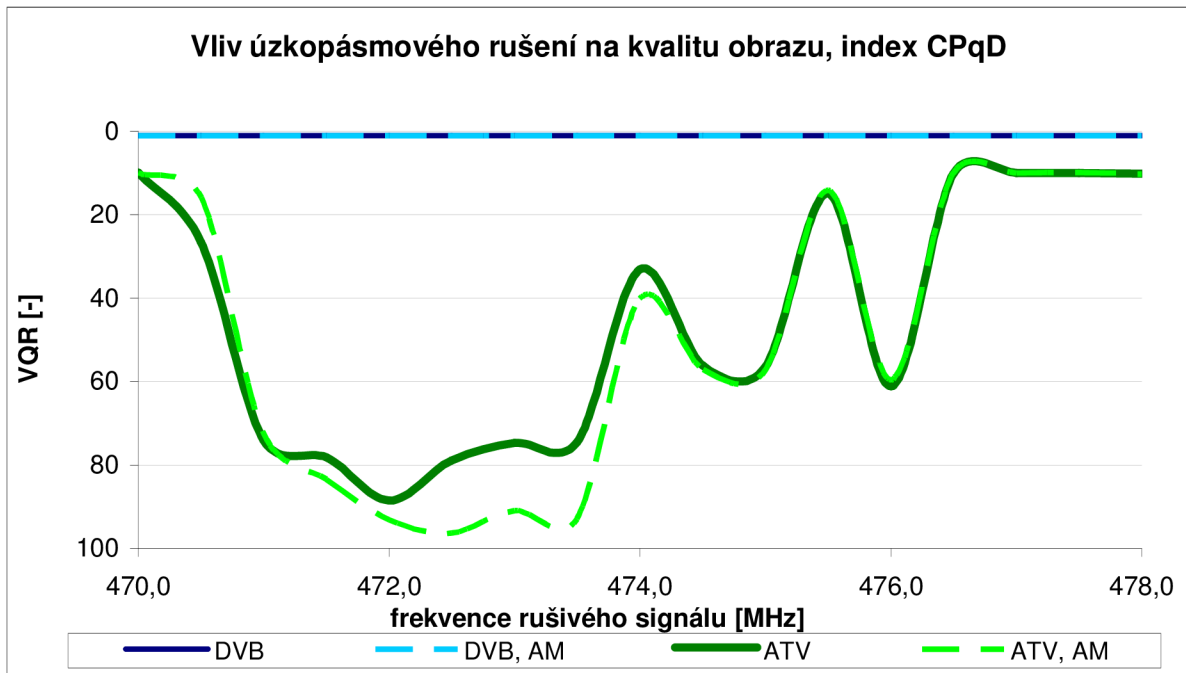
Frekvence rušení [MHz]	CPqD [-]				VQM [-]			
	Analogové vysílání		Digitální vysílání		Analogové vysílání		Digitální vysílání	
	bez modulace	s AM modulací	bez modulace	s AM modulací	bez modulace	s AM modulací	bez modulace	s AM modulací
470,0	9,81	9,96	0,02	0,02	0,14	0,15	0,02	0,02
470,5	26,58	15,83	0,02	0,02	0,17	0,18	0,02	0,02
471,0	74,00	72,54	0,02	0,02	0,88	0,85	0,02	0,02
471,5	78,10	83,50	0,02	0,02	1,00	1,00	0,02	0,02
472,0	88,46	93,24	0,02	0,02	1,00	1,00	0,02	0,02
472,5	78,95	96,26	0,02	0,02	1,00	1,00	0,02	0,02
473,0	74,65	90,95	0,02	0,02	1,00	1,00	0,02	0,02
473,5	74,55	92,99	0,02	0,02	1,00	1,00	0,02	0,02
474,0	33,11	40,20	0,02	0,02	1,00	1,00	0,02	0,02
474,5	56,11	57,22	0,02	0,02	1,00	1,00	0,02	0,02
475,0	56,55	57,24	0,02	0,02	1,00	1,00	0,02	0,02
<b>475,5</b>	<b>14,78</b>	<b>14,09</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,23</b>	<b>0,26</b>	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>
476,0	61,10	59,58	0,02	0,02	1,00	0,99	0,02	0,02
476,5	10,12	9,98	0,02	0,02	0,15	0,15	0,02	0,02
477,0	10,02	9,98	0,02	0,02	0,14	0,15	0,02	0,02
477,5	9,97	9,89	0,02	0,02	0,14	0,15	0,02	0,02
478,0	10,05	10,20	0,02	0,02	0,14	0,15	0,02	0,02



