

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Provozně ekonomická fakulta**

**Katedra informačních technologií**



**Bakalářská práce**

**DIGITÁLNÍ TELEVIZNÍ VYSÍLÁNÍ**

**Martin Bohdanecký**

© 2013 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra informačních technologií

Provozně ekonomická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Bohdanecký Martin

Podnikání a administrativa Hradec Králové

Název práce

**Digitální televizní vysílání**

Anglický název

**Digital Video Broadcasting**

### Cíle práce

Hlavním cílem práce je poskytnout komplexní přehled o současných systémech a možnostech televizního vysílání, umožnit porovnání jednotlivých systémů, včetně vysvětlení základních principů a pojmů. Ve zpracování je kladen důraz zejména na pozemní šíření, které představuje stále nejčastější způsob televizního příjmu. Dílčím cílem práce je přiblížit televizní přijímač v multimediálním světě s odhadem trendu v odvětví televizního vysílání. Zároveň si však práce klade za cíl zhodnocení technologických a ekonomických aspektů a přínosů pro provozovatele i uživatele.

### Metodika

Bakalářská práce je členěna do několika kapitol, v rámci nichž je daný okruh dělen do podkapitol dle zaměření. Úvodní kapitoly se věnují definování jednotlivých okruhů problematiky televizního vysílání. Následující kapitola se zabývá vymezením základních telekomunikačních pojmů a objasněním důležitých principů systému DVB, druhy distribuce s alternativními možnostmi. V teoretické části jsou postupně rozebrány způsoby komprimování obrazu a zvuku, protichybová ochrana, multiplexování a modulování informace na nosné kmitočty. Další úsek seznamuje se způsobem vysílání televizního signálu a následně jeho příjmem, jak pevným tak mobilním. Další část se týká přímo televizního přijímače, jeho zobrazovacích možností a hlavně využití komunikačních portů přístroje pro vytvoření multifunkčního celku. Následuje predikce vývoje v odvětví, seznámení s novými technologiemi a službami, které mohou mít potenciál pro uplatnění. Završením práce je stručná statistická charakteristika, a zhodnocení systému z ekonomického hlediska, včetně ekonomických přínosů.

### Harmonogram zpracování

Studium odborných informačních zdrojů, stanovení dílčích cílů a postupu řešení: 06/2012

Zpracování přehledu řešené problematiky: 07/2012 – 08/2012

Vypracování vlastního řešení, diskuse, doporučení a závěry: 09/2012 - 02/2013

Tvorba finálního dokumentu práce: 02/2013 – 03/2013

Odevzdání práce a tezí: 03/2013

## **Rozsah textové části**

30-40 stran

## **Klíčová slova**

DVB, televizní vysílání, vysokofrekvenční signál, kódování, multiplex, pokrytí signálem, HDTV, TV přijímač, vysílač, anténa,

---

## **Doporučené zdroje informací**

WHITAKER, Jerry. Standard Handbook of Broadcast Engineering. United States: McGraw-Hill, 2005. 1104 s. ISBN 0071451005 / 9780071451000

WHITAKER, Jerry, BENSON, Blair. Standard Handbook of Video and Television Engineering. United States: McGraw-Hill, 2003. 1300 s. ISBN 0071411801 / 9780071411806

LEGIŇ, Martin. Televizní technika DVB-T.

Praha: BEN – technická literatura, 2007. 264 s. ISBN 978-80-7300-204-3

KOŠŤÁL, Emil. DVB systém. Prof. Ing. František VEJRAŽKA, CSc.

Praha: Sborník přednášek Radiokomunikace, ČVUT – Fakulta elektrotechnická, 2000. s 257-277.

ŽALUD, Václav. Moderní způsoby ochrany rádiového přenosu.

Pardubice: Sborník přednášek Radiokomunikace 2010, UNIT. s 135-153.

ETSI EN 300 744 V1.6.1 (2009-01), Digital Video Broadcasting (DVB);

Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television. EU: ETSI, 2009.

<http://www.dvb.org/technology/standards/>

DOEVEN, Jan. DTT Networks in Evolution;

Making changes to the digital terrestrial television platform. EU: DIGITAG, 2008.

[http://www.digitag.org/DTTResources/DTT\\_Networks\\_in\\_Evolution.pdf](http://www.digitag.org/DTTResources/DTT_Networks_in_Evolution.pdf)

---

## **Vedoucí práce**

Vaněk Jiří, Ing., Ph.D.

## **Termín odevzdání**

březen 2013

---

**doc. Ing. Zdeněk Havlíček, CSc.**

Vedoucí katedry

---

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

Děkan fakulty

**V Praze dne 13.2.2012**

---

### Čestné prohlášení

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

V Praze dne 1. března 2013

---

### **Poděkování**

Rád bych zde poděkoval panu Ing. Jiřímu Vaňkovi, Ph.D. za cenné připomínky a odborné rady, kterými přispěl k vypracování této bakalářské práce.

# DIGITÁLNÍ TELEVIZNÍ VYSÍLÁNÍ

---

## DIGITAL VIDEO BROADCASTING

### Souhrn

Vývoj v televizním vysílání je důsledkem uvedení nových služeb, norem nebo změn technologií. V dnešní době probíhá v pozemním televizním vysílání mnoho změn. Televizní a distribuční společnosti představují nové služby a zlepšují ty stávající. Změny v digitálním televizním vysílání mohou být nezbytné také z důvodu změn norem. Trh však nakonec rozhodne, které služby digitálního pozemního vysílání budou nabízeny uživatelům.

Nejpodstatnějším úkolem této práce je zachytit průběh změny na digitální televizní vysílání. Jedna z hlavních částí se věnuje měření parametrů sítí. Práce nakonec představuje nové služby a předpovídá další vývoj v odvětví, jako například televizi ve vysokém rozlišení (HDTV). V závěru se práce zaměřuje na technologicko-ekonomické přínosy pro uživatele.

### Summary

Development of television broadcasting results in the introduction of new services, regulatory obligations or changes in technology. Nowadays there have been a lot of changes in the digital terrestrial television network. Broadcasters and network operators introduce new services and improve the existing ones. Changes in digital TV networks may also be necessary due to regulatory reasons. The market will ultimately decide which services of the digital terrestrial television broadcasting will be provided to users.

The primary aim of this thesis is to detect a process of changeover to digital video broadcasting. One of the main parts deals with measurement of network parameters. Finally, it introduces new services and predicts following development in the branch, such as high definition television (HDTV). Finally the work focuses on technological and economic aspects of users' benefits.

**Klíčová slova:** DVB, televizní vysílání, vysokofrekvenční signál, kódování, multiplex, pokrytí signálem, HDTV, TV přijímač, vysílač, anténa

**Keywords:** Digital video broadcasting, television broadcast, high frequency signal, coding, multiplex, coverage, high definition television, TV set (television receiver), transmitter, aerial (antenna)

## Obsah:

1	<b>Úvod</b> .....	8
2	<b>Cíl práce a metodika</b> .....	9
2.1	Cíl práce.....	9
2.2	Metodika .....	9
3	<b>Teoretická východiska</b> .....	11
3.1	Vývoj televizního vysílání.....	11
3.2	Systémy digitálního vysílání.....	12
3.2.1	Projekt DVB.....	13
3.2.1.1	Družicový přenos DVB-S.....	15
3.2.1.2	Kabelová distribuce DVB-C.....	15
3.2.1.3	Pozemní vysílání DVB-T .....	15
3.3	Televize přes internetový protokol IPTV .....	16
4	<b>Analýza systému DVB (DVB-T)</b> .....	20
4.1	Zdrojové kódování obrazu a zvuku .....	21
4.1.1	Standard MPEG-2 (H.262) .....	21
4.1.2	Standard MPEG-4 (H.264-AVC).....	22
4.2	Multiplexování a datové toky .....	23
4.3	Kanálové kódování .....	24
4.3.1	FEC (Forward Error Correction).....	25
4.3.2	Modulace OFDM .....	27
4.3.3	Ochranný interval a SFN síť .....	29
4.4	Druhy příjmu signálu DVB-T .....	30
4.4.1	Pevný příjem .....	30
4.4.2	Mobilní příjem .....	30
4.5	Přijímací antény .....	31

<b>5</b>	<b>Vlastní měření parametrů v DVB-T</b> .....	33
5.1	Měření modulační chybovosti MER.....	34
5.2	Měření chybovosti BER .....	34
5.3	Subjektivní hodnocení kvality .....	34
5.4	Příklad měření pokrytí signálem DVB-T.....	35
<b>6</b>	<b>Budoucí trendy televizního vysílání</b> .....	43
6.1	Systém DVB-T2 .....	43
6.2	Televize ve vysokém rozlišení HDTV .....	46
<b>7</b>	<b>Zhodnocení výsledků</b> .....	49
7.1	Ekonomické důvody přechodu k digitálnímu vysílání .....	49
7.2	Náklady pro vysílání a ekonomika dodatečného pokrytí.....	50
7.3	Statistická charakteristika digitálního televizního vysílání.....	52
<b>8</b>	<b>Závěr</b> .....	56
	Seznam použitých zdrojů.....	57
	Seznam použitých obrázků, tabulek a grafů .....	59
	Seznam použitých zkratk .....	61
	Příloha 1 – Tabulka kanálů pro DVB-T/T2 .....	63
	Příloha 2 – Přehled parametrů sítí užívaných v ČR.....	64



# 1 Úvod

Bakalářská práce se věnuje tématu, které se v posledních letech často diskutovalo a bezprostředně se více či méně dotklo většiny populace. Téměř každý, kdo vlastní televizní přijímač musel v posledních letech sám nebo prostřednictvím odborných firem řešit problém přechodu na digitální televizní vysílání. Někdo ke stávajícímu přijímači pořídil pouze digitální převodník, jiný si pořídil nový přijímač s implementovaným digitálním tunerem a někdo se rozhodl pro změnu distribuční cesty mezi pozemně, družicově nebo kabelově šířeným signálem. Nejmladší alternativou je možnost příjmu televizního vysílání prostřednictvím internetové sítě.

V dnešní době plné komunikačních technologií se sice na úkor televizního vysílání stále více uplatňuje internetová komunikace, nicméně pro většinu obyvatel je televizní přijímač stále dominantním zdrojem nejen informací, ale i určité formy trávení volného času nebo odpočinku. Obrovské množství televizorů, kterými jsou domácnosti vybaveny, je z ekonomického hlediska velmi zajímavé pro firmy nabízející statky nebo služby a mohou tak prostřednictvím reklam zvýšit povědomí spotřebitelů. V práci však nebude hodnocena obsahová část vysílání, ale především technické a současně i ekonomické hledisko digitální televize.

Tato práce zmiňuje důvody přechodu k digitálnímu vysílání a vedle technických přínosů zohledňuje i ekonomické aspekty. Zavádění technických novinek není jen dobrá vůle výrobců a distributorů, kteří chtějí obohatit konečného zákazníka o nové a kvalitnější služby, ale v první řadě jde o dobře promyšlený marketingový tah, jak obohatit zejména sebe a z nové služby získat co nejvíce. Nové technologie otevírají prostor třeba pro placenou televizi, což je zpřístupnění určitého obsahu pouze vybrané skupině příjemců nebo další služby, které jsou v práci podrobněji zmíněny.

V následujícím textu je zachycen vývoj televizního vysílání z pohledu technického a následně zmíněny přínosy a úspory pro provozovatele i uživatele.

## **2 Cíl práce a metodika**

### **2.1 Cíl práce**

Hlavním cílem práce je poskytnout komplexní přehled o současných systémech a možnostech televizního vysílání. Ve zpracování je kladen důraz zejména na pozemní šíření, které představuje stále nejčastější způsob televizního příjmu. Zároveň si však práce klade za cíl zhodnocení ekonomických aspektů a přínosů pro provozovatele i uživatele.

Mezi dílčí cíle patří:

- nastínění počátků televizního vysílání, základní porovnání analogové a digitální televize
- vysvětlení základních principů a seznámení s některými telekomunikačními pojmy
- obeznámení s metodikou měření pokrytí DVB-T signálem, praktická ukázka použití měřicích přístrojů a zpracování naměřených dat
- odhad předpokládaného vývoje v oblasti televizního vysílání
- zhodnocení z technického a ekonomického hlediska, včetně přínosu pro uživatele

### **2.2 Metodika**

Bakalářská práce je členěna do několika kapitol, v rámci nichž je daný tématický okruh dělen do podkapitol dle zaměření. V úvodních kapitolách lze nalézt základní porovnání mezi pozemním analogovým a digitálním příjmem, výhody a nevýhody obou systémů. Další úsek se zabývá vymezením základních telekomunikačních pojmů a objasněním důležitých principů systému DVB a druhů distribuce s alternativními možnostmi. V teoretické části jsou postupně rozebrány způsoby komprimování obrazu a zvuku, protichybová ochrana, multiplexování a modulování informace na nosné kmitočty. Následující kapitola seznamuje se způsobem vysílání televizního signálu a to jak pro pevný tak mobilní příjem. Každý příjem si však žádá rozdílné možnosti antén, jejichž stručná charakteristika bude následovat. Další část se týká přímo měření parametrů v sítích DVB-T, měření chybovosti a subjektivního hodnocení kvality. Praktická část je doplněna příkladem měření pokrytí signálem DVB-T pomocí měřicích přístrojů a grafického softwaru.

Následuje predikce možného vývoje odvětví, seznámení s novými technologiemi a službami, které mohou mít potenciál pro uplatnění. Završením práce je stručná statistická charakteristika, a zhodnocení systému z ekonomického hlediska, včetně ekonomických přínosů.

Vzhledem k zaměření práce a s tím souvisejícím velkým množstvím odborných termínů a zkratk, je součástí práce rovněž seznam použitých zkratk.

## 3 Teoretická východiska

Tato kapitola je věnována především dramaticky se rozvíjející oblasti digitální televize, která oproti původním předpokladům dospěla překvapivě rychle do stadia veřejného vysílání a v současné době je celosvětově nejrozšířenějším komunikačním prostředkem.

### 3.1 Vývoj televizního vysílání

Pro značnou část této podkapitoly byly použity údaje ze zdroje [1].

První pokusy o uskutečnění televizního přenosu za pomoci elektronek byly zaznamenány v roce 1923 na území Spojených států. Osm let poté již byly spuštěny první experimentální televizní stanice a roku 1939 se započala sériová výroba televizorů. V tom samém roce už mělo několik set televizních diváků žijících v New Yorku a okolí možnost na svých televizorech sledovat slavnostní otevření světové výstavy prezidentem F. D. Rooseveltem. K dalšímu rozšíření došlo až po několikaletém útlumu v době války. Zatímco v roce 1946 bylo v USA na 6 400 majitelů televizorů, o dva roky později už jich bylo na milión a k výběru bylo zhruba 60 televizních stanic. V roce 1950 už bylo více než 6 miliónů televizorů a 106 stanic v 64 městech. V roce 1962 bylo už 58 miliónů televizních přijímačů nainstalováno ve 48 miliónech domácností, z tohoto je patrné dva i více televizorů v některých domácnostech. Ve Spojených státech v té době vlastnilo telefon jen 79 % domácností, ale televizor byl vlastněn 95 % domácností.

Zdroj [1] také uvádí, že v Československu začíná televize vysílat až v roce 1953, spuštění bylo naplánováno na 1. květen, aby tento technický pokrok zpestřil oslavy svátku práce. První televizní vysílač byl zprovozněn v Praze na Petříně a vysílalo se ze studia v Měšťanské besedě. Dalším důležitým milníkem v televizním vysílání bylo doplnění vysílání o barvonosnou složku, což umožnilo na příslušně vybaveném televizním přijímači sledovat barevný obraz. Zavedení barevného systému (označovaného jako PAL) do provozu v roce 1990 bylo prakticky posledním technickým zdokonalením systému analogového televizního vysílání. Analogové televizní vysílání bylo už na hranici svých možností. Zajímavostí, kterou si dnes možná málokdo uvědomí je, že televize vysílala v roce 1953 pouze 3 dny v týdnu, pak se postupně vysílání rozšiřovalo a až v roce 1958 začala televize vysílat 7 dní v týdnu.

Na prahu současného milénia se v ČR začalo experimentovat s novou formou vysílání a to v digitální formě. Byl spuštěn pilotní projekt DVB-T v Praze a Brně. Je potřeba zdůraznit, že šlo o vysílání pozemní, neboť v satelitním vysílání tedy ve formě DVB-S digitální systém již několik let fungoval. V letech 2005 až 2012 docházelo k pozvolnému nasazování systému DVB-T v pozemním televizním vysílání v několikaměsíčním souběhu se starou analogovou formou a postupnému vypínání analogového vysílání. Systém analogového televizního vysílání se stal v ČR historií, tak jako v zemích západní Evropy. V některých částech zejména východní Evropy, analogový systém ještě funguje, ale i zde je na ústupu a většinou existují harmonogramy k přechodu na modernější formu digitálního přenosu.

Dnes se u nás již s analogově distribuovaným obsahem nesetkáme, vyjma některých méně vhodných technických řešení na tzv. poslední míli, což může být konverze na společné televizní anténě bytového domu nebo i od distribučního uzlu kabelové televize.

V současnosti je například ve Velké Británii, která je považována za průkopníka v zavádění systému DVB-T, v běžném provozu systém druhé generace digitálního vysílání, který je označován zkratkou DVB-T2. V ČR zatím v roce 2011 proběhlo testovací vysílání tohoto systému.

### **3.2 Systémy digitálního vysílání**

Přechod od analogového televizního vysílání k digitální formě samozřejmě měl několik důvodů. Důsledným prozkoumáním všech možných inovací zjistíme, že každé technické řešení je uváděno do praxe s jistou vidinou ekonomického zhodnocení. Většina těchto příčin je podrobněji popsána v kapitole věnující se ekonomickým důvodům přechodu k digitálnímu vysílání.

Myšlenka digitalizovat přenos byla důsledkem několika podnětů. Nejvýznamnějším podnětem k digitalizaci byla určitá omezenost kmitočtového spektra, kde se nejvíce kritické jevílo zejména potřebné kmitočtové pásmo přenosu. Evropa narozdíl od USA a Japonska, zvolila specifický přenosový mód tím, že se sjednotila na DVB, tento systém také převzala většina zemí světa. V Severní Americe se prosadila odlišná norma ATSC. Také Japonsko razí vlastní systém ISDB. Efektivnost využití kapacity kanálů dává předpoklad uskutečnění interaktivity v podobě televize šířené prostřednictvím internetového protokolu (známé jako

IPTV), kde můžou být poskytovány služby jako selektivní výběr obsahu (Video on Demand) nebo placená televize (Pay TV) [1].

Zatímco v Evropě schopnost systému přenést program ve vysokém rozlišení, nebo-li HDTV kvalitě, je pouze vítanou možností, v USA byl požadavek na přenos HDTV jedním ze základních požadavků [2]. Vzhledem k šířce kanálu v systému DVB-T bylo v počátcích s dostupnými komprimačními metodami velmi obtížné uskutečnit dostatečně odolný přenos datového toku odpovídající jednomu programu v kvalitě HDTV. Byla tedy přijata norma americké digitální televize známá pod označením ATSC.

