

Obsah

1. Úvod.....	5
2. Teoretická část	7
2.1 Rozdíly při příjmu analogového a digitálního TV vysílání	7
2.2 Standard DVB-T.....	7
2.3 Zdrojové kodování.....	9
2.3.1 Zdrojové kodování video signálů	9
2.3.2 Zdrojové kodování zvukových signálů.....	10
2.4 Multiplexování v DVB-T.....	10
2.4.1 Paketový elementární tok	11
2.4.2 Transportní tok	12
2.4.3 Tabulky transportního toku	13
2.5 Kanálové kódování	14
2.5.1 Dopředná chybová korekce	15
2.5.2 Mapování a digitální modulace.....	15
2.5.3 Varianty systému DVB-T.....	16
2.5.4 Vkládání ochranného intervalu	18
2.6 SFN sítě	18
2.6.1 Synchronizace v síti SFN.....	19
2.7 Vlastnosti antény DVB-T vysílače	19
2.7.1 Směrovost antény.....	20
2.7.2 Činitel zpětného příjmu	20
2.7.3 Zisk	20
2.7.4 Impedance	20
2.8 Šíření vln v pásmu UHF	21
2.8.1 Frekvenční rozsahy	22
2.8.2 Převaděče signálu DVB-T.....	22
2.8.3 Měření parametrů vysílačů DVB-T.....	23
2.8.4 Rozdělení modelů šíření vln	23
2.9 Přijímač signálu DVB-T.....	25
2.9.1 Definice pokrytí službou DVB-T	27
2.9.2 Selektivita přijímače	27
2.9.3 Měření výkonu šumu, odstup C/N a S/N.....	27
2.9.4 Seznam měřených parametrů	28
2.9.5 Měření chybovosti BER.....	28
2.9.6 Set-Top-Box.....	29
2.10 RRC 06	31
2.11 Standard T-DAB.....	32
3. Praktická část.....	34
3.1 Software firmy CRC Data	34
3.1.1 RadioLab 3.6.....	34
3.1.2 RadioBase 2.5.....	35
3.1.3 Síť SFN 5.2.....	37
3.2 Plánování allotmentů a assingmentů	40
3.2.1 Plánovací konfigurace	40
3.3 Modely pokrytí.....	41
3.3.1 Model ITU-R 370	41
3.3.2 Model ITU-R P. 1546.....	41
3.3.3 Model Okumura - Hata	43

3.4	<i>Sítě DVB-T v České Republice</i>	44
3.4.1	<i>Síť 1</i>	45
3.4.2	<i>Síť 2</i>	49
3.4.3	<i>Síť 3</i>	52
3.4.4	<i>Síť 4</i>	54
4.	<i>Experimentální část</i>	56
4.1	<i>Situace 1.</i>	56
4.2	<i>Situace 2.</i>	58
4.3	<i>Situace 3.</i>	59
5.	<i>Závěr</i>	60
	<i>Použitá literatura</i>	61

Seznam obrázků

Obrázek 1.1	Digitální standardy ve světě	6
Obrázek 2.1	Průběh úrovně DVB-T a analogového signálu	7
Obrázek 2.2	Zpracování komprimovaného digitálního signálu	9
Obrázek 2.3	Digitální přenos zvuku	10
Obrázek 2.4	Tvorba programového a transportního toku	11
Obrázek 2.5	Složení transportního datového paketu	12
Obrázek 2.6	Blokové schéma DVB-T modulátoru s FEC	15
Obrázek 2.7	Schéma modulátoru OFDM	16
Obrázek 2.8	Blokové schéma DVB-T vysílače	17
Obrázek 2.9	Blokové schéma vysílače SFN	19
Obrázek 2.10	Porovnání analogového a digitálního TV kanálu	22
Obrázek 2.11	Blokové schéma přijímače DVB-T	25
Obrázek 2.12	Blokové schéma Set-Top-Boxu	30
Obrázek 2.13	Model sítě T-DAB	32
Obrázek 3.1	Funkce RadioLabu	35
Obrázek 3.2	Digitální model terénu	39
Obrázek 3.3	Morfologická mapa	39
Obrázek 3.4	Určení efektivní výšky antény	42
Obrázek 3.5	Vysílač v Ostravě zobrazený modelem Okumura-Hata	44
Obrázek 3.6	Pokrytí ČR sítě 1 vytvořené v Sítě SFN	45
Obrázek 3.7	Televizní programy sítě 1	48
Obrázek 3.8	Pokrytí ČR sítě 2 vytvořené v Sítě SFN	49
Obrázek 3.9	Televizní programy sítě 2	51
Obrázek 3.10	Pokrytí ČR sítě 3 vytvořené v Sítě SFN	52
Obrázek 3.11	Televizní programy sítě 3	52
Obrázek 3.12	Pokrytí ČR sítě 4 vytvořené v Sítě SFN	54
Obrázek 3.13	Televizní programy sítě 4	55