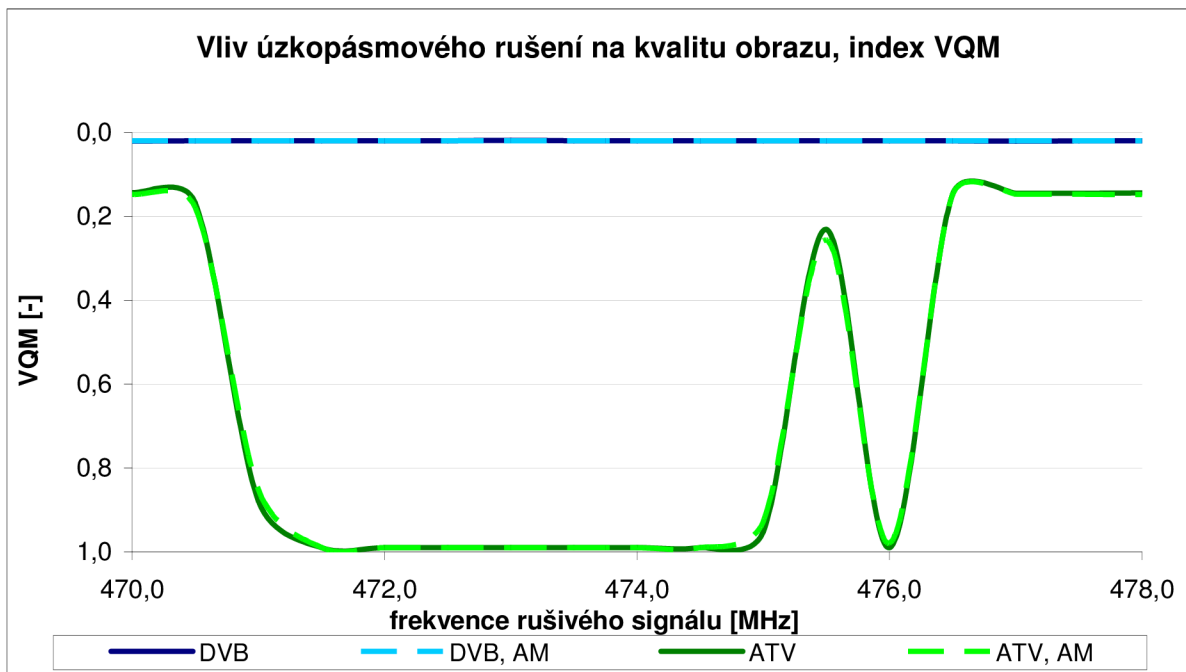
Obr. 39 Vliv úzkopásmového rušení na kvalitu obrazu, index PSNR