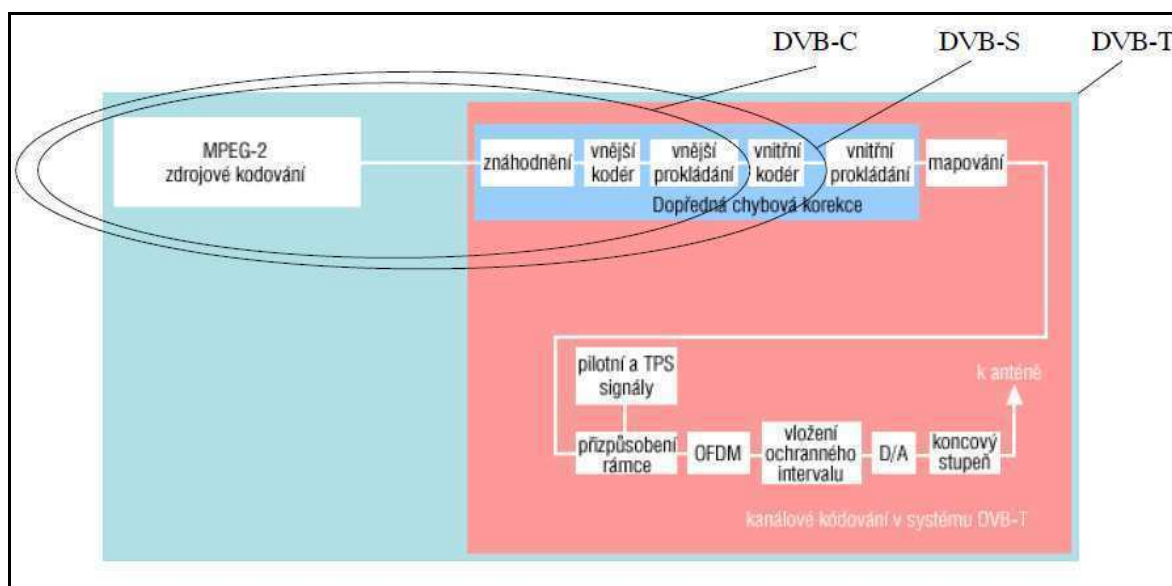
Při porovnávání tohoto systému s evropským systémem DVB je patrné, že snahou obou systémů je určitý pokrok ve zkvalitnění a rozšíření nabídky služeb při současné úspoře frekvenčního spektra. Systém DVB je všeobecně považován za technologicky progresivnější (modulace OFDM, ochranný interval), taktéž je univerzálnější a flexibilnější (volba parametrů systému, volba kvality multiplexu). Naproti tomu systém ATSC umožňuje dostatečně odolný přenos programu v HDTV kvalitě v 6 MHz kanálu. U zdrojového kódování videa oba systémy primárně využívají normy MPEG-2, později se však objevila i norma MPEG-4, určená především pro další generaci DVB. U kódování audia je však rozdíl, DVB užívá pro audio také normu MPEG-2, ATSC však zvukovou kompresi DOLBY AC3. Vysokofrekvenční přenos má u obou systémů odlišnou koncepci. Základní rozdíl vysokofrekvenčního přenosu spočívá v odlišném počtu nosných.

### **3.2.1 Projekt DVB**

Jde o společný standard digitální televize pro Evropu. DVB je mezinárodní organizace vytvořená vysílacími společnostmi, televizními společnostmi, operátory, distributory, výrobci telekomunikačních zařízení, softwarovými společnostmi, regulátory a dalšími zástupci s celkem 260 členy z 35 států světa [4]. Založení konsorcia se datuje k roku 1993 a od té doby jsou specifikace DVB respektovanými doporučeními v oblasti digitální televize. Specifikace platné pro DVB vydává Evropský telekomunikační institut (ETSI) ve spolupráci s Evropskou unií pro televizní a rozhlasové vysílání (EBU). DVB dnes podporuje různé úrovně kvality od televize s nízkou rozlišovací schopností (LDTV), přes standardní formát televize (SDTV), až po televize se schopností vysokého rozlišení

(HDTV) a od monofónního zvuku, přes stereofónní až po prostorový zvuk 5.1 (Dolby Digital).

Projekt je normalizován diferencovaně, pro družicovou (DVB-S), kabelovou (DVB-C) a pozemní distribuci (DVB-T). Tyto systémy mají řadu prvků podobných, ale v mnohém se liší a kompatibilita je pouze částečná. Technicky i administrativně je nejobtížnější zavedení pozemní digitální televize. Mezi hlavní problémy patří nedostatek volných frekvencí, interference, koexistence s analogovou TV nebo-li tzv. simulcasting. Z tohoto důvodu byla v realizaci předstížena satelitní soustavou DVB-S.



Obr. 1 Vyznačení společných bloků pro DVB-C, DVB-S a DVB-T [4].

Projekt se dále zabývá konvergencí ve vysílání, mobilitou a multimédií. Specifikace DVB se týkají také interaktivní televize, mobilního příjmu, širokopásmového internetu nebo platformy multimediálních domácích zařízení.

Systém DVB byl původně koncipován pro mnoho platform, například bylo počítáno se standardem DVB-H (Handheld) tzn. televize do ruky. Jde především o placený příjem digitální televize prostřednictvím mobilní sítě za využití přenosných terminálů. Přestože se od tohoto standardu mnohé očekávalo a mnozí poskytovatelé v něm spatřovali možnost šíření jako placené služby, standard se v České republice, vyjma testovacího provozu, prakticky nerozeběhl. Velmi nákladné budování infrastruktury by se ekonomicky

nevyplatilo, protože o službu byl jen minimální zájem. V některých evropských zemích se systém zprovoznil, ale po neúspěšném a ztrátovém provozu, byl již téměř všude zastaven.

### 3.2.1.1 Družicový přenos DVB-S



V principu jde o vyslání signálu ze Země na oběžnou dráhu, kde je družicí signál zpracován a následně zpět odražen směrem k Zemi. Z toho plyne hlavní výhoda tohoto systému a tou je, že jedinou družicí lze pokrýt signálem velké území, které překračuje hranice států, většinou jde o území bezmála celých kontinentů. Přijímaný signál je vysoce směrový, proto je k příjmu nutná parabola s konvektorem. Pro satelitní televizní vysílání jsou používány kmitočty v pásmu 10,7 – 12,5 GHz.

Ochrana dat je zajištěna vnitřním konvolučním kódováním FEC s volitelným kódovacím poměrem 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 a 7/8 a s pevnou délkou. Volba tohoto parametru umožní přizpůsobit zvolenou datovou zátěž určitému transpondéru nebo dosáhnout požadovaný stupeň ochrany dat. Je zde použita čtyřstavová fázová modulace QPSK. Pro představu, přes transpondér s šířkou pásma 36 MHz s parametrem  $FEC = 3/4$  lze přenášet datový tok 39 Mbit/s.

### 3.2.1.2 Kabelová distribuce DVB-C



Kabelový systém je určen k zajištění pokračujícího přenosu družicových signálů kabelovými sítěmi až k uživateli. Systém je navržen pro kabelové sítě s šířkou pásma 8 MHz. Modulace bývá nejčastěji 256 QAM, může být i 64 QAM, systém však může použít i odolnější méněstavovou modulaci 16 nebo 32 QAM.

### 3.2.1.3 Pozemní vysílání DVB-T



Oproti předchozím systémům, byl v DVB-T kladen hlavní důraz na vývoj multiplexu s ortogonálním rozdělením kmitočtů OFDM. Jde o modulační metodu s vícenásobnou nosnou, kde modulace individuální nosné může být vybrána z běžných modulačních metod



(např.  $2^n$  - QAM nebo  $2^n$  - PSK). To dovoluje volbu mezi přenosovou kapacitou a odolností systému. Vysokého počtu nosných je dosaženo digitálním zpracováním s tzv. inverzní Fourierovou transformací na vysílači a demodulování pomocí Fourierovy transformace v přijímači. Výhodou systému s velkým počtem nosných je necitlivost vůči vícecestnému šíření signálu, které se uplatní zejména při příjmu. Uvedené necitlivosti je dosaženo zavedením ochranných intervalů. Stejně jako u DVB-S je zaveden další stupeň ochrany proti shlukům chyb a to konvolučním kódováním.

Spojení několika zdrojových datových toků různých služeb do jednoho přenosového kanálu zajišťuje multiplex. Přenosový rádiový kanál o šířce 8 MHz je šířen prostřednictvím pozemního vysílače, resp. sítě vysílačů. Službu nebo-li multiplex představuje jeden či více toků obrazových, zvukových a teletextových dat, dále dat podmíněného přístupu včetně operačních dat, atd. Limitem pro sestavení kombinací je kapacita kanálu. Provozovatel může v rámci kapacity měnit konfiguraci datových toků, vkládat a separovat služby aniž by bylo nutné tok dat úplně demultiplexovat, dekodovat a zpětně kódovat.

V této kapitole byly shrnuty poznatky ze zdroje [4].

### 3.3 Televize přes internetový protokol IPTV

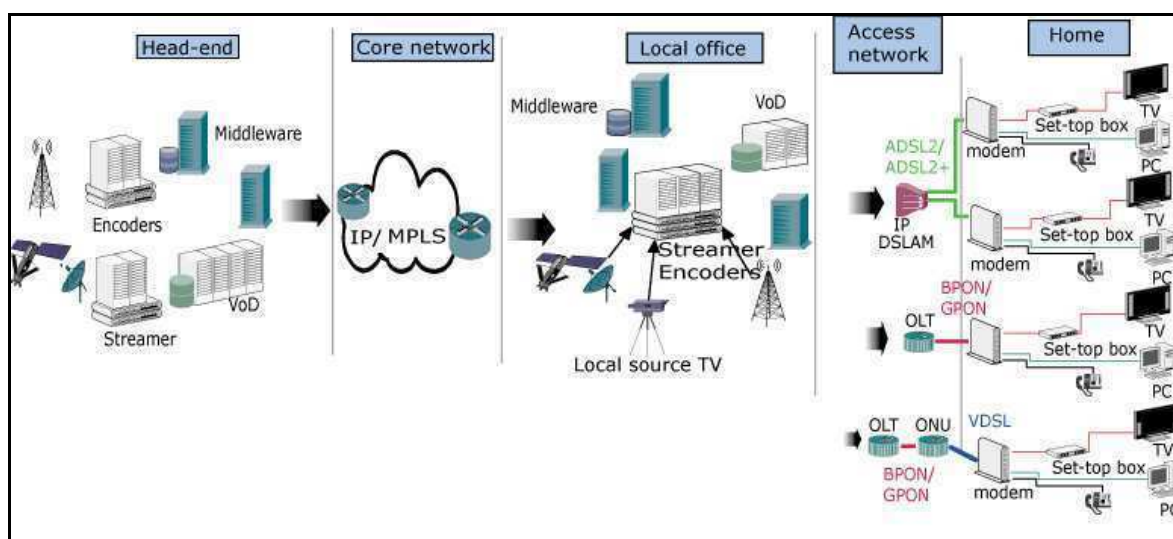


IPTV představuje televizní vysílání, ale také video na přání (VoD) a audio obsah přes vysokorychlostní síť. Pro koncového uživatele IPTV služba vypadá a funguje jako standardní televizní vysílání. Z pohledu poskytovatele IPTV služba představuje zpracování a bezpečné poskytování video obsahu prostřednictvím datových sítí založených na IP protokolu. Na rozdíl od konvenčních systémů jde o obousměrnou komunikaci, což značně zvyšuje nároky na přenosovou síť. Ke zpracování této podkapitoly byl použit zdroj [3].

Topologie sítě začíná na hlavním odbavovacím pracovišti (tzv. Super head-end), v tomto bodě vstupuje do sítě daného provozovatele většina televizních programů a radiových stanic. Způsob, jakým jsou příslušné stanice získány, může být více. Jedná se především o satelitní (DVB-S, DVB-S2), pozemní (DVB-T) a kabelové (DVB-C) vysílání. Odbavovací centrum zpracovává vstupní video nebo audio signály. Digitalizovaný vstupní signál může být překódován do jiného vhodného formátu. Z odbavovacího pracoviště

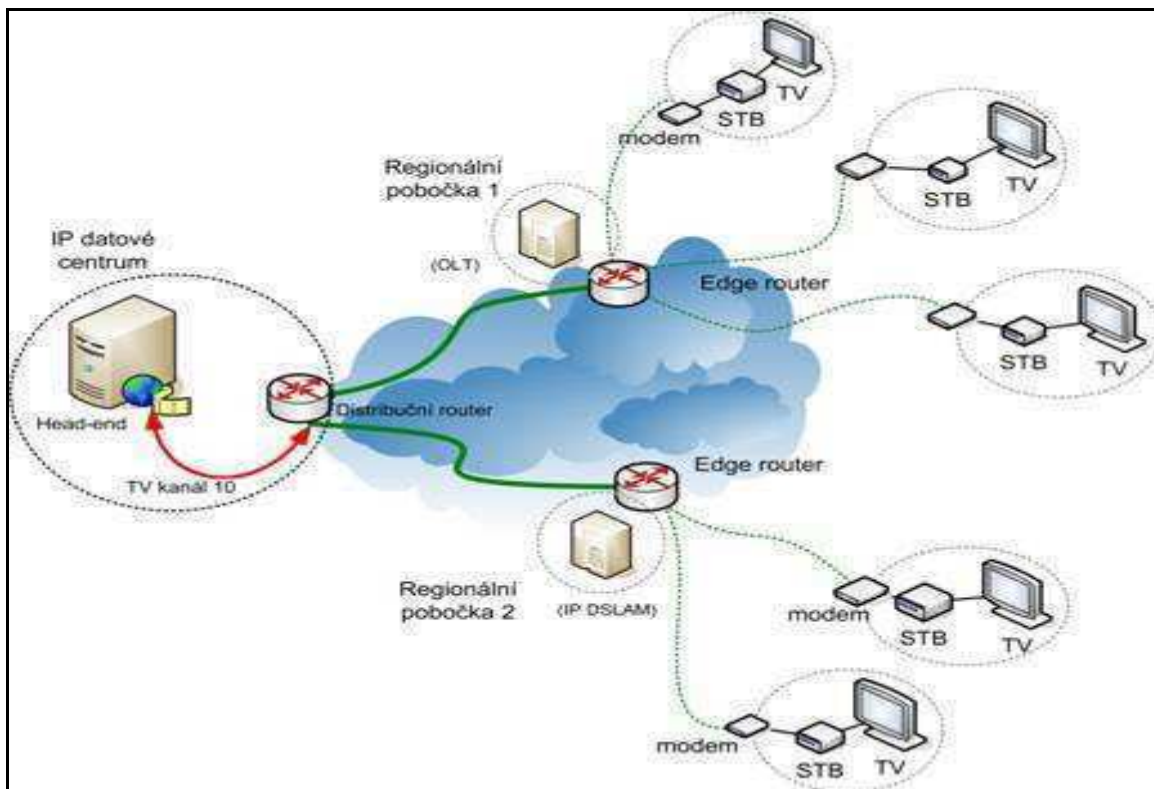
pokračuje přenos video signálů páteřní sítí poskytovatele, která zajišťuje přenos datových toků do přístupové sítě. Páteřní síť poskytovatele IPTV je většinou postavena na technologii IP. Přístupová síť má za úkol distribuovat jednotlivé datové toky k zákazníkům. Zde hrají důležitou roli parametry kvality služby (QoS), kdy můžeme např. upřednostnit přenos videosignálu a zabránit zpoždění nebo fragmentování. V architektuře IPTV sítě se dále nacházejí regionální odbavovací pracoviště, která mají za úkol přidávat do vysílání regionálně zaměřený obsah (regionální televize, regionální rozhlasové stanice atd.).

Na samém konci přenosového řetězce se nacházejí zákaznické prostory, kde se nacházejí zákaznická zařízení (Set-Top-Box, modem), která ukončují jednotlivé datové toky a převádějí je na signály, které se dají zobrazit televizními přijímači. Uspořádání IPTV sítě je pro představu přehledně uvedeno v následujícím obrázku. [3]



Obr. 2 Uspořádání sítě IPTV [3].

Každý kanál IPTV společně s uživateli, kteří chtějí sledovat tento kanál, jsou připojeni do multicastové skupiny. Proto je kanál IPTV přenášen jen na set-top-boxy uživatelů, kteří chtějí zobrazit tento kanál. Tato metoda šetří přenosovou kapacitu. Každý z regionálních směšovačů pak směřuje tok k zákazníkům, kteří si vyžádali kanál sledovat. Tato metoda je obvykle používána pro vysílání televizního programu přes IPTV, účinně využívá stávající infrastrukturu IP sítí.



Obr. 3 Přenos TV kanálů v IPTV síti [3].

Bez ohledu na to, jak dobře může být síť navržena nebo jak jsou dodrženy kvalitativní parametry QoS, mohou se projevit chyby ve video toku. Pro unicast tok používaný pro selektivní výběr obsahu je toto menší problém. Set-top box může jednoduše požádat server o opakované poslání ztracených nebo poškozených paketů. Při vysílání multicast toků je mnohem důležitější zajistit bezchybný přenos od počátku až do konce.

Přepnutí mezi TV programy vyžaduje přechod z jedné multicastové skupiny do jiné, resp. odhlášení se ze stávající skupiny a přihlášení do nové skupiny. To jsou operace, jejichž realizace určitou dobu trvá a jsou zdrojem zpoždění. Při změně TV kanálu se používá protokol IGMPv2, který obsahuje zprávy pro odhlášení z multicast skupiny a připojení do nové multicast skupiny. Když je přijímána tato žádost, kontroluje se, zda je uživatel oprávněn sledovat nový TV program. Poté dojde k přidání specifického uživatele do seznamu kanálové distribuce.

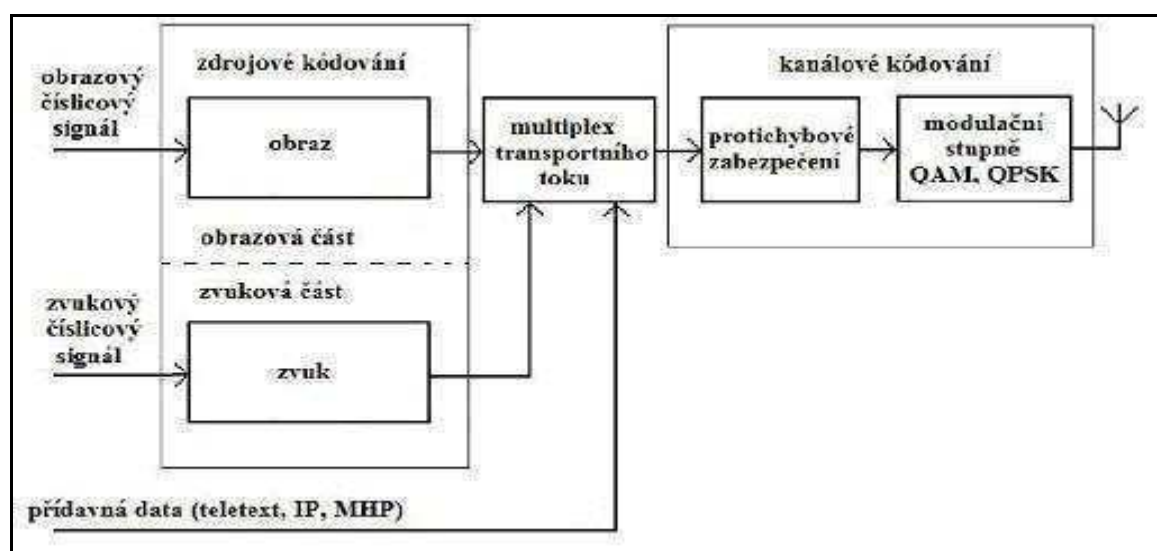
Technologie multicast může poskytovat dodávku obsahu až k miliónům uživatelům zároveň. Toto nelze u služby video na přání (VoD), která vyžaduje unikátní video tok k uživateli. Pro podporu VoD a dalších služeb je použit pro datový tok přenos typu unicast.