Obrázek 4.1 Situace 1.1.....	56
Obrázek 4.2 Situace 1.2.....	57
Obrázek 4.3 Situace 1.3.....	57
Obrázek 4.4 Situace 2.1.....	58
Obrázek 4.5 Situace 2.2.....	58
Obrázek 4.6 Situace 2.3.....	59
Obrázek 4.7 Situace 3.....	59

PŘÍLOHY

Obrázek A.1 Pokrytí ČR sítě 1 (stav k 31.3.2010)	P1
Obrázek A.2 Pokrytí sítě 1 (stav k 31.3.2010)	P1
Obrázek A.3 Pokrytí ČR sítě 2 (stav k 31.3.2010)	P2
Obrázek A.4 Pokrytí sítě 2 (stav k 31.3.2010)	P2
Obrázek A.5 Pokrytí ČR sítě 3 (stav k 31.3.2010)	P3
Obrázek A.6 Pokrytí sítě 3 (stav k 31.3.2010)	P3
Obrázek A.7 Pokrytí ČR sítě 4 (stav k 31.3.2010)	P4
Obrázek A.8 Pokrytí sítě 4 (stav k 31.3.2010)	P4
Obrázek B.1 Databáze stanovišť	P5
Obrázek B.2 Výpočet viditelnosti	P5
Obrázek B.3 Výpočet pokrytí	P6
Obrázek C.1 Morfologická mapa okolí Brna	P6
Obrázek C.2 Model ITU-R 370 (sítě 3)	P7
Obrázek C.3 Model ITU-R 370 s korekcí podle Clearance Angle	P7
Obrázek C.4 Model ITU-R 370 s korekcí podle ΔH	P8
Obrázek C.5 Model ITU-R 370 s korekcí podle Clearance Angle a ΔH zároveň.....	P8
Obrázek C.6 Model ITU-R 1546.....	P9
Obrázek C.7 Model ITU-R 1546 s korekcí podle Clearance Angle	P9
Obrázek C.8 Model ITU-R 1546 s korekcí podle ΔH	P10
Obrázek C.9 Model ITU-R 1546 s korekcí podle Clearance Angle a ΔH zároveň.....	P10
Obrázek C.10 Model Okumura Hata.....	P11
Obrázek C.11 Model HCM	P11
Obrázek C.12 Model RDK-2	P12
Obrázek C.13 Model Freespace	P12
Obrázek D.1 RadioBase záložka Vysílač.....	P13
Obrázek D.2 RadioBase záložka Parametry	P13

Seznam tabulek

Tabulka 2.1 Tabulky transportního toku a jejich struktura	13
Tabulka 2.2 Parametry COFDM modulace pro standard DVB-T	15
Tabulka 2.3 Varianty systému DVB-T	17
Tabulka 2.4 Parametry SFN při šířce kanálu 8 MHz	18
Tabulka 2.5 Zisky jednotlivých antén	20
Tabulka 2.6 Typy a velikosti buněk	24
Tabulka 2.7 Seznam měřených parametrů	28
Tabulka 2.8 Provozní módy standardu T-DAB	33
Tabulka 3.1 Zadávání parametrů vysílače	36
Tabulka 3.2 Parametry plánovacích konfigurací	40
Tabulka 3.3 Vysílače sítě 1 v provozu (k 31.3.2010)	45
Tabulka 3.4 Vysílače sítě 1 v provozu (k 31.3.2010), 2. část	46
Tabulka 3.5 Parametry sítě 1	47
Tabulka 3.6 Vysílače malého výkonu sítě 1	47
Tabulka 3.7 Plánované vysílače pro síť 1	48
Tabulka 3.8 Programová nabídka sítě 1	48
Tabulka 3.9 Vysílače sítě 2 v provozu (k 31.3.2010)	49
Tabulka 3.10 Vysílače sítě 2 v provozu (k 31.3.2010), 2. část	50
Tabulka 3.11 Vysílače malého výkonu sítě 2	50
Tabulka 3.12 Parametry sítě 2	51
Tabulka 3.13 Plánované vysílače pro síť 2	51
Tabulka 3.14 Programová nabídka sítě 2	51
Tabulka 3.15 Programová nabídka sítě 3	52
Tabulka 3.16 Vysílače sítě 3 v provozu (k 31.3.2010)	53
Tabulka 3.17 Plánované vysílače pro síť 3	53
Tabulka 3.18 Vysílače sítě 4 v provozu (k 31.3.2010)	54
Tabulka 3.19 Parametry sítě 4	55
Tabulka 3.20 Programová nabídka sítě 4	55

PŘÍLOHY

Tabulka E.1 Frekvenční rozsahy podle normy CCIR D,K	P14
---	-----

Seznam příloh

<i>Příloha A</i>	<i>Srovnání map pokrytí ČTÚ a map vytvořených v Sítě SFN</i>	<i>P1</i>
<i>Příloha B</i>	<i>Radiolab 3.5</i>	<i>P5</i>
<i>Příloha C</i>	<i>Sítě SFN</i>	<i>P6</i>
<i>Příloha D</i>	<i>RadioBase 2.5</i>	<i>P13</i>
<i>Příloha E</i>	<i>Kmitočtová tabulka</i>	<i>P14</i>

