

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A**  
**TELEKOMUNIKACÍ**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Distribuce DVB-T2/HEVC a DAB+ ve společných**  
**anténách**

**Tomáš Smaha**

**2016/2017**

*Originál (kopie) zadání BP/DP*

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce popisuje nejzákladnější principy analogové, ale především principy televize digitální DVB-T a novějšího standardu DVB-T2. Spolu s tím dále popisuje principy systémů digitálního pozemního rozhlasu DAB a DAB+. Práce je navíc zaměřena na popis systému společných televizních antén (STA) a na popis šíření výše uvedených standardů v těchto systémech, včetně provedeného experimentálního měření v televizním kabelovém rozvodu FEL ZČU Plzeň. Tato práce pak odhaluje i případné postupy či potíže ve změnách STA při přechodu na digitální televizní pozemní vysílání druhé generace, nadcházející v brzké budoucnosti.

## **Klíčová slova**

Digitální přenos televizního vysílání, digitální přenos rozhlasového vysílání, standard DVB-T2, standard DAB+, systémy společných televizních antén, šíření DVB-T2 a DAB+ v STA.

## **Abstract**

This bachelor thesis describes the most basic principles of analogue television, but primarily principles of digital television DVB-T and the newer standard DVB-T2. It also describes the principles of digital terrestrial radio systems as is DAB and DAB+. Moreover, the work is focused on describing the system of common television antennas (STA) and describing spreading of the above mentioned standards in these systems, including the experimental measurement in the television cable distribution of FEL ZČU Pilsen. In addition, this work reveals possible procedures or difficulties during transition to second-generation digital television terrestrial broadcasting in the near future.

## **Key words**

Digital television broadcasting, digital radio broadcasting, standard DVB-T2, standard DAB+, systems of common television antennas, spreading of DVB-T2 and DAB+ signals in the STA.

## **Prohlášení**

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

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

.....  
podpis

V Plzni dne 6.6.2017

Tomáš Smaha

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval společnosti Rohde & Schwarz závod Vimperk, s.r.o. za zapůjčení měřících přístrojů potřebných k uskutečnění experimentálního měření souvisejícího s touto prací. Jmenovitě pak zaměstnancům Petru Zdráhalovi a Františku Landovi za technickou podporu během daného měření.

## Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>7</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>10</b>
<b>1 ZÁKLADNÍ PRINCIPY ANALOGOVÉ TELEVIZE</b> .....	<b>11</b>
1.1 VIDEO SIGNÁL.....	11
1.2 TELEVIZNÍ KANÁL.....	11
1.3 DŮVODY PŘECHODU Z ANALOGOVÉHO VYSÍLÁNÍ NA DIGITÁLNÍ.....	12
1.4 CO JE TO VLASTNĚ DVB-T ?.....	13
1.5 ZÁKLADNÍ ROZDÍLY DVB-T OPROTI ANALOGOVÉ TELEVIZI.....	13
1.6 VÝHODY DVB-T.....	14
1.7 NEVÝHODY DVB-T.....	16
<b>2 SPECIFIKACE DVB-T</b> .....	<b>16</b>
2.1 VARIANTY SYSTÉMU DVB-T.....	16
2.2 COFDM.....	19
2.2.1 Podstata COFDM.....	19
2.3 MODULACE NOSNÝCH.....	20
2.3.1 QPSK.....	20
2.3.2 QAM.....	21
2.4 PRINCIP DEMODULACE QAM.....	22
2.5 OCHRANNÝ INTERVAL.....	22
2.6 TVORBA MULTIPLEXU.....	23
2.7 ZDROJOVÉ KÓDOVÁNÍ OBRAZU.....	24
2.7.1 MPEG-2.....	24
2.7.2 MPEG-4.....	25
2.8 ZDROJOVÉ KÓDOVÁNÍ ZVUKU.....	26
2.8.1 MPEG-1.....	28
2.8.2 MPEG-2.....	29
2.8.3 AAC.....	29
2.9 KANÁLOVÉ KÓDOVÁNÍ.....	29
2.9.1 Vnější ochrana blokového kódu.....	30
2.9.2 Vnitřní ochrana konvulčního kódu.....	31
<b>3 DVB-T2</b> .....	<b>31</b>
3.1 ROZDÍLY OPROTI DVB-T.....	31
3.1.1 Modulační subnosných.....	32
3.2 DŮVODY A POSTUPY PŘECHODU K DVB-T2 V ČR.....	33
3.3 HEVC.....	35
3.3.1 Klíčové vlastnosti HEVC.....	35
3.4 ZVUKOVÝ DOPROVOD.....	37
3.5 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ.....	38
3.5.1 Popis postupu měření.....	38
3.5.2 Parametry testovaných signálů.....	40
3.5.3 Výsledky měření.....	41
<b>4 DAB</b> .....	<b>44</b>
4.1 ROZDÍLY MEZI DAB A FM.....	45
4.2 EUREKA 147 - DAB.....	45
4.2.1 Podrobnější specifikace a vlastnosti DAB.....	45
<b>5 DAB+</b> .....	<b>48</b>

5.1	ROZDÍLY A VÝHODY OPROTI DAB .....	48
5.2	SOUČASNÝ STAV DAB+ v ČR .....	48
<b>6</b>	<b>SYSTÉMY SPOLEČNÝCH TELEVIZNÍCH ANTÉN .....</b>	<b>49</b>
6.1	PRVKY STA .....	50
6.1.1	<i>Samostatné antény</i> .....	50
6.1.2	<i>Hlavní stanice STA</i> .....	53
6.1.3	<i>Účastnický rozvod STA</i> .....	54
6.1.4	<i>Účastnické zásuvky</i> .....	56
6.2	ZPŮSOBY PŘÍJMU DVB-T v SYSTÉMECH STA .....	57
6.2.1	<i>Požadavky pro šíření DVB-T</i> .....	58
6.2.2	<i>Způsoby rozvodu signálů DVB-T</i> .....	58
6.3	ZPŮSOBY PŘÍJMU DVB-S v SYSTÉMECH STA .....	59
6.4	SOUČASNÉ TRENDY A PROBLEMATIKA STA .....	60
6.4.1	<i>Změny v oblasti pozemního příjmu</i> .....	61
6.4.2	<i>Změny v oblasti satelitního příjmu</i> .....	63
6.4.3	<i>Změny v oblasti rozhlasového příjmu</i> .....	63
6.5	Vliv MOBILNÍCH SÍTÍ NA STA .....	64
6.5.1	<i>Vliv GSM</i> .....	64
6.5.2	<i>Vliv LTE</i> .....	64
6.6	DVB-T2 A DAB+ v SYSTÉMECH STA .....	64
6.6.1	<i>STA se širokopásmovými zesilovači</i> .....	65
6.6.2	<i>STA s kanálovými zesilovači či transkodéry</i> .....	65
6.6.3	<i>STA s programovatelnými zesilovači</i> .....	66
6.6.4	<i>Úpravy v STA na ZČU FEL Plzeň</i> .....	66
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>67</b>
	<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ .....</b>	<b>69</b>
	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>1</b>



## Úvod

Aby byla zcela pochopena technologie digitálního televizního pozemního vysílání DVB-T2 s použitým kódováním obrazu HEVC či technologie digitálního pozemního rozhlasového vysílání DAB+ a jejich šíření v systému společných televizních antén STA, je nejprve třeba představit základní principy televize analogové. Dále samozřejmě technologie a principy standardu DVB-T či standardu DAB, které se od jejich novějších variant DVB-T2 a DAB+ až tolik neliší. V textu jsou pak samozřejmě tyto rozdíly také uvedeny. V neposlední řadě je nutný popis technologií a současných trendů v oblasti STA. [1] [2] [4] [5]

Důvodem vzniku této práce je pak plánovaný celoplošný přechod ke standardu DVB-T2, jež bude uskutečněn v brzké budoucnosti. S tímto přechodem však vznikají problémy jak u provozovatelů STA, tak u koncových uživatelů. V rámci ověření teoretických předpokladů, se kterými je pracováno, bylo uskutečněno experimentální měření na půdě ZČU FEL Plzeň, jež částečně osvětluje případné potíže či změny v STA při výše zmíněném přechodu k DVB-T2. [3]

## **Seznam symbolů a zkratek**

DVB-T .....	Digital video broadcasting - terrestrial
ETSI.....	European Telecommunications Standards Institute
SDTV .....	Standard-definition television
HDTV .....	High-definition television
UHDTV .....	Ultra-high-definition television
SFN.....	Single frequency network
BER .....	Bit error ratio
MER .....	Modulation error ratio
COFDM.....	Coded orthogonal frequency-division multiplexing
QPSK.....	Quadrature phase-shift keying
QAM.....	Quadrature amplitude modulation
MPEG.....	Moving Picture Experts Group
ISO.....	International Organization for Standardization
IEC.....	International Electrotechnical Commission
AAC.....	Advanced audio coding
HEVC .....	High Efficiency Video Coding
LTE.....	Long-Term Evolution
C/N .....	Carrier-to-noise ratio
DAB.....	Digital audio broadcasting
STA.....	Společná televizní anténa
EBU .....	European Broadcasting Union
UHF .....	Ultra high frequency
VHF .....	Very high frequency
PLP .....	Physical layer pipes
PP.....	Pilot pattern
ČTÚ .....	Český telekomunikační úřad
ČRa.....	České radiokomunikace
PES .....	Paketizovaný elementární tok
PS.....	Programový tok
TS .....	Transportní tok
GI.....	Guard interval

## **1 Základní principy analogové televize**

V této kapitole jsou rozebrány základní principy analogové televize, které jsou podstatné k pochopení některých skutečností vyskytujících se také u televize digitální, a navíc také rozdíl mezi oběma těmito systémy.

### **1.1 Video signál**

Video signál je ve standardu SDTV přenášen po snímcích a každý snímek obsahuje 625 řádků. Každý řádek je pak složen z jednotlivých bodů. Aby byl pohyb obrazu plynulý, je třeba zobrazit 25 snímků za 1s, z čehož dostáváme snímkový kmitočet 25Hz a jednoduchým výpočtem ( $25 \times 625$ ) také řádkový kmitočet 15 625 Hz.

V době, než se stihl vykreslit 625. řádek, docházelo však u televizorů k blikání obrazu, a proto se využívalo tzv. prokládané řádkování. Každý snímek byl rozdělen na 2 půlsnímky, kde každý logicky obsahoval 312,5 řádků. Při vykreslování se pak střídaly liché řádky se sudými, čímž bylo blikání zamezeno.

U starších CRT televizorů s poměrem stran obrazu 4:3 a znalostí počtu řádků se lze pak snadno dopočítat k počtu 833 bodů v jednom řádku. Z faktu, že řádkový kmitočet činí 15 625 Hz a v řádku je 833 bodů, lze opět jednoduše dopočítat množství bodů potřebných každou sekundu. Dostáváme tak poté  $13 \cdot 10^6$  bodů/sec. [1] Informace v této podkapitole jsou podstatné k pochopení jistých skutečností vyskytujících se v kapitole 2.7 o zdrojovém kódování obrazu.

### **1.2 Televizní kanál**

V této podkapitole se sluší uvést alespoň některá základní specifika a hodnoty. Obraz analogové televize je modulován samozřejmě analogovou, amplitudovou modulací. Oproti tomu zvuk je zpracován modulací frekvenční. Odstup mezi nosnou obrazu a zvuku činí 6,5 MHz. Při užití amplitudové modulace ale dochází k zrcadlení ve frekvenčním spektru. Jelikož by však takový signál zabíral příliš velkou šířku pásma, je přenášeno celé horní postranní pásmo (již zmíněných 6,5 MHz) a část dolního postranního pásma (0,75 MHz).

Celý televizní kanál pak zaujímá šířku pásma 8MHz. Tato hodnota byla zachována i pro systém digitální televize. Sluší se uvést, že uvedené hodnoty výše platí pouze pro normu DK, využívanou také u nás v ČR (norma BG využívaná v zahraničí – odstup nosných 5,5MHz; frekvenční šířka kanálu – 7MHz pro I.-III. TV kanál; 8MHz pro IV. TV kanál).

[1]

### **1.3 Důvody přechodu z analogového vysílání na digitální**

- ***Vysílací kmitočty***

Jedním z hlavních důvodů byl požadavek provozovatelů televizí na více vysílacích kmitočtů. Omezení frekvenčního spektra mělo za následek také omezení počtu vysílaných programů (1 TV kanál o šířce 8Mhz = 1 televizní program + zvukový doprovod). Koncový uživatel jich však požadoval stále více a více.

Sousední vysílače analogové televize navíc nemohou kvůli možnému rušení vysílat na stejném TV kanálu („ochranná vzdálenost“ vysílačů je dána velikostí vysílaných výkonů), což má opět za následek neefektivní využití kmitočtového spektra. Digitální televize tento problém do jisté míry velmi elegantně vyřešila.

- ***Kvalita obrazu a zvuku***

S nároky uživatelů na větší programovou nabídku začaly stoupat také nároky na kvalitu obrazu a zvukového doprovodu, které při analogovém přenosu nemohly být uspokojeny. Tato skutečnost byla zcela zřejmě způsobena novými technologiemi v oblasti obrazové i zvukové techniky, zejména přechodu od CRT televizorů k LCD, plazmovým televizorům atd.

- ***Mobilní příjem***

S vývojem nových technologií začala vznikat také přenosná zařízení, umožňující sledování obrazu téměř kdekoliv. Tím vznikl požadavek na sledování televizního vysílání na cestách nebo kdekoliv mimo domov. Tento požadavek však klasické analogové vysílání nemohlo prakticky realizovat.

- ***Energetická využitelnost***

Jelikož se pro analogové vysílání využívala amplitudová analogová modulace, u které je známa její náchylnost na rušení v přenosovém prostředí (mnohacestné šíření vlivem odrazů od nerovností zemského povrchu jako jsou hory, kopce, lesy, budovy, aj.), bylo pro příjem relativně kvalitního obrazu třeba poměrně vysokých vysílacích výkonů (např. na Slovensku v oblasti Tater až 600 kW). I přes takto velké vyzářené výkony však divák (zejména v oblastech bez přímé viditelnosti na vysílač) nemusel

sledovat kvalitní obraz, nýbrž obraz zašuměný a znehodnocený takzvanými „duchy“. Pro digitální televizi pak stačí přibližně jedna desetina vysílacího výkonu oproti televizi analogové. [1]

## **1.4 Co je to vlastně DVB-T ?**

DVB-T je zkratka z anglického Digital Video Broadcasting - Terrestrial. Jedná se o evropskou normu určenou pro digitální vysílání obrazu a zvukového doprovodu v pozemním vysílání. Tato norma je pod záštitou evropského ústavu pro telekomunikační standardy - ETSI (zkratka z anglického European Telecommunications Standards Institute) a vedle DVB-T existují také jeho varianty pro kabelový příjem (DVB-C), satelitní příjem (DVB-S) a také mobilní příjem (DVB-H).

Jak již bylo zmíněno, norma DVB je určena pouze pro evropského diváka a ve světě existují další standardy digitální televize. Jmenovitě pak např. norma ATSC využívaná v Severní Americe, Tchaj-wanu, Jižní Koreji a nebo např. norma ISDB využívaná v Japonsku. Hlavní rozdíl mezi normami činí především to, s jakými modulacemi zpracovávají digitální signály. [10]

## **1.5 Základní rozdíly DVB-T oproti analogové televizi**

Základní rozdíly DVB-T spočívají především v transformaci analogového obrazového a zvukového signálu na digitální. To je velmi zjednodušeně dosaženo vzorkováním (získáním okamžitých hodnot analogového signálu v přesně definovaných časech), kvantováním (přiřazením kvantizačních hodnot k jednotlivým vzorkům) a následně kódováním (přiřazením kódového slova v binární podobě k určité kvantizační hodnotě). Takový digitalizovaný signál pak přináší velkou škálu výhod počínaje zvýšením využitelnosti frekvenčního spektra až po zvýšenou odolnost proti rušení signálu na přenosové cestě.

Obrazová a zvuková data se však nejen digitalizují, ale prochází celou řadou dalších úprav. Dochází k redukci datového toku vlivem použití vhodného zdrojového kodéru. Tento kodér totiž využívá odstranění redundantních (nadbytečných) a irelevantních (bezvýznamných) složek signálu ke snížení bitového toku a také kompresi dat. Složitost a

kvalita kodeku (kodér + dekodér) pak přímo souvisí s náročností na výpočetní mechanismus, potažmo na výpočetní výkon hardwaru na přijímací straně. Problematice tohoto kódování se více věnuje kapitola 2.7 a výpočetní náročnosti se více věnuje kapitola 3.3, zaměřená na kodek HEVC.

Digitalizovaná data určitých televizních programů jsou pak sloučena do jednoho balíku (tzv. transportního toku), na který se poté použijí vhodné kanálové kódovací metody (např. přidání paritních bitů a tzv. interleaving), jež mají za následek zvýšení robustnosti signálu na přenosové cestě. Takový signál však stále není ve vhodném stavu, aby mohl být efektivně vyslán do prostoru jakožto elektromagnetické vlnění. Proto je třeba na signál ještě použít vhodnou digitální modulaci, vložit ochranný interval apod. [1] Podrobnosti multiplexování, kanálového kódování a modulací jsou opět více rozebrány v následujících kapitolách (2.3, 2.6 a 2.9).

## **1.6 Výhody DVB-T**

Jak již bylo výše uvedeno, nevýhod analogového televizního vysílání je celá řada a ty se podařilo omezit nebo alespoň potlačit pomocí digitalizace, zdrojového i kanálového kódování atd. Níže jsou pak bodově uvedeny hlavní výhody vysílání DVB-T.

- ***Více TV programů v jednom TV kanálu***

Jak již bylo zmíněno, jednou z výhod digitalizace signálu je jeho následná komprese a odstranění redundantních a irelevantních složek, což má za následek redukci datového toku informace a tím pádem také snížení nároků na šířku pásma jednotlivých kanálů. Ve finále je pak v jednom televizním kanálu s šířkou pásma 8 MHz a za použití kodeku MPEG-2 možno přenášet asi 3-5 digitálních multiplexovaných televizních programů ve standardní kvalitě (tzv. SDTV) nebo 1 program ve vysokém rozlišení (tzv. HDTV) oproti 1 analogovému programu. Množství televizních programů, které se „vejdou“ do jednoho televizního kanálu je dáno velikostmi datových toků jednotlivých programů, potažmo efektivností použitého kodeku. Např. při použití MPEG-4/AAC je možno přenášet i více HDTV programů v rámci jednoho televizního kanálu.

- ***Zvýšení odolnosti signálu vůči rušení***

Jak bylo opět výše zmíněno, použití digitálních signálů pro přenos dat prostorem je velmi výhodné z hlediska robustnosti. Je patrné, že signál nabývající 2 hodnot, které

představují informaci „Ano“ – „Ne“ respektive „1“ – „0“, bude méně náchylný na rušení než signál analogový, jehož hodnoty se mění v každém časovém okamžiku. V praxi je však situace poněkud složitější z důvodu rozdělení informace na kódová slova, obsahující hned několik bitů zároveň a s tím spojené použití vícecestavových modulací. Čím více stavů digitální modulace nabývá, tím je náchylnější na rušení, neboť jsou kódová slova delší a napět'ové rozdíly mezi jednotlivými stavy menší a menší. Zvýšením počtu stavů modulace však dochází ke zvýšení přenosové rychlosti, a proto se v praxi vždy hledá vhodný kompromis. Touto problematikou se opět zabývají následující kapitoly.

Zvýšení odolnosti signálu na rušení, které se navíc doplňuje vhodným kanálovým kódováním a přidáním ochranného intervalu, se pak tedy projeví jakožto zlepšení kvality příjmu zejména v oblastech s odrazy, kde při užití analogového vysílání běžně docházelo k zašumění obrazu či tzv. „duchům“ apod.

- ***Efektivnost vysílání***

DVB-T umožňuje také vybudování tzv. jednokmitočtových vysílacích sítí (SFN – single frequency network). To umožňuje vysílání stejného multiplexu programů na jediném kmitočtu tak, že se tyto vysílače vzájemně neruší a naopak se mohou za určitých podmínek podporovat. To má zásadní vliv na úsporu frekvenčního spektra. V případě úniku signálu (např. v hlubokém údolí) je pak možné tyto mezery ve spektru vyplnit. Navíc také na pokrytí území postačují vysílače s menším vysílacím výkonem.

Jako nevýhodu je však třeba zdůraznit, že pro správnou funkčnost SFN sítě je nevyhnutelná synchronizace jednotlivých vysílačů a s tím spojený nepřetržitý monitoring a nebo také to, že vysílač, který porušuje pravidla SFN, pak působí jakožto rušička.

- ***Komfort uživatele***

Výše již bylo zmíněno, že s příchodem digitální televize došlo ke zvýšení počtu televizních programů a k započatí vysílání programů ve vysokém rozlišení. Dále však také standard DVB umožňuje přenos několika zvukových doprovodů (od monofonních až např. po prostorový zvuk Dolby Digital AC3), příjem v mobilních zařízeních potažmo dopravních prostředcích ve standardu DVB-H nebo možnost příjmu i jiných datových toků, jako jsou např. rozhlasové programy. [1] [10]

## 1.7 Nevýhody DVB-T

Jedna z výhod digitálního televizního vysílání je robustnost signálu na přenosové cestě. To však neznamená, že by zde žádná chyba nevznikala! Chyba na přenosové cestě vzniká naprosto vždy a nikdy není možné na přijímací anténě přijímat signál 100% shodný se signálem vysílaným vysílací anténou. K určení této chyby se využívá parametr BER (bit error rate), neboli bitová chybovost. Tento parametr udává podíl chybně přenesených bitů k jejich celkovému počtu.

Po překročení určité hodnoty BER pak jednoduše dochází k rozpadnutí obrazu, jeho kostičkování, zamrzání, „štěkání“ zvuku apod. V případě digitální televize je tedy obraz teoreticky buď stoprocentní, nebo žádný, což je obrovská nevýhoda oproti analogovému vysílání, kde při zvýšeném rušení došlo jen k prostému snížení kvality obrazu, avšak obraz byl stále pozorovatelný. Byly proto stanoveny hodnoty ochrany služeb digitální televize (v procentech). Ty říkají, že chyba výpadku pro kvalitní obraz může být u digitální televize pouhé 1% z času. [1]



*Obr. 1.1 – Artefakty u digitální televize (vlevo) vs. zrnění analogové televize (vpravo)*

## 2 Specifikace DVB-T

### 2.1 Varianty systému DVB-T

Systém DVB-T je velmi variabilní a může poskytovat celou řadu variant vysílání. Základním dělením je počet subnosných v rámci tzv. COFDM (coded orthogonal frequency division multiplex), tedy v rámci kódovaného ortogonálního frekvenčně děleného multiplexu.



Dle ETSI a požadavku na počet subnosných se pak DVB-T systém dělí do dvou skupin.

- **System 2k**
  - 1705 nosných v jediném televizním kanálu o šířce 7, respektive 8 MHz
- **System 8k**
  - 6817 nosných v jediném televizním kanálu o šířce 7, respektive 8 MHz

Dále je možno systém DVB-T dělit dle následujících kritérií.

- **Dle typu modulace nosných**
  - QPSK
  - 16-QAM
  - 64-QAM
- **Dle typu konvulčního kódu FEC**
  - 1/2
  - 2/3
  - 3/4
  - 5/6
  - 7/8
- **Dle délky ochranného intervalu  $D/T_u$** 
  - 1/4
  - 1/8
  - 1/16
  - 1/32

Volba počtu subnosných v rámci COFDM, typ modulace, druh konvulčního kódu FEC a výběr ochranného intervalu  $D/T_u$  má konečný vliv na tzv. čistou přenosovou bitovou rychlost. Ta se v systémech DVB-T pohybuje od 4,98 do 31,67 Mbit/s (samozřejmě také v závislosti na množství obrazových dat – SDTV x HDTV) a tím nám určuje, kolik televizních programů, respektive jiných služeb, je možné přenášet v rámci jednoho televizního kanálu. Dále tyto parametry udávají odolnost systému proti rušení vlivem přenosu v prostředí.