Datový tok je řízen protokolem RTSP, který umožňuje kontrolu nad multimediálním tokem a dovoluje uživatelům přehrávání (play), pozastavení (pause) a zastavení (stop) sledovaného programu. [3]

## 4 Analýza systému DVB (DVB-T)

Cílem této kapitoly je stručné zmapování pozemní verze systému digitálního televizního vysílání. Podkapitoly se věnují problematice distribuční cesty, která představuje kódování, multiplexování, modulování a další procesy, které jsou nezbytně vyžadovány na cestě z vysílacího studia až po přijímač koncového diváka.

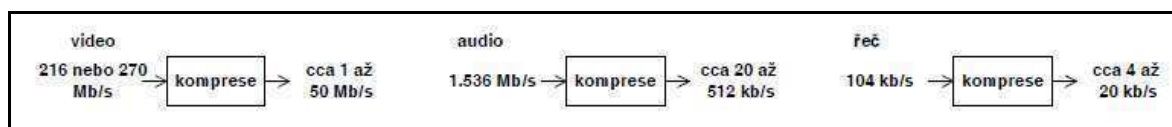
Postupné rozšíření pozemního digitálního vysílání bylo v Evropě značně opožděno oproti systémům družicovým a kabelovým a to hned z několika důvodů. [1] Kmitočtové spektrum pásma UHF vyžívaného pro televizi, bylo značně nahuštěné a spektrum pro digitální pozemní televizní služby, při kterém je dosaženo dostatečně rozsáhlého pokrytí je velmi omezené. V České republice, ale i v řadě dalších zemí bylo málo kmitočtů pro zavedení digitální televize, tak se musela přesunout do nového horního UHF pásma (kanál 61–69). Dnes po vypnutí analogových sítí je tento prostor prostřednictvím tzv. digitální dividendy opět uvolněn a dán k dispozici pro jiné služby vysokorychlostního mobilního připojení (LTE). Jedním z hlavních požadavků na systém byla optimalizace pro využití existujícího rozmístění vysílačů, což umožnilo příjem prostřednictvím dosavadních antén.



Obr. 4 Schéma kódování signálu DVB. Upraveno ze zdroje [4].

## 4.1 Zdrojové kódování obrazu a zvuku

Kdyby se měl přenášet neredukovaný bitový tok 216 Mbit/s u standardní televize (SDTV), bylo by k tomu potřeba při amplitudové modulaci s jedním částečně potlačeným pásmem, při stejném počtu hodnot 0 a 1, pásmo široké 216 MHz. Takový přenos by byl za hranicí možností kmitočtového spektra. Aby se mohl digitální televizní signál přenášet i pozemskými vysíláči, a to při několika programech v kmitočtové šířce pásma 8 MHz, je třeba číslicový signál stlačit nebo-li komprimovat, tzn. zmenšit jeho bitovou přenosovou rychlost až na 4 – 15 Mbit/s a použít jiné účinnější modulační způsoby, než je amplitudová modulace. [4]



Obr. 5 Zdrojové kódování obrazového a zvukového signálu [4].

Příchodem nové kódovací techniky a rozvojem polovodičové techniky bylo umožněno realizovat zařízení, která přinášela nové způsoby redukce bitové rychlosti. Se zavedením kódování došlo ke zvratu v nárocích na přenosové pásmo, porovnáme-li analogovou a digitální televizi. Všechny standardy hierarchického kódování v odstupňovaných profilech a úrovních stanovuje systém MPEG. Dle [1] použitím hlavního kódovacího formátu MPEG 2 se snížila přenosová rychlost pro SDTV na méně než 15 Mbit/s, dnes činí dokonce kolem 4 Mbit/s.

### 4.1.1 Standard MPEG-2 (H.262)

Evropský projekt digitálního televizního vysílání DVB přijal jako komprimační standard MPEG-2 pro video i audio signál. Podle způsobu zdrojového kódování se upravuje bitová rychlost digitálního signálu přicházejícího do kodéru ze 216 Mbit/s u standardní televize na redukovanou rychlost 4 – 15 Mbit/s. [4] Komprimovaný bitový tok určený pro televizní kanál se dále kóduje kanálově, tím způsobem, že se doplní zabezpečovacími bity proti poruchám a to i za cenu zvýšení redundance. Bitová rychlost digitálního signálu se zmenšuje snížením počtu bitů potřebných pro přenos, aniž by došlo k viditelnému zkreslení. Zmenšení počtu bitů a tím i snížení bitové rychlosti, spočívá v transformačním kódování. Jde o nahrazení prostorového rozložení hodnot vzorků TV signálu spektrem jeho

frekvenčních složek s příslušnými amplitudami zvanými transformační koeficienty. Příkladem může být diskretní kosinová transformace tvořící základ většiny komprimačních metod.

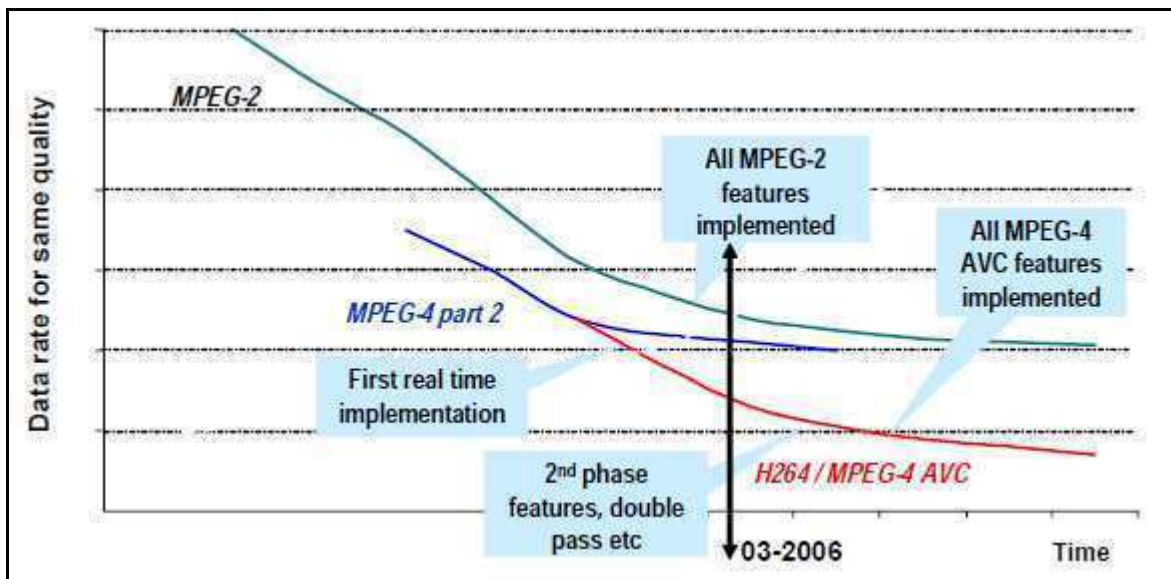
Digitální televizní vysílání vyžaduje kromě komprimace obrazového signálu také komprimaci doprovodného zvuku. Pro kompresi zvuku je v systému DVB-T primárně určen také standard MPEG-2. Standard MPEG-2 má zajistit pětikanálový přenos, aniž by bylo potřeba zvyšovat pětinasobně bitovou rychlost, musí však být dodržena trojí slučitelnost. Při zpětné slučitelnosti má dekodér soustavy MPEG-1 zpracovat několika-kanálový signál soustavy MPEG-2 a reprodukovat jej jako obvyklé dvoukanálové stereofonní vysílání. Dopředná slučitelnost dekodéru soustavy MPEG-2 umožňuje příjem signálu MPEG-1 jako dvoukanálovou stereofonní reprodukci. Odstupňovaná slučitelnost znamená schopnost dekodéru soustavy MPEG-2 reprodukovat zvuk na různých zjednodušených seskupeních zvukových kanálů, tj. 3/1, 3/0, 2/2, 2/1, 2/0 a 1/0, uvádí zdroj [4].

Standard MPEG-2 je zatím ještě pořád nejrozšířenějším standardem pro digitální vysílání, přestože už je poměrně starý a za svým vrcholem, ale je velmi spolehlivý a díky velkému počtu výrobců i velkým výrobním sériím cenově nejpřístupnější. Před několika lety se považovaly možnosti zlepšení kvality kódování standardu MPEG-2 za již vyčerpané, ale společnost Tandberg Television (později Ericsson) zlepšila ve svých kodérech účinnost kódování signálů SD a HD o 20 až 30 % využitím rychlého paralelního vícenasobného zpracování.

#### **4.1.2 Standard MPEG-4 (H.264-AVC)**

Zdatným následníkem standardu MPEG-2 je standard MPEG-4 AVC označovaný také jako H.264 nebo pouze MPEG-4. Původní standard MPEG-4 je principiálně zcela odlišný standard založený na objektovém kódování, který se však nepoužívá v televizním vysílání, ale má využití hlavně v internetových aplikacích a v digitálních kamerách. MPEG 4 AVC je standardizován jako ISO/IEC 14496 a vytlačuje MPEG-2 hlavně ve všech nových vysílacích aplikacích. [9]





Obr. 6 Porovnání kompresních standardů v čase [10].

Standard podporuje neprokládané i prokládané řádkování a kompresní účinnost pro pravoúhlé objekty je vyšší než u MPEG-2. Novým prvkem je kódování objektů s libovolným tvarem, což umožňuje nezávislé kódování objektů s různým tvarem popředí a pozadí scény. Podporuje efektivní přenos v datových sítích se zvýšenou odolností proti chybám stupňovatelným kódováním v širokém rozmezí hodnot bitových toků.

## 4.2 Multiplexování a datové toky

Datové toky vycházející z vyrovnávacích pamětí komprimovaného obrazového a zvukového signálu nepřicházejí do hlavního multiplexeru v dlouhém souvislém sledu. Jsou rozděleny na menší části nebo-li pakety, které jsou opatřeny informačním záhlavím. Toto rozdělení umožňuje vzájemnou synchronizaci obrazu a zvuku i jiných přídatných dat v dekodéru, protože periodická struktura paketu obsahuje informace o paketu v záhlaví. Vytvářením paketu se dílčí signály multiplexují do výsledného toku, který obsahuje zpravidla několik televizních programů doprovázený ve stejné časové základně zvukem, buď jednojazyčným, nebo vícejazyčným doprovodem a přídatnými řídicími a informačními daty.

Přenos televizního signálu po paketech představuje vysokou flexibilitu zpracování. Pakety jako kratší celky se snadno uchovávají v paměti, s možností poskládání různých variant



výsledného toku při různých přenosových cestách. Dekodér přijímače pak podle instrukcí v záhlaví, vybírá pakety pro dekódování a ve vhodné časové souvislosti je reprodukuje.

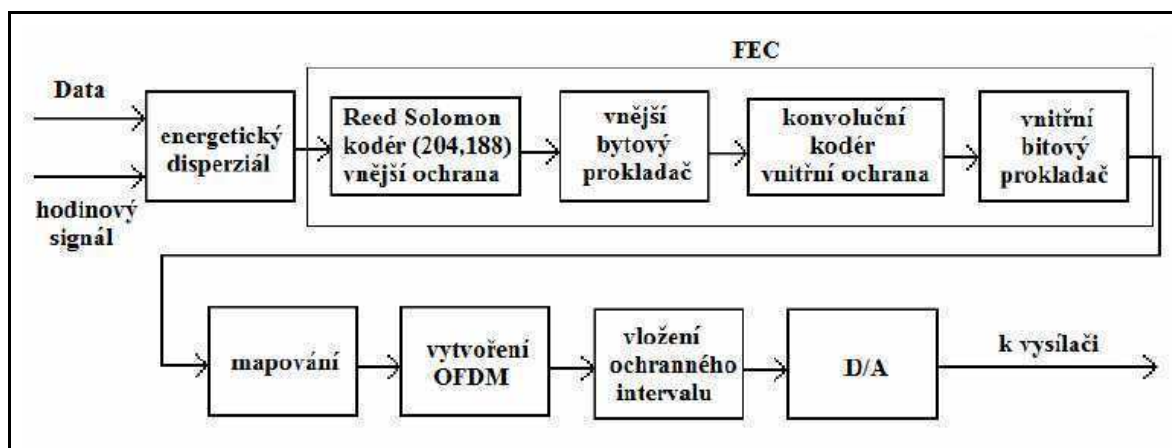
Rádiové kanály, hlavně ty využívané pro pozemní vysílání, jsou velice citlivé na nejrůznější rušivé faktory. Mimo všudypřítomného šumu zde většinou působí interference, buď přírodního původu (jako např. atmosférické výboje apod.) nebo interference způsobené lidskou činností (parazitní vyzařování průmyslových zařízení nebo jakékoliv jiné rušení). Mezi další podstatné rušivé činitele v pozemním vysílání patří také některé efekty spojené s šířením rádiových vln (zastínění, mnohocestné šíření rádiových vln mezi vysílačem a přijímačem, dopplerovský posuv frekvence vlivem pohybu přijímače ve vztahu k vysílači apod.) U analogových systému lze interferencím čelit především zvyšováním vysílacích výkonů, což je řešení neekonomické a v dnešní době přímo nežádoucí. Naproti tomu digitální systémy nabízejí více způsobů ochrany přenosu, které jsou sice obvodově složitější, ale z energetického hlediska podstatně efektivnější. [4]

### **4.3 Kanálové kódování**

Kanálové kódování velmi detailně řeší norma ČSN ETSI EN 300 744 V1.6.1 uvedená v seznamu zdrojů. [5] Jedná se o úpravu již zkomprimovaného digitálního signálu pro umožnění jeho přenosu z vysílací na přijímací anténu. Tato úprava signálu zbaveného redundance, seřazeného svými složkami do transportního toku zahrnuje v sobě postupy zabezpečení signálu proti rušení a vhodné modulační metody pro hospodárný a účinný přenos daným prostředím s co nejužším kmitočtovým pásmem pro jeden multiplex. Jednou z mnoha výhod digitálního signálu je, že se v obraze neobjevují různé druhy rušení nebo odražený signál od překážek v podobě zdvojeného obrazu stejně jako zkreslení ve zvuku a jiné nedokonalosti známé právě z analogového vysílání. Digitální signál zmíněnými neduhy netrpí, pokud se však pohybujeme na hraničních příjmových hodnotách, může při nepatrné změně příjmových podmínek doházet k tzv. zamrznání obrazu a ztrátám zvukového doprovodu nebo až úplným výpadkům signálu. Zde je podstatný rozdíl oproti analogovému signálu, který je s úbytkem signálu pozvolně degradován. Pokud uvažujeme neredukovaný digitální signál s přenosovou rychlostí 216 Mbit/s, tak je výpadek jednoho bitu těžko postřehnutelný, protože jde o chybnou reprodukci právě jednoho obrazového bodu nebo-li pixelu. V komprimovaném signálu je však situace odlišná, ztráta jednoho

jediného bitu způsobí chybnou reprodukci celého makrobloku, což je soubor několika obrazových bodů a to se projeví pozorovatelnými skvrnami v přijímaném obraze.

Pokud do datového toku přidáme ochranu, znamená to zavedení určité přídavné redundance, která však účinně zajišťuje ochranu datového toku. Způsob ochrany se přizpůsobuje konkrétnímu prostředí, ve kterém je signál přenášen. Každý typ přenosového prostředí má určitý charakter a tomu je přizpůsobena podoba přenášené informace. Je zřejmé, že nejméně problémů s sebou přináší přenos prostřednictvím kabelového rozvodu. U satelitního vysílání je zásadním omezujícím faktorem dosti napjatá energetická bilance a šum, zatímco terestrické nebo-li pozemní vysílání trpí především odrazy a mnohocestným šířením. Z toho se odvíjejí použitá modulační schémata a zabezpečení proti chybám dle konkrétního způsobu přenosu. [6]



Obr. 7 Schéma procesů kanálového kódování [4].

### 4.3.1 FEC (Forward Error Correction)

Kódování FEC označované také jako kódování s dopřednou korekcí chyb, je systém, který v kodéru vysílače přidává k uživatelským datovým bitům navíc redundantní nedatové bity. Tyto ochranné bity, označované také jako kontrolní nebo paritní (check bits, parity bits), umožňují v dekodéru přijímače u detekčních kódů detekovat chybně přenesené datové bity, u korekčních (samoopravných) kódu je potom možné chybně přenesené bity úplně, nebo alespoň částečně korigovat. Kanálové kódování FEC zvyšuje odolnost rádiového přenosu, hlavně v prostředí s některými typy úniků signálu v malém měřítku, to jsou změny intenzity signálu pozorovatelné na krátkých úsecích pohyby přijímače, způsobené mnohocestným šířením, doplerovským posuvem frekvence apod. [6]

Kódování FEC umožňuje v dekodéru přijímače detekovat, případně i korigovat chybně přenesené osamocené bity, nebo i menší chybné skupiny bitů. Nevyžaduje zpětný kanál od přijímače k vysílači, ale v daném rádiovém kanálu s určitou šířkou pásma zmenšuje uživatelskou datovou rychlost. Pokud by bylo požadováno zachování původní rychlosti bylo by nutné širší rádiové pásmo, to ale v praxi není většinou možné.

K ochraně transportního toku DVB-T signálu se využívá právě dopředné ochrany FEC, který se skládá z vnitřní a vnější ochrany. Vnější ochranu tvoří blokový kód „Reed Solomon“ a vnitřní konvoluční kód, symbolový a bitový prokladač. Reed-Solomonovy kódy jsou blokované kódy, určené k detekci a opravě chyb v přenášených digitálních zprávách. Princip vnějšího kodéru je, že zakóduje zdrojové symboly nejdříve Reed Solomonův kódem chránícím před skupinovými chybami. Následující vnitřní kód pak transportní tok zakóduje kódem chránícím před nezávislými chybami. Vnější ochrana je doplněna vnějším a vnitřní ochrana zase vnitřním bitovým prokladačem. Hlavním rozdílem mezi oběma způsoby kódování je, že u vnějšího, tj. blokového kódu se přidávají k informačním symbolům ještě opravné symboly. U vnějšího tj. konvolučního binárního kódu se korekční bity nepřidávají, ale informační bity se mezi sebou různě ovlivňují. Konvoluční kód je binárně orientovaný, tj. zabezpečuje bity před poruchami tím, že jejich inverzní působení opravuje. Jeho účinnost závisí na délce působení kodéru na bitový tok. [6]

Dekódování blokovaných kódů se realizuje porovnáním přijatých zakódovaných sekvencí s množinou povolených sekvencí, které se mohou objevit na výstupu kodéru vysílače. Dekódování konvolučních kódů je obtížné. Elementární funkcí konvolučních dekodérů je odhadování bitové sekvence na výstupu demodulátoru přijímače. Tento odhad je prováděn na základě metod vedoucích k minimálnímu možnému počtu chyb oproti vysílané sekvenci. K dekodování konvolučních kódů se využívá metoda dekodování s maximální pravděpodobností, implementované pomocí efektivního Viterbiho algoritmu, kde se málo pravděpodobné kódové sekvence postupně vyřadí a dále se nezkoumají, což bývá nejkratší cesta ke konečnému výsledku.