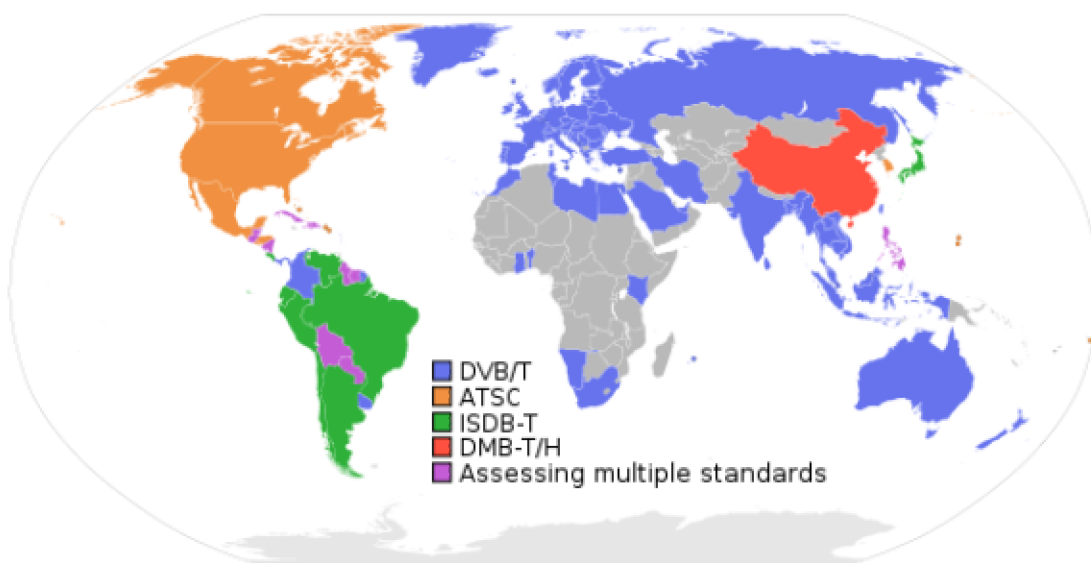
Seznam Zkratek

zkratka	úplné znění	význam v češtině
ATV	Analog TeleVision	Analogová televize
AAC	Advanced Audio Coding	Pokročilý způsob komprese audio signálu
AVC	Advanced Video Coding	Pokročilý způsob komprese video signálu
BER	Bit Error Rate	Poměr počtu chyb na počtu správných bitů
CA	Clearance Angle	Korekce při šíření signálu
COFDM	Coded OFDM	Kódovaná modulace OFDM
C/N	Carrier / Noise	Poměr výkonu nosná k výklonu šumu
DCT	Discrete Cosine Transformation	Diskrétní kosinová transformace
DH	Delta H	Korekce při šíření signálu
DTV	Digital TeleVision	Digitální televize
DVB-C	Digital Video Broadcasting - Cable	Kabelové digitální televizní vysílání
DVB-S	Digital Video Broadcasting - Sattelite	Satelitní digitální televizní vysílání
DVB-T	Digital Video Broadcasting - Terrestrial	Pozemní digitální televizní vysílání
ERP	Effective Radiated Power	Efektivní vyzářený výkon
FEC	Forward Error Correction	Systém pro korekci chyb
FIC	Fast Information Channel	Rychlý Informační kanál
GPS	Global Position System	Globální navigační systém
HDTV	High Definition TeleVision	Televize s vysokým rozlišením obrazu
CH97	Chester 1997	Mezinárodní konference konaná v Chesteru (1997)
IDFT	Inverted Discrete Fourier Transformation	Inverzní diskrétní Fourierová transformace
IFFT	Inversion Fast Fourier Transformation	Inverzní Rychlá Fourierová transformace
ITU	International Telecommunications Union	Mezinárodní telekomunikační unie
LAT	Latitude	Zeměpisná šířka
LON	Longitude	Zeměpisná délka
MFN	Multi Frequency Network	Vícefrekvenční síť
MHP	Multimedia Home Platform	Standard umožňující přenášet různé aplikace
MIP	Megaframe Initializing Packet	Zpouštění a synchronizace megarámcových paketů
MPEG	Motion Pictures Experts Group	Standard pro kódování v digitálních systémech
MPEG-2 TS	MPEG-2 Transport Stream	MPEG-2 transportní tok
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex	Orthogonálně frekvenčně dělený multiplex
OI	Ochranný interval	Ochrana DTV proti mnohonásobnému šíření
PAL	Phase Alternation Line	Standard analogové televize
PCM	Pulse Coded Modulation	Pulzně kódová modulace
PES	Paketized Elementary Stream	Forma datového paketového toku
PID	Program IDentification	Řetězec pro identifikaci daného programu
PRBS	PseudoRandom Binary Sequence	Pseudonáhodná binární sekvence
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	Kvadrurní amplitudová modulace
QEF	Quasi Error Free	Signál absolutně bez chyb
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying	Kvadrurní fázově posouvané klíčování
RGB	RedGreenBlue	Signál rozložený na 3 barevné složky
RRC06	Regional Radiocommunication Conference	Mezinárodní konference konaná v Ženevě (2006)
SDTV	Standard Definition TeleVision	Televize se standardním rozlišením obrazu
SFN	Single Frequency Network	Jednofrekvenční síť
STB	Set Top Box	Zařízení pro příjem DVB-T na analogový televizor
T-DAB	Terrestrial - Digital Audio Broadcasting	Rozhlasové digitální vysílání
TPP	Technický Plán Přechodu	Dokument o přechodu na digitální vysílání
UHF	Ultra High Frequency	Ultra vysoká frekvence, 300 MHz - 3 GHz
VHF	Very High Frequency	Velmi vysoká frekvence, 30 MHz - 300 MHz