System DVB-T umožňuje mimo jiné současný přenos jedné modulace v druhé modulaci, např. QPSK v 64-QAM. Takový způsob modulace se nazývá hierarchickou modulací. To umožňuje, aby byly z určitého balíku programů vysílány programy sice s různou přenosovou bitovou rychlostí, avšak o to robustněji. Tato skutečnost se však využívá především pro příjem digitální televize v přenosných zařízeních DVB-H. Mimoto je možné zajistit, aby modulace byla tzv. uniformní nebo neuniformní, což má přímý vliv na požadovaný parametr SNR (Signal to noise ratio - odstup užitečného signálu od šumu).

Jak již bylo zmíněno, výběr výše uvedených parametrů má přímý vliv na přenosovou rychlost signálu a také na jeho robustnost. V praxi se pak vždy musí najít takový kompromis, aby bylo možno přenášet dostatečně velké množství dat a zároveň byla zajištěna dostatečně velká odolnost signálu na působení vnějších vlivů.

V Evropě byly tak stanoveny následující dva módy udávající parametry jednoho televizního kanálu, i když další varianty jsou také možné. [1]

- **Variantá C2**

- 4 programy SDTV či 5 programů SDTV bez doplňkových služeb při použití MPEG-2
- 1 program HDTV při použití MPEG-2
- 1. stupeň protichybové ochrany: Reed-Solomonův kód (188,204,8)
- 2. stupeň protichybové ochrany: konvulční kód FEC 2/3
- Vysílací mód 8k, modulace 64-QAM
- Ochranný interval D/Tu = 1/4
- Užitečný bitový tok 19,91 Mbit/s

- **Variantá B2**

- 3 programy SDTV či 4 programy SDTV bez doplňkových služeb při použití MPEG-2
- 1. stupeň protichybové ochrany: Reed-Solomonův kód (188,204,8)
- 2. stupeň protichybové ochrany: konvulční kód FEC 2/3
- Vysílací mód 8k, modulace 16-QAM
- Ochranný interval D/Tu = 1/4
- Užitečný bitový tok 13,27 Mbit/s

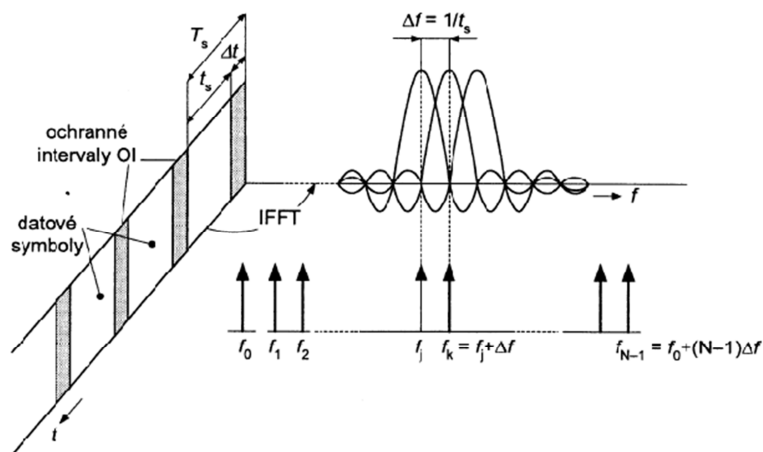
## **2.2 COFDM**

V analogovém televizním vysílání s jedinou nosnou vlnou mohlo vlivem odrazů v přenosovém prostředí docházet k interferencím, které se projevovaly zrněním obrazu, tzv. „duchy“ apod. Se systémem digitální televize však došlo k revoluční změně. Využívá se totiž již zmiňovaný kódovaný ortogonální frekvenčně dělený multiplex (COFDM), ve kterém je vysíláno několik tisíc subnosných. Ve standardu DVB-T jsou parametry multiplexu COFDM dány celou řadou kompromisů (závisí např. na dosažitelných rychlostech procesorů FFT použitých ve vysílačích COFDM). [2]

V praxi se pak používá buď mód 2k (1705 individuálních nosných) či mód 8k (6817 nosných) v témže televizním kanálu a každá tato subnosná vlna je ještě navíc modulována vhodnou QPSK či QAM modulací (viz kapitola 2.3).

### **2.2.1 Podstata COFDM**

Rychlý datový tok se rozdělí na pomalejší části, se kterými se následně modulují subnosné vlny. Frekvenční spektra sousedních nosných se sice překrývají, ale tam, kde má jedna subnosná maximum, tam jsou ostatní nulové (viz *Obr. 2.1 – Princip COFDM*). K nevyhnutelným přednostem tohoto systému tak patří výborná spektrální účinnost, interference mají vliv pouze na malé úseky dlouhých symbolů a také odolnost vůči rozptylu „dob šíření“ vlivem mnohacestného šíření vln (dosaženo také vložení ochranného intervalu). Nevýhodou tohoto systému je pak např. nekonstantnost obálky signálů (nutnost užití lineárních zesilovačů s nízkou účinností, problematika hřebenového efektu aj.). [2]



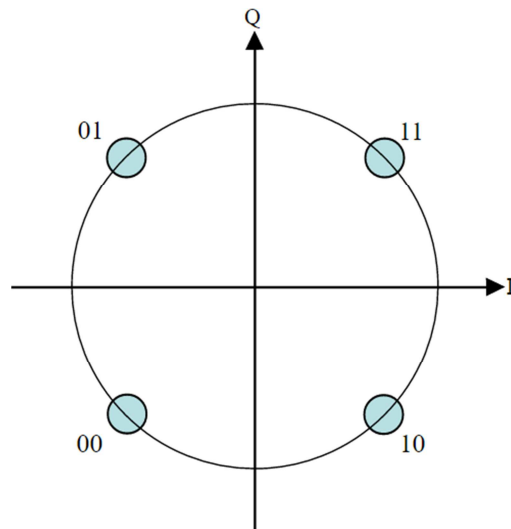
Obr. 2.1 – Princip COFDM [2]

## 2.3 Modulace nosných

Jelikož se v systémech DVB vyskytují pouze modulace QPSK či vícestavové modulace QAM, je tato podkapitola zaměřena právě na ně. Pro všechny vícestavové modulace ale platí následující: čím více stavů u modulace použijeme, tím zvýšíme přenosovou rychlost systému (při zachování šířky pásma), ale snížíme robustnost přenosu! S počtem stavů totiž roste množství bitů, které lze jedním stavem reprezentovat, ale zároveň klesá napěťová rozlišitelnost jednotlivých bitů, což se může velmi negativně projevit při rušení na přenosové cestě. [2]

### 2.3.1 QPSK

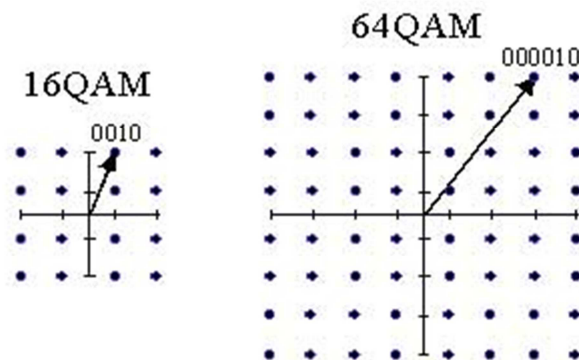
Kvadrurní klíčování fázovým posunem (QPSK; někdy také značené 4-PSK či 4-QAM) využívá změnu fáze nosné vlny (obvykle se sinusovým průběhem) pro reprezentaci datového signálu. Ke znázornění těchto modulací se využívá tzv. konstelační IQ diagram, jež je obdobou komplexní roviny. Reálná osa se nazývá soufázová (I – in phase), imaginární osa se nazývá kvadrurní (Q – quadrature). Pro QPSK pak, jak z názvu napovídá, odpovídají 4 stavy v IQ diagramu, a tudíž tedy 2 bity na každý jednotlivý stav ( $2^2 = 4$ ). Každý bod má stejně velkou amplitudu (vzdálenost od středu roviny), ale rozdílnou fázi. [2] Tato skutečnost je patrná z Obr. 2.2 – Konstelační diagram QPSK. Na závěr je třeba doplnit, že s modulací QPSK se lze setkat při modulacích v systému DVB-S či DAB.



Obr. 2.2 – Konstelační diagram QPSK [11]

### 2.3.2 QAM

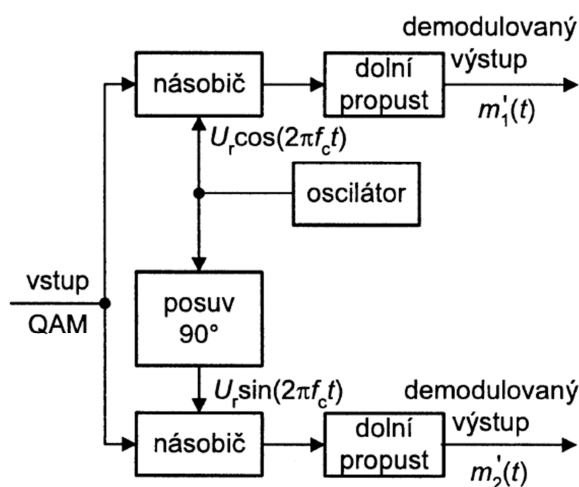
Systém QAM využívá dvojici nosných sinusových signálů s konstantním kmitočtem, jež jsou však vzájemně fázově posunuty o  $90^\circ$ . Těmto signálům se pak říká kvadraturní nosné. Obě nosné jsou navíc nezávisle na sobě amplitudově klíčovány a následně sečteny. Ve výsledku je získán signál, který je modulován (klíčován) jak fázově, tak amplitudově, jak je vidět na *Obr. 2.3 – Konstelační diagram QAM*. Počet symbolů, stejně jako u QPSK, udává množství bitů připadajících na jeden stav, přenosovou rychlost, šířku pásma a také náchylnost na rušení. [2] V systému DVB-T je možno se setkat s modulacemi 16-QAM či 64-QAM. V systému DVB-T2 pak až s modulací 256-QAM.



Obr. 2.3 – Konstelační diagram QAM [12]

## 2.4 Princip demodulace QAM

Tak, jak byla informace zakódována do 2 kvadraturních nosných posunutých o  $90^\circ$  a následně amplitudově klíčovány na vysílací straně, je třeba tuto informaci nyní demodulovat a dekodovat na straně přijímací. K demodulaci lze využít např. kvadraturní demodulátor (viz *Obr. 2.4 – Demodulátor QAM*). V něm se v horním násobiči násobí modulovaný signál s kosinusovou referenční nosnou. Na výstupu se pak objeví jedna z požadovaných složek (vzniklé vyšší harmonické jsou potlačeny dolní propustí). Podobně se v druhém násobiči násobí modulovaný signál se sinusovou (tedy o  $90^\circ$  posunutou) referenční nosnou a vytváří druhou požadovanou složku (vyšší harmonické jsou opět potlačeny v dolnoproputném filtru). Na výstupu pak dostaneme dvojici signálů, jež odpovídají reálné (soufázové) a imaginární (quadrature) složce. Je tedy zřejmé, že pro spolehlivou demodulaci je třeba přenášet dostatečně přesné stavy QAM. [2] Nároky na takovou demodulaci se pak ještě zvyšují při použití rotované QAM modulace, jako je tomu u DVB-T2 signálů (viz kapitola 3.1.1).



*Obr. 2.4 – Kvadraturní demodulátor QAM [2]*

## 2.5 Ochranný interval

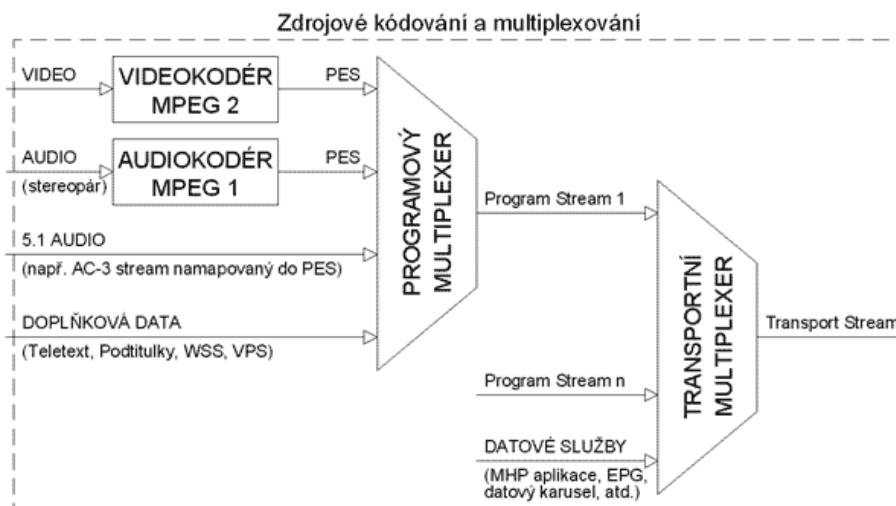
Ochranný interval (anglicky GI – guard interval) zjednodušeně udává dobu, po kterou se ve vysílaném stavu nevyskytují žádné informační bity. Vyjadřuje se ve zlomku např.  $1/4$ ,  $1/8$ ,  $1/16$  apod. GI  $1/4$ , pak tedy znamená, že jednu čtvrtinu z celkové doby trvání symbolu nejsou přenášena žádná data. A proč? Jelikož systém DVB-T využívá

mnohacestného šíření několika tisíc subnosných (COFDM), znamená to také, že se každá jednotlivá subnosná šíří trochu jinou cestou. Důsledkem pak je, že jsou na přijímací anténě u koncového uživatele přijímány signály s různým časovým zpožděním. Pro dekódování jsou však třeba všechny subnosné, a přesně z tohoto důvodu se ochranný interval zavádí. První přijaté signály tak vlastně „čekají“ po dobu danou ochranným intervalem, než dorazí i signály šířící se delší cestou. Čím delší tento interval je, tím je samozřejmě celý přenos robustnější, avšak tím také snižujeme užitečný datový tok. Zároveň délka ochranného intervalu udává maximální vzdálenost 2 vysílačů, aby se nerušily (viz kapitola 1.6).

## **2.6 Tvorba multiplexu**

Aby byl pochopen význam tvorby multiplexu, je třeba si nejprve objasnit termín multiplexování. Jedná se u způsob zpracování signálů, který sdružuje několik elektrických signálů v jeden signál širokopásmový. Na přijímací straně je pak možno tento signál opět rozložit na původní signály.

V případě systému DVB-T se při tvorbě jednoho televizního programu nejprve musí zajistit zdrojové kódování obrazu i zvuku, které je následně spolu s dalšími doplňkovými službami (jako je např. teletext, prostorový audio stream apod. - video, audio i data tvoří vlastní paketizovaný elementární tok PES) sloučeno v programovém multiplexeru do jediného datového toku nazývaného programový tok – PS (program stream). PS pak už obsahuje veškerá potřebná data, která může televizní program nabízet. Tím však multiplexování nekončí. Programových toků od různých televizních programů je více, a proto je zapotřebí, aby byly opět sloučeny do jediného datového toku TS (transport stream) – transportní tok. K tomuto úkonu slouží transportní multiplexer a množství multiplexovaných televizních programů závisí na velikosti jejich datového toku. Velikost TS totiž musí být taková, aby jej bylo možno přenášet v rámci jednoho televizního kanálu o frekvenční šířce 7, respektive 8 MHz. [1] Celý tento proces pak blíže nastiňuje *Obr. 2.5 – Princip multiplexování*.



Obr. 2.5 – Princip multiplexování [13]

## 2.7 Zdrojové kódování obrazu

Při osmibitovém kvantování a při vzorkovací frekvenci 13,5 MHz (pro televizní normu s 625 řádky a 25 snímky za vteřinu - SDTV) je třeba bitová rychlost 108 Mbit/s pro jasový signál, a 54 Mbit/s pro každý chrominanční signál (jejich vzorkovací frekvence je 6,75 MHz). To dává dohromady bitový tok 216 Mbit/s! Pro obraz v HDTV kvalitě by pak datový tok dosahoval až na 864 Mbit/s při vzorkovacím kmitočtu 54 MHz. S takto velkým datovým tokem však není možné prakticky pracovat. Pokud by bylo použito amplitudové analogové modulace s jedním částečně potlačeným pásmem, pro přenos takto velkého datového toku by bylo třeba pásmo široké 216 MHz. Proto je zřejmé, že musíme zabezpečit dostatečně kvalitní komprimaci dat.

Aby bylo možno televizní signál přenášet pozemními vysílači a to ještě s vyšší efektivitou (více televizních programů v rámci jednoho televizního kanálu), je třeba komprimovat, tedy snížit, bitovou přenosovou rychlost až na 4-15 Mbit/s a samozřejmě použít jiné modulační metody, než je amplitudová modulace s jedním částečně potlačeným pásmem. ETSI proto přijal návrh pro použití kódování obrazu MPEG-2 a MPEG-4 v rámci systému DVB. [1]

### 2.7.1 MPEG-2

MPEG je zkratka z anglického Moving Picture Experts Group (skupina expertů pro pohybový obraz). Tato zkratka udává název pracovní skupiny, jež stojí za vývojem



audiovizuálních kodérů. Tato skupina byla vytvořena mezinárodními normalizačními organizacemi ISO a IEC. MPEG-2 je pak konkrétně komprimační datový formát, pracující na několika následujících, ale pouze základních, principech. [1]

- ***DPCM – Diferenciální pulsně kódová modulace***

Tato modulace zajišťuje až desetinásobné ušetření bitového toku. Zjednodušeně se totiž přenáší pouze rozdíl aktuální hodnoty s hodnotou predikovanou (následující). Predikce se získává z hodnoty stejného řádku daného snímku a nebo ze snímku předešlého (předpokládá se, že 2 po sobě jdoucí snímky nejsou až tolik rozdílné).

- ***DCT – Diskrétní kosinová transformace***

Tato transformace velmi zjednodušeně nahrazuje fyzickou pozici vzorků (jejich prostorové rozložení) s jejich frekvenčním spektrem o patřičných amplitudách. Tím pádem je třeba přenést méně dat a tím také dochází ke snížení bitového toku.

- ***VLC – Variable length code***

VLC je druh kódování, který má proměnnou délku bitového slova. Pokud máme např. scénu, kde je záběr na modré nebe, je zřejmé, že množství přenášených dat bude menší, než např. při akční honičce, ve které se každý následující snímek výrazně mění. Jedním z VLC kódů může být např. Huffmanův kód.

Na výstupu MPEG-2 kodéru je pak proměnný bitový tok (způsobený právě rozdílnými scénami celkového obrazu), který se musí regulovat tak, aby vyrovnávací paměť, zařazená za kodérem, byla vždy téměř naplněna. Výsledná bitová rychlost závisí na volbě kvantovacích a Huffmanových koeficientů. V praxi je pak pomocí MPEG-2 v systému DVB-T při standardním obrazu SDTV dosaženo komprese z 216 Mbit/s na 3-5 Mbit/s.

## **2.7.2 MPEG-4**

Standard MPEG-4 je přímý nástupce standardu MPEG-2 a také z něj vychází. I když je stále založen na obrazové kompresi I. generace (především diskretní pulsně kódová modulace DPCM a diskretní kosinová transformace DCT), dochází při jeho aplikaci k výraznému snížení bitového toku. Tomu tak je díky zdokonalení metod použitých v MPEG-2. Dále tento standard obsahuje velké množství dodatečných nástrojů pro kompresi, spolehlivost přenosu, kódování video objektů a dalších různých modelů. Standard navíc podporuje neprokládané i prokládané řádkování. Hlavním rozdílem oproti staršímu MPEG-2 je pak také možnost kódování objektů s libovolným tvarem (možnost

nezávislého kódování objektů s libovolným tvarem popředí a pozadí obrazové scény) namísto pouhého kódování pravoúhlých objektů. Standard MPEG-4 se dělí na profily, které jsou dále ještě děleny podle úrovní. Výběr určitého profilu a úrovně pak už závisí jen čistě na použití, respektive náročnosti a kvalitě komprese. [1]

### **2.7.2.1 MPEG-4, vrstva 10**

Tento standard, též známý pod názvem MPEG-4/AVC (AVC – advanced video coding) či jen H.264, jak název napovídá, vychází ze standardu MPEG-4 a je přímo uplatněn v systémech DVB. V současné době se využívá pro komprimaci HDTV programů či v satelitním přenosu DVB-S, ale je možné se s ním setkat také v rámci vysílání DVB-T2 některých evropských zemí. Dále se MPEG-4/AVC hojně využívá k ukládání videí na internetu, jeho streamování apod.

H.264 zajišťuje takovou komprimaci, kdy kvalita obrazu oproti MPEG-2 je stejná či dokonce vyšší a to současně s omezením bitového toku asi o jednu polovinu. Jak je u standardu MPEG zvykem, i kodek H.264 se dělí na profily s různými úrovněmi, které specifikují velikost snímku, datový tok a požadavky na paměť. [1]

- ***Profil baseline***
  - Určen pro bezdrátové komunikace, videofonii a videokonference
- ***Profil main***
  - Určen pro televizní vysílání a ukládání videozáznamů
- ***Profil extended***
  - Určen pro streamování videa

## **2.8 Zdrojové kódování zvuku**

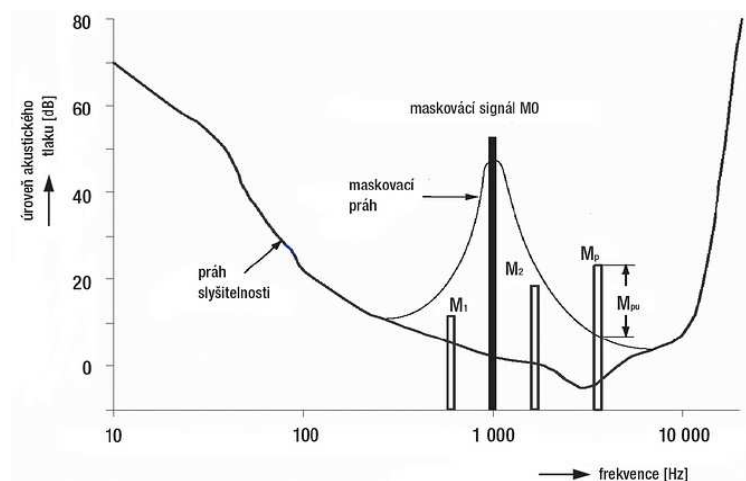
Lidské vnímání zvuku je velice složitý proces. Nejenže lidské ucho je schopné zaznamenat pouze určitý frekvenční rozsah zvuků, ale také např. reaguje rozdílně na různé frekvence při různých hlasitostech. Aby toho nebylo málo, ucho každého člověka je jedinečné a jeho schopnosti vnímat zvuk se mění i s věkem. Zároveň jsou však některé nedokonalosti lidského ucha využívány ve prospěch zdrojového kódování zvuku. Totiž mikrofony, jakožto akusticko-elektrické měniče, mohou zaznamenat spoustu zvuků, které vlastně lidské ucho ani není schopné rozeznat nebo zaznamenat. Procesu, při kterém se

tyto pro lidské ucho neslyšitelné zvuky redukuje, se říká maskování a je spolu s dalšími komprimačními metodami využíváno zdrojovými zvukovými kodéry. [14]

- **Frekvenční maskování**

Křivka prahu slyšitelnosti v *Obr. 2.6 – Frekvenční maskování zvuku* představuje hranici, od které jsou zvuky pro lidské ucho slyšitelné. Jakýkoliv zvuk, mající frekvenci nacházející se pod prahem slyšitelnosti, je proto zbytečný přenášet.