### 4.3.2 Modulace OFDM

Pro přenos informací komunikačním kanálem se dnes většinou používají vícestavové digitální modulace. Kdybychom měli k dispozici pouze modulaci o dvou stavech, přenesli bychom v jeden okamžik informaci jenom o jednom bitu. Se čtyřmi stavy můžeme přenášet najednou informaci o dvou bitech, při 16 stavech o 4 bitech a při 64 stavech už o 6 bitech. Tuto informaci nazýváme symbolem. Tvar modulace pro všechny stavy, kterých může nabývat, si můžeme představit jako čtvercovou síť bodů, z nichž každý bod představuje jeden stav, tzn. určitou kombinaci nul a jedniček pro jednotlivé bity.

Důsledkem použití vícestavových modulací lze například terestriálním kanálem o šířce 8 MHz přenést bitový tok cca 20 Mbit/s, družicovým kanálem 27 MHz bitový tok cca 40 Mbit/s. V pásmu pozemního vysílání 6 MHz (NTSC), resp. 7/8 MHz (standardy B/G nebo D/K) je možno umístit přibližně 5 SDTV signálů. V družicovém kanálu je místo pro zhruba 10 SDTV nebo okolo 2 HDTV kanálů. [1]

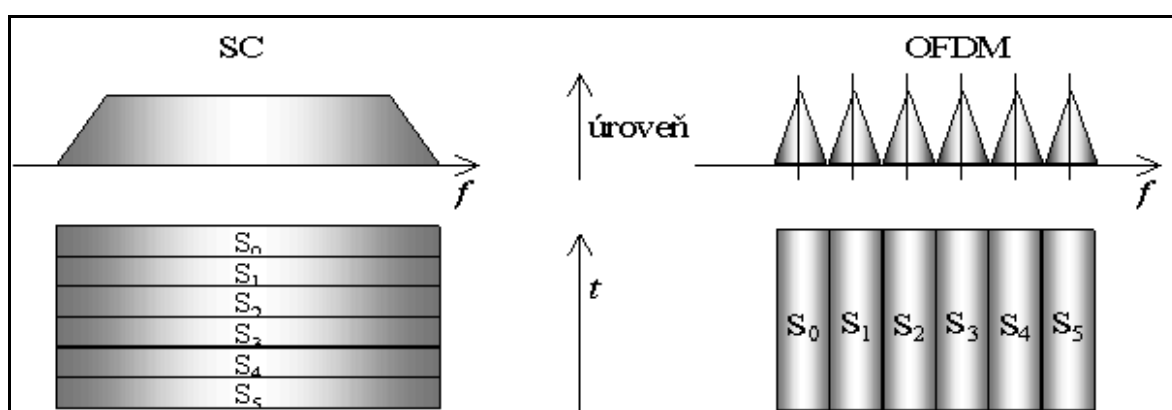
Pro všechny modulace máme k dispozici stejný rozsah amplitud, z toho plyne, že u vícestavové modulace musejí být jednotlivé body sítě blíž u sebe. Dojde-li pak vlivem rušení k vychýlení bodu z jeho správné polohy do polohy jiného bodu, vzniká chyba přenosu. Vícestavová modulace je tak méně odolná vůči rušení, neboť k chybě dojde snadněji. Přenosová rychlost je závislá na typu modulace (vícestavové modulace přenesou více informace) a samotné rychlosti vysílání symbolů. Rychlost vysílání symbolů pak určuje šířku obsazeného frekvenčního spektra.

Modulation	Code rate	Guard interval at 8k	Emin Rooftop 500 MHz	Emin Indoor 500 MHz	Multi-plex GI 28 $\mu$ s	Multi-plex GI 224 $\mu$ s
QPSK	1/2	28 $\mu$ s	39 dB $\mu$ V/m	76 dB $\mu$ V/m	6 Mb/s	5 Mb/s
	2/3	56 $\mu$ s				
16QAM	3/4	112 $\mu$ s	57 dB $\mu$ V/m	94 dB $\mu$ V/m	31 Mb/s	26 Mb/s
	5/8	224 $\mu$ s				
64QAM	7/8					

Obr. 8 Varianty DVB-T s ochranným intervalem 8k a min. úroveň elmag. pole [9].

Oproti klasickým analogovým modulačním metodám, tak můžeme v rádiovém kanálu použít více vysílačů na jedné frekvenci. [5] Všechny nosné systému však nejsou určeny jen pro přenos dat. Pro synchronizaci informací přenášených na datových nosných a ekvalizaci, jež umožňuje opravit deformace signálu po cestě radiovým kanálem, se vkládají na určená místa pilotní nosné. Další nosné s jednodušší modulací přenášejí nejzákladnější informace o systému a přenášeném multiplexu.

Modulační metoda OFDM tedy spočívá v použití několika desítek až tisíců nosných kmitočtů, což přináší velké množství výhod, například v daleko lepším využitím přiděleného frekvenčního spektra. Nosné jsou dále modulovány dle potřeby různě robustními modulacemi QPSK nebo M-QAM. Modulace QPSK je využita v systému satelitního vysílání (DVB-S), modulace QAM je využívána v systémech pozemního vysílání (DVB-T) a distribuce prostřednictvím kabelové sítě (DVB-C). [5] Tím, že ve výsledku jsou toky na jednotlivých nosných přenášeny relativně nízkou modulační rychlostí, je OFDM odolná vůči vícecestnému (multipath) šíření. Dále se využívá vkládání ochranného intervalu – času, kdy se nevysílá žádná nová informace. Na přijímací straně je tak možné nerušeně přijmout právě vysílaný symbol. Velkou výhodou použití OFDM u rádiových sítí je lehké přizpůsobení měnícím se podmínkám přenosového média. Vyskytuje-li se v přenosovém pásmu silně rušené subpásmo, je možné je vynechat (za cenu snížení přenosové rychlosti) [4].



Obr. 9 Porovnání módu SC (single carrier) a OFDM [4].

### 4.3.3 Ochranný interval a SFN sítě

Pojmem mnohocestné šíření, se označuje šíření signálu více cestami, u kterého většinou dochází v reálných příjmových podmínkách. Jedna z cest může být přímá a druhá cesta může vzniknout při odrazu od nějaké překážky. Na užitečný signál působí mimo odražených signálů také signál vzdáleného vysílače na stejném kmitočtu nebo vysílače v síti SFN. Odražené signály mají v místě příjmu různé časové zpoždění vzhledem k přímému signálu, taktéž se liší amplitudou a fází. Na signál mají vliv větší plochy terénních překážek, pokud však na anténu dopadne vlna přímá i odražená, způsobí to vzájemné interference, čímž se změní spektrum přijímaného kanálu. Tato situace byla dobře známa v dobách analogového vysílání, když nastaly takovéto podmínky, docházelo k několikanásobným obrysům v obraze nebo vymizení zvuku, příp. barvy. V přenosu digitálního signálu je působení uvedených rušivých signálů ještě zřetelnější, protože přenášené bity mění své hodnoty vlivem interference a datový tok se může silně narušit, což je potřeba vyřešit prodloužením šířky symbolu.

Signál s přímou viditelností vysílače, přijde do místa příjmu s nejmenším zpožděním, ale také s největší amplitudou. Signál však nedorazí pouze přímo, ale cestou se odrazí od různých překážek a přijde do místa příjmu jinou cestou s větším zpožděním a menší amplitudou. K zabránění překrývání symbolů se používá metoda vkládání ochranného intervalu, kdy se celkové trvání symbolu prodlouží o délku ochranného intervalu. Odražené signály přicházejí do přijímače v době, kdy ještě přijímač detekuje a nic nepřijímá, což je doba ochranného intervalu. V případě použití SFN sítě, je ochranný interval velmi důležitý parametr, neboť v místě příjmu mezi dvěma vysílači přijímá přijímač dva přímé a několik odražených signálů. Délka trvání ochranného intervalu v síti SFN určuje maximální možnou vzdálenost dvou a více vysílačů, z tohoto důvodu je při kmitočtovém plánování sítí SFN, nutné navrhnout ochranný interval dle potřeby. [1]

Zkratka SFN značí jednofrekvenční sítě, které mohou být v DVB-T používány. Jde o to, že určitá oblast může být pokryta sítí pracující na stejném kmitočtu, při dodržení určitých minimálních odstupů v rozmístění vysílačů. Zde je výhoda v obrovské úspoře kmitočtového spektra a s tím i energie vynaložené na provoz vysílačů. [5] Nevýhodou potom je, že např. vysílač, který není plně zasynchronizován v síti SFN, působí v síti jako

účinná rušička. Další nevýhodou v našich podmínkách je nemožnost upravit multiplex v jednotlivých menších oblastech, třeba o regionální vstupy nebo programy.

#### **4.4 Druhy příjmu signálu DVB-T**

Standard DVB-T již od prvopočátku počítá s více druhy příjmu a to jak s příjmem pevným, tak i mobilním. Každý z těchto příjmů má specifické požadavky a to hlavně na přijímací soustavu. Pevný příjem je znám z dob analogového televizního vysílání, neboť v tomto systému nebyl žádný jiný možný, využívá se ve většině případů příjmu a jde o pevně instalovanou anténu. Pohyblivý nebo mobilní příjem může být využit hlavně v dopravních prostředcích. Pro mobilní příjem byl původně uvažován standard DVB-H, který již byl v práci zmíněn výše. Dnes je celkem běžné připojení k internetu v mobilní síti, kde je možno přijímat streamované vysílání, ale systém DVB-H by používal tzv. „broadcast“, což je nestreamovaný příjem živé mobilní televize. Systém pozemní televize DVB-T používá také broadcasting, tedy živé vysílání, ale není vybaven některými funkcemi jako např. handover, to je přechod mezi buňkami. Buňky jsou jednotlivé oblasti pokrývané signálem konkrétního vysílače. Pokud se objekt pohybuje z jedné takové oblasti do druhé, je potřeba, aby plynule přeladil na sousední vysílač a to bez výpadku služby. Plnohodnotný mobilní příjem včetně handoveru bude řešen až v následující generaci DVB-T2.

##### **4.4.1 Pevný příjem**

Pevný příjem se může definovat jako příjem, při kterém se používá směrová přijímací anténa umístěná na úrovni střechy. Při výpočtech intenzity elektromagnetického pole pro pevný příjem se za reprezentativní považuje výška přijímací antény 10 m nad zemí, s předpokladem použití směrových přijímacích antén.

##### **4.4.2 Mobilní příjem**

Mobilním příjmem se myslí účastník nebo-li příjemce signálu, který mění svoji polohu vůči vysílači. Pro tento účel je mnohem praktičtější používat všesměrovou anténu, kde je však třeba počítat s nižším ziskem. Mnohdy bývají všesměrové antény doplněny zesilovačem, který může být celkem lehce na vstupu přebuzen a následně produkuje intermodulace. Bezchybný mobilní příjem je možný jen při splnění určitých podmínek, závisí na typu modulace, ochranném intervalu, počtu nosných kmitočtů OFDM,

typu příjmu, intenzitě elektromagnetického pole, typu přijímací antény, kmitočtu kanálu a v neposlední řadě také na rychlosti pohybu při příjmu. Důležitý parametr týkající se právě rychlosti mobilního příjmu určuje tzv. Dopplerův frekvenční posuv, který udává, jak se mění kmitočet pro pohybujícího příjemce signálu.

## 4.5 Přijímací antény

Pro televizní vysílání se používalo I. –III. TV pásmo, tzv. VHF zahrnující kanály 1 – 12, a dále IV. a V. TV pásmo, tzv. UHF obsahující kanály 21 – 69. S vypnutím analogového vysílání se VHF pásmo přestalo používat a v ČR se pro digitální vysílání používá výhradně UHF pásmo. Pro toto vyšší pásmo je typické přímočaré šíření elektromagnetických vln. Ohyb a lom je téměř zanedbatelný a se vzrůstajícím kmitočtem se snižuje. Také v tomto pásmu již nedochází k odrazům od ionosféry, proto až na výjimky většinou nedochází k rušení od vzdáleného vysílače. Nevýhodou je, že oblast pokrytá jednotlivým vysílačem je často určena přímou viditelností., tzn. poměrně malý dosah.

Vlastnosti přijímacích antén lze charakterizovat několika veličinami. Mezi nejdůležitější patří směrovost, zisk, polarita, impedance a širokopásmovost:

- **směrovost** – Směrovost je vyžadována zejména tam, kde na anténu dopadá další silný nežádoucí signál z jiného směru. Vhodným nasměrováním antény je možno nežádoucí signál nasměrovat mimo hlavní směr záření. Směrové vlastnosti antény určuje tvar jejího vyzařovacího diagramu. Čím je anténa směrovější pak také stoupá její zisk.
- **zisk** – Zisk antény znamená, kolikrát větší napětí dodá na své svorky přijímací anténa ve směru svého hlavního maxima v porovnání s referenční anténou, kterou je obvykle v pásmu televizního vysílání půlvlnný dipól. Hodnota, ale může být vztahena i k izotropnímu zářiči, což je běžnější hlavně na vyšších kmitočtech. Zisk se značí písmenem G a udává se v jednotkách decibel (dB).
- **polarita** – v televizním vysílání je používanější horizontální rovina šíření elektromagnetických vln, ale zejména v husté zástavbě pro vysílače umístěné v aglomeracích se s úspěchem používá vertikální roviny. Je to dáno šířením vln ve volném terénu a ve většinou vysoké městské zástavbě.



- **impedance** – Poměr napětí k proudu na svorkách antény se nazývá vstupní impedance antény. Velikost impedance je důležitá, neboť má zásadní vliv na přizpůsobení antény k napáječi. Televizní anténa mívá často impedanci  $300 \Omega$ , dnešní koaxiální napáječe mají impedanci  $75 \Omega$ , z tohoto důvodu je nutné požit impedanční člen.
- **širokopásmovost** – Udává v jakém rozsahu se může měnit přijímaný kmitočet, aniž by se výrazně měnily vlastnosti antény. Tento údaj je důležitý při konstrukci antén pro skupinu kanálů nebo pro celé pásmo a je významný i u antén pro příjem signálu jednoho kanálu.

## 5 Vlastní měření parametrů v DVB-T

V případě DVB-T jde o celou řadu parametrů, které lze měřit a podrobit detailnímu zkoumání. Pro účely měření pokrytí signálem zemského televizního vysílání na území České republiky, byla Českým telekomunikačním úřadem vydána Vyhláška č. 163/2008 Sb., o způsobu stanovení pokrytí signálem zemského televizního vysílání. Součástí této kapitoly je příklad měření intenzity elektromagnetického pole televizního vysílání v jednom měřicím bodě.

Intenzita elektromagnetického pole značená písmenem  $E$ , kterou je potřeba měřit, indukuje napětí ( $U_0$ ) na svorkách antény. Vztah mezi intenzitou pole a napětím indukovaným na přijímací anténě je funkcí kmitočtu. Anténní faktor ( $K$ ) přijímací anténa se spočítá jako podíl intenzity ( $E$ ) a výstupního napětí ( $U_0$ ) antény.

Jestliže bereme v úvahu veličiny  $a_c$  (útlum kabelu),  $a_f$  (útlumové články), pak je možné intenzitu pole uvést v logaritmické formě [4]:

$$E \text{ [dB}\mu\text{V/m]} = U_{0\text{dB}}[\text{dB}\mu\text{V}] + K_{\text{dB}}[\text{dBm}^{-1}] + a_c [\text{dB}] + a_f [\text{dB}]$$

Při měření pokrytí signálem DVB-T jde hlavně o ověření teoretických výpočtů předpokládaného pokrytí. Na predikci pokrytí se používá software, který vypočítá pokrytí konkrétního vysílače podle definované výpočtové metody. Ověřování pokrytí spočívá v měření parametrů DVB-T signálu. Měření se provádí měřicí soupravou s měřicí anténou na měřicích bodech, určených s ohledem na členitost terénu a zástavby v obci. Nevhodná jsou místa v těsné blízkosti terénních překážek a objektů, zastíňujících směr k vysílači nebo místa ovlivněná např. nadzemním metalickým vedením. Přesná geografická poloha měřicího bodu se určuje pomocí souřadnic naměřených na GPS přijímači. Při standardním měření je třeba anténu umístit na stožár do výšky 10 m a nasměrovat na maximum. Pomocí vhodného přístroje se v měřicích bodech zjišťuje úroveň signálu, která se pak sčítá s anténním faktorem přijímací antény. Výsledkem je právě intenzita elektromagnetického pole.

Rozdíly mezi naměřenou a vypočtenou hodnotou vznikají ze skutečnosti, že teoretický model nebere v úvahu morfologii terénu (tzn. zástavbu, vegetaci apod.) a odražené signály.

Dalšími měřenými parametry DVB-T signálu jsou MER a BER.

## 5.1 Měření modulační chybovosti MER

Parametr, který vystihuje kvalitu signálu z hlediska digitální modulace se nazývá MER. Pro analýzu signálových složek se používá zobrazení ve formě konstelačního diagramu. Konstelační diagram znázorňuje koncové body vektorů modulovaných subnosných vln modulace OFDM (QPSK nebo M-QAM) v rovině. Přístroje umožňující znázornění konstelačního diagramu umožňují analyzovat signálové složky a znázornit její koncové body. Při ideálním stavu se koncové body zobrazují ve středu tolerančního čtverce. Při přenosu signálových bodů přenosovým kanálem může dojít vlivem rušení k vychýlení těchto bodů z ideálních středů až k překonání hranice dovolené tolerance. Poté se zvyšuje chybovost a kvalita signálu klesá, až do hraničního stavu, kdy je signál zcela degradován.

Modulační chybovost MER je parametr, který komplexně hodnotí kvalitu přijímaného signálu. Doporučená hodnota pro bezporuchový příjem je  $MER \geq 22$  dB.

## 5.2 Měření chybovosti BER

Chybovost je považována za nejdůležitější parametr pro vyhodnocení kvality digitálního signálu. Je definována jako poměr počtu chybně přijatých symbolů  $m$  k celkovému počtu vyslaných symbolů  $n$ . Chybovost BER lze měřit na několika místech. Nejčastěji se používá metoda měření před Viterbiho dekodérem, kde se měří chybovost přenášeného datového toku před korekcí nebo za Viterbiho dekodérem, kde se měří chybovost po korekci osamocených chyb v datovém toku.

Pro účely měření kvality signálu digitálního televizního vysílání se obvykle měří BER za Viterbiho dekodérem, kde referenční hodnota pro bezporuchový příjem je  $BER < 02 \text{ E-}04$ .