Obr. 40 Vliv úzkopásmového rušení na kvalitu obrazu, index SSIM



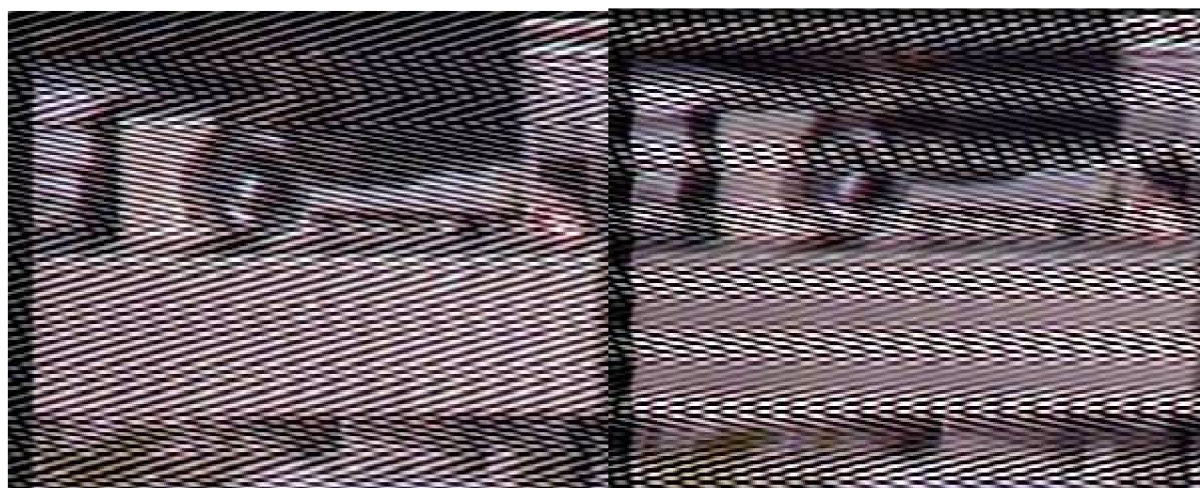
Obr. 41 Vliv úzkopásmového rušení na kvalitu obrazu, index CPqD



Obr. 42 Vliv úzkopásmového rušení na kvalitu obrazu, index VQM

I z grafů je vidět, že úzkopásmové rušení nemělo na kvalitu obrazu při příjmu digitálního vysílání žádný vliv, a to ani v případě, když byl rušivý signál modulován. To si lze jednoduše vysvětlit na základě principu digitálního vysílání. Jednak se při digitálním vysílání používá modulace OFDM, tedy rušení vždy postihlo pouze některou z nosných vln systému DVB-T, dále je systém právě vůči takovému úzkopásmovému rušení chráněn pomocí interleavingu a nakonec je signál ještě zabezpečen na úrovni bitů i bytů pomocí konvolučních a samoopravných kódů. Takže i když byla postihnuta například některá či více nosných vln, tento shluk chyb byl rozložen na osamocené chyby a následně opraven, a na přijímací straně se kvalita obrazu nezměnila.

V případě analogového signálu však došlo vlivem rušení k degradaci obrazu podle toho, do jaké části televizního signálu rušení zasáhlo. Čím více byl rušivý signál ve spektru jasového signálu, tím nižší kvalitu obrazu jsme pozorovali. Ke zlepšení došlo až když jsme se s frekvencí rušení pohybovali v pásmu, kde se přenášejí zvukové signály. Vliv tohoto rušení na samotný obraz pro kmitočet rušení 472,0 MHz zobrazuje obrázek 43. Aby bylo rušení zřetelné, je zobrazen pouze výřez ze zaznamenané sekvence.



Obr. 43 Vliv nedomulovaného (vlevo) a modulovaného (vpravo) úzkopásmového rušení na kvalitu obrazu, analogový příjem

Mimo měření bylo pak testováno, kdy se poprvé projeví vliv úzkopásmového rušení i při příjmu digitálního vysílání. První chyby v obraze se začaly objevovat až při následujícím nastavení:

- úroveň vstupního signálu DVB-T nastaveno 60,0 dB $\mu$ V, změřeno 35 dB $\mu$ V,
- kmitočet rušení 475,5 MHz, AM, hloubka modulace 70%, F = 50 kHz,
- úroveň rušivého signálu změřeno 65 dB $\mu$ V.

Při takovém nastavení bylo v obraze patrné známé „kostičkování“, objektivní hodnocení takového obrazu zobrazuje tabulka 9. Z uvedených hodnot je vidět, že v tomto případě je obraz již značně zarušený a hodnotami se dostává na úroveň zarušeného analogového signálu.