1. Úvod

Diplomová práce obsahuje problematiku návrhu jednofrekvenčních SFN (Single Frequency Network), a vícefrekvenčních MFN (Multi Frequency Network), digitálních televizních sítí podle standardu DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial). A rádiových sítí podle standardu T-DAB (Terrestrial - Digital Video Broadcasting). Tato práce se úvodem zabývá teoretickým popisem transportního toku MPEG-2 TS (Transport Stream), jeho šířením z vysílače, přes volný prostor, do přijímače DVB-T, kde je signál dekódován. Bude připomenuta Regionální Radiokomunikační Konference RRC06, významná pro kmitočtové plánování digitálních sítí, týkajících se také České Republiky. A dále základní principy standardu pozemního digitálního rádiového vysílání T-DAB. V praktické části práce jsou uvedeny základní parametry programového balíku, pro návrh vysílacích sítí RadioLab, RadioBase a Sítě SFN, a následné zobrazení výsledků na digitální mapě terénu a morfologické mapě. Budou rozebrány modely pokrytí použité mou osobou v této diplomové práci. Těmito modely byly vykresleny sítě 1-4, podle stavu na jaře 2010. Jejich další rozvoj je znám z dokumentu vydaného ČTÚ (Českým Telekomunikačním Úřadem), nazvaný Technický Plán Přechodu. V závěru práce bylo experimentováno s vyzářeným výkonem, ochranným intervalem signálu, a polohou vysílačů DVB-T.

Během následujících let, by mělo také ve většině vyspělých států dojít k přechodu z analogového vysílání na jeden z digitálních standardů. Aktuální situaci pokrytí digitálním signálem ve světě popisuje obrázek 1.1, kdy nejrozšířenějším je právě pozemní verze standardu DVB. Přibližně stejné území zabírají Severoamerický ATSC a Jihoamerický ISDB-T. Nejmenší pokrytí má standard DMB-T/H, který si vyvinula Čína. V Některých státech Evropy, jakožto i v České Republice, již digitalizace probíhá. První zmínka o pozemním digitálním vysílání DVB-T v ČR (České Republice), je z května roku 2000, kdy společnost České Radiokomunikace spustila zkušební provoz vysílání v Praze, který trval 5 let. Dne 21. října 2005, bylo v Praze spuštěno první veřejné digitální vysílání. Na počátku února 2006 se k veřejnému vysílání přidaly i města Brno a Ostrava, v listopadu téhož roku Domažlice, a v červnu 2007 Ústí nad Labem. V současném stavu (jaro roku 2010), kdy je ČR pokryta 4 digitálními multiplexy, je podle ČTÚ síť 1 pokryta 94,9 %, síť 2 – 72,2 %, síť 3 – 54,8 %, síť 4 – 22,3 % území České Republiky. Přesnější mapy viditelnosti a pokrytí jednotlivých vysílačů obsahuje samotná diplomová práce.



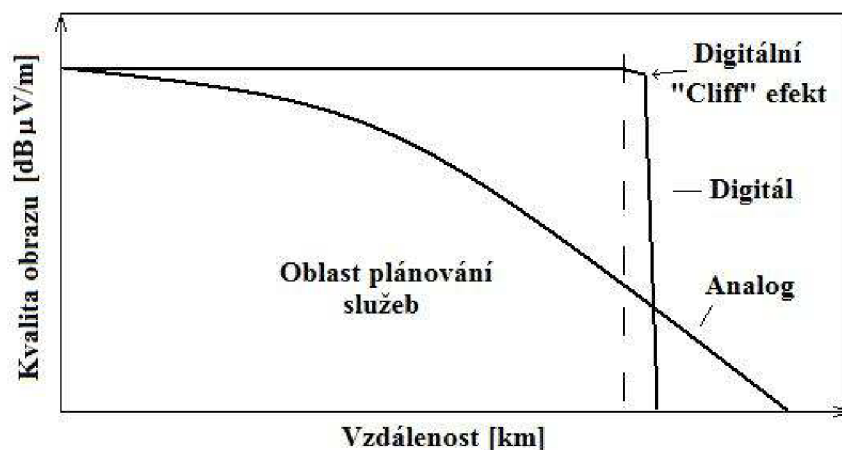
Obr. 1.1 Digitální standardy ve světě [14].