## 5.3 Subjektivní hodnocení kvality

Dále se na televizním přijímači připojeném na přijímací anténu subjektivně hodnotí kvalita signálu. Doba sledování obrazu a zvuku na vybraném multiplexu musí být minimálně 3 minuty. Je třeba se zaměřit na zjišťování mžikových výpadků. Pro subjektivní hodnocení kvality signálu se použije následující třístupňové hodnocení:

- Q1 – kvalita špatná, časté výpadky, přijímač se nezasynchronizuje
- Q3 – kvalita dobrá, jednotlivý mžikový výpadek
- Q5 – kvalita výborná, nepozorovatelné závady v kvalitě obrazu a zvuku

## 5.4 Příklad měření pokrytí signálem DVB-T

Při měření parametrů sítě se práce zaměří na Královéhradecký kraj, kde jsou DVB-T multiplexy primárně šířeny ze dvou vysílačů velkého výkonu a to vysílače Černá hora v Krkonoších a vysílače Krásné v Železných horách. Příjem digitální pozemní televize v Královéhradeckém kraji je také možný na některých místech z vysílačů Ještěd, Praděd, Praha, Kojál a z několika vysílačů menšího výkonu. V měření parametrů bude cíleno na prvně zmíněný vysílač Trutnov-Černá hora. Měření bylo provedeno 21. srpna 2012.

### Parametry vysílače:

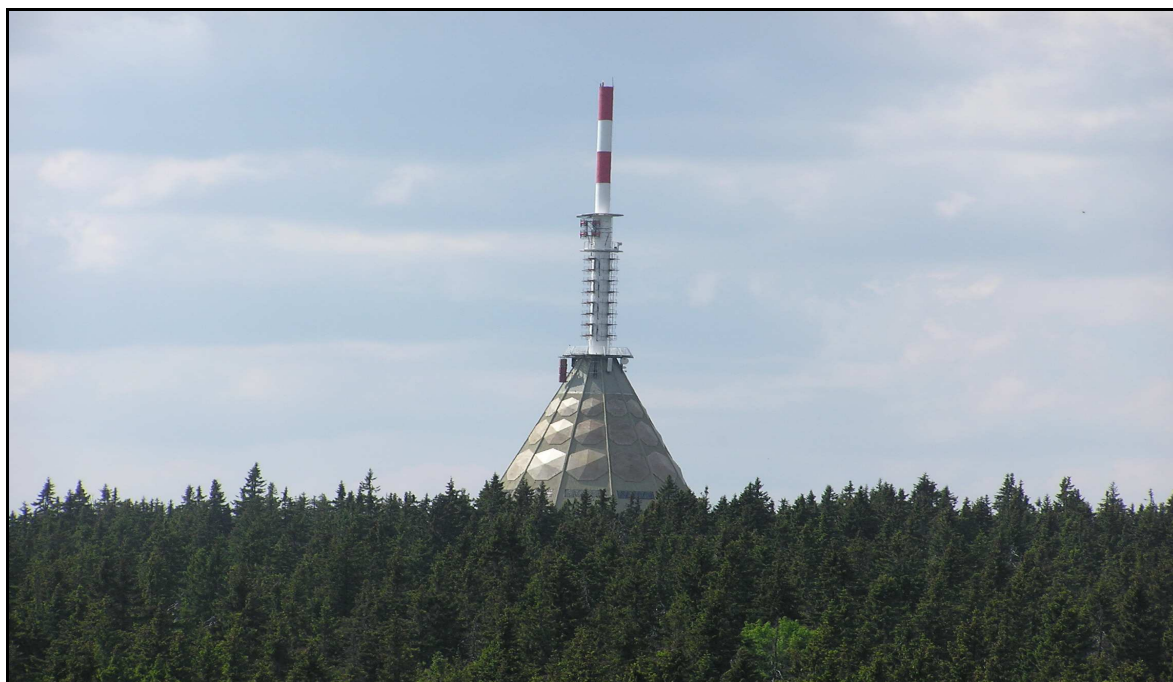
Trutnov – Černá hora

Výška věže:	77 m
Nadmořská výška:	1299 m
GPS:	50°39'9"N 15°44'30"E

Tab. 1 Parametry vysílače

Síť	Kanál	Frekvence [MHz]	Výkon [kW]	Polarizace
1	40	626	100	horizontální
2	61	794	100	horizontální
3	60	786	100	horizontální

Tab. 2 Parametry vysílaných kanálů



Obr. 10 Televizní vysílač Černá hora (1299 m.n.m.) Zdroj vlastní foto.

Parametry přijímacího místa:

Hradec Králové – Velké náměstí 1

Výška antény:	10 m
Nadmořská výška:	249 m
GPS:	50°12'33.6"N 15°49'52.8"E
Vzdálenost od vysílače:	49,6 km
Azimut k vysílači:	352°

Tab. 3 Parametry přijímacího místa

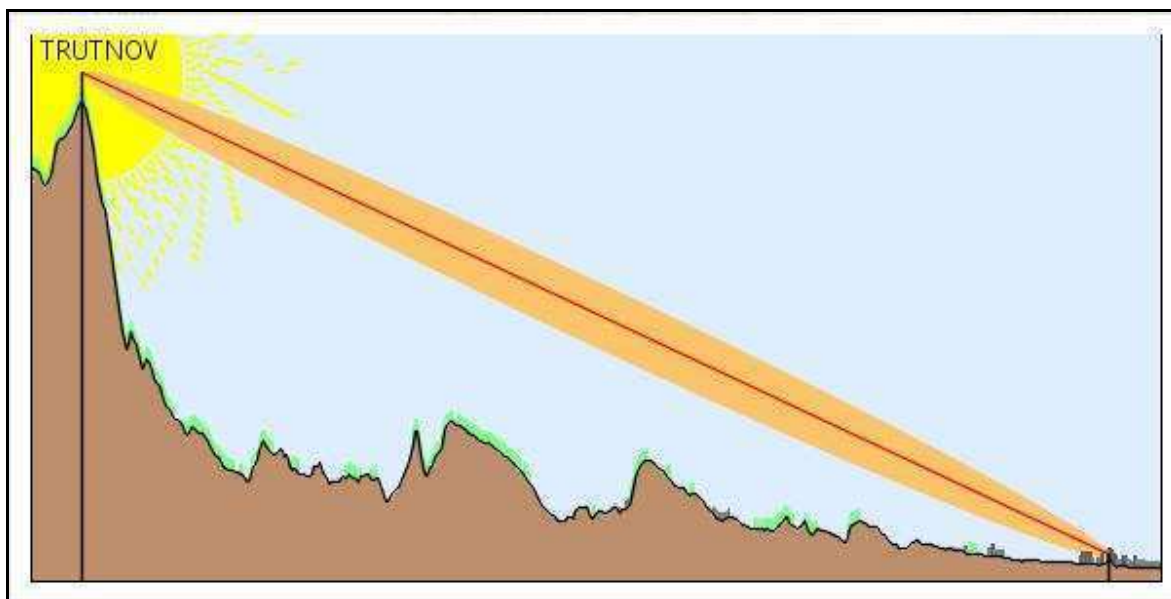
V následující mapce je vyznačeno přijímací místo v centru krajského města Hradec Králové. Úsečkou je znázorněn téměř severní směr k vysílači pod azimutem 352°. Vzdálenost vysílače od přijímacího místa je 49,6 km. Vysílač leží v Krkonoších nad Janskými Lázněmi na kótě Černá hora 1299 m.n.m. Tenkými čarami jsou v následující mapce znázorněny alternativy příjmu, jižně vysílač Krásné-Pardubice, který je v celém kraji také značně přijímán, a pouze s minoritním využitím v kraji je východním směrem vysílač Praděd-Jeseník a západním směrem Praha-Cukrák.



Obr. 11 Situační mapka oblasti. Pro znázornění použita webová aplikace (<http://dtv.ctu.cz>)

Z grafu terénního profilu lze zjistit, že k přijímacímu místu vede absolutně volná Fresnelova zóna, což je určitý elipsoid, který představuje prostor kolem spojnice těchto dvou bodů.

Narušená Fresnelova zóna většinou nemá za následek příliš podstatné snížení úrovně signálu, ale spíše se projeví jako nárůst rušivých odrazů, což snižuje kvalitu přenášeného datového toku.

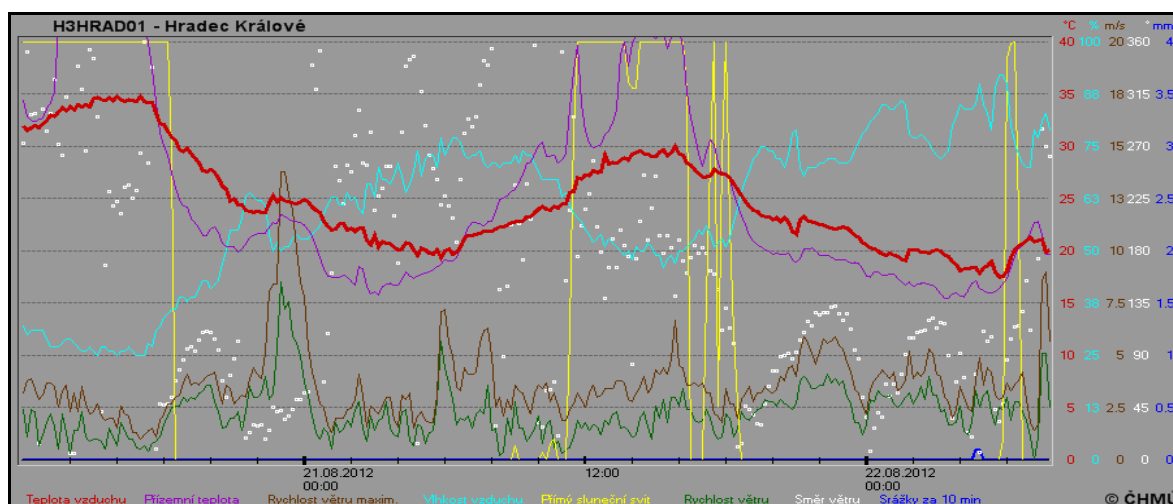


Obr. 12 Terénní profil z vysílacího do přijímacího místa. Použita webová aplikace (<http://dtv.ctu.cz>)

Datum a čas měření:

21.8.2012 13:00-14:00

jasno, teplota 29°C



Obr. 13 Klimatické podmínky ovlivňující měření. Zdroj ČHMÚ (<http://chmi.cz>)

*Použité měřicí přístroje a antény:*

<i>název</i>	<i>typ</i>	<i>výr.č.</i>
spektrální analyzátor	Rohde&Schwarz FSH 6	100258
zaměřovací anténa	Rohde&Schwarz HE 200	101685
testovací přijímač TV/FM/SAT	Promax Prodig 5	071047450003
přijímací TV anténa	Televés DAT 45	

*Tab. 4 Použité měřicí přístroje a antény*

V místě příjmu je nutné nejprve změřit intenzitu elektromagnetického pole v místě příjmu. Intenzita elektromagnetického pole se značí písmenem E a základní jednotkou je dB $\mu$ V/m. K měření je potřeba anténní souprava, kterou tvoří měřicí přijímač nebo spektrální analyzátor s anténou se známým anténním faktorem a koaxiálním kabelem s impedancí přizpůsobenou měřicí anténě a měřicímu přístroji. Anténní faktor je určitá konstanta v dB, sloužící k přepočítání hodnoty napětí na svorkách antény na hodnotu intenzity elektromagnetického pole.

Použitý analyzátor spektra Rohde&Schwarz FSH 6 má v paměti mimo jiné uloženu tabulku anténních faktorů pro známé antény, proto na displeji přímo zobrazuje hodnotu intenzity elektromagnetického pole měřeného rutinou výkon v kanále. K tomuto přístroji byla použita anténa stejného výrobce typ HE 200. Pro kontrolu bylo ještě měřeno přijímačem Prodig 5, který prezentuje hodnotu napětí na svorkách na vstupu přijímače, s anténou určenou pro televizní pásmo DAT 45. Při užití této metody je nutné znát zisk použité antény a útlum napájecí cesty, z těchto parametru lze intenzitu elektromagnetického pole dopočítat.

Vyhláška č. 163/2008 udává minimální hodnoty intenzity užitečného signálu pozemního digitálního televizního vysílání, které přehledně znázorňuje následující tabulka.

Rozsah rádiových kanálů	Hodnota intenzity $E_{min}$ (dB $\mu$ V/m)
5 – 6	48
7 – 9	49
10 – 12	50
21 – 22	52
23 – 30	53
31 – 38	54
39 – 47	55
48 – 58	56
59 – 69	57

*Tab. 5 Minimální hodnoty intenzity užitečného signálu [12].*

Z tabulky je patrné, že pro rádiový kanál 40 je třeba minimální úroveň intenzity 55 dB $\mu$ V/m a pro kanály 60 a 61 je společná minimální hodnota 57 dB $\mu$ V/m.

<i>multiplex</i>	<i>kanál</i>	$E_{min}$	$E_{změřené}$
<b>1</b>	<b>40</b>	<b>55</b>	<b>83,5</b>
<b>2</b>	<b>61</b>	<b>57</b>	<b>84,2</b>
<b>3</b>	<b>60</b>	<b>57</b>	<b>83,4</b>

*Tab. 6 Porovnání parametrů*

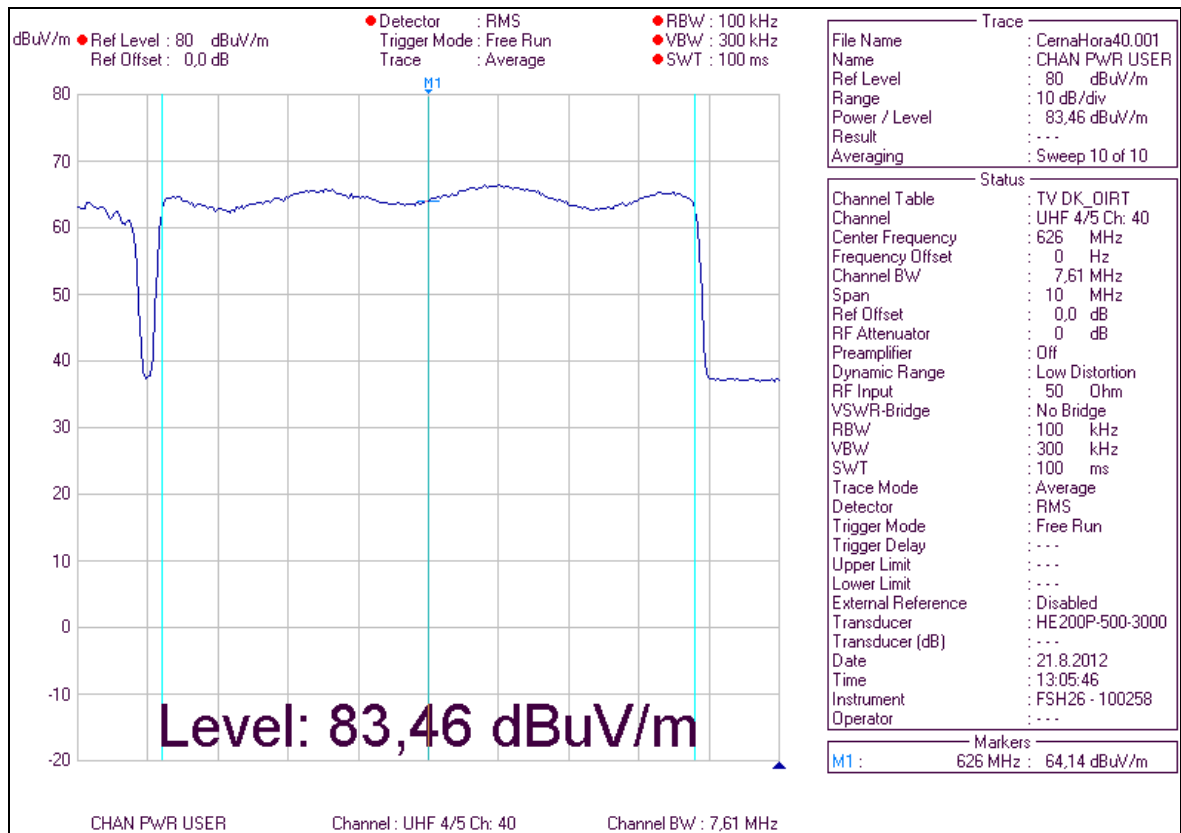
Porovnáním naměřených hodnot intenzity elektromagnetického pole s hodnotami, které jsou uvedeny ve vyhlášce jako minimální, lze zjistit, zda je měřicí bod dostatečně pokryt. Naměřené hodnoty ve všech třech případech převyšují minimální hodnoty intenzity elektromagnetického pole dané vyhláškou, tzn. měřicí bod vyhovuje pokrytí.

To, zda je měřicí bod pokryt nebo není, ještě nic nevyovídá o pokrytí celé sídelní jednotky. Podle velikosti sídelní jednotky a počtu obyvatel sídlících v zájmovém území, je nutné určit dostatečný počet měřicích bodů, tak aby pokryly většinu zájmového území. Jednotlivým bodům je poté potřeba přiřadit váhový koeficient s procentuálním zastoupením oblasti v sídelní jednotce. Součet všech váhových koeficientů v obci musí být roven sto procentům. Dále je nutné zmínit požadavky na měřicí bod, který by měl být dostatečně reprezentativní a zvolený s ohledem na členitost terénu a rozmanitost zástavby v obci. Místo nesmí být v těsné blízkosti překážek nebo staveb, které zastiňují přijímací směr od měřeného vysílače a vzdálené od nadzemních metalických vedení, která mohou mít vliv na kvalitu měření. Samotné měření, resp. přijímací anténu je nutné umístit do výšky 10 metrů nad terén. [12]



## MULTIPLEX 1

První, tzv. veřejnoprávní multiplex vysílá na kmitočtu 626 MHz, což odpovídá 40. kanálu.