Tabulka 9 Hodnocení kvality obrazu při patrném vlivu úzkopásmového rušení, digitální příjem

PSNR [dB]	20,68
SSIM [-]	0,69
CPqD - IES [-]	58,67
NTIAA VQM [-]	0,67



## 6.5 Subjektivní hodnocení kvality

Obrazovou kvalitu sekvencí zaznamenaných při všech třech typech rušení jsme se pokusili též zhodnotit subjektivně. Vliv citlivosti set-top-boxů není do hodnocení zahrnut, jelikož se prakticky jedná o vliv úrovně signálu. Na subjektivní hodnocení kvality obrazu existují oficiální standardizované metody, které lze nalézt v doporučení ITU-R BT.500-11, [21]. Metody zde uvedené jsou však pro naše potřeby příliš rozsáhlé, a proto se spokojíme s jednoduchým slovním hodnocením subjektivní kvality obrazu.

Vliv nízké úrovně signálu na kvalitu obrazu při příjmu analogového vysílání je všeobecně známý. Je jím tzv. „sněžení“ v obraze, kdy při nižších úrovních televizního signálu je nižší i odstup signálu od šumu a tento šum můžeme pozorovat přímo v obraze. I v našem případě s klesající úrovní signálu je v zaznamenaných sekvencích patrný šum. Tento šum bychom však do hodnot napětí přibližně 55 dB $\mu$ V neklasifikovali jako příliš rušivý. V rozmezí napětí 55 až 35 dB $\mu$ V lze kvalitu klasifikovat jako zhoršenou, v limitních situacích by však mohla být ještě přijatelná (je to způsobeno i tím, že si lidské oko po delší době sledování zarušeného signálu na toto rušení zvykne a již jej nevnímá tak intenzivně). Při ještě nižších hodnotách napětí již nelze dle subjektivního hodnocení mluvit o přijatelném obraze a pozorovatel jej bude vnímat jako velmi zarušený. V případě vysílání v systému DVB-T je až do hodnot signálu přibližně 31 dB $\mu$ V vnímán vysoce jakostní obraz. Při nižších úrovních však již vyskytující se artefakty degradují výsledný vjem a ruchy v obraze jsou již značně nepříjemné a obtěžující. Při srovnání s analogovým vysíláním jsou chyby v obraze při digitálním vysílání více rušivé nežli malé zašumění v obraze při příjmu analogovém.

Při hodnocení vlivu nelineárního zkreslení dojdeme k zajímavému závěru. Přestože objektivní metody vypovídají o nekvalitním obraze, subjektivní hodnocení není tak přísné. Při nízkých úrovních zkreslení je hlavním projevem ztmavení obrazu, což pozorovatel nevnímá příliš negativně. Pokud by pozorovatel neměl k dispozici referenční snímek, pokládal by kvalitu obrazu za poměrně dobrou. Při teoretické úrovni signálu (viz rovnice 14) větší než 84 dB $\mu$ V je v obraze však patrné další zkreslení a obraz bychom ohodnotili za velmi nevyhovující. Došlo totiž ke „zkroucení“ obrazu, obraz „skáče“ a je zdeformovaný jak jej můžeme znát z přehrávání nekvalitně nahraných videokazet. Vliv na kvalitu obrazu v případě digitálního vysílání není tak značný, při nižších hodnotách teoretické úrovně signálu je obraz prakticky identický s referenčním snímkem. V případě vyšších úrovní rušení se již projevují klasické znaky chybného obrazu, můžeme pozorovat známé „kostičkování“. Jsou-li však tyto chyby v obraze méně časté, působí to na pozorovatele mnohem méně rušivě než chyby v obraze při stejné úrovni rušení v případě analogového příjmu.

Závěrem kapitoly zbývá ještě zhodnotit vliv úzkopásmového rušení. Zde velmi záleží na frekvenci rušení. Je-li rušivý signál na začátku či na konci spektra televizního signálu, subjektivní kvalitu obrazu bychom označili za dobrou. Nachází-li se však rušivý signál přímo ve spektru jasového signálu, pozorujeme v obraze pruhy, což působí značně negativně. Nachází-li se kmitočty rušení na konci spektra jasového signálu ale ještě neovlivnil spektrum chrominančních signálů, ohodnotili bychom obraz jako mírně zarušený, přesto ale přijatelný. Jakmile ale rušení zasáhne i spektrum barvonosných signálů, v obraze se objeví barevné dynamické pruhy, což působí tak rušivě, že je obraz prakticky nepřijatelný. Zajímavá situace nastane, když generovaný rušivý signál zasáhne chrominanční signál natolik, že v přijímači dojde k tzv. vypnutí barvy, a my pozorujeme pouze černobílý obraz. Ten je však velmi kvalitní, ostrý a téměř bez jakýchkoliv ruchů.