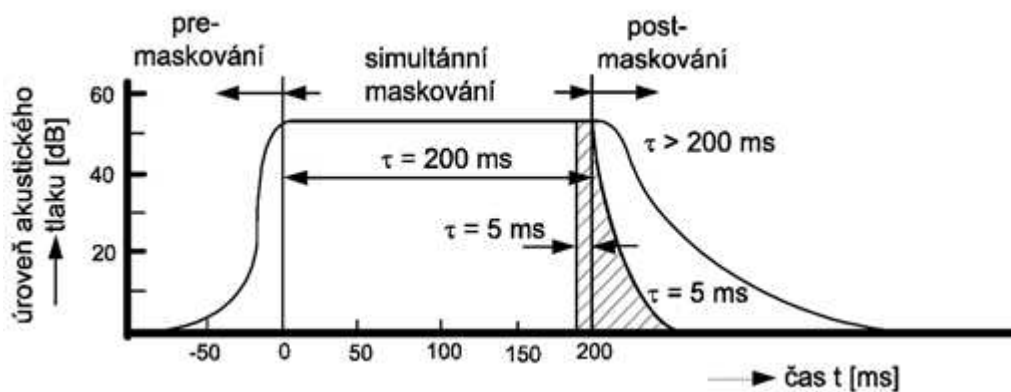
Dále je na obrázku zakreslen maskovací práh. Pokud se kdekoliv ve zvukovém spektru signálu objeví intenzivní tón (zde označený jako  $M_0$  o frekvenci 1 kHz), vytvoří se kolem něj oblast ohraničená křivkou (maskovací práh). Pokud je tento tón dostatečně silný, dojde k zamaskování všech tónů se slabší intenzitou, které lidské ucho není schopné zaznamenat a tudíž je zbytečné je přenášet. Signál  $M_P$  na obrázku pak představuje částečně zamaskovaný zvukový signál, který pro přenos potřebuje menší bitový tok. [14]



*Obr. 2.6 – Frekvenční maskování zvuku [14]*

- **Časové maskování**

U časového maskování jde o to, že intenzivní zvukový signál neomezí vnímání lidského ucha jen ve frekvenční oblasti, ale také v časové. Pracuje totiž na principu, že pokud zazní dostatečně intenzivní tón, nejsme schopni po určitou dobu (až stovky ms) vnímat zvuky vzniklé v podobném časovém okamžiku. Doba dozívajícího maskovacího efektu je závislá na době, po kterou tento intenzivní signál zněl. Tato metoda se nazývá post-maskování. Využívá se však i nedokonalosti lidského mozku, kdy můžeme provést tzv. pre-maskování, tedy maskování o několik milisekund dříve, než tento intenzivní tón vůbec zazní. [14] Celou tuto problematiku pak zachycuje *Obr. 2.7 – Maskování zvuku v časové oblasti*.



Obr. 2.7 – Maskování zvuku v časové oblasti [14]

Pro kódování zvuku, který je následně multiplexován společně s komprimovaným obrazovým tokem a dalšími doplňkovými službami v programovém multiplexeru, se rovněž využívá standard MPEG, jehož varianty jsou pak dány složitostí a konkrétním využitím. [1]

- **MPEG-1**
  - Vrstva 1 nebo vrstva 2 pro dvoukanálový zvuk (single channel, dual channel, stereo a joint stereo)
- **MPEG-2**
  - Vrstva 2 pro vícekanálový zvuk (Dolby digital 5.0 a 5.1)
- **MP3, AAC**
  - Tyto kodeky jsou odvozeny od MPEG a byly zavedeny současně s kompresí obrazu MPEG-4 AVC/H.264

### 2.8.1 MPEG-1

Standard MPEG-1 se rozděluje na tři dílčí úrovně (layer-vrstvy) zpracování. [1]

- **Vrstva 1 – MP1**

Tato vrstva je nejjednodušší a poskytuje pouze malou redukci bitové rychlosti (např. ze 768 kbit/s na 448 kbit/s).
- **Vrstva 2 – MP2**

Vrstva 2 vychází z dřívějšího systému MUSICAM (Masking pattern adapted Universal Subband Integrated Coding And Multiplexing), který byl určen pro vysílání digitálního rozhlasu a umožňuje výraznější snížení bitové rychlosti oproti vrstvě 1 (pro nejkvalitnější zvukový signál komprimuje až na 384 kbit/s).

- **Vrstva 3 – MP3**

Za vrstvou 3 stojí mnoho let vývoje a s tím spojená finanční zátěž, avšak vrstva splňuje očekávání. Přináší další snížení přenosové bitové rychlosti a to až na 192 kbit/s pro nejkvalitnější zvukový signál. Tento standard se však ve standardech DVB užívá pouze současně s aplikací obrazového komprimačního formátu MPEG-4 AVC (H.264). Tento kodek také využívá kódování s proměnnou délkou bitového slova. [1]

## **2.8.2 MPEG-2**

Standard MPEG-2 vychází z jeho staršího sourozence MPEG-1, se kterým je také zpětně kompatibilní. Umožňuje zajistit pětikanálový přenos, aniž by došlo k pětinasobnému zvýšení bitové rychlosti. To zajišťuje poloviční vzorkovací kmitočet (aby se zlepšila kvalita signálu – zeslabil kvantizační šum při nízkých přenosových rychlostech) a tím pádem lepší maskování zvuku (snížení počtu kvantizačních stupňů). Tomu musí být samozřejmě také přizpůsoben psychoakustický model. Tento kodek se navíc také dělí na 3 vrstvy, stejně jako MPEG-1. [1]

## **2.8.3 AAC**

Kodek AAC – advanced audio coding je přímým a zdokonaleným následovníkem standardu MP3, který se používá současně s obrazovým standardem MPEG-4/AVC v rámci systému DVB-T. Má však mnohem širší využití a spoustu variant. Pro představu jeho účinnosti uvedu příklad. Pro pětikanálový zvukový signál je celkový bitový tok při užití MPEG-2, vrstva 2 roven 640 kbit/s. Při užití standardu AAC činí bitový tok přesně polovinu, tedy 320 kbit/s a to bez snížení subjektivní kvality zvuku (kvalita zvuku daná posluchačem). [15]

## **2.9 Kanálové kódování**

Kanálové kódování je proces, při kterém dochází v bloku kanálového kodéru k úpravě komprimovaného datového toku vycházejícího ze zdrojového kodéru. Dochází zde k přidání redundantních složek, které slouží k zabezpečení přenosu dat přes přenosové prostředí. To sice zvýší bitový tok přenášených dat, avšak bez tohoto postupu by bitová chybovost u uživatele byla mnohonásobně vyšší a sledování obrazu by nebylo možné. Kvalita a druh tohoto zabezpečení se pak liší právě v závislosti na typu přenosového

prostředí. Je zřejmé, že v systému kabelové digitální televize DVB-C bude pravděpodobnost vzniku rušení v přenosovém kanálu mnohonásobně nižší než při satelitním vysílání DVB-S, a dle toho je třeba také použít vhodné kanálové kódování. Pro systém pozemní televize DVB-T je třeba vůbec nejkvalitnější kanálové kódování, protože při přenosu má velký vliv mnohacestné šíření signálů, vznik odrazů, rušení vlivem vnějších vlivů na zařízení apod.

Při kanálovém kódování v systému DVB tvoří základ tzv. dopředná ochrana, známá pod zkratkou FEC (Forward Error Corection). Ta se skládá z vnější a vnitřní ochrany konvulčního kódu. [1]

### **2.9.1 Vnější ochrana blokového kódu**

Princip vnější ochrany blokového kódu je postaven na Reed-Solomonově kódu, jež slouží jakožto hlavní ochrana před skupinovými chybami (celé byty, ale i jednotlivé bity). Jeho hlavním znakem je to, že se k informačním bytům (nesoucím užitečná data – obraz, zvuk, apod.) přidává navíc ještě určitý počet bytů ochranných, díky kterým je schopen následně určitý počet chybných bytů v bloku nalézt a opravit. [16] Tento princip popisuje následující vztah.

$$n = m + k \quad (2.1)$$

„n“ zde vyjadřuje celkový počet bytů (odpovídající celému rozsahu, např.  $2^8 = 256$  bitů), „m“ vyjadřuje počet informačních bytů a konečně „k“ značí počet bytů ochranných. Reed-Solomonův kód se pak zjednodušeně značí jako RS(n, m).

Aby kód mohl nalézt a opravit určitý počet chybných symbolů X, je třeba k informačním bytům přidat dvojnásobek, tedy 2X, bytů ochranných. V praxi se pak při kanálovém kódování DVB-T používá kód RS(204, 188), neboť transportní tok je složen právě z datových paketů o délce 188 bytů. Takový kód je pak schopen identifikovat a samočinně opravit celých 8 symbolů ( $204 - 188 = 16$ ;  $16 / 2 = 8$ ). Vnější kódování je pak ještě doplněno o vnější prokladač. [1]

## 2.9.2 Vnitřní ochrana konvulčního kódu

Vnitřní (konvulční) kódování zajišťuje zabezpečení jednotlivých bitů. Princip není založen na přidávání určitého počtu bitů opravných, nýbrž na vzájemném ovlivňování součtu bitů na různých odbočkách registru. Bity se určitým předepsaným způsobem (na základě konvulčního kódu) „konvulují“, tedy skládají, čímž dochází k „rozmazání“ jejich skutečné hodnoty. Vnitřní ochrana je pak navíc doplněna ještě bitovým i symbolovým prokládáním. [1]

## 3 DVB-T2

### 3.1 Rozdíly oproti DVB-T

Jak bylo řečeno již na začátku této práce, rozdílů mezi DVB-T a DVB-T2 není mnoho. Proč je tedy potřebou znovu obměňovat televizní přijímače? Důvodem samozřejmě není lhostivost a chamtivost úřadů a výrobců, jak se možná domnívá velké, neinformované procento naší populace. Důvodem je výpočetní výkon přijímače, který nelze zvýšit jednoduchým softwarovým updatem. Je třeba výměna obvodových částí, které jsou zodpovědné za demodulaci až 32 tisíc subnosných v rámci COFDM navíc modulovaných až 256-QAM modulací, dekódování velmi složitěho a účinného obrazového kodeku HEVC a další. Hlavní rozdíly jsou shrnuty níže. Sluší se ještě dodat, že zvukový doprovod využívá dle normy ISO/IEC 1496-3 kodek MPEG-4 HE AAC.

- ***Možnost užití většího počtu subnosných v rámci COFDM***

Dle normy EN 302 755 [7] lze využít mód 8k, 16k i 32k. Vyšší počet subnosných totiž vede k výraznému ponížení výkonové spektrální hustoty na krajích kanálu. Jinými slovy dojde k potlačení spektra signálu na frekvencích mimo vysílaný kanál. To má pozitivní dopad na úsporu vysílacích výkonů, ale také na potlačení rušení dvou sousedních kanálů. [17]

- ***Použití vícestavových modulací subnosných***

Dle normy EN 302 755 [7] lze použít modulace 64-QAM až 256-QAM s rotací i bez ní.

- ***Použití BCH a LDPC kódů***

Jedná se o velmi účinné kódy využívané při kanálovém kódování. BCH kódy patří do skupiny cyklických samoopravných kódů, které jsou sestaveny za pomoci

konečných těles. Výhodou těchto kódů je možnost přesné kontroly počtu opravitelných chyb během návrhu kódu a také jejich poměrně snadné dekodování pomocí tzv. syndrome decoding. [18] Na druhé straně, LDPC (low density parity check) kódy patří mezi tzv. kapacitně se blížící. To znamená, že za jejich pomoci lze nastavit prahovou hodnotu šumu na teoretické maximum, které dovoluje Shannonův limit pro symetrický kanál bez paměti. [19]

- **Využití PLP**

PLP (Physical Layer Pipes) je systém, který umožňuje přenášet několik transportních toků v jednom televizním kanále. TS pak mohou přenášet zcela rozdílné typy dat (např. data mobilního příjmu, kanály HDTV, SDTV, atd.). Každý tento datový signál pak může navíc ještě využívat jiný druh modulace s odlišným kódovým poměrem. V přijímači jsou obvody dekodéru aktivní pouze v okamžiku, kdy se v signálu vyskytnou sekvence datových paketů daného transportního toku. Data jiných PLP nejsou brána v úvahu a dekodér je tou dobou neaktivní, což vede k šetření energie napájecího zdroje přijímače. [17] Dle normy EN 302 755 [7] je pak požadováno vysílání v módu HEM (High Efficiency Mode).

- **Flexibilní volba PP (Pilot Pattern)**

V systému DVB-T je využito jedno statické vzorkování pilotního signálu (PP). Oproti tomu systém DVB-T2 nabízí flexibilní volbu tohoto parametru a to až z 8 možností. U PP2, PP4 a PP6 je nosná vzorkována každý druhý OFDM symbol. Pro PP1, PP3 a PP7 pak platí, že je nosná vzorkována každý čtvrtý symbol. Pokud jde tedy spíše o přenosovou kapacitu, je lepší použít menší PP (více nosných možno použít pro užitečná data). Naopak pokud je hlavním požadovaným faktorem odstup signál/šum - S/N, je vhodné zvolit PP6 či PP7. [17]

- **Délka FEC rámce: 64800 (long)**

Informace spojené s rámcem FEC jsou obsaženy v kapitole 2.9.

- **Ochranný interval GI**

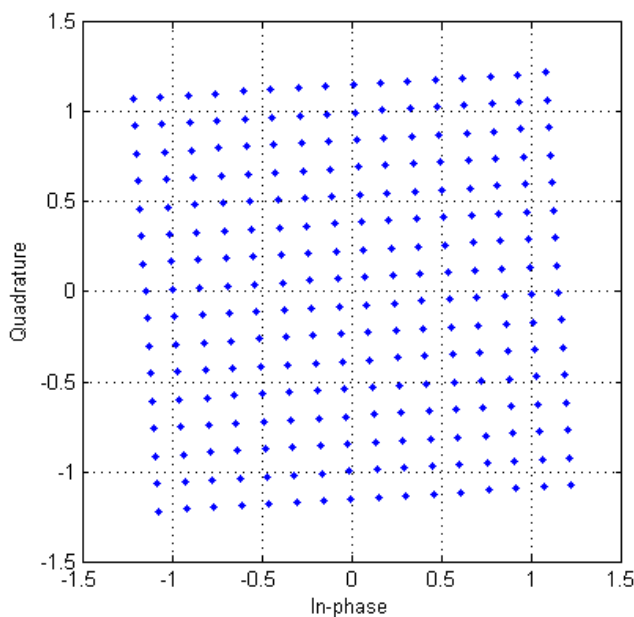
S modulací 256-QAM přibyly celkem 3 nové související hodnoty ochranného intervalu a to sice 1/128, 19/128 a 19/256. [7]

### **3.1.1 Modulace subnosných**

Systém DVB-T2 využívá, stejně jako systém DVB-T, kódovaný ortogonální frekvenčně dělený multiplex – COFDM. Ten v případě DVB-T2 vysílá až 32 tisíc



subnosných, které jsou navíc ještě modulovány vícestavovou modulací 64-QAM či 256-QAM. Rozdíl zde však není jen v počtu stavů, ale také je možno rotovat konstelační diagram této modulace. Konstelace pak může být natočená až o  $30^\circ$  proti směru hodinových ručiček a imaginární složky mohou být posunuty o jednu buňku. Celou situaci pro představu zobrazuje *Obr. 3.1 – Konstelační diagram 256-QAM s rotací*. Výhodou takového uspořádání je především to, že každý prvek diagramu má přesně danou hodnotu X a Y, které se nepřekrývají s jinými hodnotami. Signál je pak možno demodulovat i v situaci, kdy jedna ze složek úplně chybí a tím se tato modulace stává robustnější. Nevýhodou je pak ale náročnost kladená na demodulaci. Pokud totiž dojde k většímu či menšímu posuvu složky, než je definováno, demodulátor pak není schopen tento stav bezchybně demodulovat. [17]



*Obr. 3.1 – Konstelační diagram 256-QAM s rotací [20]*

### **3.2 Důvody a postupy přechodu k DVB-T2 v ČR**

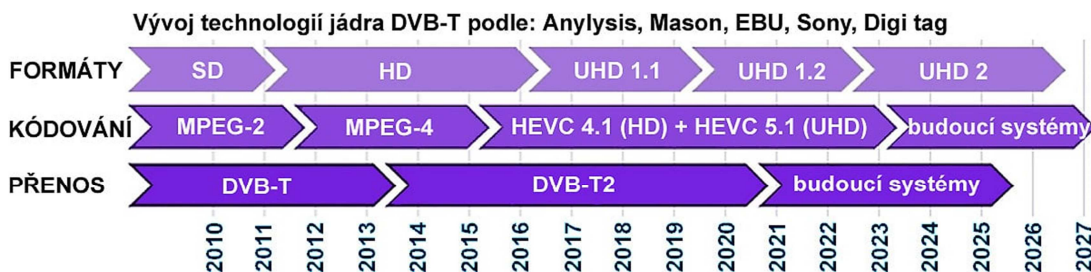
Jednoznačným důvodem pro přechod ze stávajícího standardu DVB-T na jeho modernější variantu DVB-T2 je jednoduše boj o frekvenční pásmo. Rychlý internet čtvrté generace (LTE) se totiž v posledních letech značně rozšířil a i do budoucna plánují jeho poskytovatelé další rozšíření. Již při přechodu z analogové televize na digitální bylo pro LTE uvolněno pásmo 20 (800 MHz) – tzv. první digitální dividenda, kterým je v nynějšíku pokryta většina území ČR. Jelikož ale systém DVB-T v současnosti vysílá v pásmu 470-

790 MHz, je třeba tento rozsah snížit (pro LTE v pásmu 700 MHz) a přitom zachovat nebo dokonce rozšířit programovou nabídku a kvalitu vysílaných programů. A zde právě nastupuje nový standard DVB-T2. Ten díky vysoce účinnému zdrojovému kódování HEVC dokáže snížit bitovou rychlost programů natolik, že je možno snížit frekvenční spektrum (v případě DVB-T2 pro ČR se plánuje s pásmem 470-694 MHz – tzv. druhá digitální dividenda) a zároveň zvýšit programovou nabídku či zvýšit kvalitu vysílaných programů (do jednoho televizního kanálu je možno umístit asi 4 programy HDTV s bitovou rychlostí 8-11 Mbit/s nebo kolem 12 programů SDTV s rychlostí přibližně 2,5 Mbit/s). V potaz pak nepřichází jen vysílání v HDTV (1920x1080 obrazových bodů), ale také v UHD TV (3840x2160 obrazových bodů). Nevýhodou je samozřejmě nutnost obměny televizního tuneru či úprava stávajícího systému STA (viz kapitola 6.6).

Již v první polovině roku 2014 byly zahájeny diskuze, vedoucí k rozhodnutí o vhodném využití frekvenčního pásma 700 MHz. Této diskuze se účastnily zodpovědné regulační úřady včetně ministerstva průmyslu, obchodu a kultury. Zároveň od druhé poloviny roku 2014 započal nový plánovací a koordinační proces. Celou věc také komplikuje aktivita Německa, která přímo souvisí s činností a vysíláním v ČR. [3]

První testovací vysílání DVB-T2 v ČR proběhlo 19. 5. 2010 a bylo uskutečněno z Žižkovského vysílače v Praze. Od listopadu 2010 do konce roku 2011 pak ČTÚ (Český Telekomunikační Úřad) ve spolupráci s ČRa (České Radiokomunikace) zkoušel několik DVB-T2 vysílačů kvůli ověření podmínek šíření DVB-T2 signálů a jejich následné ověření kvality – toto vysílání nebylo určené pro veřejnost. Další testovací vysílání probíhalo od roku 2015 do konce února 2017 opět z Žižkovského vysílače. To již bylo přístupné koncovým uživatelům a obsah multiplexu se postupem času měnil. K prvnímu březnu roku 2017 pak bylo zahájeno oficiální vysílání přechodné sítě (tzv. přechodová síť 12) tohoto nového standardu a to sice z Pražských vysílačů Žižkov a Cukrák. Od 20. dubna 2017 pak přibývalo také vysílání v Brně a Ostravě. V Plzni by se mělo v novém standardu začít vysílat v červnu roku 2017. Do konce roku 2017 by měly vzniknout 2-3 přechodové sítě, které poběží současně se stávajícími multiplexy DVB-T. Vypnutí stávajícího vysílání a přechod plně na standard DVB-T2 je plánován někdy mezi lety 2020/2021. Evropská unie chce mít přitom pásmo 700 MHz uvolněné nejpozději do poloviny roku 2020. Předpokládá se, že by ve finále mohlo být v provozu 5-6 celoplošných multiplexů oproti současným 4. Předběžně je počítáno s tím, že systém DVB-T2/HEVC bude v ČR aktivně využíván

přibližně do roku 2030, kdy ho vystřídá nový, zatím neznámý systém. [21] [22] [23] [24] Představa velkých firem o budoucnosti nových systémů je zobrazena na *Obr. 3.2 – Představa velkých hráčů o budoucnosti terestrických systémů.*



*Obr. 3.2 – Představa velkých hráčů o budoucnosti terestrických systémů [21]*

### 3.3 HEVC

HEVC (High Efficiency Video Coding), tedy kódování videa s velkou účinností, je standard vyvinutý společně skupinami MPEG a VCEG (Video Coding Experts Group) a vychází z jeho staršího sourozence z rodiny MPEG (MPEG-4/AVC). [25] Jelikož je tento standard opravdu velmi složitý a rozsáhlý, nelze provést jeho podrobnější rozbor jako součást této práce. Proto jsou níže shrnuty alespoň některé jeho klíčové vlastnosti a důležitá fakta.

#### 3.3.1 Klíčové vlastnosti HEVC

Standard HEVC využívá stejnou architekturu, jako tomu bylo u všech předchozích kompresních standardů z rodiny MPEG. Tato architektura obsahuje mezisnímkovou i vnitrosnímkovou predikci a také transformační kódování (viz kapitola 2.7 popisující kódování obrazu). HEVC byl však už od prvopočátků navržen s ohledem na kompresní účinnost a výpočetní náročnost. Významnou roli zde zaujímá použití paralelního zpracování signálu. [3]

U HEVC je namísto makrobloků z 16x16 jasových vzorků a 8x8 barevných vzorků (jako tomu je u AVC s barevným vzorkováním 4:2:0) použita struktura tzv. kódových stromových jednotek CTU (Coding Tree Unit). Ta se skládá z kódových stromových bloků CTB (Coding Tree Blocks) o rozměrech až 64x64 pro jas a barvu, které jsou složeny z kódových bloků CB (Coding Blocks). Jasový CB (nabývající rozměru minimálně 8x8) spolu se dvěma barevnými CB (o rozměrech 4x4 v případě vzorkování 4:2:0) tvoří

kódovou jednotku CU (Coding Unit). Tato jednotka je následně ještě dělena na predikční jednotky PU (Prediction Units) a strom transformačních jednotek TU (Transform Units). Stromová struktura TU má kořen na úrovni CU. Zde je možno CB dělit na ještě menší transformační bloky TB (Transform Blocks). HEVC pak využívá definici TB pomocí diskrétní kosinové transformace na rozměry od 4x4 do 32x32 (AVC používá největší rozměr DCT 8x8). Kvantizace a kódování transformačních koeficientů je provedeno (podobně jako u AVC) díky jejich seskupení do bloků o rozměru 4x4 a jejich následným skenováním diagonálně (popř. horizontálně či vertikálně). Poté je přenesena poloha posledního nenulového koeficientu a nakonec také mapa identifikující koeficienty s nenulovými hodnotami.