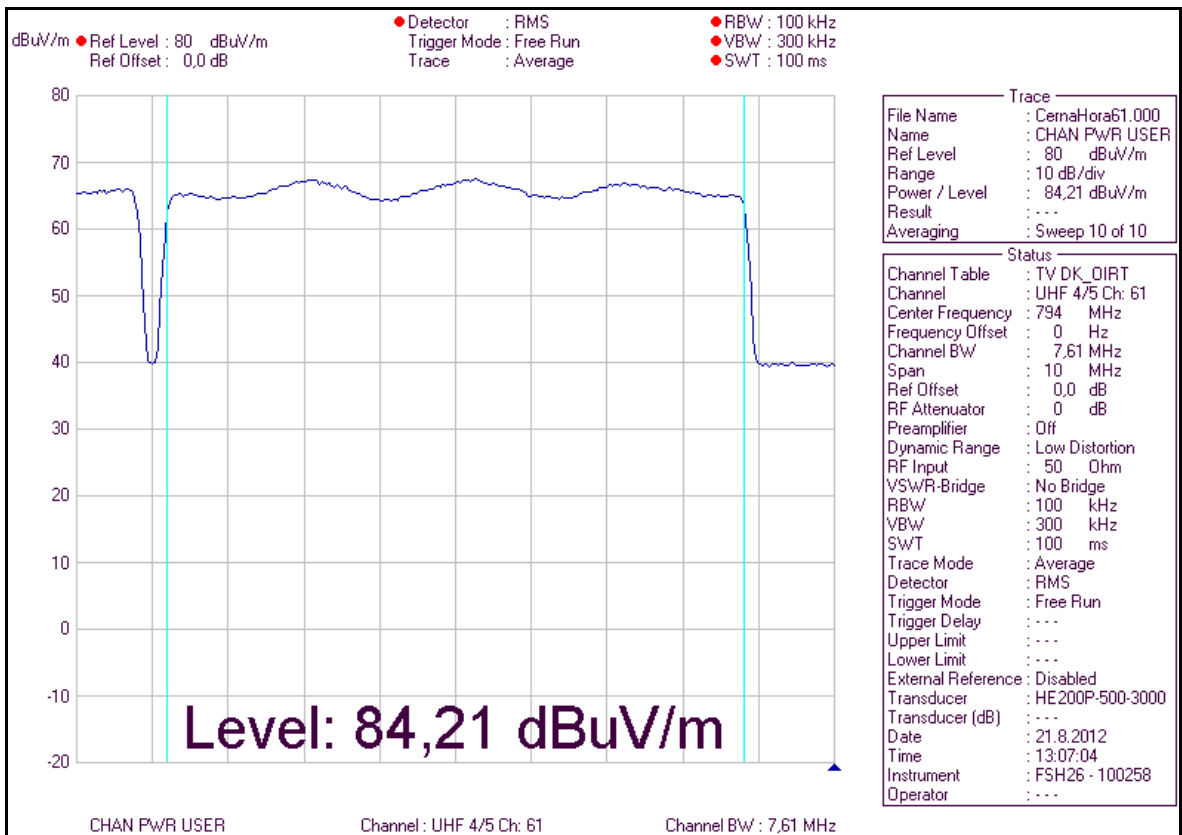
Graf 1 Výstup ze spektrálního analyzátoru při měření MUX 1



Obr. 14 Displej měřicího přijímače se zobrazenými daty MUX 1

## MULTIPLEX 2

Druhý multiplex vysílá na kmitočtu 794 MHz, což odpovídá 61. kanálu.



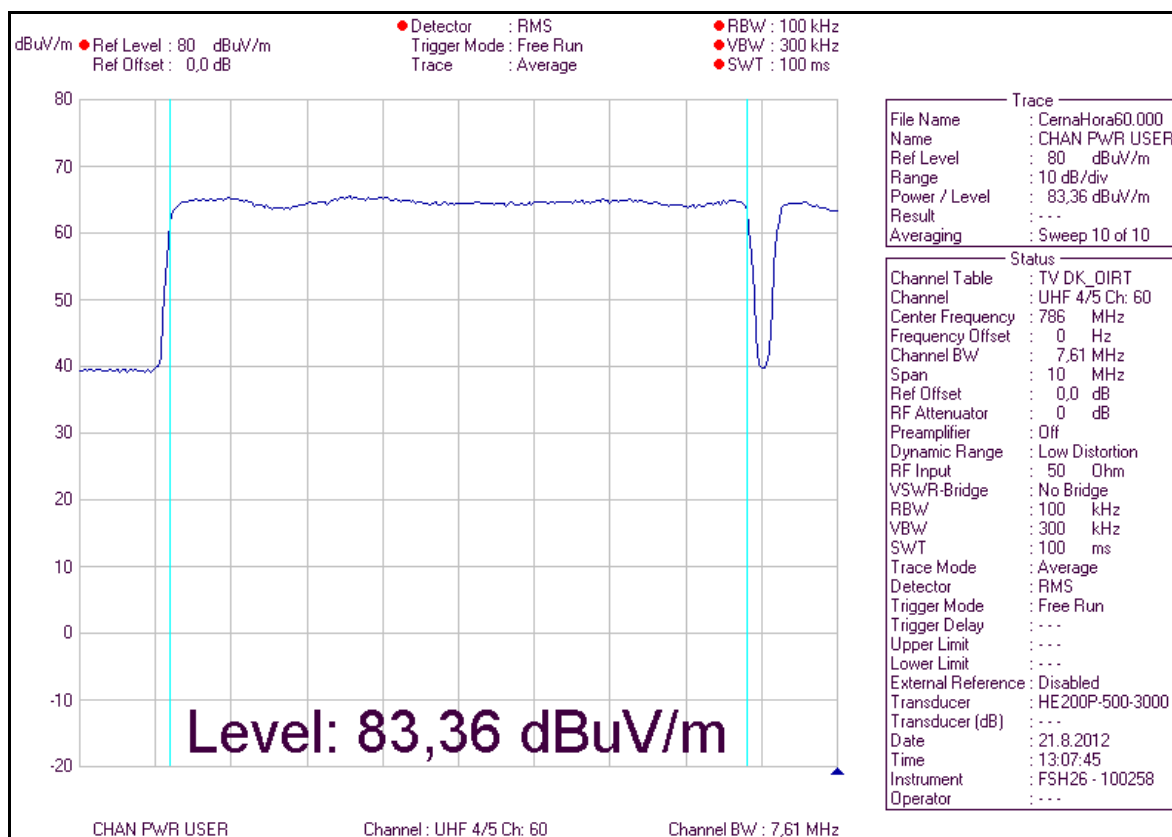
Graf 2 Výstup ze spektrálního analyzátoru při měření MUX 2



Obr. 15 Displej měřicího přijímače se zobrazenými daty MUX 2

## MULTIPLEX 3

Třetí multiplex vysílá na kmitočtu 786 MHz, což odpovídá 60. kanálu.



Graf 3 Výstup ze spektrálního analyzátoru při měření MUX 3



Obr. 16 Displej měřícího přijímače se zobrazenými daty MUX 3

## 6 Budoucí trendy televizního vysílání

V současnosti je v České republice pro šíření televizního signálu prostřednictvím pozemních vysílačů plně využíváno systému DVB-T. V řadě hlavně západoevropských lokalit se již používá nástupnický systém DVB-T2. U nás zatím probíhají různá testování tohoto systému, dlouhodobě se však počítá s postupným přechodem od nynějšího DVB-T k systému DVB-T2, který by měl přinést řadu technických vylepšení, jako třeba přenos obrazu ve vysokém rozlišení. Zda bude pozemní vysílání i nadále majoritním způsobem příjmu nebo se prosadí jiné technologie, ukáže budoucnost.

### 6.1 Systém DVB-T2

Zavedení systému druhé generace je známo už ze satelitního vysílání, přechod k systému DVB-S2, byl před několika lety jednoznačným úspěchem. Tento standard mimo jiné umožnil zvýšit datový tok o zhruba 30 procent, což umožnilo start vysílání v HDTV. Sdružení DVB také pracovalo na možnostech rozvoje standardu DVB-T pro pozemní digitální vysílání, výsledkem této činnosti je nový standard DVB-T2, který byl specifikován normou EN 302 755 v říjnu roku 2008 [8].

Na nový systém bylo kladeno několik požadavků, jaké by měl splňovat. Z jednotlivých požadavků lze zdůraznit a shrnout následující vlastnosti. Podobně jako satelitní předchůdce by i nové televizní vysílání mělo nabídnout vyšší přenosovou kapacitu a to při zachování všech dosavadních koordinačních parametrů a národních vysílacích sítí DVB-T tak, jak je v roce 2006 přijala mezinárodní Ženevská konference. Dalším požadavkem je zajistit lepší funkci jednofrekvenčních sítí zvětšením rozsahu. V rámci jedné sítě by mělo být možné nastavení různé úrovně zabezpečení pro jednotlivé programy a služby. Například v jednom kanále o šířce 8 MHz by mělo být možné jeden program koncipovat pro příjem pevnými anténami a jiný pro příjem mobilními anténami, neboť vysílání v novém standardu by mělo být plně využitelné nejen pro příjem stacionárními nebo přenosnými přístroji, ale také pro mobilní příjem. Požadavek podmiňující použití stávajících přijímacích a vysílacích antén, zcela vylučuje ze hry technologii MIMO, která je velmi populární při budování rychlých rádiových sítí. V neposlední řadě je třeba snížit energetickou náročnost.

Standard DVB-T2 požívá místo konvolučního kódování zdokonalené protichybové zabezpečení LDPC v kombinaci s kódem BCH (Bose Chaudhuri Hocquenghem), který nahradil Reed Salomonovo vnější kódování. Adaptivní kódování spolu s modulací umožňují velmi rychlou změnu parametrů vysílání v závislosti na podmínkách šíření nebo při interaktivních službách. Přijímače druhé generace samozřejmě umožní příjem i systému první generace. [11]

K nejvýznamnějším změnám u standardu DVB-T2 patří doplnění modulačního módu 256QAM, který je schopen jedním stavem nosné vlny přenést současně 8 bitů, což je umožněno zlepšeným protichybovým zabezpečením standardu. S módem 256QAM souvisí zavedení nejkratšího ochranného intervalu 1/128, který umožňuje v tomto případě zkrátit ochranný interval na 28  $\mu$ s. Další změnou je doplnění FFT o hodnoty 1k, 4k, 16k, 32k a tím rozšíření možnosti využití standardu pro vyšší rychlosti při mobilním příjmu (1k), nebo pro zvětšení rozměru jednofrekvenčních sítí SFN (32k). Systém je navržen pro základní šířky přenosového kanálu 10; 8; 7; 6; 5 a 1,712 MHz. Úzký přenosový kanál může být použit pro příjem na mobilní terminály v pásmu UHF nebo L pásmu. Ke snížení spotřeby zejména při příjmu televize na mobilní terminál, slouží časová segmentace programů (time slicing) převzatá ze standardu DVB-H.

	<b>DVB-T</b>	<b>DVB-T2</b>
<b>Modulační schéma</b>	<b>64QAM</b>	<b>256QAM</b>
<b>Mód FFT</b>	<b>2k</b>	<b>32k</b>
<b>Ochranný interval</b>	<b>1/32</b>	<b>1/128</b>
<b>FEC</b>	<b>2/3 CC + RS</b>	<b>3/5 LDPC+BCH</b>
<b>Rozptýlené nosné</b>	<b>8%</b>	<b>1%</b>
<b>Kontinuální nosné</b>	<b>2,6%</b>	<b>0,4%</b>
<b>Synchr. symboly P1/P2</b>	<b>0%</b>	<b>0,7%</b>
<b>kapacita</b>	<b>24 Mbit/s</b>	<b>35,4 Mbit/s</b>

Tab. 7 Příklad zvýšení datového toku v DVB-T2 ve Velké Británii [10]

Robustnost vysílání v členitém terénu zvyšuje rotovaný konstelační diagram, který při nezměněném počtu bitů při kódování umožňuje správně dekódovat signál s využitím pouze jedné souřadnice (horizontální nebo vertikální) vektorového diagramu modulačního schématu. Zmenšením poměru špičkového výkonu ke střednímu výkonu signálu OFDM přibližně o 2 dB došlo k lepšímu využití výkonu koncového stupně vysílače DVB-T2. [11]

První zemí, která spustila HDTV vysílání ve standardu DVB-T byla Velká Británie. Volné místo v kmitočtovém spektru bylo uvolněno změnou módu 16QAM na 64QAM u stávajících pěti multiplexů. Dnes je v provozu několik multiplexů v systému DVB-T2 zajišťující pokrytí 98,5% obyvatel. [10]

Ve Finsku a Švédsku také je již spuštěno DVB-T2 vysílání ve vysokém rozlišení. V těchto zemích je rozvoj DVB-T2 téměř nutnosti, protože zde jsou špatné příjmové podmínky satelitní televize a to zejména na severu kvůli malému elevačnímu úhlu satelitních antén. V řídké obydlených severních oblastech nelze situaci vyřešit ani kabelovou televizí, neboť zasíťování takovýchto částí by bylo ekonomicky náročné.

Například v Německu s dominantním satelitním a kabelovým příjmem je však situace zcela odlišná. Z 34 miliónů domácností pouze zhruba jedna desetina využívá pozemního příjmu. Vysílání v HDTV již bylo zavedeno v satelitní formě DVB-S2, taktéž v kabelovém standardu DVB-C2, tudíž není HDTV vysílané pozemními vysílači očekáváno tak jako v jiných zemích. Navíc je v Německu provozováno několik miliónů mobilních terminálů, včetně těch přijímačů v automobilech, proto je pravděpodobné, že se DVB-T2 stane univerzálním systémem pro mobilní, přenosný i stacionární příjem v různých formách rozlišení. [10]

Plány na využití standardu DVB-T2 se připravují i v řadě jiných zemí. V některých zemích jako např. v Kazachstánu, kde se očekává zahájení digitálního vysílání až v horizontu několika let, přichází v úvahu i možnost počkat a přímo nasadit až systém DVB-T2, s tím, že cena zařízení i přijímačů se bude postupně snižovat. [10]

Tvůrcům standardu DVB-T2 se podařilo splnit prakticky všechny požadavky na nový systém. V tomto standardu by tedy bylo možné i u nás vybudovat celorepublikovou jednofrekvenční síť na jediném kanále, což stávající systém neumožňuje. Nový standard umožní navýšení přenosové kapacity jednotlivých multiplexů ze současných necelých 20 MBit/s na datový tok převyšující hodnotu 30 MBit/s. To by provozovateli multiplexu dovolilo buď podstatně zvýšit kvalitu standardního vysílání, nebo rovnou přejít na vysílání ve vysokém rozlišení. Z hlediska strategie je určitě lepší možností přenášet formát HDTV.

Můžou se najít i multiplexy, kde nebude prvořadá přenosová rychlost, tam se pak může zvýšit robustnost vysílané informace a následně obsah přijímat v mobilních či přenosných zařízeních. Standard DVB-T2 bude bez problémů možný přijímat i v zařízeních jako

mobilní telefony, tablety a další přístroje s příslušným tunerem. Mobilní příjem je sice částečně možný už v nynějších sítích první generace, ale při současné aplikaci parametrů multiplexů není příjem nijak kvalitní.

## 6.2 Televize ve vysokém rozlišení HDTV

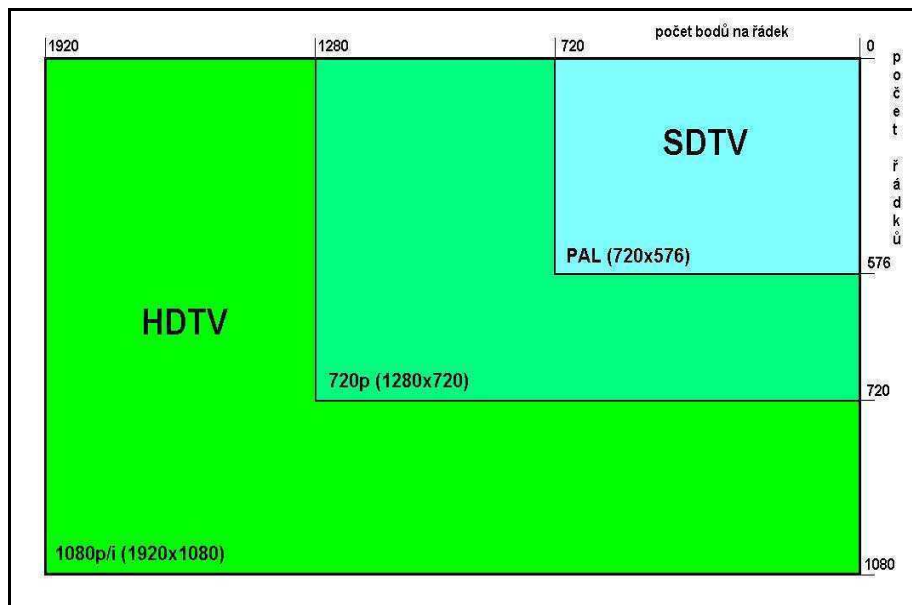
V posledních několika letech začal pozvolný rozvoj vysílání ve vysokém rozlišení, to sebou přineslo i zvýšený zájem zákazníků o přístroje HD Ready nebo rovnou Full HD. První modely většinou neměli ještě vestavěný dekodér MPEG-4 AVC, proto mohly reprodukovat obraz ve vyšším rozlišení pouze z DVD, příp. Blu-ray disků. Příjem DVB-T v rozlišení HD umožnily až přijímače s implementovaným MPEG-4 AVC dekodérem. Podstatně viditelnější změnou, která předcházela obrazu ve vysokém rozlišení, byla změna vysílacího formátu obrazu z původního poměru 4:3 na dnešní širokoúhlý formát s poměrem stran 16:9. I když existují studie o tom, že širokoúhlý formát je přirozenější pro lidské vidění, tak asi málokdo pochybuje o tom, že to byli právě výrobci spotřební elektroniky, kteří potřebovali na trh přijít s něčím novým a tak došlo k rozšíření tohoto formátu.



Obr. 17 Standardizovaná loga HD [9].

Při zavádění HDTV v Evropě nebylo zcela jasné jaký formát obrazu použít pro výrobu a distribuci. Tehdy se zdálo, že nebude zcela nutné, aby to byl společný formát pro výrobu, distribuci a prezentaci [9]. Přestože byly známy výhody neprokládaných systémů typu 1080p, realita dostupnosti takového systému držela technický pokrok zpátky. Dle výrobců čipů pro přijímače by vynucená implementace standardu MPEG-4 AVC s úrovní 4.2 nutná pro formát 1080p držela ceny přijímačů na vysoké úrovni. Dnes je však situace zcela odlišná, skupina DVB zařadila úroveň 4.2 do svých specifikací a většina displejů je schopna zobrazit formát 1080p50/60, novější set-top boxy mohou dekódovat 1080p jako dva bitové toky pro 3DTV, každý 1080p25.

V současné době mnoho televizních společností absolvovala první reinvestiční proces cyklus pro výrobní systémy HDTV s kamerami 1080p50/60 včetně studiové infrastruktury se systémem reprodukce v reálném čase a mimo reálný čas.



Obr. 18 Porovnání obrazových formátů. Zdroj vlastní zpracování.

Pro označení formátů obrazu HDTV se používají 3 základní údaje:

- počet řádků (vertikální rozlišení)
- prokládaný (zkratka i – interlaced) nebo neprokládaný (zkratka p – progressive) obraz
- snímkovací frekvence (počet snímků za sekundu)

Formát 720p50 je základní zobrazovací mód standardu HDTV. Obraz je rozdělen do 720 vertikálních linek, je neprokládaný to znamená, že jeden snímek se skládá z 0,92 milionu obrazových bodů. Rozlišení obrazu 1280x720 je širokoúhlého formátu s poměrem stran 16:9. Kvalita obrazu je blízká módu 1080i25 a tedy dosahuje výrazně lepší ostrosti než klasický SD standardu PAL. [7]

Formát 1080i25 je další mód standardu HDTV, který dělí obraz do 720 vertikálních linek. Písmeno „i“ v názvu značí prokládání (interlaced). Rozlišení obrazu 1920x1080 je taktéž v poměru stran 16:9, nicméně počet obrazových bodů je oproti módu 1080p50 poloviční, tedy 1,04 milionu. Tento formát používá většina provozovatelů sítí, vzhledem díky poměru kvality obrazu a náročnosti na přenosovou kapacitu. [7]



Formát 1080p50 je nejkvalitnější zobrazovací mód standardu HDTV. Neprokládaný obraz značí písmeno „p“ (progressive). Při rozlišení 1920x1080 se tedy jeden obrazový snímek skládá z 2,07 milionu bodů. Tento formát s poměrem stran 16:9 je většinou označován jako plný, nebo-li Full HD. Pro HDTV vysílání v systému DVB je však tento systém poměrně náročný na přenosovou kapacitu. Z tohoto důvodu se zatím převážně používají formáty 720p50 a 1080i25. [7]

Formát vyššího než standardního rozlišení obrazu je zatím možné přijímat především z družicové nebo kabelové služby a to je umožněno větší kapacitou datového toku oproti kapacitě multiplexu v pozemním vysílání. Několik málo televizních stanic většinou nepravidelně šíří svůj obsah pozemní cestou ve vysokém rozlišení za použití komprimačního formátu MPEG-4, pokud má uživatel k dispozici tuner s patřičným dekodérem, je schopen na svém přijímači zobrazovat HDTV formát. Přesto však s masovějším nasazením formátu vysokého rozlišení šířeného pozemními vysíláči, se počítá v nástupnickém systému DVB-T2, tedy digitální televize 2. generace.