## 7 Závěrečné zhodnocení výsledků

Na základě všech předchozích měření a jejich výsledků můžeme konstatovat, že jsme potvrdili prvotní předpoklad, že systém digitálního televizního vysílání je mnohem odolnější na různá rušení a degradace signálu, než systém analogový. Zatímco u analogové televize je veškeré rušení přijímaného signálu okamžitě patrné buď na obraze nebo případně na zvukovém doprovodu, digitální vysílání těmito neduhy netrpí a přijímače digitálního televizního vysílání jsou schopny dekodovat signál korektně i při velmi zarušeném vstupním signálu.

V případě zkoumání vlivu úrovně signálu na kvalitu obrazu jsme zjistili, a tím zároveň potvrdili předpoklad, že kvalita obrazu při příjmu analogového vysílání bude se snižující se úrovní signálu klesat. Je to zřejmé už z principu analogového vysílání, kdy je informace o obraze nesena amplitudou signálu, a tedy jakákoliv amplitudová porucha v signálu má za následek i rušení v obraze. Naproti tomu použití digitálních modulací a i samotný princip digitálního zpracování dat, který umožňuje ochranu dat proti chybám, dává digitálnímu televiznímu vysílání předpoklad k velmi malé závislosti kvality obrazu na úrovni signálu. Z našich měření vyplynulo, že v případě analogového vysílání je limitní hodnota napětí, aby byl obraz vnímán pozorovatelem jako kvalitní, minimálně 55 dB $\mu$ V. Tato hodnota byla zjištěna na základě subjektivního srovnání kvality obrazu. V případě digitálního vysílání je tato hodnota přibližně 33 dB $\mu$ V, při které lze pozorovat zcela kvalitní obraz. Při nižších hodnotách můžeme na zaznamenaných sekvencích pozorovat artefakty, v závislosti na použitém přijímači DVB-T.

Vliv nelineárního zkreslení na výslednou kvalitu obrazu v případě analogového vysílání je též značný. Na základě subjektivního hodnocení výsledků bychom obraz většiny zaznamenaných sekvencí označili za dosti nekvalitní. To ostatně vyplývá i z výsledků objektivního hodnocení na základě námi použitých metrik. Z příslušných grafů v kapitole 6.2 je vidět, že v případě nelineárního zkreslení nedosáhne kvalita obrazu v případě analogového vysílání nikdy kvality referenčního snímku. Digitální vysílání, naproti tomu, i v tomto případě poskytuje obraz identický s originálním, a to i při významném zkreslení signálu.

Poněkud překvapivým se jeví vliv použitého přijímače DVB-T na kvalitě obrazu. Jedná se však o vliv, který je záležitostí samotných výrobců těchto zařízení a nesouvisí příliš se samotným principem vysílání. Mezi testovanými set-top-boxy byly pozorovány rozdíly v citlivost až 10 dB, úroveň signálu, který přístroj potřeboval pro dekodování kvalitního obrazu se pohybovala v rozmezí 35 dB $\mu$ V až 25 dB $\mu$ V. I přesto je hodnota 35 dB $\mu$ V hodnota mnohem nižší, než jakou bychom potřebovali v případě vysílání analogového.