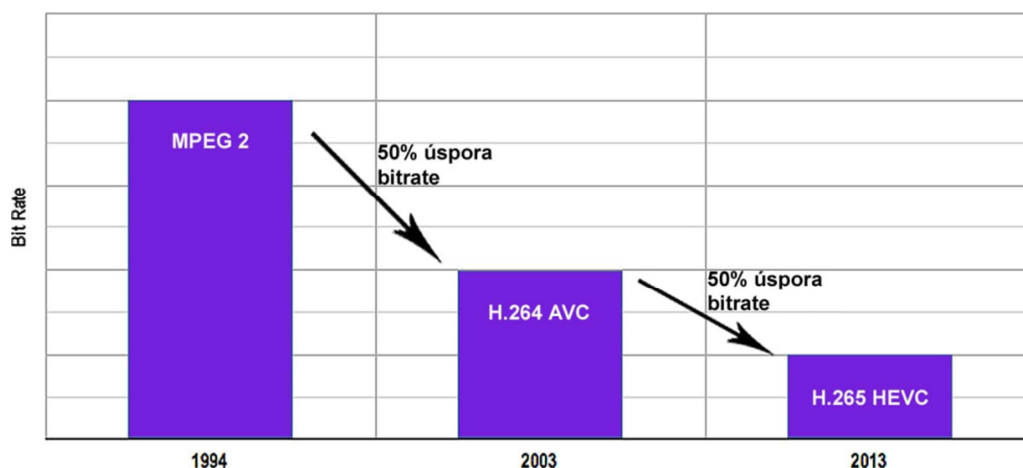
Dále má HEVC oproti AVC vylepšenou pohybovou kompenzaci vzorku s přesností na 1/4 a interpolaci pomocí FIR filtru; pracuje až se 16 referenčními snímky uloženými v paměti; je zde aplikováno pokročilé kódování pohybových vektorů MV (Motion Vector); k dispozici je 33 směrových režimů, průměrování a planární režim pro predikci krajních vzorků; při entropickém kódování symbolů je jako první použit jeden z pěti binarizačních algoritmů (dle typu daného prvku syntaxe); vlastní entropické kódování je zabezpečeno pomocí kontextově adaptivního binárního aritmetického kodéru CABAC; nabízí také možnost aplikace filtru s adaptivním offsetem SAO, který umožňuje přesnější rekonstrukci amplitudy signálu pomocí vyhledávací tabulky a následně potlačuje artefakty a nebo HEVC dále také umožňuje paralelní zpracování vlnoploch WPP, což vede k umožnění založení několika výpočetních vláken probíhajících současně. [3] [9]

Současně rozšířená varianta HEVC je již ve druhé verzi. Ta umožňuje vzorkovací formáty 4:2:2 či 4:4:4 s reprezentací složek v šestnácti bitové hloubce. To má za následek zvýšení bitové rychlosti, ale také to umožňuje úpravy entropického kodéru. Druhá verze nabízí navíc i efektivní bezztrátové nebo téměř bezztrátové kódování či možnost kódování stereoskopického obrazu. [25]

Podobně jako předchozí MPEG standardy se i HEVC dělí na profily a úrovně. Profil udává počet nástrojů použitých pro dekódování a pravidla pro určení bitového toku. Úroveň pak uvádí maximální rozměry obrazu, velikost vyrovnávací paměti, maximální bitový tok či snímkovou frekvenci. HEVC v současnosti nabízí celkem 13 úrovní obrazu

od rozlišení 640x480 (VGA) až po 7680x4320 (8k). Pro standard DVB-T2 se však počítá s maximálním rozlišením 3840x2160 (4k). [3]

Za současného využití všech výše uvedených pokročilých metod (a dalších metod, které z důvodu rozsahu této práce ani nelze uvést) je možno snížit bitový tok obrazu až na 1/4 oproti standardu MPEG-2 a na 1/2 oproti standardu MPEG-4/AVC, jak znázorňuje obrázek níže. [21]



Obr. 3.3 – HEVC a jeho vliv na snížení bitového toku [21]

### 3.4 Zvukový doprovod

Zvukový doprovod ve standardu DVB-T2 je zajištěn zdrojovým kódováním MPEG-4 HE-AAC (HE AAC je zkratka z High Efficiency Advanced Audio Coding, tedy pokročilé audio kódování s vysokou účinností) či značeným také jako AAC+. Tento kodek zajišťuje vícekanálové (prostorové) audio a v současné době se jedná o jeden z nejúčinnějších audio kodeků využívající např. i následující postupy a technologie. [26]

- **SBR**

SBR (Spectral Band Replication) je nástroj, sloužící pro rozšíření šířky pásma. Ten využívá většinu dostupného bitového toku pro nižší kmitočty audio signálu, čímž zvyšuje efektivitu využití frekvenčního pásma. Dekodér generuje vyšší kmitočty za využití přeneseného nižšího pásma a dodatečné informace, která je generována kódovacím zařízením. Toto řešení zajišťuje výrazné snížení datového toku.

- **PS**

PS (Parametric Stereo) je technologie, která, velmi zjednodušeně řečeno, sloučí stereo zvuk do monofonního. Monofonní signál je pak opět přenášen spolu s doprovodnou informací, pomocí které dekodér na přijímací straně zrekonstruuje monofonní signál zpět do jeho stereofonní podoby.

Z názvu daného kodeku pak také vyplývá jeho původ. HE-AAC je totiž mladší verzí kodeku MPEG-2 AAC, který je mimo jiné využíván ke kódování zvukového doprovodu systému DVB-T (viz kapitola 2.8.3). Z této skutečnosti pak vyplývá pružnost kodeku MPEG-4. Existuje totiž mnoho variant nastavy HE-AAC pro vysoké (AAC + SBR), středně velké i nízké (HE-AAC v2) bitové rychlosti. [15]

### **3.5 Experimentální měření**

Jako součást této bakalářské práce jsem se rozhodl za pomoci vedoucího práce, Doc. Ing. Jiřího Masopusta, CSc., a spolupracovníků z firmy Rohde & Schwarz závod Vimperk, s.r.o. (kde jsem v době vzniku tohoto textu stipendistou) uskutečnit experimentální měření. To spočívalo v ověření některých základních vlastností a teoretických předpokladů, které jsou v této práci uvedeny jakožto výhody televizního standardu DVB-T2. Dále bylo také ověřeno chování signálů DVB-T2 v rámci kabelového rozvodu systému STA na FEL ZČU v Plzni.

#### **3.5.1 Popis postupu měření**

Firma Rohde & Schwarz závod Vimperk, s.r.o. velmi vstřícně poskytla nezbytné měřicí přístroje, bez kterých by měření vůbec nebylo realizovatelné. Dále Doc. Ing. Jiří Masopust, CSc., poskytl vhodný set top box umožňující dekódování vysílání DVB-T2 s kodekem HEVC, bez kterého by nebylo možné obraz sledovat. Stručný popis přístrojů je níže.

- **R&S SFE100 (Testovací vysílač – signálový generátor) [28]**
  - Frekvenční rozsah 100kHz-2700MHz
  - Rozsah výstupní úrovně -110dBm - +15dBm
  - Nízký fázový šum a vysoká MER (přes 40 dB)
  - Integrovaný šumový generátor

- Generátor transportního toku
- Snadná manipulace i ovládání díky přítomnosti operačního systému Windows
- Podpora pozemního, kabelového, satelitního i mobilního vysílání digitálních/analogových televizních standardů včetně DVB-T2; podpora digitálních/analogových rozhlasových standardů včetně DAB+, DRM+, aj.
- Podpora nejnovějších audiovizuálních kodeků jako je např. AAC+ a HEVC
- **R&S ETL (TV analyzátor) [27]**
  - All-in-one řešení (spektrální analyzátor, televizní a rozhlasový analyzátor, audio a video analyzátor)
  - Frekvenční rozsah 500kHz-3000MHz
  - Snadná manipulace i ovládání díky přítomnosti operačního systému Windows
  - Podpora stejných standardů jako SFE100 kromě nejnovějších kodeků jako je AAC+ a HEVC
- **Alma DVB-T2 HD 2800 (Set top box) [29]**
  - Podpora DVB-T (MPEG2/MPEG4), DVB-T2 (HEVC/H.265)
  - Příjem programů ve Full HD
  - Možnost přehrávání z externího USB disku
  - Certifikovaný přístroj Českých radiokomunikací

Samotné měření jako takové bylo principálně velmi jednoduché. Šlo o porovnání hodnot naměřených nejprve v přímém kabelovém spojení mezi SFE100 a ETL, následně přidáním frekvenčního měniče (transkodéru) do tohoto spojení a nakonec změření hodnot v televizním kabelovém rozvodu STA – připojení výstupu SFE100 do kabelové rozvodny v 8. patře ZČU FEL Plzeň a připojením vstupu ETL k účastnické zásuvce v jedné z učeben 7. patra (nejprve přes kanálové zesilovače a následně přes širokopásmový zesilovač). Zároveň bylo možno sledovat obraz na televizi (díky anténnímu rozbočovači a set top boxu Alma). Celé měření bylo pak provedeno pro 3 různé hodnoty parametru C/N, tedy odstup signál/šum. Nejprve pro C/N=20dB (kromě měření s transkodérem a 256-QAM, kde musela být hodnota vyšší), následně se C/N snižovalo do té doby, než došlo ke vzniku artefaktů v obraze a následně až k úplnému rozpadu obrazu. Všechny tři hodnoty C/N byly zaznamenány a pořízeny příslušné screenshoty z ETL. Je třeba ještě navíc zdůraznit, že při

měření nebylo vždy možno z časových důvodů použít (pro různé druhy spojení) oba dva vysílací standardy ani varianty modulací nosných.

### **3.5.2 Parametry testovaných signálů**

Signálový generátor SFE100 byl nastaven na 34. TV kanál (578 MHz) a jeho výstupní úroveň udržována kolem -40dBm. Důsledkem útlumu 7,5 dB na symetrizačním členu 50/75Ω z konektoru BNC-M na konektor typu F (který byl potřeba připojit na výstup generátoru SFE100), útlumu kabelu a útlumu všech konektorů, redukci a anténního rozbočovače byla pak na ETL naměřena úroveň kolem -50 dBm (to přibližně odpovídá úrovním, které se v rozvodu STA na ZČU FEL Plzeň nacházejí). Tato hodnota byla na ETL udržována i vhodným nastavením zesilovačů při jejich následném měření.

Pro porovnání bylo měřeno jak se starším standardem DVB-T, tak samozřejmě s novým standardem DVB-T2.

Pro vysílání DVB-T byly nastaveny následující parametry. [1]

- Mód: 8k
- Šířka kanálu: 8 MHz
- Ochranný interval: 1/32
- Modulace nosných: 64-QAM
- Kódový poměr: 3/4

Pro vysílání DVB-T2 pak byly dle normy ETSI EN 302 755 [7] nastaveny následující parametry.

- Mód: 32k
- Šířka kanálu: 8 MHz
- Ochranný interval: 1/8
- Modulace: 64-QAM i 256-QAM s rotací
- Kódový poměr: 3/4
- PP 2
- PAPR: off
- PLP mód: HEM



Při nastavování vhodného transportního toku (dále jen TS) na SFE100 jsem však narazil na problém. Pokud byl zvolen TS s HEVC kódováním, ETL sice naměřil požadované hodnoty, ale set top box nebyl schopen na televizi zobrazit plynulý obraz. Kýženého výsledku jsem nebyl schopen dosáhnout ani při rozsáhlých změnách v nastavení SFE100. Dále jsem zkusil spustit videosoubor s kódováním HEVC z flash disku přímo přes USB konektor set top boxu. Nyní byl obraz v pořádku. Posléze jsem skrze Doc. Ing. Jiří Masopusta, CSc. zjistil, že ač měl zakoupený set top box garantovanou dekódovatelnost signálů DVB-T2 s kódováním HEVC Českými radiokomunikacemi, nebylo tomu tak. Dle vyjádření výrobce je chyba odstranitelná pouhým SW updatem, čemuž se dá věřit vzhledem k tomu, že skrze USB konektor byl přístroj schopen HEVC dekódovat. Zároveň však také vyšlo najevo, že stejným neduhem trpí i set top boxy dalších výrobců a dokonce i celé televizory. V době prodeje bylo navíc v provozu pouze experimentální vysílání v oblasti Prahy, a tudíž většina koncových uživatelů nemohla ověřit provozuschopnost dekódování HEVC na jejich přístrojích. V rámci měření jsem se tedy spokojil s videem kódovaným pomocí MPEG4/30Hz/1920x1080i, se kterým nebyly žádné problémy. Navíc je přenos závislý především na použitém standardu a modulaci, jejichž nastavení bylo bezproblémové.

### **3.5.3 Výsledky měření**

Z celého měření vzniklo na ETL asi 70 screenshotů obsahujících frekvenční spektrum, podrobné informace a konstelační diagramy o změřených signálech. Vždy pro různá zapojení, modulace a hodnoty C/N. Některé ze screenshotů jsou pro porovnání přímo v této kapitole a některé jsou obsažené v příloze. Poslední jmenovaný parametr se pak také jeví jako objektivní ukazatel robustnosti použitého spojení a standardu, potažmo robustnosti použité modulace. Tyto hodnoty jsou zaznamenány v *Tab. 3.1 – Naměřené hodnoty*. Písemné shrnutí a porovnání výsledků v následujících podkapitolách je provedeno jen pro hodnoty C/N při vzniku artefaktů – do chvíle, kdy byl obraz stále ještě kvalitní a sledovatelný.

Výpočty vycházejí ze vztahu níže, respektive z jeho jednoduché úpravy

$\left(\frac{S}{N} = 10^{\frac{SNR_{dB}}{10}}\right)$ , kde  $SNR_{dB}$  odpovídá zvolené hodnotě C/N a  $\frac{S}{N}$  je poměr výkonu užitečného signálu k výkonu nežádoucího šumu.

$$SNR_{dB} = 10 \cdot \log \frac{S}{N} \quad (3.1)$$

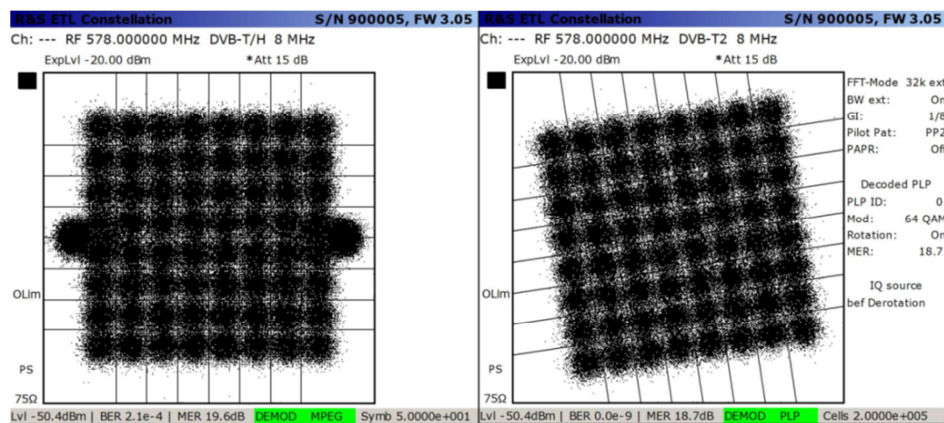
Tab. 3.1 – Naměřené hodnoty

	Přímé spojení		Transkodér		Kanálový zesil.		Širokopásmový zesil.	
	64-QAM		64-QAM		64-QAM		64-QAM	
	DVB-T	DVB-T2	DVB-T	DVB-T2	DVB-T	DVB-T2	DVB-T	DVB-T2
<b>Artefakty - C/N [dB]</b>	15,2	14,1	X	15,7	15,2	14,3	15,1	14,2
<b>Úplný rozpad - C/N [dB]</b>	15	13,9	X	15,5	15	14,1	14,9	14
	256-QAM		256-QAM		256-QAM		256-QAM	
	DVB-T	DVB-T2	DVB-T	DVB-T2	DVB-T	DVB-T2	DVB-T	DVB-T2
	X	19,2	X	20,8	X	X	X	X
<b>Úplný rozpad - C/N [dB]</b>	X	19	X	20,6	X	X	X	X

Z teoretických předpokladů, ale především z naměřených hodnot v tabulce jasně vyplývá, že signály DVB-T2 mohou být přenášeny s menším výkonovým poměrem užitečného signálu k nežádoucímu šumu, a také to, že čím vyšší je stav QAM modulace, tím je signál náchylnější k rušení.

### 3.5.3.1 Přímé kabelové spojení

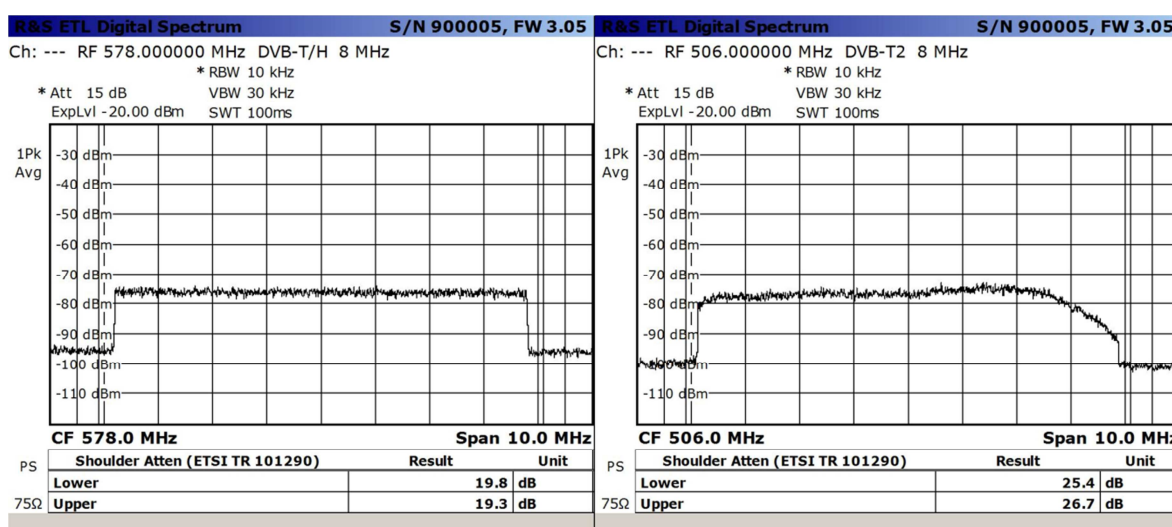
V přímém kabelovém spojení bylo naměřeno nejvíce hodnot, a proto je na něj třeba nahlížet z více úhlů. Při modulaci 64-QAM se odstup signál/šum (mezi DVB-T a DVB-T2) liší o 1,1dB. To znamená, že signál DVB-T2 může být výkonově 1,28x slabší než signál DVB-T, než dojde k rozpadu obrazu. Dále je vidno, že pro modulaci 256-QAM je zapotřebí asi 3,23x (rozdíl C/N=5,1dB) silnějšího signálu než pro 64-QAM variantu.



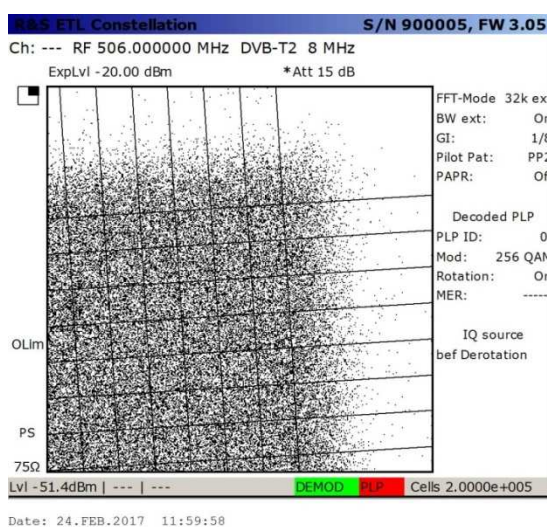
Obr. 3.4 – Konstelační diagram 64-QAM pro DVB-T (vlevo) a DVB-T2 (vpravo); C/N=20dB

### 3.5.3.2 Transkodér

Transkodér je vlastně frekvenční měnič, který se užívá pro změnu frekvence kanálů, které mají problém s rušením od sousedních kanálů. V tomto případě byl použit transkodér ze 34. TV kanálu (578 MHz) na 25. TV kanál (506 MHz). Měnič však částečně deformuje spektrum signálu a při porovnání z tabulky je patrné, že je třeba odstup signál/šum zvýšit o 1,6dB (je třeba 1,45x silnější signál) oproti přímému spojení. Pro modulaci 256-QAM je dokonce zapotřebí zvednout odstup signál-šum až nad 20,8dB, aby nedocházelo ke vzniku artefaktů v obraze.



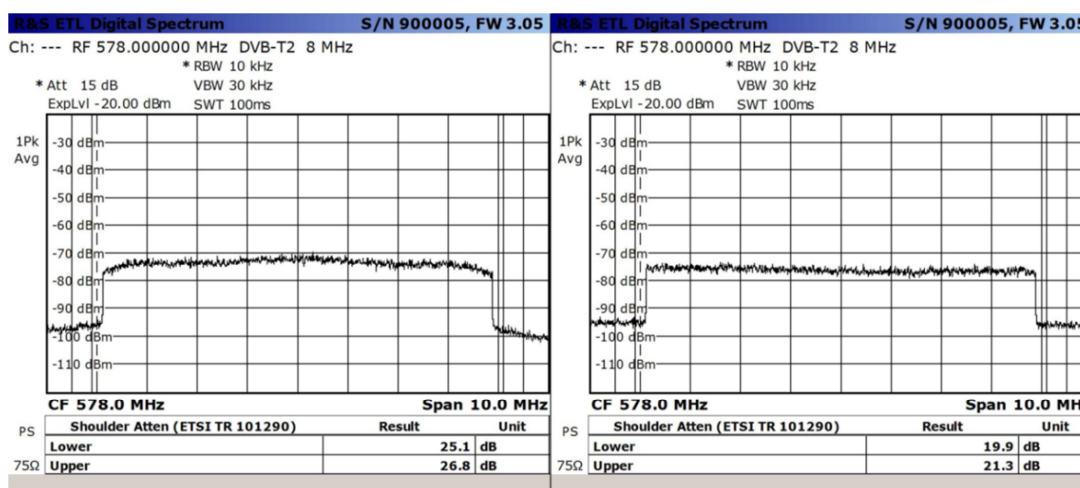
Obr. 3.5 – Frekvenční spektrum pro DVB-T 64-QAM přímé spojení (vlevo), DVB-T2 64-QAM s transkodérem (vpravo); C/N=20dB



Obr. 3.6 – Konstelační diagram pro DVB-T2 256-QAM s transkodérem; C/N=20,6dB

### 3.5.3.3 Kanálový a širokopásmový zesilovač

Použitím kanálového i širokopásmového zesilovače došlo, stejně jako u zapojení transkodéru, k deformaci frekvenčního spektra, i když ne tak patrné jako v přechozím případě. Dále z naměřených hodnot vyplývá, že jejich použití nemělo až tak velký vliv na parametr C/N. Ten se zhoršil (snížil) oproti přímému spojení maximálně o 0,1 až 0,2dB. Jelikož však měření probíhalo na 2 patrech zároveň (signálový generátor na osmém a ETL se set top boxem na sedmém patře), nebylo nastavení přístrojů a odečítání hodnot až tak snadné. Proto je v tomto případě potřeba počítat s menší odchylkou. Ve výsledku se však došlo k velmi důležitému závěru. To sice k tomu, že pokud je systém STA provozuschopný se signály DVB-T, nemá žádné problémy se šířením signálů DVB-T2 o patřičných frekvencích (problémy spojené se zúžením frekvenčního spektra DVB-T2 popsány v kapitole 6.6).



Obr. 3.7 – Frekvenční spektrum DVB-T2 64-QAM pro kanálový (vlevo) a širokopásmový (vpravo) zesilovač

## 4 DAB

Digital Audio Broadcasting (DAB) nebo také Terrestrial-Digital Audio Broadcasting (T-DAB) je systém pozemního digitálního rozhlasového vysílání. V roce 1994 byla přijata konečná podoba systému Eureka 147 od Evropské vysílací unie, jehož prvním standardem byl právě DAB. Tento standard byl ve světě poprvé (neexperimentálně) vysílán od roku 1995. Na území České republiky se dnes již využívá novější standard DAB+ s efektivnějším kódováním zvuku AAC+ (viz kapitola 3.4), přinášející řadu výhod. [15]

## **4.1 Rozdíly mezi DAB a FM**

Důvodů pro přechod od analogového rozhlasového FM vysílání je hned několik. Mezi ty nejdůležitější patří úspora frekvenčního spektra, kvalita zvuku a také odolnost na rušení vlivem přenosu v prostředí (viz kapitola 2.5). DAB se také již od počátku projektoval pro možnost pohybu přijímače rychlostí až 200 km/h (při frekvenci 1,5 GHz a módu IV – viz následující kapitola).