## 7 Zhodnocení výsledků

Prostředí televizní techniky se rozvíjí velmi dynamicky a neustále přichází s novými prostředky a službami, což s sebou nese neustálé finanční náklady jak pro vysílatele, tak pro uživatele. Následující kapitola přináší mimo jiné přehled ekonomických aspektů a statistických dat.

### 7.1 Ekonomické důvody přechodu k digitálnímu vysílání

Hlavním důvodem pro opuštění starého analogového vysílání a ubírání se k systémům novějším je ekonomika. Pro znalé není velkým překvapením, že to, jak se nějaká technologie stane úspěšná a tedy i rozšířená, nebo naopak skončí ještě dřív, než se prosadí, je hlavně věcí trhu. Zkrátka kterákoliv technologie má na to se prosadit jen pokud se najde někdo, kdo za ni zaplatí. To, aby do ní kdokoliv investoval, musí být podmíněno vidinou nějakého užítku nebo nejlépe ekonomického zisku. V tomto případě je hlavním důvodem rozvoje televizního digitálního vysílání určitý nedostatek vzácného statku. Tím statkem je rádiové spektrum, které je zejména v televizních pásmech velice přeplněné. Navíc televizní pásmo je velice lukrativní i pro jiné služby, proto kdyby se uskromnilo, mohla by se část kmitočtového spektra využít jinak.

Proč je nejvhodnější použít daná pásma a ne nějaká jiná je celkem jasné, je to věcí fyziky a schopností šíření rádiových vln v prostoru se vzrůstajícím kmitočtem. Ne, že by v okolních pásmech bylo nějak volno, zkrátka spektrum je plně vytížené a tak se s ním musí nakládat hospodárně. Proto není možné, aby si každý vysílal, jak a kde chce, ale tato činnost musí být nějak regulována. Z toho důvodu na využívání rádiového spektra dohlíží stát, ale i nadnárodní instituce. A co je důležité, existují různé normy, standardy a doporučení, které se snaží o to, aby mohla všechna tato zařízení pracovat tak, že se vzájemně neovlivňují a nejlépe dohromady spolupracují.

V systému analogového vysílání bylo v našich podmínkách možné vybudovat pouze čtyři celoplošné televizní sítě, což v analogovém vysílání znamená čtyři televizní programy. Navíc v analogovém systému prostě není možné, aby dva vysílače velkého výkonu, které na sebe vidí, vysílaly na stejném kanále, výsledkem by bylo rádiové rušení. Další věcí je, že čtyři televizní programy se zřejmě zdá uživatelům málo a tak by chtěli více. Televizní

vysílání, které je stále nejrozšířenějším komunikačním prostředkem, na sebe poutá možnost umístění reklamy do vysílání. Příjmy z reklamy a někdy i z uživatelských poplatků jsou možností zisku a to je důvodem, že vznikají nové, zejména komerční televizní společnosti, chtějící vysílat a tvořit zisk. Spektrum je omezené, tudíž se musí přistoupit k nové technologii, která zabezpečí hospodárněji využívat rádiové spektrum.

Nejpodstatnější nevýhody analogového vysílání tedy jsou, že v jednom televizním kanálu o šířce zhruba 8 MHz se přenáší pouze jeden program, na mnoha místech dochází k degradaci signálu způsobeného odrazy a následným mnohocestným šířením, nemožnost použít mobilní příjem. Dále na pokrytí území signálem jsou potřeba vysílače s poměrně velkým vyzářeným výkonem, vzhledem k potřebě vysoké úrovně analogového signálu v přijímači. Zde je na místě ekonomika provozu pro společnosti zajišťující distribuci signálu, neboť v analogovém vysílání je potřeba do vzduchu dostat velké množství vysokofrekvenční energie a to je značně energeticky náročné, provoz takového vysílače je velmi nákladný. Modernější technologie díky svým modulacím a kódováním jsou již méně náročné na spotřebu energie, protože mohou vysílat menším vyzářeným výkonem.

## **7.2 Náklady pro vysílání a ekonomika dodatečného pokrytí**

Televizní vysílání můžeme také rozdělit podle subjektů stojících na vysílací a přijímací straně. Na straně první stojí televizní společnost jako producent obsahové náplně, vlastní i převzaté, spolu s distributorem nebo-li vysílací společností. Televizní společnost většinou platí distributorovi za šíření televizního signálu, proto záleží na ní, jakou platformu si vybere. Šíření pozemními vysílači bývá zpravidla nejdražší, a tak menší televizní stanice mohou zvolit pouze vysílání pomocí družicového systému. Televizní společnosti svůj provoz financují prodejem vysílacího času ve formě reklam. Ne všechna televizní média musí svoji činnost financovat umístěním reklamy do svého vysílání, v některých případech se televizní divák podílí určitou platbou. Pokud chce uživatel na svém přijímači sledovat některý z tzv. placených kanálů, nezbude mu nic jiného, než za příjem tohoto obsahu platit určenou částku v pravidelných platbách. Distributor televizního signálu mu pak umožní zobrazení programu, který si zaplatil. Zatím je takováto praxe známa především z kabelového a satelitního příjmu, ale spekuluje se o možnosti zavést některé placené programy i v pozemním vysílání, pokud k tomu skutečně dojde, tak spíše až v systému druhé generace DVB-T2.

Poplatek televiznímu operátorovi však není jediná forma spoluúčasti diváka na financování. Veřejnoprávní média mají určité privilegium přímé platby, tzv. koncesionářských poplatků, zakotveno v zákoně. Podle tohoto právního předpisu je každá domácnost povinna přispívat pouze za jeden přijímač, za další již platit nemusí, ale pokud jde o právnickou osobu, je zde povinnost platit za každý přijímač. Z poplatků je financován provoz a rozvoj České televize a Českého rozhlasu, jako provozovatelů tzv. veřejnoprávní služby. Rozhodujícím kritériem však není to, zda subjekt veřejnoprávní službu skutečně odebírá, poplatníkem se stane ten, kdo vlastní zařízení schopné zpracovat televizní signál (tzn. včetně monitorů s tunery, osobních počítačů s TV kartou nebo USB tunerem).

Nejvíce je digitální systém hospodárný právě v případě kmitočtového spektra. Náklady tvoří hlavně provoz vysílačů. V případě použití moderních komunikačních technologií, jako je například systém rozprostřeného spektra, je umožněno v jednom televizním kanále přenášet několik televizních programů. Současný, v našich podmínkách nasazený DVB-T umožní přenášet zhruba 4 – 5 programů ve standardní kvalitě, navíc s výkonem o několik řádů nižším než v případě analogového vysílání a při zachování stejného pokrytí. Ke kalkulaci provozu je třeba připočítat i úsporu na poplatcích za využívání kmitočtového spektra. Na druhou stranu, zavádění nových technologií na sebe váže obrovské investiční náklady a takové zařízení musí být v provozu několik let, aby se zaplatilo, což je velká nevýhoda pro modernizaci. Ale toto je známý problém například i v odvětví mobilních operátorů, kde stejně jako mezi televizními operátory jsou vlastníky nadnárodní společnosti, které určitě nemají v úmyslu v České republice uvádět do provozu nejmodernější technologie. Nasadí osvědčenou technologii, mnohdy již v západoevropských zemích ustupující, ale mající ještě potenciál v našich podmínkách tvořit zisk. Když pak na podobnou taktiku přistoupí všichni operátoři a nenajde se konkurence, která by přišla na trh s lepšími parametry služby, nemůžou zákazníci za své vynaložené prostředky získat rozšíření služeb nebo kvality.

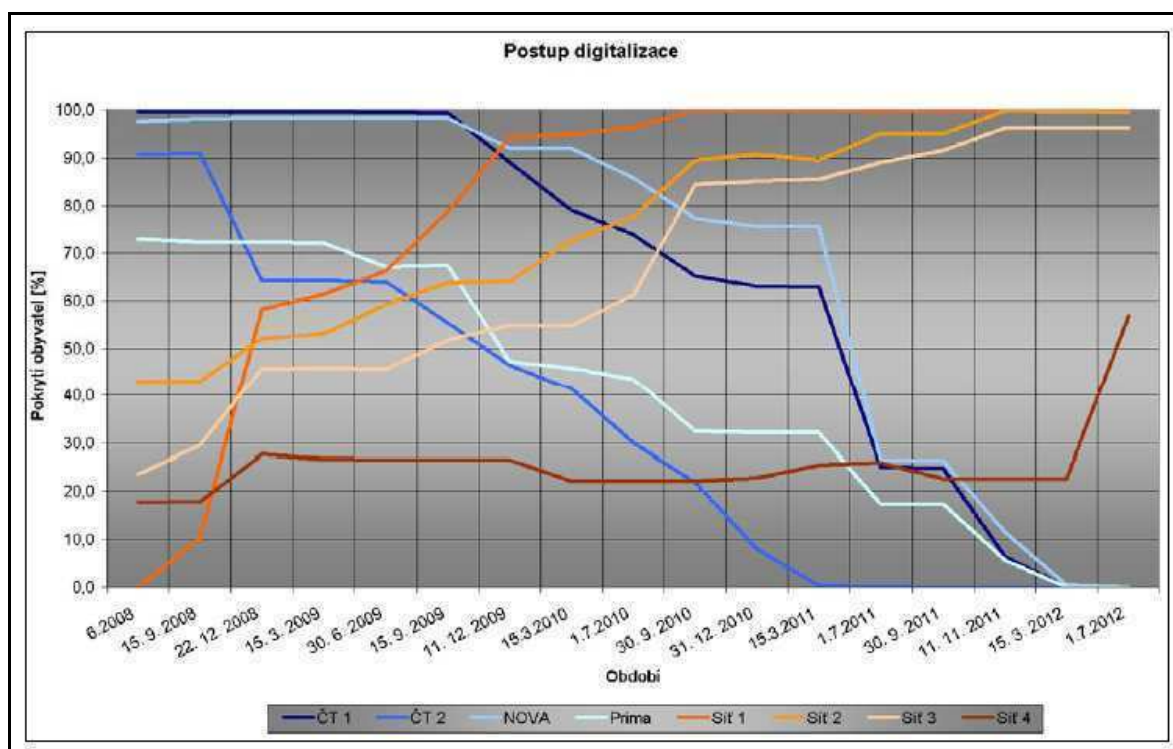
Na straně uživatele byl přechod na digitální způsob příjmu podmíněn investicí do zařízení umožňujícího zpracování DVB-T signálu a v některých případech také nutnou úpravou anténního systému. Přínosem z této investice mu bylo zkvalitnění příjmu TV signálu, eliminoval se šum, zdvojení obrazu a jiné artefakty známé z analogového příjmu. Ten, kdo přijímal už analogové programy v prvotřídní kvalitě bez zmíněných nedokonalostí obrazu,

může nad dnešním kompresovaným obsahem polemizovat a pochybovat, zda mu digitalizace přinesla zkvalitnění služby. Zkreslení obrazu je však více pozorovatelné na větších displejích a stoupá s jejich úhlopříčkou. Zkvalitnění obrazových vlastností obsahu přináší až vysílání ve vysokém rozlišení HDTV, avšak to není primární parametr digitální televize první generace DVB-T.

### 7.3 Statistická charakteristika digitálního televizního vysílání

V této podkapitole jsou uvedena některá důležitá data v souvislosti s přechodem na digitální vysílání v České republice. Český telekomunikační úřad vypracoval Technický plán přechodu na digitální vysílání, který byl přijat v květnu roku 2008, což umožnilo zahájit připravovaný proces přechodu. V technickém plánu byly stanoveny konkrétní rádiové kmitočty pro jednotlivé vysílací sítě a byly vymezeny územní oblasti, podle nichž měl přechod časově probíhat. Časový prostor pro realizaci celého procesu byl stanoven na období od poloviny roku 2008 do 11. listopadu 2011. K úplnému ukončení zemského analogového televizního vysílání na celém území České republiky došlo dne 30. 6. 2012.

Následující graf ilustruje postupný úbytek pokrytí analogových sítí a spouštění digitálních sítí v čase. Jako jednotky jsou použity procenta pokrytí obyvatel.



Obr. 19 Grafické znázornění postupu digitalizace v České republice. (<http://ctu.cz>)

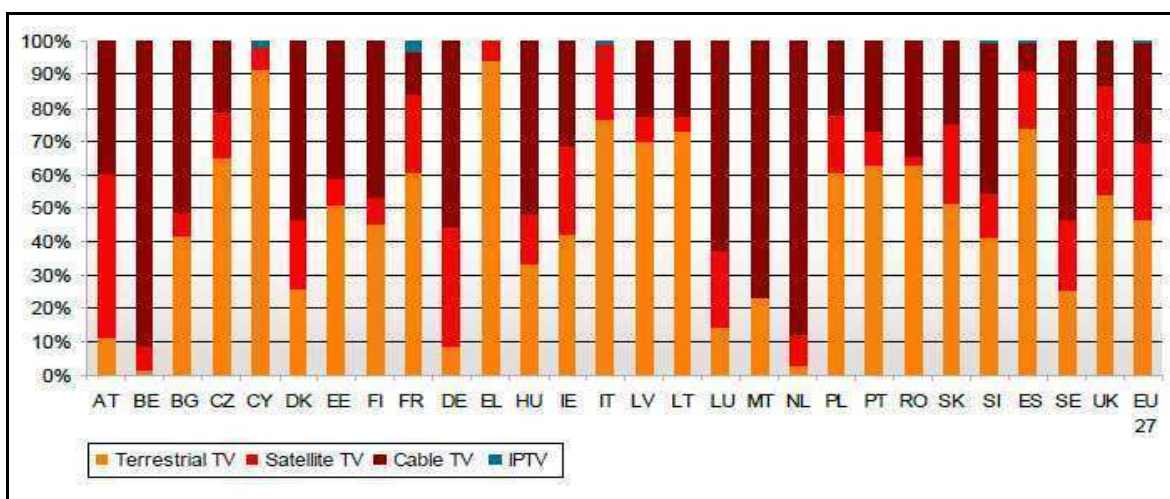
Jednotka procentního pokrytí obyvatelstva se pro účely stanovení rozsahu dostupnosti sítě používá velmi často. Při splnění určitých závazků ohledně pokrytí signálem určité sítě je kladen důraz pokrýt zejména hustě osídlené aglomerace, kde např. šířením signálu v metropoli a krajských městech lze dosáhnout velmi vysokých čísel pokrytí za použití několika málo vysílačů. Tato situace je poměrně známá z dob zavádění signálu GSM, jelikož mobilní operátor používá řádově menší buňky než distributor televizního signálu, byla přednostně pokrývána místa s velkou koncentrací obyvatel jako veřejná prostranství, sídliště, nákupní centra atd. Pokud se uživatel přesunul z této oblasti směrem do venkovského prostoru, následovala ztráta dostupnosti sítě. Zvětšováním množství buněk se postupně podařilo pokrýt signálem i řidčeji osídlené oblasti. I dnes se však najdou místa, kde není možno uskutečnit hovor. Pomineme-li místa, kde to zákonem není povoleno, např. ve věžeňských objektech je signál GSM účelně rušen, jedná se o lokality, které jsou pro operátory nezajímavé z hlediska vynaložených investic. Naproti tomu je možné použít také jednotku územního pokrytí, která určuje, jak velký podíl území je penetrován signálem určité služby.

Při splnění podmínky, kdy se televizní program stává celoplošným, je potřeba pokrýt právě 95% obyvatel. U zbývajících 5% obyvatel, což je v ČR zhruba půl miliónu lidí, je většinou na uvážení operátora, zda je ekonomické dané lokality pokrývat. V těchto případech jsou požadavky obyvatel směřovány především na místní složky veřejné správy, a ty poté vyjednávají s distributorem televizního signálu na podmínkách dodatečného pokrytí převaděčem nebo opakovačem TV signálu. Pokud si obec nemůže dovolit nebo se nechce podílet se na nákladech spojených s provozem opakovače signálu zemské televize DVB-T, může zvážit buď zřízení vlastního kabelového rozvodu, což je však vzhledem k členitému terénu a značné rozlehlosti těchto lokalit velice nákladné, nebo častěji příjmem prostřednictvím satelitní služby, která často bývá jedinou možností jak přijímat televizní signál v dostatečné kvalitě.

Přístup národních televizních operátorů, ohledně způsobu distribuce, je i v případě samotné Evropy velice rozmanitý. V některých lokalitách je příjem pozemní cestou značně rozšířen, jinde dominuje družicový příjem. Digitalizace jako taková neměla zásadní vliv na změny podílů jednotlivých platforem pro příjem televize. Podstatnou věcí, která zásadně rozhodla, je několikaletý náskok při digitalizaci družicového vysílání před pozemním. Zkrátka, kdo měl zájem o rozšíření nabídky televizních programů a nechtěl čekat na zdlouhavou

digitalizaci pozemní sítě, zvolil satelit. Družicový systém má také vyšší přenosovou kapacitu, jak je podrobněji rozebráno v teoretické části. Pokud někdo chtěl kvalitnější obraz, nezbylo mu než použít satelitní příjem, neboť hlavně s nárůstem poptávky po velkoplošných panelech, často o hodně přesahujících základní úhlopříčku 32 palců je komprimační zkreslení více pozorovatelné. Není také náhodou, že pokud zákazník vstoupí do obchodu s elektronikou, často ho upoutá velmi ostrý obraz ve vysokém rozlišení, většinou přehrávaný z Blu-ray disku. Pokud si nechá zákazník předvést přijímač s reálným televizním programem, prodavač téměř vždy připojí vstup s programem ve vysokém rozlišení šířeným družicově. Když si zákazník takový displej s velkou úhlopříčkou donese domů a na vstup zapojí běžně šířený pozemní signál ve standardní kvalitě, nestačí se divit. Přenosová rychlost po přepočtu na jeden televizní program vychází u systému DVB-S vyšší než u DVB-T vysílaného v našich podmínkách, a i to je jeden z důvodů, proč řada spotřebitelů dává přednost družicové službě.