2. Teoretická část

2.1 Rozdíly při příjmu analogového a digitálního TV vysílání

V analogové televizi se objevují tzv. „efekty sněžení“ způsobené slabou intenzitou přijímaného signálu, nebo také nazývány tzv. „duchy“, které se objeví v důsledku odražených a tím zpožděných signálů. V případě digitální televize signál má většinou stoprocentní kvalitu, nebo není žádný signál. Jakýkoliv silný krátkodobý rušivý efekt má na DTV mnohem větší dopad než na ATV, protože u ATV se toto rušení projeví krátkodobým zhoršením signálu, ovšem u DTV to může znamenat úplný výpadek obrazu a zvuku, i na několik sekund. Záleží na odezvě dekodéru v přijímači. Obraz se na úrovni makrobloků rozpadá, a vzniká tzv. „čtverečkování“ obraz zamrzá. Chyby ve zvuku se projevují tzv. „štěkáním“ apod. Aby tyto situace nastávaly co nejméně, byly stanoveny hodnoty ochrany služeb analogové a digitální televize, po kterou by měl být zaručen kvalitní příjem. V případě analogové televize je to 95% času, a v případě digitální 99% času.

Na obrázku 2.1 vidíme, že s vzrůstající vzdáleností od vysílače dochází postupně ke snižování intenzity signálu, a plynule s ní klesá i kvalita obrazu. V případě digitální televize se kvalita obrazu dlouhodobě nemění, až v určité vzdálenosti dojde k prudkému poklesu kvality, kdy se dostaví čtverečkování a zamrzání obrazu. Tento okamžik v grafu, se nazývá „cliff efekt“, a při dalším zhoršování podmínek nastane úplný výpadek obrazu a zvuku.



Obr. 2.1 Průběh úrovně DVB-T a analogového signálu [2].

2.2 Standard DVB-T

Systém DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial) vychází z normy **ETSI EN 300 744** (systém zdrojového kódování redukce dat, které obsahuje zdrojové kódování MPEG-2 (Motion Pictures Experts Group - 2)). Technická kritéria, principy a postupy koordinace kmitočtů pro standardy **DVB-T** a T-DAB (Terrestrial -Digital Audio Broadcasting) pro jednotlivé regiony byly naposled řešeny na konferenci RRC 06, o které bude zmíněno v kapitole 2.10.

Postup zpracování datového toku:

- **Datový tok videa** je zbaven nadbytečných informací a je komprimován metodou DCT.
Datový tok audia je komprimován metodou MPEG-1 Audio Layer II MUSICAM. Audio i video toky jsou následně spojeny (multiplexovány) v jeden televizní **programový tok** (MPEG-2 PS).
- Několik televizních programových toků spolu s několika rozhlasovými a datovými toky je sloučen v jeden **transportní tok** MPEG-2 TS (MPEG-2 Transport Stream) Podle pravidel standardu MPEG-2, je uspořádán do paketů po 188 bajtech, a následně tvoří vstupní signál do vysílače systému DVB-T.
- Ve vysílači je MPEG-2 TS doplněn o protichybovou ochranu **FEC** ve dvou stupních:
 - a) První stupeň protichybové ochrany tvoří **Reed Solomonův kód**, který je také označen RS 188/204/8, což udává, že daný kód přidá k 188 bajtům MPEG-2 TS dalších 16 bajtů, a opraví tím až 8 bajtů.
 - b) Druhý stupeň protichybové ochrany tvoří binární **Konvoluční kód**, který slouží k opravě jednotlivých chybných bitů. Kódový poměr (vstupních/výstupních bitů) lze nastavit od 1/2 (největší zabezpečení) až po 7/8 (nejmenší zabezpečení). Poté následuje prokládací stupeň (Interlaver).
- Takto upravený MPEG-2 TS je rozptýlen pomocí **pseudonáhodné funkce** (PRBS) do celého spektra kanálu.
- Sériový MPEG-2 TS je v bloku mapování převeden na paralelní skupiny – modulační symboly – a tyto symboly jsou následně použity v modulační metodě OFDM.
- Modulace **OFDM** obsahuje více nosných kmitočtů, a to 1705 v 2k a 6817 v 8k módu. Jeden OFDM symbol je tvořen okamžitým stavem všech namodulovaných subnosných vln. K modulačnímu procesu subnosných vln modulačními symboly se používá signálový procesor, pracující podle pravidel **IDFT**, přímo převádějící okamžitý stav modulovaných subnosných vln do časové oblasti, jako analogový signál o dvou kvadraturních složkách $I(t)$ a $Q(t)$.
- Analogovým signálem s kvadraturními složkami $I(t)$ a $Q(t)$, je modulována obvykle mezifrekvenční vlna ve vysílači. Tato je překládána na konečný výstupní kmitočet vysílače, zesílena na požadovanou úroveň, prostřednictvím vysílací antény převedena na elektromagnetické vlnění a vyzářena do prostoru.
- Vysílaný signál směřuje od vysílací antény k přijímací anténě, přes přenosové prostředí zatížené nežádoucími rušivými signály. Přijímací anténa přijímá všechny signály, tedy i signály rušivé, a přivádí je na vstup přijímače DVB-T – **Set Top Boxu** (STB) nebo na televizi s digitálním tunerem.
- V STB dochází k selektivnímu příjmu příslušného vysokofrekvenčního kanálu, k dekódování kanálu, dekódování zdrojového signálu a podle potřeby buď k převodu na výstupní analogový signál ve standardu PAL, nebo k demodulaci na signály **RGB**. Připojený televizor pak zobrazí obraz a zvuk zvoleného televizního programu.