Porovnávat FM a DAB z hlediska kvality zvuku je poměrně složité. Jedná se totiž o dva absolutně rozdílné systémy. Kvalita zvuku u FM rádia závisí především na síle přijímaného signálu, prostředí, ve kterém se šíří apod. U digitálního rozhlasu pak záleží především na typu audio signálu a bitové rychlosti dané stanice. Už krátce po zavedení DAB ve světě se ozývaly negativní ohlasy, že DAB zní hůře než FM a to právě kvůli zastaralému kodeku MP2 a nízké přenosové rychlosti (ta byla u většiny stanic maximálně 128 kbit/s). Právě zmíněných 128 kbit/s je takové minimum pro DAB, kdy jsou však již ve zvuku znatelné zvukové artefakty. Přesto britská vládní agentura Ofcom provedla průzkum, který ukázal, že u 128 kbit/s rozhlasových kanálů označilo 81% respondentů zvukovou kvalitu za výbornou, 14% ji označilo za průměrnou, 3% za špatnou a zbylá 2% dobrovolníků nevědělo. [15]

## **4.2 Eureka 147 - DAB**

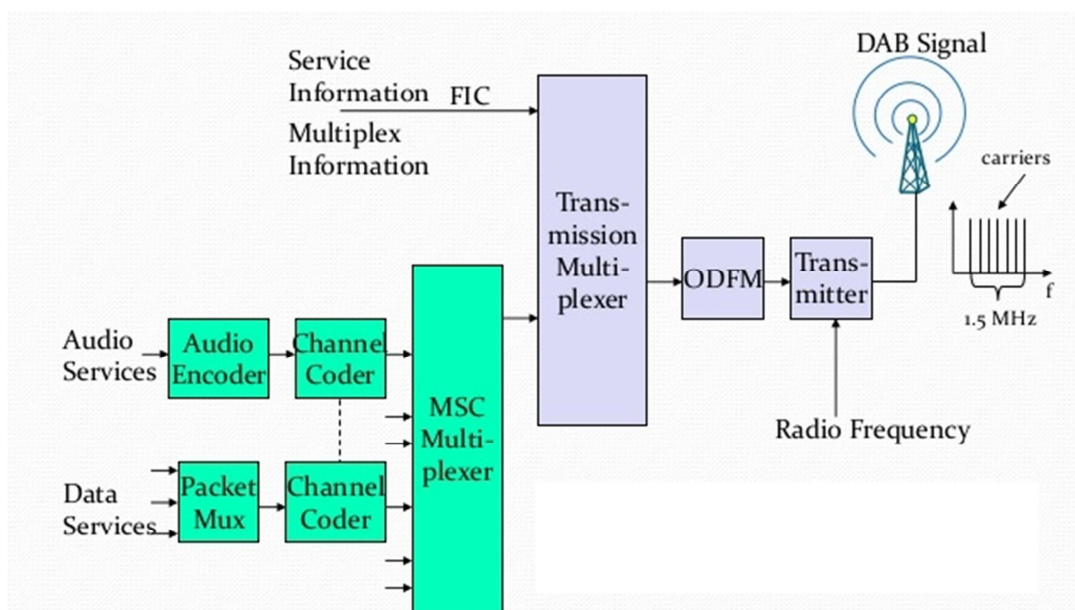
Tento digitální standard je schopen v principu pracovat jak na vlnách VHF, tak UHF. Funguje i v obtížných podmínkách (mnohacestné šíření, odrazy apod.) a to díky stejným principům jako u digitální televize. DAB totiž využívá kódovaného ortogonálního frekvenčně děleného multiplexu (COFDM), kde jsou jednotlivé nosné modulovány pomocí QPSK či DQPSK. Standard je také šířen v rámci jednofrekvenčních sítí (SFN). Jak již bylo napsáno výše, DAB používá ke zdrojovému kódování kodek MP2 (MPEG-1 Audio Layer II). [15]

### **4.2.1 Podrobnější specifikace a vlastnosti DAB**

Každý signál služby systému digitálního rozhlasu nejprve projdou blokem zdrojového kodéru, kanálového kodéru a nakonec je mutiplexován multiplexerem hlavního kanálu

služeb (MSC – Main Service Channel). Tento kanál je časově prokládaný a dělený na další sub-kanály. Jednotlivé sub-kanály jsou konvulčně kódovány a protichybově zabezpečeny. K tomu všemu může každý sub-kanál nést jednu nebo více zvukových či datových služeb.

Konfigurace multiplexeru je sice předem daná, avšak nastavitelná. K jeho výstupu se přidávají různé ovládací informace multiplexu a také informace služby. Tyto informace pak jdou po Rychlém informačním kanálu (FIC – Fast Information Channel), který není časově prokládaný a obsahuje fixní a rovnoměrnou ochranu proti chybám. Kanály MSC a FIC jsou následně multiplexovány uvnitř přenosového multiplexeru, kde se vytvoří přenosové snímky výsledného kanálu. Dále jsou data už jen namodulována patřičnou modulací (QPSK/DQPSK + COFDM) na patřičnou frekvenci, zesílena a vysílána. [15] Celý tento postup znázorňuje *Obr. 4.1 – Blokové schéma vysílače DAB*.



*Obr. 4.1 – Blokové schéma vysílače DAB [15]*

Pro doplnění je vhodné zmínit se také o rozdílech mezi modulací QPSK a D-QPSK. Modulace D-QPSK (Differential QPSK) patří mezi modulace s pamětí. Tento systém má stejně jako QPSK 4 modulační stavy, kde každý nese 2 bity, rozdíl je ale v přiřazení dibitů k fázovým stavům. Toto přiřazení totiž není jednoznačné a stavy jsou definovány na základě stavů předchozích. Informační dibity jsou tedy reprezentovány fázovými změnami nosné vlny předchozího stavu. [2]

Z technického hlediska pak Eureka 147 může využívat frekvenční rozsah 30MHz-3GHz. Tento rozsah zahrnuje pásmo I, II, a III VHF vln; IV, V UHF vln a také pásmo L (cca 1,5 GHz). Je třeba dodat, že DAB se může šířit ve 4 režimech a to kvůli různým podmínkám šíření signálů s různými kmitočty. Šířka pásma DAB vysílání činí 1,536 MHz a při přenosové rychlosti 192 kbit/s je možno v rámci jednoho multiplexu vysílat 5-10 rozhlasových programů. [15]

#### **4.2.1.1 Režim I**

- Vhodný pro SFN na kmitočtech pod 300 MHz
- 1536 subnosných (s mezerou 1 kHz) v rámci COFDM
- 1246  $\mu$ s - doba celkového trvání symbolu
- 246  $\mu$ s - doba ochranného intervalu
- 96 ms - doba trvání rámce (76 symbolů/rámec)

#### **4.2.1.2 Režim II**

- Vytvořen pro místní a regionální služby na kmitočtech do 1,5 GHz
- 384 subnosných (s mezerou 4 kHz) v rámci COFDM
- 312  $\mu$ s - doba celkového trvání symbolu
- 62  $\mu$ s - doba ochranného intervalu
- 24 ms - doba trvání rámce (76 symbolů/rámec)

#### **4.2.1.3 Režim III**

- Využívá se pro satelitní vysílání do 3 GHz
- 192 subnosných (s mezerou 8 kHz) v rámci COFDM
- 156  $\mu$ s - doba celkového trvání symbolu
- 31  $\mu$ s - doba ochranného intervalu
- 24 ms - doba trvání rámce (153 symbolů/rámec)

#### **4.2.1.4 Režim IV**

- Vhodný pro SFN v pásmu L (do 1,5 GHz)
- 768 subnosných (s mezerou 2 kHz) v rámci COFDM
- 623  $\mu$ s - doba celkového trvání symbolu
- 123  $\mu$ s - doba ochranného intervalu
- 48 ms - doba trvání rámce (76 symbolů/rámec)

## **5 DAB+**

### **5.1 Rozdíly a výhody oproti DAB**

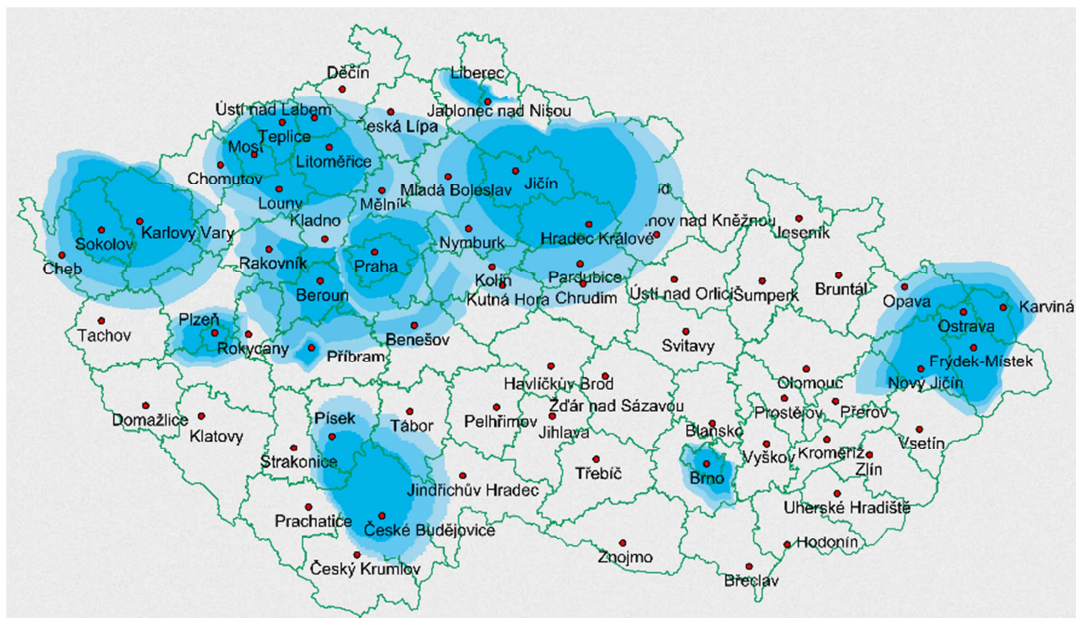
Změn provedených v nejnovějším standardu digitálního pozemního rozhlasového vysílání není mnoho. Nejzásadnějším rozdílem a zároveň velkou výhodou je využití moderního, velmi účinného kódování MPEG-4/HE-AAC v2 (viz kapitola 3.4). Ten zajišťuje až třetinovou bitovou rychlost v porovnání s kodekem MP2, jež využíval starší systém DAB. S tím je samozřejmě spojeno zvýšení využitelnosti rádiového spektra (více rozhlasových stanic v multiplexu), potažmo změna přenosových rychlostí. Nevýhodou je (podobně jako u standardu DVB-T2) nutnost pořízení vhodného přijímače. DAB+ přijímač je totiž zpětně kompatibilní s vysíláním DAB, avšak není tomu tak i naopak. Mezi další výhody se pak řadí možnost vysílat prostorový zvuk, optimalizace živého vysílání či krátká odezva při přeladění jednotlivých stanic. V roce 2003 byly pod záštitou Evropské vysílací unie (EBU) provedeny testy, které ukázaly kvality systému DAB+, respektive kódování HE-AAC v2. Posluchači ohodnotili zvuk s bitovým tokem 48 kbit/s jako chvalitebný až výborný a zvuk s bitovým tokem 64 kbit/s jako výborný. [8] [15]

### **5.2 Současný stav DAB+ v ČR**

Aktuálně se na území České republiky vysílá, jak již bylo zmíněno, pouze ve standardu DAB+. Provozovateli jsou TELEKO s.r.o. (1 multiplex), České Radiokomunikace a.s. (2 multiplexy) a RTI cz s.r.o. (1 multiplex), provozující celkem 8 vysílačů v L pásmu a 9 vysílačů ve III. TV pásmu. V těchto 4 multiplexech se nachází celkem 51 rozhlasových stanic o bitových rychlostech od 24 kbit/s do 96 kbit/s. Rozmanitost stanic je pak doplněna ještě možností zachycení zahraničního vysílání např. z Německa. Problémem v ČR je pokrytí, které je dle mého názoru nedostatečné. Situace je



pak viditelná z Obr. 5.1 – Mapa pokrytí DAB+ v ČR. Pro zajímavost ještě doplním, že dva z DAB+ vysílačů (jeden vysílající ve III. TV pásmu, druhý v L pásmu) se nacházejí v lokalitě Plzeň Bory v budově HitRádía FM Plus. [30]



Obr. 5.1 – Mapa pokrytí DAB+ v ČR [30]

## 6 Systémy společných televizních antén

Společná televizní anténa (zkráceně STA) je systém, sloužící pro společný příjem televizních, rozhlasových a satelitních signálů v bytových domech či v dalších větších budovách. Takový systém se pak zcela logicky musí skládat z celé soustavy různých antén, kde každá z nich slouží k příjmu signálů s různou vlnovou délkou (respektive frekvencí), z různých vysílačů apod. Celé zařízení STA je pak obvykle ve vlastnictví majitele budovy (fyzická osoba, družstvo, společenství vlastníků apod.). Dříve byl pojem STA synonymem nekvalitního příjmu, který byl způsobený zastaralými zařízeními a anténami. V současnosti se však na trhu vyskytují zařízení, která zaručují vynikající kvalitu obrazu a zvuku za přijatelnou cenu a s vysokou spolehlivostí. Systémy STA se dají dělit dle své rozsáhlosti na malé, střední a velké. Pro představu jsou níže představeny alespoň malé a středně velké systémy. [5]

- **Malé STA**

- V jednom domě 4-10 účastníků, kteří mají v bytě i více účastnických zásuvek

- Hlavní stanice obvykle vybavena širokopásmovým domovním zesilovačem pro zesílení a sloučení kanálů s výstupní úrovní nepřekračující 100 dB/ $\mu$ V/75 $\Omega$
- Kanálová nebo pásmová selektivita na vstupu zesilovače realizována z LC obvodů
- Pokud vyhovují rozvody i účastnické zásuvky pro IV. a V. TV pásmo, je zajištěn bezproblémový provoz systému DVB-T
- ***Středně velké STA***
  - STA pro 50-300 bytů; nejčastěji zastoupená kategorie
  - Pro požadované signálové úrovně na všech účastnických zásuvkách stačí pro pásmo VHF obvykle výstupní úroveň hlavních stanic 124 dB/ $\mu$ V/75 $\Omega$
  - Středně velké STA se obejdou bez následných domovních zesilovačů

## **6.1 Prvky STA**

Jak již bylo zmíněno výše, systém společné televizní antény se skládá hned z několika druhů antén, kde každá slouží k příjmu jiných signálů. Tyto antény musí být však upevněny na společný stožár a natočeny dle polarizace přijímaného elektromagnetického záření. Dále tento systém obsahuje hlavní stanici STA (skládající se z napájecího zdroje, ze zesilovačů, modulátorů apod.) a zajišťuje rozvod signálů (kabeláž, rozbočovače) až do účastnických zásuvek. [5]

### **6.1.1 Samostatné antény**

Samostatných antén je samozřejmě velká řada a mohou se dělit podle mnoha kritérií. Pro popis systému společných televizních antén však postačí, pokud si popíšeme ITA (individuální televizní anténa), popř. antény sloužící pro příjem rozhlasového vysílání a také jejich nejdůležitější vlastnosti a parametry (shrnuty níže). [1]

- ***Směrnost antény***

Anténa, která přijímá signál z jednoho směru lépe než z jiných směrů, se nazývá směrová anténa. Použitím takové antény se zabraňuje narušení příjmu a zhoršení parametrů digitálního signálu při jeho mnohacestném šíření, respektive překročením doby ochranného intervalu. Směrové vlastnosti antény určuje tvar jejího vyzařovacího diagramu. Na anténním stožáru se pak antény směřují podle naměřených hodnot bitové chybovosti BER a modulační chybovosti MER.

- ***Zisk antény***

Tento parametr udává, kolikrát větší napětí dodá na své svorky anténa přijímací ve směru svého hlavního maxima (v ose šíření signálu) v porovnání s referenční anténou (izotropní – všesměrový zářič; půlvlnný dipól). Zisk je úměrný velikosti efektivní plochy antény.

- ***Impedance antény***

Impedance antény závisí na její konstrukci, potažmo na prvcích jejího náhradního schématu. To je tvořeno sériovým zapojením  $R_{VYZ}$ ,  $R_D$ ,  $C$ ,  $L$ . Pokud anténa pracuje na kmitočtu, pro který byla navržena, dochází k sériové rezonanci, jalové složky dané  $L$  a  $C$  se kompenzují a impedance je čistě reálná. Z toho také vyplývá požadavek na impedanční přizpůsobení antény a jejího napáječe.

- ***Širokopásmovost antény***

Tato vlastnost nám říká, v jakém frekvenčním rozsahu se může měnit přijímaný signál, aniž by se podstatně změnila vlastnosti antény. Tento údaj je velmi důležitý při konstrukci antén pro celou skupinu kanálů či pro celé frekvenční pásmo. Pro příjem DVB-T se pak využívají širokopásmové antény pro příjem IV. až V. (470-862 MHz) televizního pásma. Pro příjem digitálního rozhlasu DAB+ pak III. (174-230 MHz) televizní pásmo či L pásmo (1452-1490 MHz).

### **6.1.1.1 Anténní dipól**

Jedná se o základní typ antény, složený obvykle ze dvou symetrických ramen a symetrického vedení pro přenos energie (pro připojení koaxiálního kabelu je třeba provést vhodné impedanční přizpůsobení). Dipóly mohou být dle vlnové délky půlvlnné, čtvrtvlnné a nebo dle konstrukce jednoduché, skládané, zalomené aj. Obecně se vyznačují jednoduchou konstrukcí, nízkými výrobními náklady, ale také nízkým ziskem. Velmi často slouží jako konstrukční prvek pro větší antény (viz kapitola 6.1.1.4).

V praxi je možné se setkat se stočeným dipólem doplněným o kolmě umístěný skládaný dipól. Taková anténní soustava pak slouží pro příjem FM a DAB (respektive i DAB+) signálů. [1]

### **6.1.1.2 Širokopásmová anténa se soufázově buzenými prvky**

Dříve se jednalo o velmi oblíbenou anténu, která byla vhodná pro příjem analogové i digitální televize. Základ tvoří celovlnný dipól, který určuje širokopásmovost celé antény. Pro IV. a V. televizní pásmo se jako reflektor používá tzv. reflektorová stěna, díky čemuž dostala anténa slangový název „SÍTO“. [1]

### **6.1.1.3 Logaritmicko-periodická anténa**

V současnosti velmi oblíbený typ antény, který se vyznačuje tím, že vyzařovací diagram a impedance se s kmitočtem téměř nemění. Skládá se totiž z dipólů, které mají kapacitní nebo induktivní charakter (který se vykompenzuje), a každý rezonuje na jiném kmitočtu. Díky tomu nemá logaritmicko-periodická anténa teoreticky omezené provozní pásmo. Využívá se hojně pro příjem DVB-T a v dnešní době je navíc často vybavená LTE filtrem. [3]

### **6.1.1.4 Směrová anténa YAGI**

Anténa pojmenovaná po japonském vědci H. Yagi byla a je velmi oblíbeným anténním systémem pro příjem DVB-T, a to díky své jednoduché konstrukci a velmi dobrým elektrickým vlastnostem. Obecně se tato anténa skládá ze 3 částí. [1]

- **Zářič**

Zářič je tvořen jednoduše pouze půlvlnným dipólem  $\lambda/2$

- **Reflektor**

Úkolem reflektoru/ů je soustřeďovat energii vyzařovanou zářičem směrem k direktorům, a tedy do směru vysílání/příjmu, což vede ke zmenšení podílu nežádoucího signálu.

- **Direktor**

Funkcí direktoru/ů je pak umožnění vzniku vlny vedené podél antény, což má za následek zvětšení prostorové oblasti, z níž energie může přejít do napáječe, potažmo ke zvýšení efektivní plochy antény a tím také ke zvýšení zisku. Postupným zkracováním direktorů směrem od zářiče a postupným zvětšováním jejich roztečí je možné zvýšit potlačení postranních laloků (ve vyzařovacím diagramu) a tím dosáhnout větší šířky pásma.

### **6.1.1.5 Satelitní anténa**

Pro vyšší kmitočty (typicky nad 1000 MHz) vychází klasické antény rozměrově příliš malé, a proto se zavádí antény doplněné reflektorem. Pro zvýšení zachycení energie se pak primární zářič doplňuje reflektorem, např. parabolickým zrcadlem, který slouží ke soustředění energie právě do zářiče. Taková anténa je vhodná pro příjem satelitního televizního vysílání DVB-S (10 950 – 12 500 MHz), ale také např. pro bezdrátové připojení k internetu (2,4; 5 GHz aj.).

Pro satelitní příjem v rámci STA je pak třeba také ještě zmínit několik nevýhod tohoto řešení. Satelitní anténa totiž vyžaduje složité rozvody, realizované hvězdicovou topologií a multipřepínači (nutno směrem od přijímače do antény dodávat stejnosměrné řídicí napětí aj.). Dále je třeba také zmínit vyšší cenu a spotřebu, popř. použití transkodérů do DVB-T. [4]

### **6.1.2 Hlavní stanice STA**

Hlavní stanice se dá definovat jako soubor zařízení, které slouží k úpravě, zesílení a sloučení signálů určených k šíření rozvodnou sítí (širokopásmové zesilovače, kanálové zesilovače, napájecí zdroj, modulátory, ochrany, jištění, aj.) a v celém systému hraje velmi důležitou roli. Hlavní stanice musí být také do jisté míry odolná proti rušení a intermodulačním vlivem vysílání GSM, LTE apod. a zajišťuje galvanické oddělení. Prvky hlavní stanice mají klíčovou roli při přechodu na jiný druh vysílání, např. z analogového na digitální nebo z DVB-T na DVB-T2, ale o tom více až v dalších kapitolách. [5]

Jako příklad některých hlavních stanic lze vypíchnout následující.

- **TESA-S**

Modulová zesilovací souprava TESA-S, osazovaná od roku 1974, byla velmi častým zařízením společných antén a dosud se vyrábí v inovované verzi.

- **STEA-D**

Je již modernější zesilovací souprava od společnosti Tesla. Má mnohem lepší selektivitu, přizpůsobení a skupinové zpoždění, ale na druhou stranu menší výstupní úroveň. S tímto zařízením se lze doposud setkat velmi často.

- **ALCAD**

Španělská společnost ALCAD se stala předním dodavatelem technologií pro stavbu STA s rozsáhlou nabídkou pasivních i aktivních prvků STA. Svou oblibu si získala také díky své vysoké kvalitě, spolehlivosti a bezproblémovému přechodu z analogové televize na digitální.

- **Hlavní stanice vyšší kategorie**

Hlavní stanici STA vyšší kategorie lze definovat jakožto universální modulární systém s analogovými (dříve) nebo digitálními kazetami pro pozemní nebo satelitní příjem. Výstupní kanály byly pak pro analogovou televizi vedle sebe v rastru D,K nebo B,G (včetně speciálních - kabelových kanálů). Nastavení parametrů jako je vstupní kanál, výstupní kanál, kmitočtový převod, úroveň výstupního signálu, offset apod., je realizováno prostřednictvím interního programátoru. Toto řešení se vyznačuje vysokou provozní spolehlivostí a především možností upgrade na nový typ kazet.

### **6.1.3 Účastnický rozvod STA**

Rozvod systému společných televizních antén spojuje výstup hlavní stanice STA s účastnickými zásuvkami. Je tvořen koaxiálními kabely, konektory a popřípadě také zesilovači kompenzujícími vložný útlum způsobený samotnými ztrátami kabelů, účastnických zásuvek, rozbočovačů, odbočovačů a náklonových členů. Tento vložný útlum by mezi výstupem hlavní stanice a nejvzdálenější účastnickou zásuvkou neměl překročit hodnotu 45 dB (dle ČSN EN 50083). U rozsáhlých rozvodů STA, kde jsou výstupní úrovně hlavní stanice příliš nízké pro všechny byty, se vzdálené lokální části napájí přes širokopásmové domovní zesilovače. [4] [5]

Účastnický rozvod je možno dělit dle způsobu řazení účastnických zásuvek na svislý, vodorovný či hvězdicový.