Posledním typem rušení, které jsme testovali, bylo úzkopásmové rušení. I toto je typ rušení, které můžeme znát i z praxe. Na základě objektivních metod hodnocení kvality obrazu vyplývá, že projevy v obraze při příjmu analogového vysílání jsou značné. Nejhorších výsledků jsme dosáhli, když byla frekvence rušivého signálu, ať už modulovaného či nikoliv, přibližně uprostřed spektra jasového signálu. V tom případě všechny metriky poskytovaly hodnoty odpovídající velmi zarušeným snímkům. Podobných výsledků jsme dosáhli i v případě, když se frekvence úzkopásmového rušení nacházela v oblasti spektra chrominancních signálů. Výjimkou byl již zmíněný případ, kdy vlivem zarušení těchto signálů došlo v přijímači k reprodukci pouze černobílého obrazu. Vzhledem k tomu, že



většina metrik klade největší důraz právě na informace obsažené v černobílém obraze, získali jsme na základě objektivních metod hodnoty odpovídající poměrně dobrému obrazu.

Co se týče samotných metrik pro hodnocení kvality obrazu, jako nejvíce vypovídající se jeví metrika NTIA VQM. Její výpočet na použitém počítači sice trval nejdéle, výsledky však nejvíce odpovídají i subjektivní kvalitě obrazu. Překvapivě relevantních výsledků dosahovala i metoda SSIM. V případě nelineárního zkreslení sice byly některé její koeficienty kvality příliš vysoké (tedy vypovídající o kvalitním obraze), přesto se díky své relativní výpočetní nenáročnosti jeví jako velmi vhodná metoda pro hodnocení kvality obrazu. Naproti tomu metrika CPqD nedosahovala výsledků, které bychom si představovali, přesto je lze též považovat za relevantní. To však není způsobeno ani tak samotným algoritmem CPqD, jako spíše použitou oficiální aplikací *iescpqd24.exe*, [20], která na rozdíl od definice samotné metriky neobsahovala korekci časového a prostorového offsetu a ani korekci zisku jasových a chrominančních signálů. Zatímco časový offset byl případně řešen pomocí střihu a k prostorovému díky použití téhož přijímače jak pro analogový, tak i digitální příjem takřka nedocházelo, tak problém zisku jasového a chrominančních signálů se výrazně projevil v případě vlivu úrovně signálu na kvalitu obrazu při příjmu analogového vysílání. Že nedocházelo k prostorovému offsetu bylo patrné ze zpráv, které poskytovala aplikace *bvqm*, [19], která tento offset počítala a umí jej i kompenzovat. Z tohoto důvodu nebyl nakonec prostorový ani časový offset řešen ani u metriky SSIM a použitá aplikace, [18], poskytovala relevantní výsledky. Metrika PSNR splnila očekávání, jedná se o nejjednodušší metriku, její výsledky proto často vypovídaly o zarušeném obraze, přestože byl subjektivně poměrně kvalitní, její užití v případě digitálního vysílání však poskytovalo relevantní výsledky. Jejím kladem však je malá výpočetní náročnost.

## 8 Závěr

V bakalářské práci byly popsány základy televizního vysílání v analogové a digitální podobě. Byly definovány principy snímání obrazu v analogové podobě a jeho dalšího zpracování, tvorba barevného televizního signálu a normy analogového televizního vysílání, které popisují jednotlivé parametry vysílání. V práci je dále popsán i princip vzorkování televizního signálu pro potřeby digitálního vysílání a malá část práce je věnována kompresi obrazového signálu MPEG-2, která se v digitálních televizních systémech využívá.

Práce rovněž obsahuje popis některých metod pro určování objektivní kvality videa, konkrétně metody PSNR a SSIM, a dále metody CPqD – IES a NTIA VQM, které jsou součástí doporučení mezinárodní telekomunikační unie ITU-R BT.1683. Na jejich základě byla navržena metoda pro srovnání kvality obrazu při příjmu analogového a digitálního televizního vysílání. Jádrem práce je poté aplikace této metody na přijímaný signál.