Následující graf ukazuje Evropskou unii z pohledu využití jednotlivých přijímacích platform. Graf na první pohled zaujme značnou rozlišností mezi jednotlivými státy v rámci EU. Žlutou barvou je zastoupen pozemní příjem ať už DVB-T nebo někde ještě dosluhující analogový přenos, světle červenou barvou družicový systém nejčastěji ve variantě DVB-S2, tmavě červenou kabelová DVB-C nebo analogová varianta kabelové televize a nakonec modře IPTV, která má zatím v evropském měřítku velmi malé zastoupení.



Obr. 20 Podíly v jednotlivých TV platformách v domácnostech (primární TV) [13].

Mezi jednotlivými regiony jsou značné rozdíly, pozemní příjem má majoritní zastoupení hlavně v zemích jako Itálie, Řecko, Španělsko, Kypr, Litva a Lotyšsko. Ale i v zemích jako Francie, Česko, Polsko a Slovensko, má více než poloviční podíl ze všech dostupných platforem. V Rakousku a Německu je zase nejvíce domácností sledující televizi přes družici. Naproti tomu v zemích Beneluxu a třeba na malém ostrově Malta dominuje kabelová televize. V těchto zemích, tedy v Belgii, Nizozemí, Lucembursku a dalších jako Rakousko a Německo, je dokonce počet domácností přijímající signál z pozemních vysílačů zanedbatelný, což je trochu dáno i tím, že je zde systém DVB-T rozšířen velmi minimálně. Pro televizní společnosti a operátory by bylo šíření prostřednictvím vysílačů velice nákladné a zajímalo by pouze mizivé procento uživatelů, proto se raději soustředí na jiné platformy. Z tohoto důvodu je také možné na satelitu naladit obrovské množství volně šířených programů v němčině. Služba IPTV je zatím spíše budoucností, neboť každoročně nepatrně zvyšuje svůj podíl na trhu, ale její nárůst nutně souvisí s vysokorychlostním připojením do sítě internet. Navíc snad všude a nejinak tomu je v České republice, je IPTV službou placenou, a to o dost dražší než ty ostatní a to jejímu hromadnému rozšíření také nepřispívá.



## 8 Závěr

Závěrem lze konstatovat, že pokud si tato práce v úvodu kladla za cíl poskytnout komplexní přehled o současných systémech a možnostech televizního vysílání s důrazem na pozemní šíření, byl tento cíl dosažen. Cílem bakalářské práce bylo ovšem rovněž zhodnocení ekonomických aspektů a přínosů pro provozovatele i uživatele, což v zásadě splňuje nejen kapitola se závěrečným hodnocením výsledků, ale i jednotlivé dílčí kapitoly, které jsou po čistě technickém pojetí doplňovány zejména ekonomickými hledisky.

Samotný přechod zemského analogového televizního vysílání na digitální televizní vysílání probíhal sice zdlouhavě a s menšími komplikacemi, nicméně bez zásadních negativních dopadů na diváckou veřejnost. Později se ukázalo, že některá často kritizovaná řešení, nebyla úplně špatnými rozhodnutími, například aplikované zdrojové kódování MPEG2 umožnilo dosáhnout uspokojivou vybavenost divácké veřejnosti potřebnými přijímacími prostředky na rozdíl od jiných zemí (jako např. Polsko), které zvolily progresivnější a efektivnější způsob kódování MPEG4, ale bez potřebného množství hardwarového vybavení. Navíc se v současné době ukazuje, že budoucí systém digitálního televizního vysílání druhé generace DVB-T2 bude pravděpodobně využívat zcela jiných, modernějších kódovacích formátů (např. HEVC). Vzniklé problémy v průběhu přechodu na digitální vysílání nejčastěji souvisely s nedostatkem volných rádiových kmitočtů, který se v některých lokalitách musel řešit využitím přechodných kmitočtů, apod.

V současné době se intenzivně vyjednává o uvolněných kmitočtech v rámci tzv. digitální dividendy, neboť kmitočty v pásmech pod 1 GHz jsou velmi cenné a je o ně velký zájem. Uvažuje se také o dalším možném uvolnění části kmitočtů pro nové mobilní služby založené na vysokorychlostním přístupu k internetu. To však v podmínkách České republiky bude kromě legislativních opatření vyžadovat i implementaci nových spektrálně efektivnějších systémů pro šíření televizního vysílání. Dnešní domácnosti jsou již ve velké míře vybaveny velkoformátovými panely vyžadujícími obsah ve vysokém rozlišení (HD), a to vytváří zájem uživatelů o zvýšení kvalitativních parametrů pozemního digitálního televizního vysílání.

Jeden mezník byl tedy položen, ale další je nepochybně před námi. Kdy, jak a za jakých podmínek přijde, však ukáže teprve budoucnost.

## Seznam použitých zdrojů:

1. **LEGÍŇ, Martin. Televizní technika DVB-T.**  
Praha: BEN – technická literatura, 2007. 264 s. ISBN 978-80-7300-204-3
2. **WHITAKER, Jerry. Standard Handbook of Broadcast Engineering.**  
United States: McGraw-Hill, 2005. 1104 s. ISBN 0071451005 / 9780071451000
3. **KREJČÍ, J.; ZEMAN, T. Úvod do IPTV;**  
on-line: KTT FEL ČVUT; (21.8.2012)  
<http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=uvod-do-iptv&cislocclanku=2008100002>
4. **KOŠŤÁL, Emil. DVB systém.** Prof. Ing. František VEJRAŽKA, CSc.  
Praha: Sborník přednášek Radiokomunikace, ČVUT – FEL, 2000. s 257-277.
5. **ČSN ETSI EN 300 744 V1.6.1 (2009-01), Digital Video Broadcasting (DVB);**  
Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television.  
EU: ETSI, 2009.  
<http://www.dvb.org/technology/standards/>
6. **ŽALUD, Václav. Moderní způsoby ochrany rádiového přenosu.**  
Pardubice: Sborník přednášek Radiokomunikace 2010, UNIT. s 135-153.
7. **FLIEGEL, Karel; RUND, František. Aktuální trendy ve velkoplošném zobrazování a prostorovém zvuku.**  
Pardubice: Sborník přednášek Radiokomunikace 2010, UNIT. s 35-52.
8. **ČSN ETSI EN 302 755 V1.2.1 (2011), Digital Video Broadcasting (DVB);**  
Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2). EU: ETSI, 2011.  
<http://www.dvb.org/technology/standards/>
9. **DOEVEN, Jan. DTT Networks in Evolution;**  
Making changes to the digital terrestrial television platform. EU: DIGITAG, 2008.  
[http://www.digitag.org/DTTResources/DTT\\_Networks\\_in\\_Evolution.pdf](http://www.digitag.org/DTTResources/DTT_Networks_in_Evolution.pdf)
10. **HD on DTT;**  
Key issues for broadcasters, regulators and viewers. EU: DIGITAG, 2007.  
[http://www.digitag.org/HDTV\\_v01.pdf](http://www.digitag.org/HDTV_v01.pdf)
11. **Directive**  
Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesing requirements for televisions. EU: ES, 2009.

**12. Vyhláška o způsobu stanovení pokrytí signálem zemského televizního vysílání.**

č. 163/2008. ČR: Sbírka zákonů, 2008. částka 51.

**13. Digital television data, EU market for digital television;**

Report prepared for the european commission. EU: DATAxis, 2008.

[http://ec.europa.eu/information\\_society/policy/ecomm/doc/library/ext\\_studies/digital\\_tv\\_final\\_report\\_cec.pdf](http://ec.europa.eu/information_society/policy/ecomm/doc/library/ext_studies/digital_tv_final_report_cec.pdf)

**14. D-Book; verze 3.05;**

Minimální požadavky na přijímací zařízení pro poskytování služeb v sítích DVB-T a DVB-T2. Praha: ČTÚ (Český telekomunikační úřad), 2012.

[http://www.ctu.cz/cs/download/digitalni\\_vysilani/d-book\\_2012\\_7\\_18\\_v3-05.pdf](http://www.ctu.cz/cs/download/digitalni_vysilani/d-book_2012_7_18_v3-05.pdf)

## Seznam použitých obrázků, tabulek a grafů:

Obr. 1	Vyznačení společných bloků pro DVB-C, DVB-S a DVB-T [4].....	14
Obr. 2	Uspořádání sítě IPTV [3].....	17
Obr. 3	Přenos TV kanálů v IPTV síti [3].....	18
Obr. 4	Schéma kódování signálu DVB. Upraveno dle zdroje [4].....	20
Obr. 5	Zdrojové kódování obrazového a zvukového signálu [4].....	21
Obr. 6	Porovnání kompresních standardů v čase [10]. ....	23
Obr. 7	Schéma procesů kanálového kódování [4].....	25
Obr. 8	Varianty DVB-T s ochranným intervalem 8k a min. úroveň elmag. pole [9].....	27
Obr. 9	Porovnání módu SC (single carrier) a OFDM [4].....	28
Tab. 1	Parametry vysílače.....	35
Tab. 2	Parametry vysílaných kanálů.....	35
Obr. 10	Televizní vysílač Černá hora (1299 m.n.m.) Zdroj vlastní foto.....	35
Tab. 3	Parametry přijímacího místa.....	36
Obr. 11	Situační mapka oblasti. ( <a href="http://dtv.ctu.cz">http://dtv.ctu.cz</a> ).....	36
Obr. 12	Terénní profil z vysílacího do přijímacího místa. ( <a href="http://dtv.ctu.cz">http://dtv.ctu.cz</a> ).....	37
Obr. 13	Klimatické podmínky ovlivňující měření. Zdroj ČHMÚ ( <a href="http://chmi.cz">http://chmi.cz</a> ).....	37
Tab. 4	Použité měřicí přístroje a antény.....	38
Tab. 5	Minimální hodnoty intenzity užitečného signálu [12]. ....	38
Tab. 6	Porovnání parametrů.....	39
Graf 1	Výstup ze spektrálního analyzátoru při měření MUX 1.....	40
Obr. 14	Displej měřícího přijímače se zobrazenými daty MUX 1.....	40
Graf 2	Výstup ze spektrálního analyzátoru při měření MUX 2.....	41
Obr. 15	Displej měřícího přijímače se zobrazenými daty MUX 2.....	41
Graf 3	Výstup ze spektrálního analyzátoru při měření MUX 3.....	42
Obr. 16	Displej měřícího přijímače se zobrazenými daty MUX 3.....	42
Tab. 7	Příklad zvýšení datového toku v DVB-T2 ve Velké Británii [10].....	44

Obr. 17	Standardizovaná loga HD [9].....	46
Obr. 18	Porovnání obrazových formátů. Zdroj vlastní zpracování.....	47
Obr. 19	Grafické znázornění postupu digitalizace v České republice. ( <a href="http://ctu.cz">http://ctu.cz</a> ).....	52
Obr. 20	Podíly v jednotlivých TV platformách v domácnostech (primární TV) [13]. .....	54

## Seznam použitých zkratek:

<i>zkratka</i>	<i>english</i>	<i>česky</i>
<b>ATSC</b>	<i>Advanced Television Systems Committee</i>	norma pro digitální TV vysílání užívaná zejména v Severní Americe
<b>AVC</b>	<i>Advanced Video Coding</i>	standard pro kompresi videa
<b>COFDM</b>	<i>Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>	kódovaný modulační systém rozprostřeného spektra
<b>CRT</b>	<i>Cathode Ray Tube</i>	typ obrazovky s katodovou trubicí
<b>DCT</b>	<i>Discrete Cosine Transform</i>	diskrétní transformace produkující pouze reálné koeficienty
<b>DVB</b>	<i>Digital Video Broadcasting</i>	digitální televizní vysílání
<b>DVB-C</b>	<i>Digital Video Broadcasting - Cable</i>	kabelové digitální televizní vysílání
<b>DVB-H</b>	<i>Digital Video Broadcasting - Handheld</i>	standard televizního vysílání pro přenosná zařízení
<b>DVB-S</b>	<i>Digital Video Broadcasting - Satellite</i>	družicové digitální televizní vysílání
<b>DVB-T</b>	<i>Digital Video Broadcasting - Terrestrial</i>	pozemní digitální televizní vysílání
<b>DVB-T2</b>	<i>Digital Video Broadcasting - Terrestrial 2</i>	pozemní digitální televizní vysílání druhé generace
<b>EBU</b>	<i>European Broadcasting Union</i>	Evropská unie pro televizní a rozhlasové vysílání
<b>ETSI</b>	<i>European Telecommunication Standards Institute</i>	Evropský institut pro standardizaci v telekomunikacích
<b>FEC</b>	<i>Forward Error Correction</i>	metoda zpětné opravy chyb
<b>HDCP</b>	<i>High-Bandwidth Digital Content Protection System</i>	ochranný mechanismus pro digitální obsah
<b>HDMI</b>	<i>High Definition Multimedia Interface</i>	rozhraní pro přenos nekomprimovaného obrazového a zvukového signálu
<b>HDTV</b>	<i>High Definition TeleVision</i>	vyšší rozlišení televizního obrazu
<b>ICI</b>	<i>Inter Carrier Interference</i>	vnitřní vzájemné ovlivňování nosných
<b>IGMP</b>	<i>Internet Group Management Protocol</i>	internetový protokol podporující IP multicast
<b>IPTV</b>	<i>Internet Protocol TeleVision</i>	televize přes internetový protokol
<b>ISDB</b>	<i>Integrated Services Digital Broadcasting</i>	norma pro digitální TV vysílání užívaná zejména v Japonsku
<b>ISI</b>	<i>Inter Symbol Interference</i>	vnitřní vzájemné ovlivňování symbolů
<b>KSV</b>	<i>Key Selection Vector</i>	veřejný šifrovací klíč
<b>LDPC</b>	<i>Low Density Parity Check</i>	komenikační kanál tvořený přenosovým mediem

<b>LDTV</b>	<i>Low Definition TeleVision</i>	nízké rozlišení televizního obrazu
<b>MER</b>	<i>Modulation Error Ratio</i>	chybovost modulace vyjádřená v dB
<b>MIMO</b>	<i>Multiple Input Multiple Output</i>	abstraktní matematický model pro multi-anténní komunikační systémy
<b>MPEG</b>	<i>Motion Picture Experts Group</i>	expertní skupina pro obraz - formát ztrátové komprese
<b>NTSC</b>	<i>National Television System(s) Committee</i>	standard kódování analogového televizního signálu
<b>OFDM</b>	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplex</i>	metoda rozdělení datového toku na dílčí paralelní toky
<b>PAL</b>	<i>phase alternating line</i>	standard kódování barevného signálu
<b>QAM</b>	<i>Qaudrature Amplitude Modulation</i>	kvadrurní amplitudová modulace
<b>QoS</b>	<i>Quality of Service</i>	termín používaný pro rezervaci a řízení datových toků přepínáním paketů
<b>QPSK</b>	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>	kvadrurní fázová modulace
<b>RTSP</b>	<i>Real Time Streaming Protocol</i>	řídící protokol pro distribuci zvuku a videa v reálném čase
<b>SDTV</b>	<i>Standard Definition TeleVision</i>	standartní rozlišení televizního obrazu (576 řádků)
<b>SFN</b>	<i>Single Frequency Network</i>	jednofrekvenční síť
<b>TCM</b>	<i>Trelis Coded Modulation</i>	mřížkově kódovaná modulace
<b>UHF</b>	<i>Ultra High Frequency</i>	pásmo (IV. a V.) používané pro pozemní televizní vysílání
<b>USB</b>	<i>Universal Serial Bus</i>	universální sériová sběrnice
<b>VHF</b>	<i>Very High Frequency</i>	pásmo (III.) používané pro pozemní televizní vysílání
<b>VoD</b>	<i>Video on Demand</i>	systém sestavování obsahu dle požadavků uživatele
<b>Wi-Fi</b>	<i>Wireless Fidelity</i>	označení pro standardy bezdrátové komunikace v počítačových sítích

Příloha 1 – Tabulka kanálů pro DVB-T/T2:

III. TV pásmo šířka kanálu 7 MHz		III. TV pásmo šířka kanálu 8 MHz		IV./V. TV pásmo šířka kanálu 8 MHz		IV./V. TV pásmo šířka kanálu 8 MHz	
kanál	kmitočet <sup>1</sup> [MHz]	kanál	kmitočet <sup>1</sup> [MHz]	kanál	kmitočet <sup>1</sup> [MHz]	kanál	kmitočet <sup>1</sup> [MHz]
5	177,5	6	178	21	474	46	674
6	184,5	7	186	22	482	47	682
7	191,5	8	194	23	490	48	690
8	198,5	9	202	24	498	49	698
9	205,5	10	210	25	506	50	706
10	212,5	11	218	26	514	51	714
11	219,5	12	226	27	522	52	722
12	226,5			28	530	53	730
				29	538	54	738
				30	546	55	746
				31	554	56	754
				32	562	57	762
				33	570	58	770
				34	578	59	778
				35	586	60	786
				36	594		
				37	602		
				38	610		
				39	618		
				40	626		
				41	634		
				42	642		
				43	650		
				44	658		
				45	666		

<sup>1</sup> uveden je kmitočet středu kanálu

zdroj [14]



## Příloha 2 – Přehled parametrů sítí užívaných v ČR

<b>Parametry kódování a vysílání MUX 1 a MUX 2</b>	
kódování obrazu	MPEG-2 MP@ML
kódování zvuku	MPEG-1 Layer II
kódování češtiny	pro EPG a MHP podle ISO/IEC 6937
formát obrazu	16:9 nebo 4:3
zvuk	mono, duální nebo stereo (v jednom PID streamu včetně signal.)
vysílací mód	8k (6817 nosných)
modulace nosných	64 QAM
ochranný interval	1/4
konvoluční kódování	2/3
celkový datový tok	19,9 Mbit/s
režim	nehierarchický
statistický multiplexer řídí přidělování bitového toku jednotlivým tv programům podle jejich okamžité potřeby	

<b>Parametry kódování a vysílání MUX 3</b>	
kódování obrazu	MPEG-2 MP@ML
kódování zvuku	MPEG-1 Layer II
kódování češtiny	pro EPG a MHP podle ISO/IEC 6937
formát obrazu	16:9 nebo 4:3
zvuk	mono, duální nebo stereo (v jednom PID streamu včetně signal.)
vysílací mód	8k (6817 nosných)
modulace nosných	64 QAM
ochranný interval	1/8
konvoluční kódování	3/4
celkový datový tok	24,88 Mbit/s
režim	nehierarchický
statistický multiplexer řídí přidělování bitového toku jednotlivým tv programům podle jejich okamžité potřeby	

<b>Parametry kódování a vysílání MUX 4</b>	
kódování obrazu	MPEG-2 a MPEG-4 MP@ML
kódování zvuku	MPEG-1 Layer II
kódování češtiny	pro EPG a MHP podle ISO/IEC 6937
formát obrazu	16:9 nebo 4:3
zvuk	mono, duální nebo stereo (v jednom PID streamu včetně signal.)
vysílací mód	8k (6817 nosných)
modulace nosných	64 QAM
ochranný interval	1/8
konvoluční kódování	2/3
celkový datový tok	22,17 Mbit/s
režim	nehierarchický
statistický multiplexer řídí přidělování bitového toku jednotlivým tv programům podle jejich okamžité potřeby	

zdroj: <http://dtv.ctu.cz/>