Zdánlivě složitý postup zpracování signálu ve vysílači DVB-T umožňuje realizovat výhodné vlastnosti digitální televize - vysílání několika TV a rádio programů současně v jednom vysokofrekvenčním kanále, na což pak postačuje jediný vysílač a jediná frekvence. Další výhodou je značná ochrana signálu proti rušení.

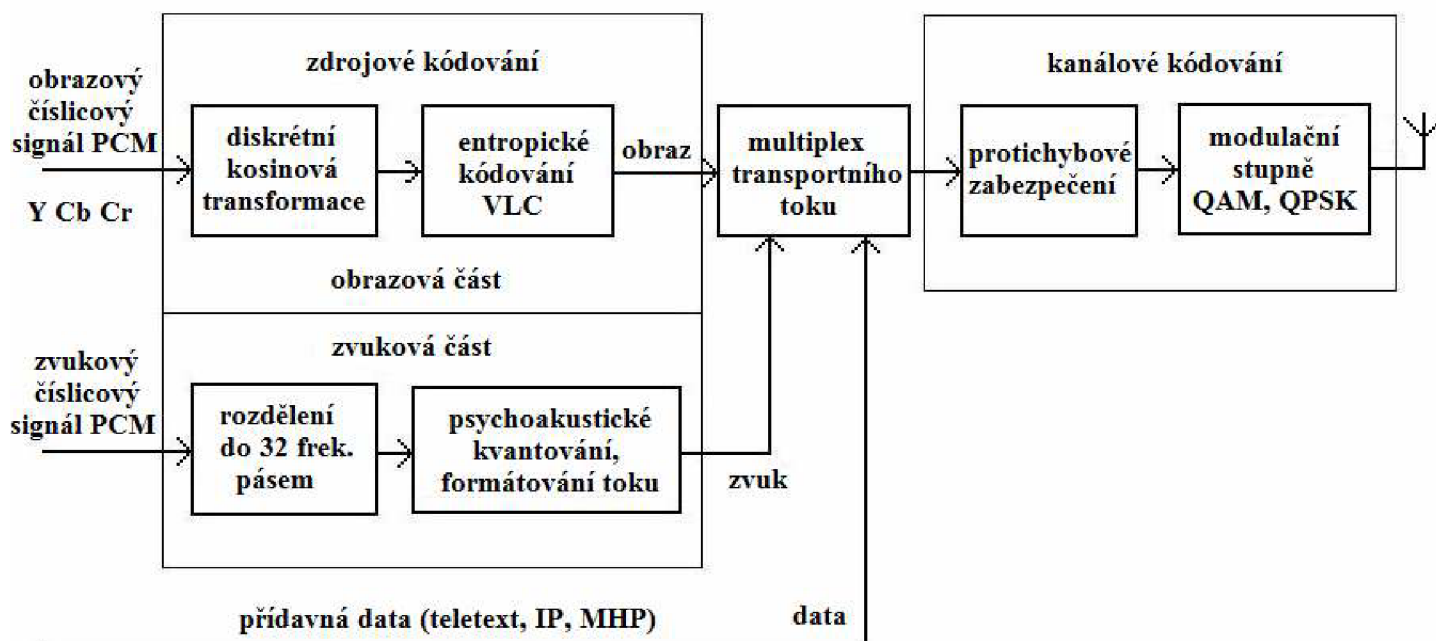
2.3 Zdrojové kódování

2.3.1 Zdrojové kódování video signálů

Kdyby se měl přenášet neredukovaný datový tok což je 216 Mbit/s, u TV se standardní rozlišením, potřebovali bychom k tomu, při amplitudové modulaci s jedním částečně potlačeným postranním pásmem, při stejném počtu 0 a 1, pásmo široké 216 MHz. Takový obrovský přenos dat možná šlo přenášet satelitním vysíláním (v pásmu 20 GHz), ale vůbec ne v sítích pozemských vysílačů, taktéž nikoliv v kabelových televizních rozvodech. Tudíž abychom neplýtvali kmitočtovým spektrem, je třeba televizní signál komprimovat.

Evropský projekt digitálního televizního vysílání **DVB**, přijal pro zpracování obrazu i zvuku standard **MPEG-2**. Je to soustava standardů s mnohoznačným využitím, jak pro stupně rozlišení v signálu, tak pro různou kvalitu signálu uplatňující se při šíření za různých přenosových podmínek, či v různých přenosových prostředích. Podle způsobu zdrojového kódování se zmenšuje bitová rychlost číslicového signálu, s impulsní kódovou modulací PCM, z 216 Mbit/s na redukovanou přenosovou rychlost 4-15 Mbit/s. Komprimovaný bitový tok určený pro televizní kanál, se dále kóduje kanálově, tj. opatřuje se zabezpečovacími bity proti poruchám, dopřednou chybovou korekcí **FEC**, a to ikdyž se zvýší redundance.