Byly zaznamenány videosekvence při příjmu analogového i digitálního vysílání při snižující se úrovni signálu. Z analýzy výsledků vyplývá, že při snižující se úrovni signálu klesá i kvalita obrazu v případě analogového vysílání. Na vysílání digitální má úroveň signálu vliv mnohem menší a projevuje se až od úrovně 35 dB $\mu$ V či nižších, v závislosti na použitém přijímacím zařízení. Jak totiž ukázal test samotných set-top-boxů, i mezi nimi jsou značné rozdíly. Také při testování vlivu nelineárního zkreslení se systém DVB-T ukázal jako velice odolný vůči tomuto typu rušení. Zatímco u analogové televize byly zarušeny již první testovací sekvence, systém DVB-T poskytoval jakostní obraz i při zvyšující se úrovni zkreslení signálu. Tedy i v případě tohoto typu rušení můžeme konstatovat, že systém digitální televize je při příjmu za zhoršených podmínek šíření signálu lepší. Další podkapitola se věnuje zkoumání vlivu úzkopásmového rušení. I zde nás nepřekvapilo, že zatímco v případě digitálního příjmu jsme získali vysoce jakostní obraz takřka k nerozeznání od reference, tak v případě příjmu analogového vysílání byla většina sekvencí značně zarušena. Tedy i v případě úzkopásmového rušení je pomyslným vítězem systém DVB-T. Všechny sekvence byly též podrobeny jednoduchému subjektivnímu hodnocení kvality obrazu. Výsledky subjektivního hodnocení se v mnohém shodují s údaji, které poskytly objektivní metody. Pouze v některých případech byl subjektivní vjem lepší, než bychom na základě hodnot jednotlivých metrik očekávali.

Závěrečná kapitola shrnuje všechny zjištěné výsledky. Všechna měření potvrdila, že při zhoršených podmínkách příjmu je kvalita obrazu v případě příjmu digitálního vysílání výrazně lepší než při příjmu analogovém. Ve světle těchto výsledků se ani tzv. „cliff efekt“ nejeví jako nevýhoda digitálního příjmu, protože na základě objektivního i subjektivního hodnocení nelze v případě příjmu analogového vysílání za hranicí oblasti plánování považovat kvalitu takto získaného obrazu za dostačující.

Přestože je práce relativně rozsáhlá, bylo by možné ji případně dále rozšířit buď o další metriky pro hodnocení kvality obrazu či případně se pokusit simulovat další typy rušení, které se mohou v reálném prostředí vyskytnout. Bylo by možné například za pomoci antén zkoumat vliv vícecestného šíření a vliv odrazů, či zjistit vliv impulsního rušení na kvalitu obrazu.

## Seznam literatury

- [1] VÍT, V. *Televizní technika, přenosové barevné soustavy*. Praha: BEN – technická literatura, 1997. 719 s. ISBN 80-86056-04-X.
- [2] FISHER, W. *Digital video and audio broadcasting technology*. Berlin: Springer – Verlag, 2008. 580 s. ISBN 973-3-540-76357-4.
- [3] HANUS, S. *Základy televizní techniky I*. Skriptum FEKT VUT v Brně. Brno: MJ servis spol., 2009. 82 s. ISBN 978-80-214-3971-9.
- [4] WIKIPEDIA. *NTSC* [online]. [cit 28.11. 2010]. Dostupný z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/NTSC>
- [5] WIKIPEDIA. *PAL* [online]. [cit 28.11. 2010]. Dostupný z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/PAL>
- [6] WIKIPEDIA. *SECAM* [online]. [cit 28.11. 2010]. Dostupný z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/SECAM>
- [7] LEGÍŇ, M. *Televizní technika DVB-T*. Praha: BEN – technická literatura, 2006. 286 s. ISBN 80-7300-204-3.
- [8] HANUS, S. *Základy televizní techniky II*. Skriptum FEKT VUT v Brně. Brno: MJ servis spol., 2009. 66 s. ISBN 978-80-214-4022-7.
- [9] HANUS, S. *Základy televizní techniky III*. Skriptum FEKT VUT v Brně. Brno: MJ servis spol., 2010. 103 s. ISBN 978-80-214-4206-1.
- [10] POTŮČEK, J. *T-Mobile definitivně vzdal plán na mobilní digitální televizi DVB-H* [online]. [cit 9.12. 2010]. Dostupný z WWW: <http://www.digizone.cz/aktuality/t-mobile-definitivne-vzda-plan-na-mobilni-dvb-h>
- [11] ITU-R Recommendation BT.601-6: *Studio encoding parameters of digital television for standard 4:3 and wide-screen 16:9 aspect ratios*. Geneva: The International Telecommunication Union, 1982.
- [12] ARKO, S., GORUPEC D. *JPEG standard za kodiranje slike* [online]. [cit 11.12.2010]. Dostupný z WWW: [http://dosl.zesoi.fer.hr/seminari/1997\\_1998/jpeg/JPEG.html](http://dosl.zesoi.fer.hr/seminari/1997_1998/jpeg/JPEG.html)
- [13] TOMAN, J., PROCHÁZKA, I. *Technické základy* [online]. [cit 11.12.2010]. Dostupný z WWW: <http://www.ceskatelevize.cz/vse-o-ct/technika/digitalni-pozemni-vysilani-dvb-t/technicke-zaklady/>
- [14] ETSI EN 300 744: *Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television*. European Telecommunications Standards Institute, 2001.