- **Svislý (sériový)**
  - Velmi časté řazení účastnických zásuvek u starších STA
  - Nejlevnější řešení
  - Nejmenší vložný útlum
  - Problém s neodbornými zásahy do stoupacího vedení prováděné uživateli bytů, které téměř vždy zhorší nebo znemožní příjem ostatním uživatelům
- **Vodorovný (s odbočkami)**
  - Svislé vedení, ze kterého se signál přivádí k vodorovně řazeným účastnickým zásuvkám
  - Použití především ve starých domech, kde svislé vedení procházelo schodišťovým prostorem a na poschodích se odbočovalo k bytům
  - Počet odbočení i počet sériově řazených zásuvek omezen
- **Hvězdicový (paprskový)**
  - Použití u novějších rozvodů STA (z důvodu náročnosti na kvalitu koaxiálních kabelů)
  - Výhoda možnosti výběru individuální programové nabídky zařazením filtru do přípojného vedení (např. pro uživatele připlácejícího si za širší programovou nabídku)
  - Zásah do zásuvky neovlivní ostatní uživatele připojené k centrálnímu bodu

### **6.1.3.1 Koaxiální kabely**

Na koaxiálních kabelech není radno šetřit. Pokud se např. v novostavbě majitel rozhodne použít nekvalitní a levnější kabely, navíc zazděné bez protahovacích trubek (tzv. „husí krky“) přímo pod omítku, je dost možné, že útlum bude natolik velký, že ve všech částech domovního bytu nebude možné televizi sledovat. Často si také snaží elektrikáři zjednodušit práci tím, že vyfrézují jednu společnou drážku pro silové vodiče i televizní rozvod, což samozřejmě způsobuje rušení televizního signálu. Zazdění bez protahovacích trubek může způsobit deformaci kabelu (překroucení, přiskřípnutí atd.), která vede k porušení stínění a tím opět ke zvýšení ztrát v rozvodu. Dále je třeba dbát na ohyb koaxiálního kabelu, jenž by neměl překročit udávanou mez danou výrobcem.

Pokud však již dojde k takové chybné instalaci, nezbyvá nic jiného než staré kabely vysekat a zvolit vhodnější řešení, kterým je použití kvalitnějších kabelů se stíněním alespoň 95-102 dB současně s použitím protahovacích trubek vzdálených od silové kabeláže alespoň 10-15 cm nebo např. použití plochých prodlužovacích kabelů určených k protažení mezi okno a okenní rám. [1] [4] [5]

### **6.1.3.2 Konektory**

Zásadně se používají konektory typu F. Ty mají také velký vliv na celkové ztráty rozvodu. Zcela nevhodné jsou šroubovací konektory, kde se konektor na odizolovaný kabel nasadí spirálovým pohybem. Dále je třeba dbát na různorodost materiálů, ze kterých je konektor a kabel vyroben. Ve vzduchu je totiž stále přítomná vlhkost, která pak z konektoru a kabelu vytvoří galvanický článek s omezenou životností. Čím kvalitnější konektor se použije, tím déle bude rozvod pracovat bez údržby. [1] [4] [5]

### **6.1.4 Účastnické zásuvky**

Účastnická zásuvka se dá z pohledu elektrických obvodů přirovnat k dvojitému odbočovači. Její vlastnosti jsou definovány hodnotami průchozího, vazebního a oddělovacího útlumu, které z účastnické zásuvky dělají hlavní problém starých rozvodů. Obecně se dělí na průběžné a koncové a zajišťují přívod televizního, satelitního a rozhlasového signálu až k účastníkovi. Zásuvky jsou pak v rozvodu také umístěny dle jejich polohy vzhledem k hlavní stanici. Čím jsou blíže k hlavní stanici a zesilovačům celého rozvodu, tím vyšší impedanci musí logicky mít. Naopak koncové zásuvky musí mít impedanci menší. Za léta používání se samozřejmě objevilo velké množství zásuvek a některé z nich jsou popsány níže. [5]

- **6AN 050 07/12**

Vyráběná společností TESLA po roce 1963. Pro signály v UHF nepoužitelná.

- **6AN 050 21/18**

Opět vyráběná společností TESLA a to po roce 1969. V instalacích stále často přetrvává. Pro UHF vyhovuje jen pro malé rozvody (vazební útlum pouze 4-5 dB).

- **PZK 11/01**

Používala se od roku 1975 a opět ji vyráběla společnost TESLA. Pro přenos signálů v pásmu UHF omezena jen na malé rozvody.



- **PZX 11/01**

Tyto zásuvky se instalovaly po roce 1980 a vyznačují se tím, že vyhovují i v pásmu UHF. Pokud vyhovují i připojené kabely, je stoupací vedení vhodné i pro přenos digitální televize v pásmu UHF. Po mechanické stránce má ale zásuvka nedostatky.

- **Moderní účastnické zásuvky**

V dnešní době se na trhu nachází velké množství dovážených účastnických zásuvek s odstupňovanými vazebními útlumy od levných a méně kvalitních čínských výrobků až po špičkově kvalitní zásuvky. Vyznačují se dobrým přizpůsobením v celém přenášeném pásmu, vysokým oddělovacím útlumem, potlačením vyzařování a přenosem signálů až do 900 MHz (na výstupu satelitní mezifrekvence do 2,2 GHz).

## **6.2 Způsoby příjmu DVB-T v systémech STA**

O jednotlivých prvcích společných televizních antén bylo řečeno množství informací, které se mimo jiné uplatnily také při úvahách a rekonstrukcích celých systémů STA při přechodu z analogového televizního vysílání na digitální. Je třeba zdůraznit, že signál DVB-T je na nelinearity výrazně citlivější než signál analogový. U STA pak vznikají intermodulace na nelinearitách aktivních prvků širokopásmových nebo kanálových zesilovačů, které se potlačují menším vybuzením koncového stupně za cenu nižší výstupní úrovně. Téměř každá společná televizní anténa byla v době přechodu v zásadě použitelná pro příjem DVB-T, ale podmínky pro jeho zavedení byly různé. Někdy postačily nepatrné náklady, jindy se cíle nedosáhlo bez rozsáhlých a drahých rekonstrukcí hlavních stanic, rozvodů a účastnických zásuvek (nahrazení starých kabelů novějšími, výměna zásuvek apod.). [5]

Mezi jednodušší zásahy do systému STA zajisté patří např. přesměrování antény, její přizpůsobení, výměna vadných bleskojistek, výměna vadných napáječů antén, přenastavení kanálových zesilovačů a měničů, úprava fázového zkreslení – natočení IQ diagramu apod. [1]

### **6.2.1 Požadavky pro šíření DVB-T**

- Dle ČSN EN 50083
- Dodržení signálové úrovně rozváděných digitálních programů na všech účastnických zásuvkách v rozmezí 40-80 dB/ $\mu$ V/75 $\Omega$  a poměr stojatého vlnění v zásuvkách max.  $\sigma = 2,5\sigma$
- Výpočet energetické bilance rozvodů nutno provést pro frekvence až do 900 MHz
- Vstupní signál pro použité zesilovače STA nemá být menší než 50 dB/ $\mu$ V/75 $\Omega$
  
- Zamezení vzniku intermodulací přesným nastavením výstupních úrovní zařazených zesilovačů
- Antény musí být určeny pro přijímané pásmo a správně směřovány (kanálová anténa pro kanál 25 potlačuje signál na kanále 46 až o 20 dB)
- Filtry se strmým poklesem na okrajích frekvenčního pásma signálu DVB-T (šířka pásma signálu DVB-T je 7,61 MHz, k okrajům kanálu tedy zbývá jen 0,195 MHz) jsou nezbytné při obsazených sousedních kanálech z důvodu omezení vzájemného rušení [4] [5]

### **6.2.2 Způsoby rozvodu signálů DVB-T**

Ať už bylo v minulosti třeba rozšířit stávající STA o příjem pozemního digitálního vysílání či se jedná o novostavbu, bylo a je třeba rozhodnout, jaké technické řešení zvolit pro rozvod digitálních signálů až k jednotlivým účastníkům. V nových budovách je celá situace zjednodušena užitím hvězdicové technologie rozvodů a jejich univerzálnosti. Z toho je patrná nezávislost na technologii. Pro starší budovy je situace komplikovanější. Dále se také sluší uvést, že řešení lze vzájemně kombinovat. [4]

#### **6.2.2.1 Přímý rozvod DVB-T ve IV. a V. TV pásmu**

- Signál DVB-T je v rámci STA šířen na původní frekvenci a v původní digitální podobě
- Účastníci musí používat televizory s digitálním tunerem nebo set top boxy
- Výhodou je relativně nízká cena zřízení hlavní stanice STA
- Rozvody a účastnické zásuvky musí vyhovovat nárokům na přenos digitálních signálů o patřičných frekvencích

- Snížení nároků na přenos kanálů z konce V. TV pásma lze řešit konverzí do IV. pásma
- Před samotnou realizací této volby nutno provést orientační výpočet energetické bilance [4] [6]

### **6.2.2.2 Převod DVB-T na DVB-C**

- DVB-T programy jsou pomocí transmodulátorů převedeny na standard DVB-C, který je určený pro kabelové televizní rozvody
- Maximální bitový tok je při modulaci 64-QAM téměř dvojnásobný oproti DVB-T
- Výhoda použití původních rozvodů
- Nevýhodou je velmi úzká nabídka set top boxů pro DVB-C a nákladné vybavení hlavní stanice [6]

### **6.2.2.3 Převod DVB-T na IPTV**

- Digitální programy jsou pomocí IP streamerů převedeny na IP datové pakety, které jsou šířeny počítačovou sítí
- Nejsou třeba koaxiální rozvody a příjem je možný pomocí IP set top boxů a nebo pomocí PC [6]

## **6.3 Způsoby příjmu DVB-S v systémech STA**

Jak již bylo řečeno, systémy společných televizních antén slouží pro příjem pozemního, satelitního i rozhlasového vysílání. Pozemní vysílání bylo vysvětleno v předchozí kapitole, a proto se sluší nyní alespoň částečně zaměřit právě na satelitní vysílání.

Příjem televizních programů ze satelitu je moderním a spolehlivým řešením. Nynější poskytovatelé satelitní televize zajišťují rozsáhlou programovou nabídku, kterou ocení velká spousta televizních nadšenců. Tuto nabídku si navíc obyvatelé bytových domů mohou sami vytvořit bez závislosti na změnách v pozemním televizním vysílání (digitalizace, změna multiplexů apod.). Stejně jako u DVB-T je zde několik možností pro rozvod satelitních signálů až k účastníkům a opět se sluší zmínit, že jednotlivá řešení lze kombinovat dohromady. [5] [6]

### **6.3.1.1 Přímý rozvod satelitního signálu**

- Satelitní signál je pomocí tzv. multipřepínačů přiveden ke každému účastníkovi, který musí být vybaven vlastním satelitním přijímačem s dekodovací kartou a může si tak zcela samostatně volit programovou nabídku
- Nevýhodou je nutnost instalace rozvodů i zásuvek pro kmitočtové pásmo do 2150 MHz a je nutno použít hvězdicovou topologii rozvodu
- Nákladné řešení na rekonstrukci, případně výstavbu, ale také na pořízení satelitních přijímačů s dekodovacími kartami [5] [6]

### **6.3.1.2 S jednokabelovým rozvodem**

- Jedná se o levnější variantu přímého rozvodu
- Místo multipřepínačů se použijí kmitočtové konvertory satelitního signálu, které převedou signály satelitních programů na nižší kmitočty, čímž odpadá nutnost rekonstrukce rozvodů, účastnických zásuvek, hvězdicové topologie apod.
- Příjem je ale omezen na vybrané konvertory z jednotlivých satelitů [5]

### **6.3.1.3 Převod DVB-S na DVB-C/IPTV**

Toto řešení je prakticky shodné s převodem DVB-T na DVB-C či IPTV a je podrobněji rozepsáno v kapitolách 6.2.2.2 a 6.2.2.3. [6]

## **6.4 Současné trendy a problematika STA**

Na nynější systémy společných televizních antén jsou kladeny nároky spojené se současnou existencí systémů mobilních komunikací (především existence LTE), ale také budoucí přechod na digitální televizní vysílání druhé generace, tedy DVB-T2 s velmi účinným kodekem HEVC a s tím spojené problémy. [3]

Je třeba si tak položit otázky, zda umožňují stávající STA šíření nových formátů televizního vysílání, jak se současné STA vypořádaly s existencí nových mobilních komunikačních systémů či mají-li systémy STA vůbec budoucnost? A právě na výše uvedené se pokusí alespoň částečně zodpovědět následující podkapitoly.

### **6.4.1 Změny v oblasti pozemního příjmu**

V systémech STA pro příjem pozemní televize došlo v posledních letech k výrazným změnám. Všechny komponenty STA (hlavní stanice, rozvody, účastnické zásuvky) musí mít dostatečné stínění. Tato skutečnost se projevuje nejvíce v oblastech blízkých k vysílači DVB-T či základnové stanice LTE. Dalším důvodem je potlačení rušení vzniklých od signálů dalších mobilních služeb do rozvodu STA. [3]

#### **6.4.1.1 Změny v oblasti rozvodu signálů**

V současnosti nelze doporučit taková řešení STA, která prováděla konverzi digitálních signálů na analogové. Tato řešení měla význam jen v době přechodu z analogové televize. Navíc neumožňují využití dostupných doplňkových služeb, bez kterých si v dnešní době divák téměř nedokáže představit sledování televize, a také nejsou na trhu k dispozici skoro žádné analogové přijímače.

Doporučit se nedá ani kmitočtová konverze z pásma UHF do VHF. Většina nových televizních přijímačů již neumožňuje příjem na těchto frekvencích a navíc při změně kmitočtů dochází k degradaci signálu (fázová a kmitočtová nestabilita oscilátorů, intermodulace). Frekvenční konvertory jsou navíc v nynější době těžko dostupné a drahé.

Frekvenční konverze má nyní smysl jen ve IV. a V. televizním pásmu a to pouze v případech, že nelze realizovat rozvod na sousedních kanálech (z důvodu výrazně rozdílné úrovně na vstupu). Pak je možné díky vhodně zvolenému kmitočtu dosáhnout potřebné selektivity a vyrovnání úrovní na výstupu hlavní stanice. Toto řešení je i přes svou technickou složitost a vyšší cenu stále oblíbenější.

Nejvhodnějším řešením systému STA je přímá distribuce na těch kanálech, na kterých jsou multiplexy skutečně vysílány. Občas je však také možno setkat se zvýšeným útlumem pro jeden určitý kanál, který nelze řešit kanálovým zesilovačem. Ten je totiž do sousedního kanálu rušen úrovněmi zkresleného signálu, což vede k nemožnosti příjmu. Řešením je kmitočtová konverze slabšího kanálu na některý jiný, volný kanál. Takovýchto problémů bude pravděpodobně přibývat při přechodu na DVB-T2 (kvůli omezení frekvenčního spektra pro pozemní televizní vysílání – viz kapitola 6.6). [3]

### **6.4.1.2 Změny v anténním systému**

Dříve většinou stačila jediná širokopásmová (např. logaritmicko-periodická) anténa pro příjem určitého počtu multiplexů. S vyšším počtem multiplexů z různých směrů a s rozdílnými úrovněmi pak zcela logicky rostou také nároky na anténní systém. Je třeba často použít několik antén, často s větším ziskem nebo konkrétní směrovou charakteristikou. Stále však platí, že anténa je umisťována tak, aby byly pokud možno co nejvíce omezeny rušivé vlivy (v současné době je trendem takové umístění, aby se co nejvíce omezil vliv atmosférických výbojů). Ochrany se tak zjednoduší a většinou stačí pouze galvanické propojení stínění napáječe a kovových částí antény s ochranným vodičem napájení hlavní stanice a samozřejmě umístění antény v chráněném prostoru hromosvodu. [3]

### **6.4.1.3 Změny hlavních stanic**

Hlavní stanice může podle přijímaných signálů používat různé technologie. Pasivní hlavní stanice bez zesilovačů lze použít jen v oblastech se silnými signály o podobných úrovních (např. rodinné domy). Většinou je však třeba signál patřičně zesílit a to buď pomocí širokopásmových nebo kanálových zesilovačů (širokopásmové zesilovače jen pro signály o stejných či velmi podobných úrovních). V ostatních případech je nutností použít kanálové zesilovače s velkým potlačením sousedních kanálů.

Levnější variantou pro menší rozvody se jeví použití programovatelných zesilovačů. Ty se skládají z programovatelných přepínačů, pomocí kterých se k anténám připojí programovatelné vstupní filtry a útlumové články. Signál je společně zesílen širokopásmovým zesilovačem (s proměnným ziskem), na jehož vstup je přiváděn signál po úpravě úrovní a vyfiltrování. Pro kvalitní programovatelné zesilovače je nutno počítat s velkým nárůstem ceny. [3]

### **6.4.1.4 Změny rozvodů**

Pro vlastní rozvod STA nevyplývají žádné zásadní změny. U novostaveb se doporučuje hvězdicová či kombinovaná topologie, která v budoucnu zajišťuje užití nových technologií bez nutnosti přístupu k účastnickým zásuvkám a také snazší diagnostiku

rozvodu. Rekonstrukce starých STA s ponecháním původních koaxiálních rozvodů má smysl jen tehdy, pokud jsou kabely kvalitní a v dobrém stavu. Naštěstí v posledních letech prošla většina budov rekonstrukcí STA, a tak bude pravděpodobně v budoucnu třeba pouhá úprava anténního systému (např. zařazení LTE filtru) či úprava zesilovačů hlavních stanic (např. přidání kanálových vložek apod.). [3]

#### **6.4.2 Změny v oblasti satelitního příjmu**

V této oblasti v posledních letech nedošlo oproti terestriálnímu příjmu k žádným větším změnám a to i za skutečnosti, že je k dispozici větší množství satelitů, multiplexů a televizních programů. Topologie rozvodů a technologie hlavních stanic zůstává prakticky nezměněna. V nynější době však převažuje řešení STA pomocí multipřepínačů a maticových přepínačů s hvězdicovou topologií nebo její modifikací (sběrníkové propojení multipřepínačů). Přejít na DVB-S2 (s aplikací vícestavových modulací) nepřináší žádná omezení ani změny.

Téměř se ale již nedá setkat s převodem satelitní televize na DVB-C. Tato skutečnost nastala především kvůli zpoplatnění satelitního příjmu FTA programů (FTA – free to air; volně dostupné programy). Při tom se na trhu vyskytují levnější moduly do hlavních stanic pro transkódování a remultiplexování televizních programů do standardu DVB-C. [3]

#### **6.4.3 Změny v oblasti rozhlasového příjmu**

Pokud je systém STA vybaven vhodnými anténami pro příjem FM rozhlasu či DAB+, není s příjmem v současné době žádný problém (pro DAB+ platí zásady šíření DVB-T signálu ve III. TV pásmu) a ani v budoucnu se s vzhledem k mezinárodní koordinaci kmitočtů s žádnými problémy nepočítá.

Pro DAB+ pak platí, že by úroveň signálu na účastnické zásuvce měla být nastavena mezi 40 a 60 dB $\mu$ V (slabší než v případě televizního signálu). V současné době je však problém s dostupností kanálových zesilovačů jen pro jeden DAB+ kanál (momentálně jsou k dispozici jen širokopásmové zesilovače pro celé DAB+ VHF pásmo). [3]

## **6.5 Vliv mobilních sítí na STA**

### **6.5.1 Vliv GSM**

Již dříve došlo k problémům se systémem GSM, kdy se často objevovaly slyšitelné tzv. „bursty“ ve zvukovém doprovodu televizního vysílání, u autorádií nebo také např. výpadky příjmu obrazu na starších TV přijímačích a set top boxech. Tento problém byl převážně vyřešen započítáním testování elektromagnetické kompatibility přijímačů, ale i jednotlivých komponentů systému STA. [3]

### **6.5.2 Vliv LTE**

Nasazení mobilního datového systému čtvrté generace, tedy LTE, je z pohledu televizního pozemního vysílání velmi problematické. Mobilní operátoři požadují stále více frekvenčních pásem, které jsou v těsné blízkosti těch televizních. Kromě původních LTE pásem se nyní využívají i vyšší televizní kanály z V. televizního pásma (první digitální dividenda) a plánují se další (viz kapitola 6.6). Jak již bylo zmíněno, i toto je jeden z důvodů pro přechod digitální televize na nový standard DVB-T2/HEVC. Dochází zde k vzájemnému rušení, které se dá jen velmi těžko předem odhadnout, změřit a odstranit. Jak systém LTE, tak systém DVB-T je širokopásmový s mnoha nosnými a poměrně velkými vysílacími výkony. Mobilní terminály LTE navíc nemají pevnou polohu a jejich výkon je přizpůsobován dle potřeby. Na celou problematiku je třeba nahlížet jak z pohledu přizpůsobení vysílání LTE, tak z pohledu frekvenční koordinace DVB-T/T2 a mobilních sítí. Z pohledu STA je pak třeba zvyšovat odolnost systému (hlavně zesilovačů a aktivních prvků), zvýšit stínění rozvodů i ostatních komponent a tím zamezit průniku signálů LTE a nebo dělat vstupy STA selektivní (musí se potlačit vše, co leží mimo přijímané TV a rozhlasové kanály, což je technicky obtížné a drahé). [3]

## **6.6 DVB-T2 a DAB+ v systémech STA**

Z předchozí kapitoly 4 zaměřené na systém DAB je patrné, že pro příjem jeho novější varianty DAB+ nejsou zcela určitě potřeba žádné úpravy v rámci STA. Jiná situace však nastává se systémem DVB-T2. Problémem je totiž zúžení vysílaného frekvenčního pásma ze stávajících 470-790 MHz na 470-694 MHz. Z porovnání těchto dvou frekvenčních rozsahů je patrné, že výměna antén v STA není potřeba. Pozornost je ale třeba věnovat



zesilovačům či transkodérům (viz následující podkapitoly) použitých v daném systému STA. Experimentální měření (kapitola 3.5) pak navíc také potvrzuje bezproblémovost šíření signálů DVB-T2 v rozvodech STA určených pro šíření DVB-T signálů.

Další moderní systémy, jako je DRM nebo DRM+ (Digital Rights Management – správa digitálních práv), nejsou v rámci STA podporovány (rozvod DV, SV ani KV do 5 MHz), ale teoreticky nic nebrání doplnění STA o příslušné technologie podporující tyto standardy. [3]

### **6.6.1 STA se širokopásmovými zesilovači**

Použití širokopásmového zesilovače má svoje výhody i nevýhody. Výhodou je jednoznačně fakt, že pokud uživatelé již nyní přijímají kvalitně stávající DVB-T multiplexy z vysílače, odkud se začne vysílat DVB-T2 (třeba i na jiném kanálu), nebudou muset provádět žádné změny v STA a bude stačit přeladění kanálů na nově pořízeném přijímači. Nevýhodou je ale skutečnost, že takový širokopásmový zesilovač zesiluje do celého rozvodu nejen kvalitní DVB-T signál, ale také slabší signály z jiných vysílačů. Problém tak může v budoucnu nastat díky rozšíření frekvenčního pásma LTE. [31]

### **6.6.2 STA s kanálovými zesilovači či transkodéry**

Jak je již z názvu této kapitoly a z kapitoly 6.1.2 patrné, jsou tyto prvky laděny na konkrétní TV kanály. Pokud se tedy bude DVB-T2 vysílat na kanálech rozdílných než je tomu nyní u DVB-T, bude nutný zásah do těchto prvků (pokud však dojde v budoucnu k vysílání na stejných TV kanálech jako nyní, zásah nebude potřeba). Případné zásahy obnášejí pořízení nových kanálových zesilovačů a transkodérů či alespoň jejich přeladění. Výhodou kanálových zesilovačů a frekvenčních měničů, jež jsou nyní na trhu, je právě jejich přeladitelnost (omezená typicky jen na blízké kanály). Tato vlastnost se velmi pozitivně projeví ve chvíli, kdy se bude v budoucnu přecházet z přechodových sítí na finální a postačí pouhé doladění kanálů. [31] [32] [33]

### **6.6.3 STA s programovatelnými zesilovači**

V případě použití programovatelných zesilovačů je řešení poměrně jednoduché. Ty obvykle obsahují širokopásmový zesilovač s programovatelnými filtry (počet filtrů, tedy počet přijímaných kanálů je však omezen). V praxi pak stačí tento druh zesilovače pouze naladit programátorem na příslušné televizní kanály. [31]

### **6.6.4 Úpravy v STA na ZČU FEL Plzeň**

Jelikož je hlavní stanice na ZČU FEL Plzeň tvořena širokopásmovým zesilovačem a dílčími zesilovači kanálovými, bude pro příjem DVB-T2 nutno provést určité změny. Pro příjem přechodové sítě, jež bude v Plzni dostupná od června 2017 z vysílače Krašov, bude potřeba hlavní stanici doplnit o kanálovou vložku 31. TV kanálu (550-558 MHz). Tím se sice zajistí kvalitní příjem přechodové sítě, ale není zaručen příjem sítě konečné, pro kterou zatím nebyly určeny kmitočty v daných regionech.