Redukce redundance digitálního signálu snižuje počet bitů potřebných pro přenos, aniž by se signál viditelně zkreslil. Nejprve se tak děje diferenciální impulsní kódovou modulací DPCM, která vytváří rozdíly dvou sousedních hodnot binárně komprimovaného signálu. Zmenšení entropie signálu, a tím zmenšení bitové rychlosti, spočívá v transformačním kódování. Tím je rozuměno nahrazení prostorového (plošného) rozložení hodnot vzorků TV signálu spektrem jeho frekvenčních složek, s příslušnými amplitudami zvanými transformační koeficienty. Jako příklad by se dala uvést diskretní kosinová transformace **DCT**, tvořící základ většiny komprimačních metod. Další radikální zmenšení počtu bitů (bitové rychlosti) v datovém toku zajišťuje kódování s proměnnou délkou slova VLC, označované jako entropické kódování. Jeden z nich může být např. Hoffman kód.

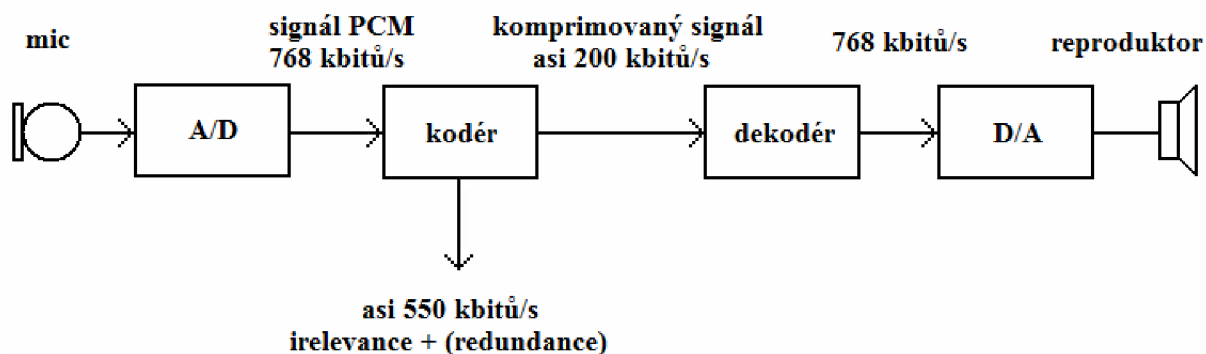


Obř. 2.2 Zpracování komprimovaného digitálního signálu [2].

2.3.2 Zdrojové kódování zvukových signálů

Digitální televize vyžaduje kromě komprimace obrazového signálu, také komprimaci zvukového doprovodu. Pro kompresi zvuku ve standardu DVB-T byl původně uvažován algoritmus MPEG-1, vrstva 1 nebo 2 pro dvoukanálový zvuk, resp. MPEG-2 vrstva 2 pro vícekanálový zvuk. Nyní přichází další alternativa komprimace obrazu, v podobě standardu **MPEG-4 AVC/H.264**, u kterého se zavádí komprese zvuku ve formátu AAC (Advanced Audio Coding) a MP3.

Jak je ze zjednodušeného schématu, na obrázku 2.3 vidět, signál **PCM** v sériové podobě má přenosovou rychlost 768 kbit/s, odpovídající vzorkování pro jakostní signál ve studiu. Vzorkovací frekvence zvuku je 48 kHz při 16-ti bitovém kvantování. Je zbytečné přenášet silné akustické signály se stále stejně velkým počtem kvantizačních stupňů. Tedy při velké úrovni užitečného signálu, se počet kvantizačních stupňů zmenšuje. Zvětšením intervalu mezi kvantizačními stupni, se sice zvýší šumový výkon, ale ve výsledném signálu není slyšitelný, neboť je maskován silnější složkou akustického signálu, toto se nazývá tzv. „maskování“. Proměnné dynamické kvantování podle povoleného kvantizačního šumu maskovaného v různých částech kmitočtového spektra, různě silnými akustickými složkami, je základem pro vyloučení zbytečných bitů z přenášeného signálu.



Obr. 2.3 Digitální přenos zvuku [2].