- [15] WINKLER, S. *Digital video quality*. London: Wiley, 2005. 175 s. ISBN 0-470-02404-6.
- [16] WANG, Z., BOVIK, A. C. et al. Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity. In *IEEE Transactions in Image Processing*, vol. 13, no. 4, april 2004, p. 600-612.
- [17] ITU-R Recommendation BT.1683 *Objective perceptual video quality measurement techniques for standard definition digital broadcast television in the presence of a full reference*. Geneva: The International Telecommunication Union, 2004.
- [18] MOSKIN, A., PETROV, O. et al. *MSU video quality measurement tool* [online]. [cit. 10.12. 2010]. Dostupný z WWW: [http://compression.ru/video/quality\\_measure/video\\_measurement\\_tool\\_en.html](http://compression.ru/video/quality_measure/video_measurement_tool_en.html)
- [19] PINSON, M., WOLF, S. *Batch Video Quality Metric* [online]. [cit. 10.12. 2010]. Dostupný z WWW: <http://www.its.bldrdoc.gov/vqm/>
- [20] CPqD *Video Quality Objective Assessment IES-CPqD*. Brazil, 2009.
- [21] ITU-R Recommendation BT.500-11 *Methodology for the subjective assessment of the quality of television Pictures*. Geneva: The International Telecommunication Union, 2002.

## Seznam zkratek

3DTV	3D Television
ATSC	Advanced Television System Committee
CCIR	Comité consultatif international pour la radio
CPqD–IES	Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações - Image evaluation based on segmentation
CVBS	Color Video Blanking Synchronisation
DPCM	Differential pulse code modulation
DTMB	Digital terrestrial multimedia broadcasting
DVB-C	Digital video broadcasting - cable
DVB-H	Digital video broadcasting - handheld
DVB-S	Digital video broadcasting - satellite
DVB–T	Digital video broadcasting - terrestrial
DVD	Digital video disc
FEC	Forward error correction
GOP	Group of pictures
HDTV	High definition television
ISDB–T	Integrated services digital broadcasting - terrestrial
ITU-R	International Telecommunication Union-Radio Communication Sector
MPEG	Motion Picture experts group
MSE	Mean squared error
NTIA VQM	National Telecommunications and Information Administration Video quality metric
NTSC	National television system committee
PAL	Phase alternating line
PES	Packetized elementary stream
PS	Programme stream
PSNR	Peak signal to noise ratio
QAM	Quadrature amplitude modulation
SECAM	Séquentiel couleur à mémoire
SFN	Single frequency network
SSIM	Structural similarity index
SVCD	Super video CD
TS	Transport stream
VLC	Variable length coding

# Seznam příloh

## A. DVD médium

- |  |                           |
|--|---------------------------|
| A.1 Zaznamenané sekvence, vliv úrovně signálu          | (sekvence\uroven_signalu) |
| A.2 Zaznamenané sekvence, vliv nelineárního rušení     | (sekvence\nelinearita)    |
| A.3 Zaznamenané sekvence, vliv citlivosti set-top-boxů | (sekvence\settopboxy)     |
| A.4 Zaznamenané sekvence, vliv úzkopásmového rušení    | (sekvence\uzkopas_ruseni) |