## **Závěr**

V prvních kapitolách této práce byl proveden rozbor všech případných specifikací systémů DVB-T, ale také částečně popsána vysílací část tak, jak ji definuje obecný sdělovací řetězec. Od zdroje obrazových a zvukových dat, jejich zdrojové i kanálové kódování, multiplexování, provedení vhodných modulací až po přivedení na vysílač jednofrekvenční kmitočtové sítě.

Dále byly v této práci popsány rozdíly oproti pozemnímu televiznímu vysílání druhé generace a s tím spojené problémy, ale také velké výhody, jež byly potvrzeny experimentálním měřením v televizním kabelovém rozvodu ZČU FEL Plzeň. Jako jednoznačnou výhodu lze považovat robustnost signálů DVB-T2, jelikož, jak měření ukázalo, je možno signály šířit s menším odstupem signál/šum, než je tomu u standardu DVB-T. Je tomu tak díky pokročilým metodám kanálového kódování postavených především na BCH a LDPC kódech či možnosti tzv. rotované QAM modulace. Díky zvýšené robustnosti lze pak užít vícestavových modulací, což má přímý vliv na zvýšení přenosové rychlosti. Nelze pak také opomenout aplikaci vysoce účinného zdrojového kódování obrazu HEVC (H.265), který dokáže ponížít bitovou rychlost až na polovinu oproti jeho staršímu sourozenci AVC (H.264), též z rodiny MPEG. Nevýhodami standardu DVB-T2 se pak mohou jevit zvýšené požadavky na demodulaci již zmíněných rotovaných modulací QAM. Nelze také opomenout fakt, že práce dále obsahuje popis standardu pozemního digitálního rozhlasového vysílání DAB i jeho novější variantu DAB+ obohacenou o vysoce účinné zdrojové kódování zvuku MPEG-4/HE-AAC v2, použité také pro kódování zvukového doprovodu u standardu DVB-T2.

Další kapitoly této práce pojednávají o systémech společných televizních antén obecně, o jejich technologiích, o možnostech rozvodu různých typů signálů v rámci kabelového rozvodu, ale také o jejich budoucím využití. STA totiž jsou a zajisté zůstanou v blízké době základním systémem pro zabezpečení kvalitního příjmu především v městských oblastech. Společné televizní antény naplňují požadavek na snižování úrovně elektromagnetického smogu a tím zmenšují zátěž organismu elektromagnetickými vlnami, čímž zlepšují hygienu životního prostředí. To plně koresponduje s požadavky dnešní populace na zdravější životní styl a s tím spojené životní podmínky. Zlepšují i estetiku

budov. V blízké době pravděpodobně STA nečeká žádná revoluční změna, protože přechod na DVB-T2/HEVC by měl být pro STA téměř bezproblémový. Oním „téměř“ míním problémy spojené se zúžením frekvenčního spektra standardu DVB-T2, čímž mohou v systémech STA vznikat potíže na hlavních stanicích. Případná obměna či přeladění zesilovacích prvků (obzvláště pak kanálových zesilovačů – jako je tomu i na ZČU FEL Plzeň či transkodérů) mohou tvořit finanční zátěž pro majitele STA. Aktuálně však ještě není znám úplný plán frekvenčního přechodu ke konečnému vysílání, a proto není dle mého názoru rozumné zasahovat do fungující STA do té doby, než budou tyto plány ustáleny. Pokud bude existovat pozemní televizní a rozhlasové vysílání, pak jistě budou existovat i STA.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] LEGÍŇ, Martin. *Televizní technika DVB-T*. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-730-0204-3.
- [2] ŽALUD, Václav. *Moderní radioelektronika*. Praha: BEN - technická literatura, 2000. ISBN 80-860-5647-3.
- [3] NOVÁKOVÁ, Jaroslava, Petr ZEMAN, Tomáš ŠŤASTNÝ, et al. *XXV. konference Radiokomunikace: Sborník přednášek pod záštitou Ing. Mgr. Jaromíra Nováka předsedy Rady Českého telekomunikačního úřadu*. Pardubice: Český telekomunikační úřad, 2015. ISBN 978-80-905345-6-8.
- [4] MASOPUST, Jiří. *Společné televizní antény v období přechodu na digitální příjem: RADIOKOMUNIKACE 2010*. ZČU FEL Plzeň, 2010.
- [5] MASOPUST, Jiří. *Společné televizní antény a DVB-T*. ZČU FEL Plzeň, 2006.
- [6] ANTECH, spol. s.r.o. *Moderní společná televizní anténa: Řešení příjmu TV a rozhlasu pro váš bytový dům.*, 1-4.
- [7] ETSI EN 302 755: *Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)*. V 1.4.1. Sophia Antipolis Cedex - FRANCE: ETSI, 2015.
- [8] ETSI TS 102 563: *Digital Audio Broadcasting (DAB); Transport of Advanced Audio Coding (AAC) audio*. V 1.2.1. Sophia Antipolis Cedex - FRANCE: ETSI, 2010.
- [9] ITU-T H.265: *High efficiency video coding*. 4.0. Geneva, Switzerland: ITU-T, 2016.
- [10] DVB-T. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/DVB-T>
- [11] Klíčování fázovým posuvem. In: <https://cs.wikipedia.org> [online]. 2016 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Kl%C3%AD%C4%8Dov%C3%A1n%C3%AD\\_f%C3%A1zov%C3%BDm\\_posuvem](https://cs.wikipedia.org/wiki/Kl%C3%AD%C4%8Dov%C3%A1n%C3%AD_f%C3%A1zov%C3%BDm_posuvem)
- [12] ORAVEC, Juraj a Zdeno ZBONČÁK. Hierarchická modulácia v DVB-T. In: <https://www.digitalnitatelevize.cz> [online]. 2003 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: [https://www.digitalnitatelevize.cz/magazin/dvb-t/dvb-t-technologie/hierarchicka\\_modulacia\\_dvb\\_t.html?sablona=tisk](https://www.digitalnitatelevize.cz/magazin/dvb-t/dvb-t-technologie/hierarchicka_modulacia_dvb_t.html?sablona=tisk)
- [13] TOMAN, Jiří a Ivo PROCHÁZKA. Technické základy DVB-T. In: <https://http://www.ceskatelevize.cz> [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/vse-o-ct/technika/digitalni-pozemni-vysilani-dvb-t/technicke-zaklady/?glossaryChar=M>
- [14] ŠVEC, Jiří. Kompresie zvuku? Jen podvod na uši!. In: <https://avmania.e15.cz> [online]. 2009 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z:

<https://avmania.e15.cz/kompresse-zvuku-jen-podvod-na-usi>

[15] ZUBATÝ, Pavel. Digitální rozhlasové vysílání: ve stopách televize. In: <https://www.tvfreak.cz> [online]. 2011 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <https://www.tvfreak.cz/digitalni-rozhlasove-vysilani-ve-stopach-televize/4442>

[16] Reed–Solomon error correction. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Reed%E2%80%93Solomon\\_error\\_correction](https://en.wikipedia.org/wiki/Reed%E2%80%93Solomon_error_correction)

[17] PIŠKULA, Jiří. Co (a kdy) nám přinese DVB-T2. <https://www.tvfreak.cz> [online]. 2010 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <https://www.tvfreak.cz/co-a-kdy-nam-prinese-dvb-t2/3386>

[18] BCH kód. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/BCH\\_k%C3%B3d](https://cs.wikipedia.org/wiki/BCH_k%C3%B3d)

[19] Low-density parity-check code. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Low-density\\_parity-check\\_code](https://en.wikipedia.org/wiki/Low-density_parity-check_code)

[20] DVB-T2. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/DVB-T2#System\\_differences\\_with\\_DVB-T](https://en.wikipedia.org/wiki/DVB-T2#System_differences_with_DVB-T)

[21] POLÁK, Čestmír. Budoucnost a cíle pozemního vysílání v DVB-T2/HEVC. <http://www.digizone.cz> [online]. 2016 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.digizone.cz/clanky/budoucnost-a-cile-pozemniho-vysilani-v-dvb-t2-hevc/>

[22] NÝVLT, Václav. Přehledně: vše o přechodu na nové digitální televizní vysílání. <http://technet.idnes.cz> [online]. 2016 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: [http://technet.idnes.cz/dvbt2-prechod-na-nove-digitalni-televizni-vysilani-dvb-t2-pk7-/tec\\_video.aspx?c=A160418\\_114958\\_tec\\_video\\_nyv](http://technet.idnes.cz/dvbt2-prechod-na-nove-digitalni-televizni-vysilani-dvb-t2-pk7-/tec_video.aspx?c=A160418_114958_tec_video_nyv)

[23] VŠETEČKA, Roman. Nová televizní síť začala vysílat bez Novy. DVB-T2 bude do roka všude. <http://technet.idnes.cz> [online]. 2016 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: [http://technet.idnes.cz/dvb-t2-vysilac-0dz-/digitv.aspx?c=A170301\\_120357\\_digitv\\_vse](http://technet.idnes.cz/dvb-t2-vysilac-0dz-/digitv.aspx?c=A170301_120357_digitv_vse)

[24] DVB-T2. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/DVB-T2>

[25] High Efficiency Video Coding. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/High\\_Efficiency\\_Video\\_Coding](https://en.wikipedia.org/wiki/High_Efficiency_Video_Coding)

[26] High-Efficiency Advanced Audio Coding. In: *Wikipedia: the free*

*encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/High-Efficiency\\_Advanced\\_Audio\\_Coding](https://en.wikipedia.org/wiki/High-Efficiency_Advanced_Audio_Coding)

[27] ROHDE & SCHWARZ GMBH & CO. KG. *R&S®ETL TV Analyzer: Getting Started*. ROHDE & SCHWARZ GMBH & CO. KG. Munich, Germany, 2016.

[28] ROHDE & SCHWARZ GMBH & CO. KG. *R&S®SFE100 Test Transmitter: Powerful broadcast signal generator for production test systems*. ROHDE & SCHWARZ GMBH & CO. KG. Munich, Germany, 2016.

[29] ALMA DVB-T2 HD 2800 přijímač s HEVC DVB-T2 ověřeno. [Http://www.inter-sat.cz](http://www.inter-sat.cz) [online]. 2017 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: [http://www.inter-sat.cz/alma-dvb-t2-hd-2800-prijimac-s-hevc-dvb-t2-overeno\\_d6498.html](http://www.inter-sat.cz/alma-dvb-t2-hd-2800-prijimac-s-hevc-dvb-t2-overeno_d6498.html)

[30] *Digitalradiodab* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.digitalradiodab.cz/>

[31] MELÍN, Jakub. DVB-T2 A SPOLEČNÉ TELEVIZNÍ ANTÉNY: NA CO SE PŘIPRAVIT? [Https://www.televizniweb.cz](https://www.televizniweb.cz) [online]. 2017 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <https://www.televizniweb.cz/2017/04/dvb-t2-a-spolecne-televizni-anteny-na-co-se-pripravit/>

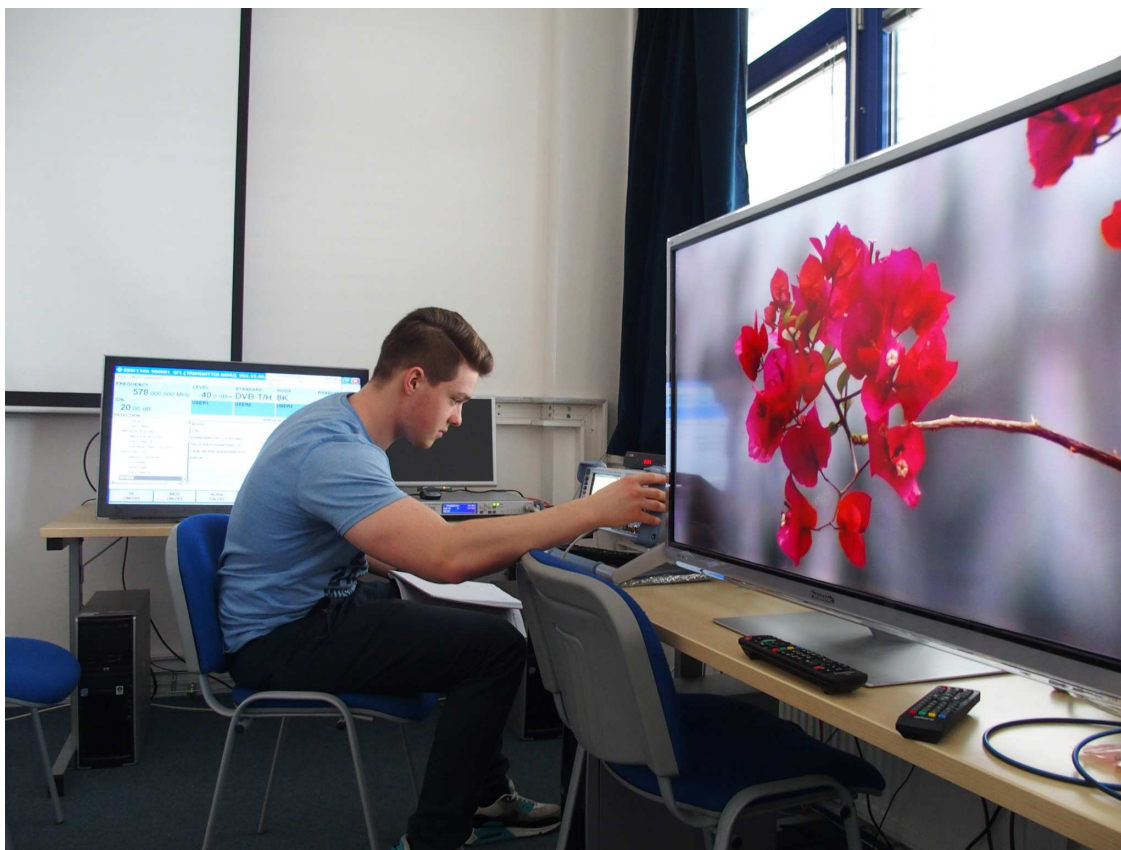
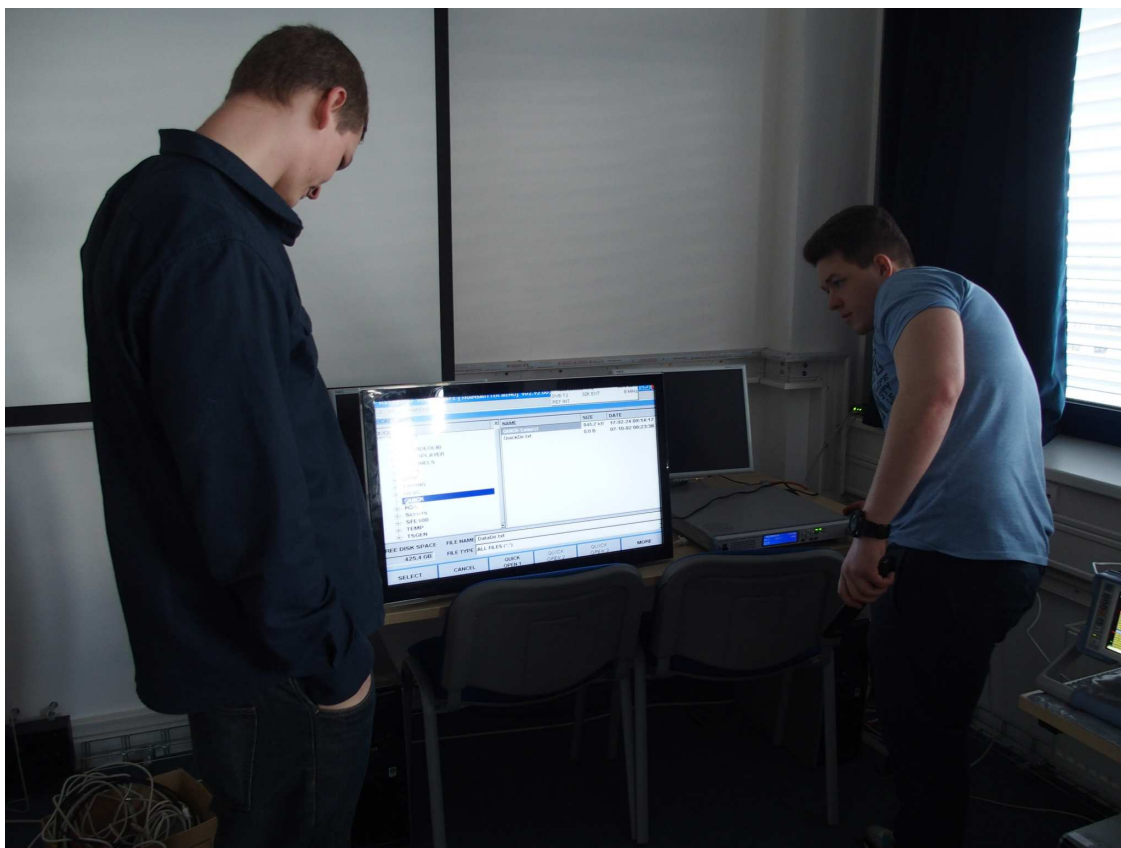
[32] POTŮČEK, Jan. MÁTE SPOLEČNOU TELEVIZNÍ ANTÉNU? PRO PŘÍJEM DVB-T2 POTŘEBUJETE NOVÉ KANÁLOVÉ VLOŽKY. [Https://www.televizniweb.cz](https://www.televizniweb.cz) [online]. 2017 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <https://www.televizniweb.cz/2017/03/mate-spolecnou-televizni-antenu-pro-prijem-dvb-t2-potrebujete-nove-kanalove-vlozky/>

[33] UDATNÝ, Václav. JAK SE SERVISNÍ TECHNICI PŘIPRAVUJÍ NA ÚPRAVY SPOLEČNÝCH TELEVIZNÍCH ANTÉN KVŮLI DVB-T2? [Https://www.televizniweb.cz](https://www.televizniweb.cz) [online]. 2017 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <https://www.televizniweb.cz/2017/04/jak-se-servisni-technici-pripravuji-na-upravu-spolecnych-televiznich-anten-kvuli-dvb-t2/>

## **Přílohy**







**R&S ETL Digital Overview** **S/N 900005, FW 3.05**

Ch: --- RF 578.000000 MHz DVB-T2 8 MHz

\* Att 15 dB  
ExpLvl -20.00 dBm

Fail	Limit	<	Results	<	Limit	Unit
Level	-60.0		-50.5		10.0	dBm
Sideband			normal			
FFT Mode			32k ext			
Guard Interval			1/8			
Carrier Freq Offset	-30000.0		-50.5		30000.0	Hz
Bit Rate Offset	-100.0		-0.1		100.0	ppm
MER (L1,rms)	24.0	*	16.8		-----	dB

PLP Data (Decoded PLP ID 0)						
OLim	MER (PLP,rms)	24.0		-----	-----	dB
	BER before LDPC			-----	1.0e-2	
	LDPC Iterations			-----		
	BER before BCH			-----	1.0e-5	
PS	BBFRAME Error Ratio			-----	1.0e-10	
	Errored Second Ratio			-----	10	%
75Ω	TS Packet Error Ratio			-----	1.0e-7	
Lvl -50.5dBm   ---   --- <span style="background-color: green; color: black;">DEMOD</span> <span style="background-color: red; color: black;">PLP:0</span>						

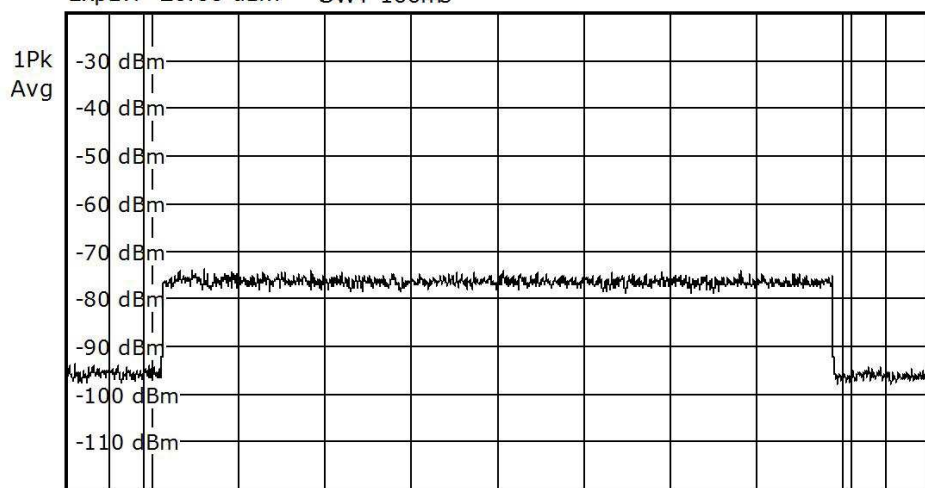
Date: 24.FEB.2017 11:33:50

**R&S ETL Digital Spectrum** **S/N 900005, FW 3.05**

Ch: --- RF 578.000000 MHz DVB-T2 8 MHz

\* RBW 10 kHz

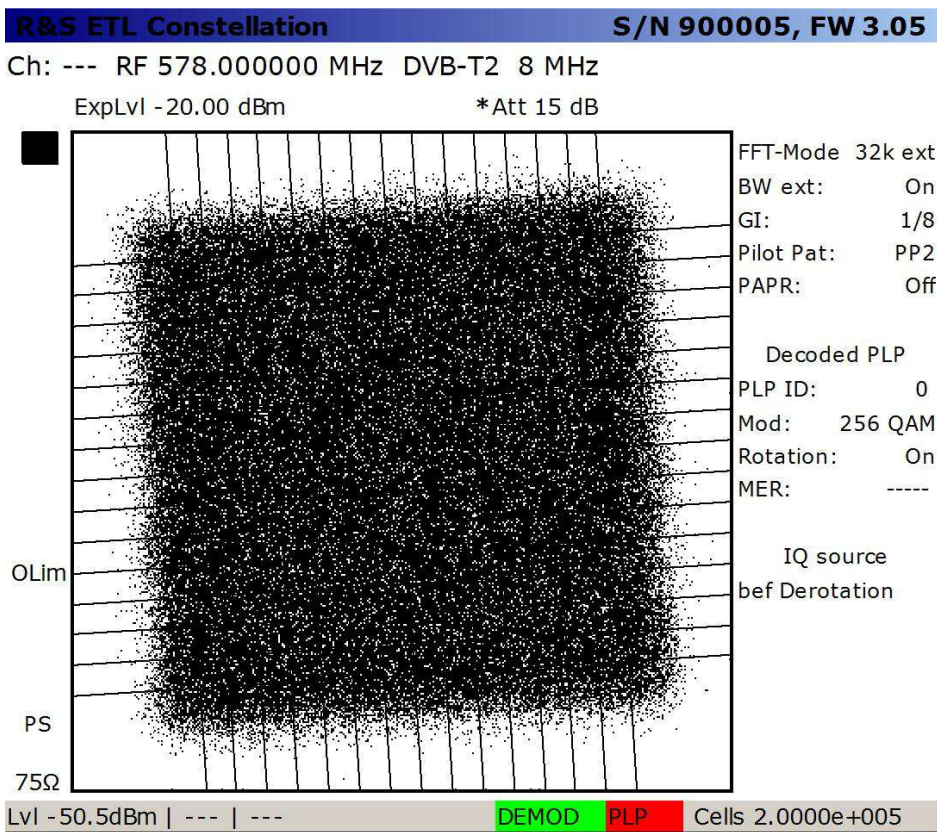
\* Att 15 dB      VBW 30 kHz  
ExpLvl -20.00 dBm    SWT 100ms



**CF 578.0 MHz** **Span 10.0 MHz**

PS	Shoulder Atten (ETSI TR 101290)	Result	Unit
	Lower	20.7	dB
75Ω	Upper	20.4	dB

Date: 24.FEB.2017 11:33:32



Date: 24.FEB.2017 11:34:09

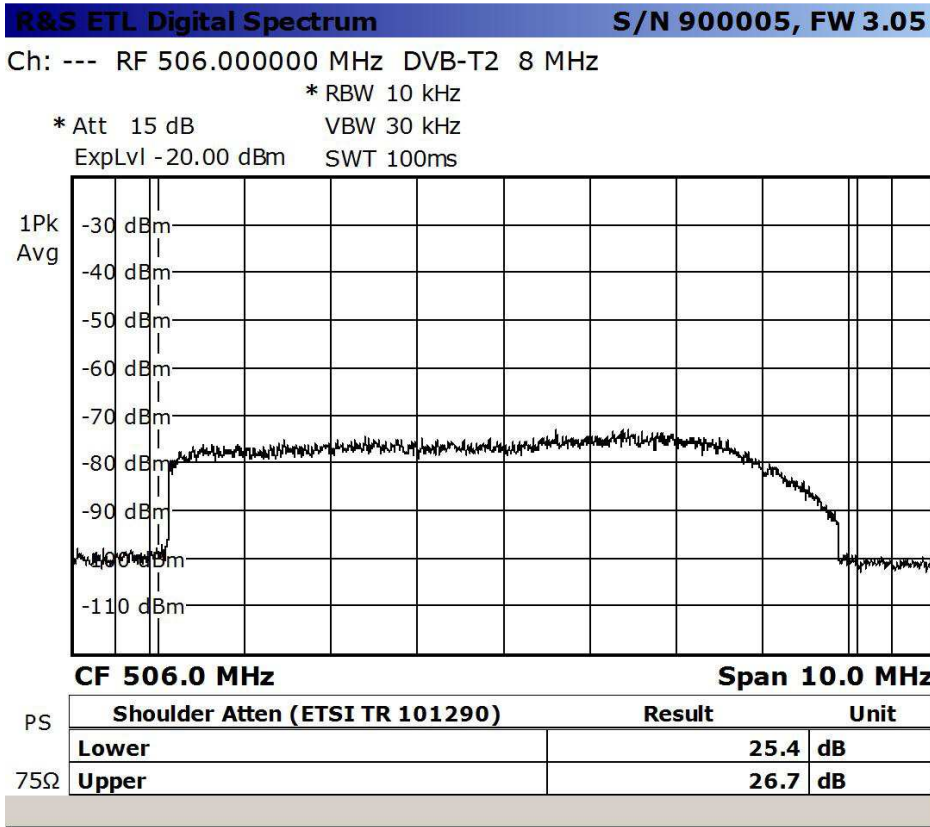
**R&S ETL Digital Overview** **S/N 900005, FW 3.05**

Ch: --- RF 506.000000 MHz DVB-T2 8 MHz

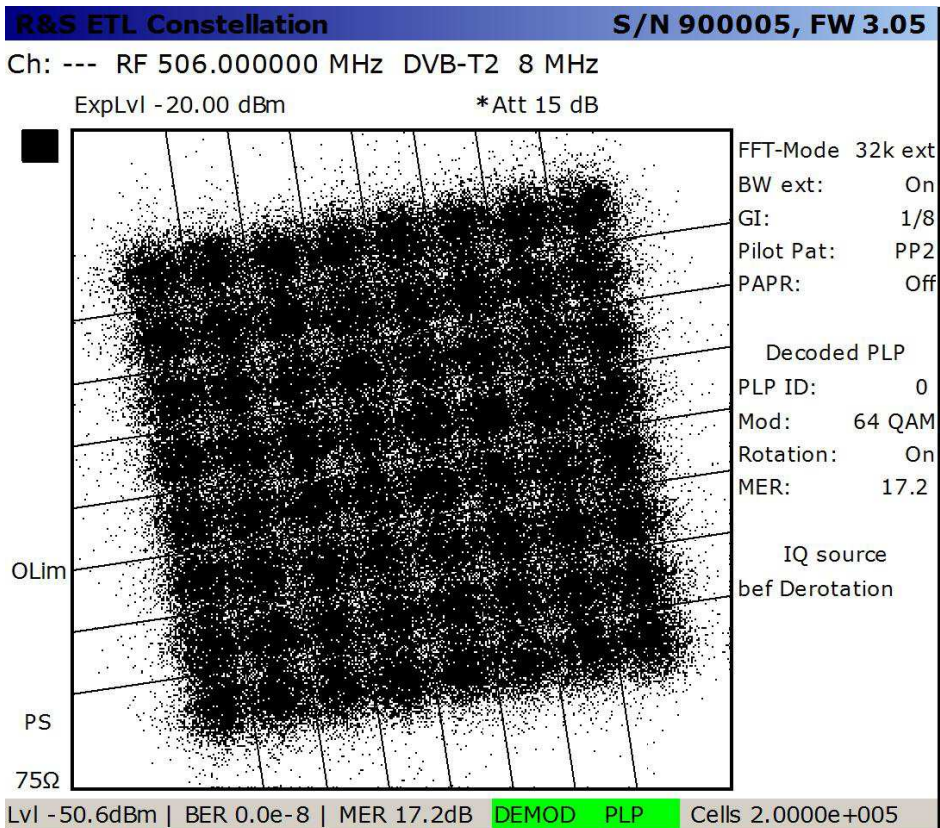
\* Att 15 dB  
 ExpLvl -20.00 dBm

	Fail	Limit	<	Results	<	Limit	Unit
		-60.0		-51.1		10.0	dBm
				normal			
				32k ext			
				1/8			
		-30000.0		1074.4		30000.0	Hz
		-100.0		-0.1		100.0	ppm
		24.0	*	15.2		----	dB
PLP Data (Decoded PLP ID 0)							
OLim	MER (PLP,rms)	24.0	*	17.4		----	dB
	BER before LDPC		*	3.4e-2(100%/1e8)		1.0e-2	
	LDPC Iterations			12.72			
	BER before BCH			0.0e-8(10%/1e9)		1.0e-5	
PS	BBFRAME Error Ratio			----		1.0e-10	
	Errored Second Ratio			0% (3/20)		10	%
75Ω	TS Packet Error Ratio			n/a (HEM)		1.0e-7	
Lvl -51.1dBm   BER 0.0e-8   MER 17.4dB <span style="color: green; font-weight: bold;">DEMOD</span> <span style="color: green; font-weight: bold;">PLP:0</span>							

Date: 24.FEB.2017 11:53:36



Date: 24.FEB.2017 11:53:24



Date: 24.FEB.2017 11:53:56

**R&S ETL Digital Overview** **S/N 900005, FW 3.05**

Ch: --- RF 506.000000 MHz DVB-T2 8 MHz

\* Att 15 dB  
ExpLvl -20.00 dBm

Fail	Limit <	Results	< Limit	Unit
Level	-60.0	-50.9	10.0	dBm
Sideband		normal		
FFT Mode		32k ext		
Guard Interval		1/8		
Carrier Freq Offset	-30000.0	1074.0	30000.0	Hz
Bit Rate Offset	-100.0	-0.1	100.0	ppm
MER (L1,rms)	24.0 *	17.1	-----	dB

PLP Data (Decoded PLP ID 0)				
OLim	MER (PLP,rms)	24.0	-----	dB
	BER before LDPC		1.0e-2	
	LDPC Iterations		-----	
	BER before BCH		1.0e-5	
PS	BBFRAME Error Ratio		1.0e-10	
	Error Second Ratio		10	%
75Ω	TS Packet Error Ratio		1.0e-7	

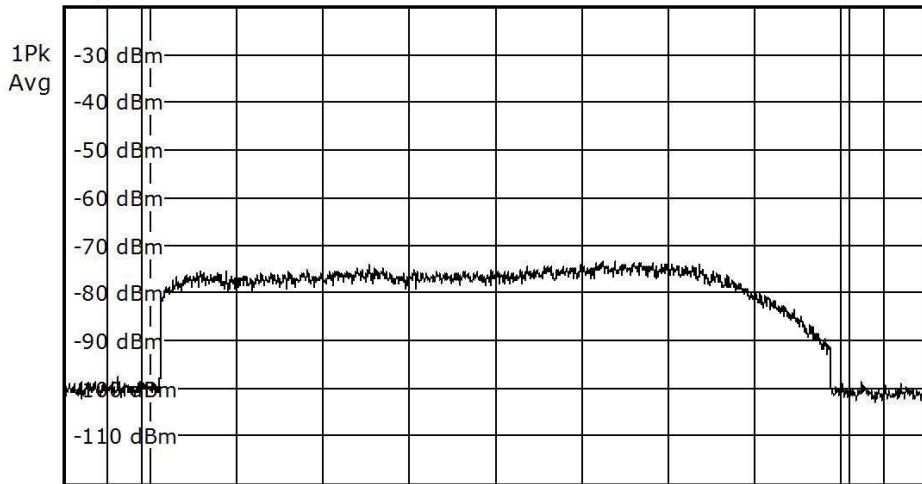
Lvl -50.9dBm | --- | --- DEMOK PLP:0

Date: 24.FEB.2017 11:57:08

**R&S ETL Digital Spectrum** **S/N 900005, FW 3.05**

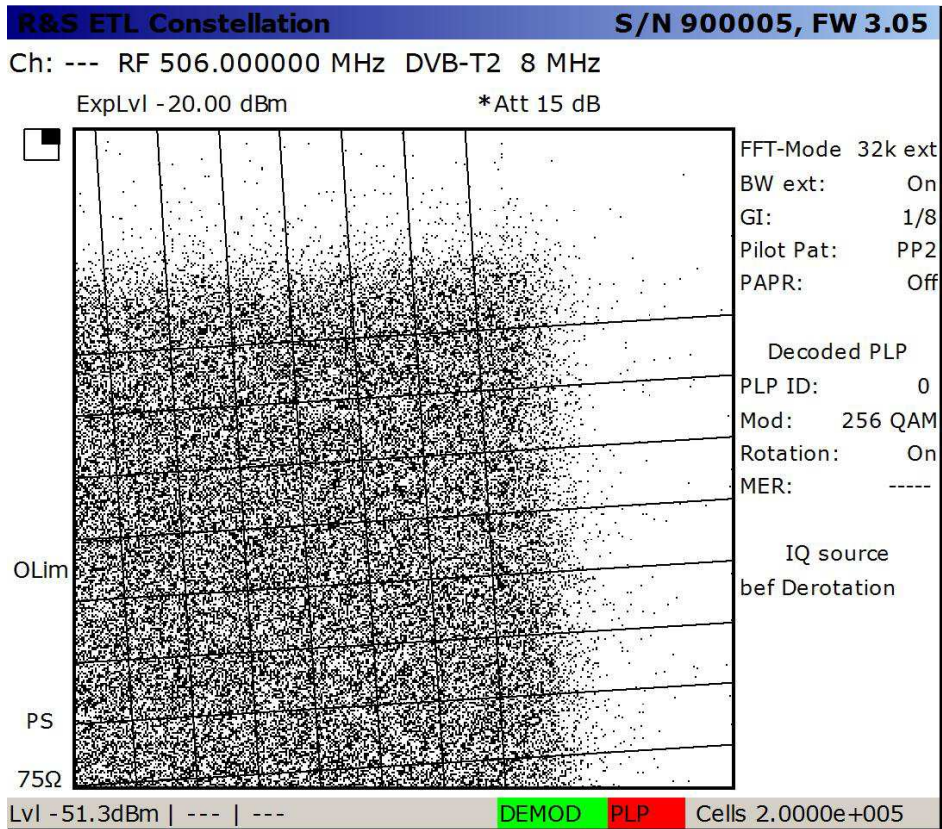
Ch: --- RF 506.000000 MHz DVB-T2 8 MHz

\* RBW 10 kHz  
\* Att 15 dB VBW 30 kHz  
ExpLvl -20.00 dBm SWT 100ms



CF 506.0 MHz		Span 10.0 MHz	
PS	Shoulder Atten (ETSI TR 101290)	Result	Unit
	Lower	24.1	dB
75Ω	Upper	25.4	dB

Date: 24.FEB.2017 11:57:01



Date: 24.FEB.2017 11:57:19

**R&S ETL Digital Overview** **S/N 900005, FW 3.05**

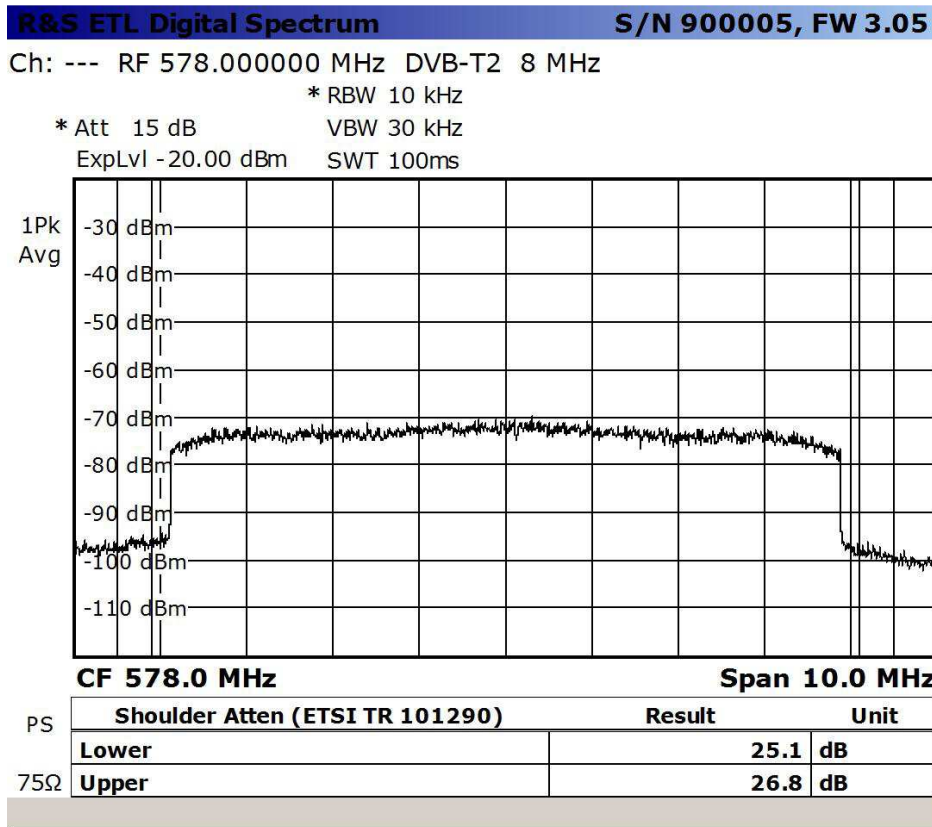
Ch: --- RF 578.000000 MHz DVB-T2 8 MHz

\* Att 15 dB  
 ExpLvl -20.00 dBm

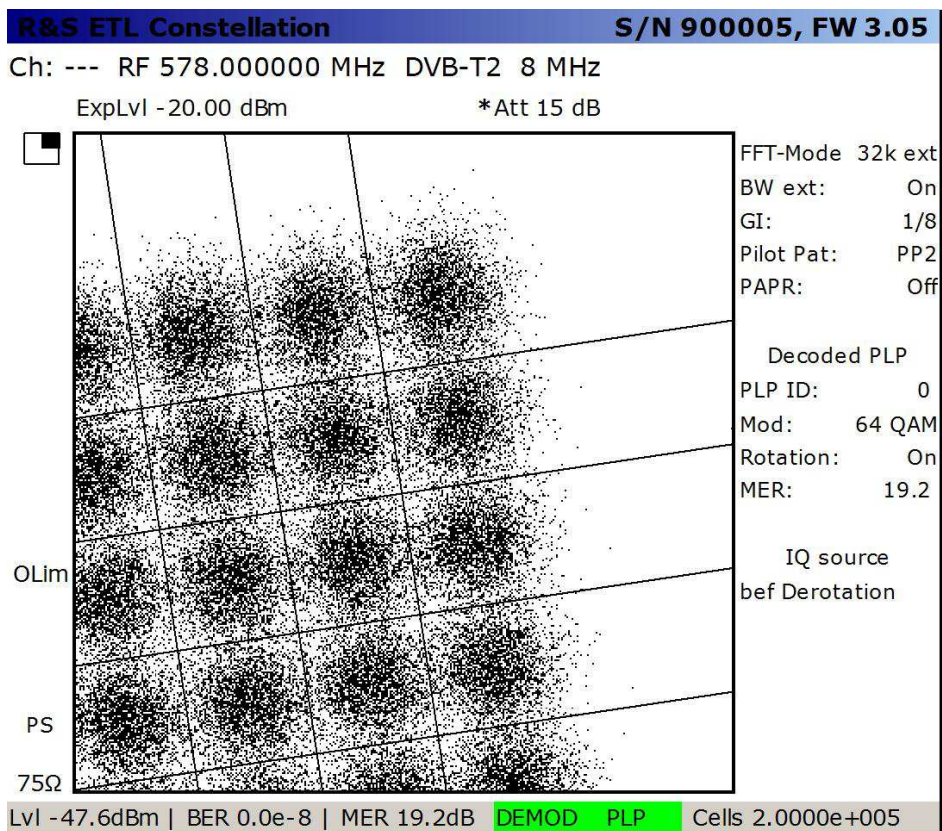
	Fail	Limit	<	Results	<	Limit	Unit
		-60.0		-47.6		10.0	dBm
				normal			
				32k ext			
				1/8			
		-30000.0		-40.9		30000.0	Hz
		-100.0		-0.1		100.0	ppm
		24.0	*	17.3		----	dB
PLP Data (Decoded PLP ID 0)							
OLim	MER (PLP,rms)	24.0	*	19.2		----	dB
	BER before LDPC		*	1.4e-2(100%/1e8)		1.0e-2	
	LDPC Iterations			5.99			
	BER before BCH			0.0e-8(14%/1e9)		1.0e-5	
PS	BBFRAME Error Ratio			----		1.0e-10	
	Errored Second Ratio			0% (5/20)		10	%
75Ω	TS Packet Error Ratio			n/a (HEM)		1.0e-7	

Lvl -47.6dBm | BER 0.0e-8 | MER 19.2dB DEMOD PLP:0

Date: 24.FEB.2017 12:35:45



Date: 24.FEB.2017 12:35:31



Date: 24.FEB.2017 12:35:57

**R&S ETL Digital Overview** **S/N 900005, FW 3.05**

Ch: --- RF 578.000000 MHz DVB-T2 8 MHz

\* Att 15 dB  
ExpLvl -20.00 dBm

Fail	Limit	<	Results	<	Limit	Unit
Level	-60.0		-50.3		10.0	dBm
Sideband			normal			
FFT Mode			32k ext			
Guard Interval			1/8			
Carrier Freq Offset	-30000.0		-42.2		30000.0	Hz
Bit Rate Offset	-100.0		-0.1		100.0	ppm
MER (L1,rms)	24.0	*	16.8		-----	dB

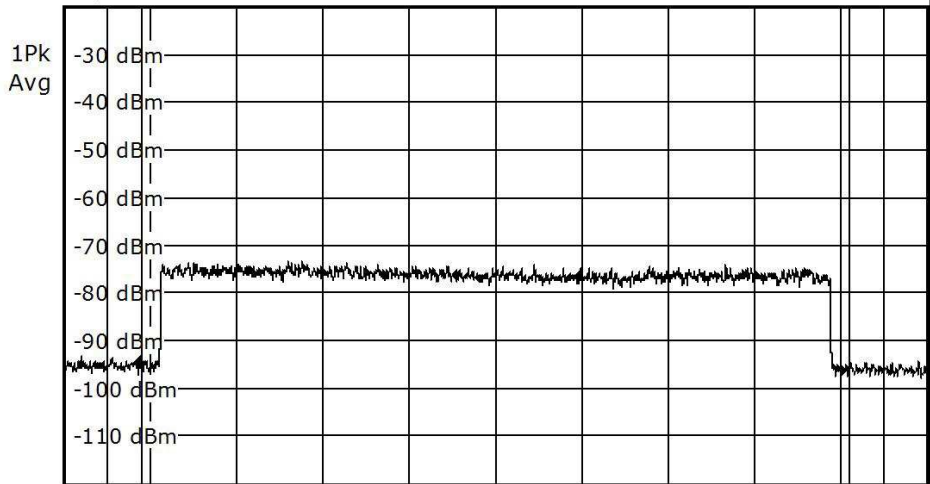
PLP Data (Decoded PLP ID 0)						
OLim	MER (PLP,rms)	24.0	*	18.7	-----	dB
	BER before LDPC		*	1.7e-2(100%/1e8)	1.0e-2	
	LDPC Iterations			6.69		
	BER before BCH			0.0e-8(20%/1e9)	1.0e-5	
PS	BBFRAME Error Ratio			0.0e-3(10%/1e4)	1.0e-10	
	Error Second Ratio			0% (7/20)	10	%
75Ω	TS Packet Error Ratio			n/a (HEM)	1.0e-7	
Lvl -50.3dBm   BER 0.0e-8   MER 18.7dB DEMOD PLP:0						

Date: 24.FEB.2017 12:52:46

**R&S ETL Digital Spectrum** **S/N 900005, FW 3.05**

Ch: --- RF 578.000000 MHz DVB-T2 8 MHz

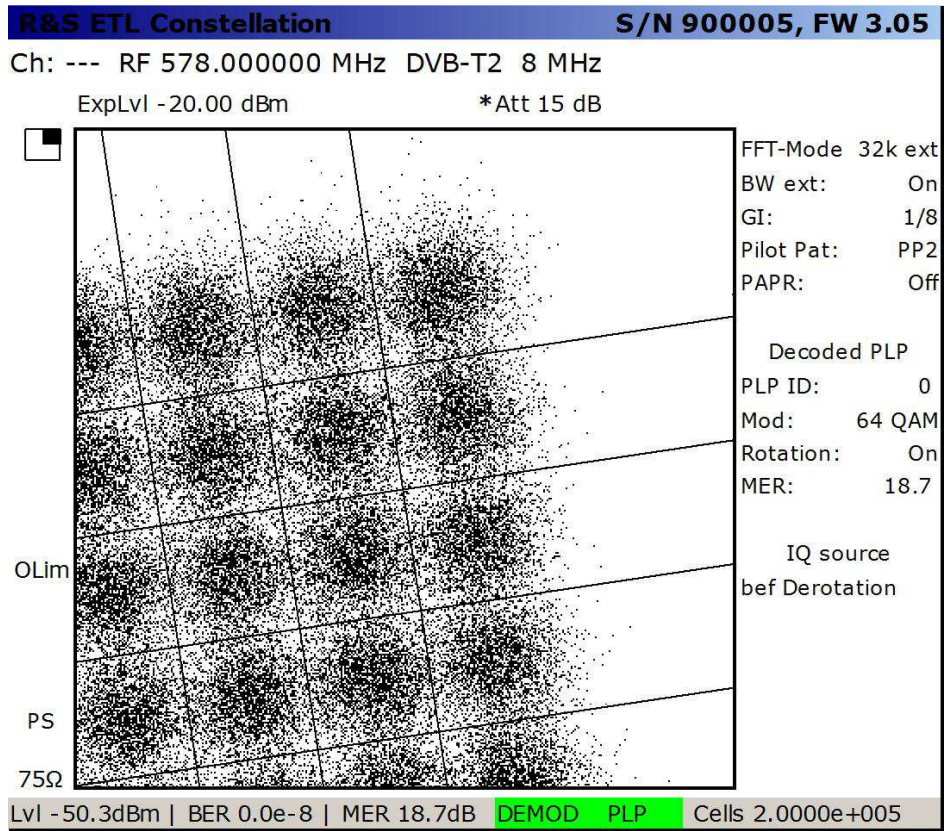
\* RBW 10 kHz  
\* Att 15 dB VBW 30 kHz  
ExpLvl -20.00 dBm SWT 100ms



CF 578.0 MHz		Span 10.0 MHz	
PS	Shoulder Atten (ETSI TR 101290)	Result	Unit
	Lower	19.9	dB
75Ω	Upper	21.3	dB

Date: 24.FEB.2017 12:52:28





Date: 24.FEB.2017 12:52:57