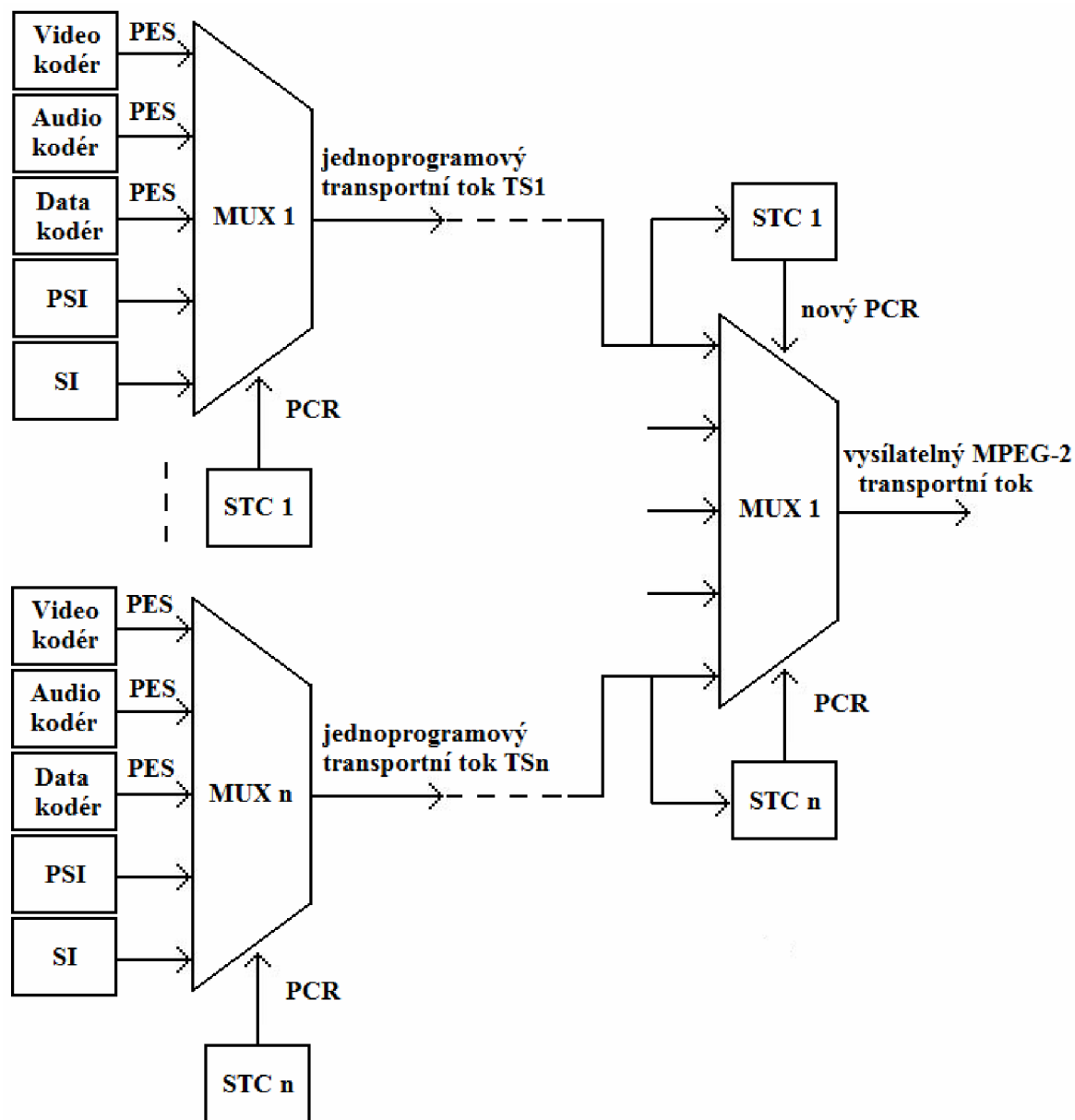
Zvukový bitový tok se sníženou přenosovou rychlostí, se pak multiplexuje s obrazovým signálem. Celek se kanálově kóduje, tj. zpracovává se pro určitý druh modulace nosné vlny na vysílači.

2.4 Multiplexování v DVB-T

Datové toky vycházející z komprimovaného obrazového a zvukového signálu, představující zdrojové signály obrazu a zvuku, nepřicházejí do hlavního multiplexeru v dlouhém souvislém sledu, nýbrž jsou rozděleny na menší jednotky, tzv. **pakety**, které jsou opatřeny informačním záhlavím. Toto umožňuje vzájemnou synchronizaci obrazu, zvuku a dat v dekodéru, protože periodická struktura paketu obsahuje jakési záchytné body, dané informacemi v záhlaví. Vytvářením paketů se dílčí signály **multiplexují** do výsledného toku. Ten může obsahovat nejenom jeden televizní program doprovázený zvukem, ale v hlavním multiplexeru může být spojováno několik televizních i rádiových programů, časově na sobě nezávislých.

Přenos televizních signálů po částech, představuje velkou flexibilitu. Tyto kratší celky se snadno uchovávají v paměti, a je možno je skládat do různých podob výsledného datového toku, po různých přenosových cestách. Dekodér přijímače pak podle povelů v záhlavích, tj. dekódovacích (DTS) a prezentačních (PTS) značek, vybírá pro dekódování, a ve vhodné

časové souvislosti reprodukuje, sobě příslušející části jednotlivých programů. Pro dálkový přenos je vhodné použití krátkých, stejně dlouhých paketů, které mimo to usnadňují synchronizaci jednotlivých částí signálu v dekodéru.



Obr. 2.4 Tvorba programového a transportního toku [2].

2.4.1 *Paketový elementární tok*

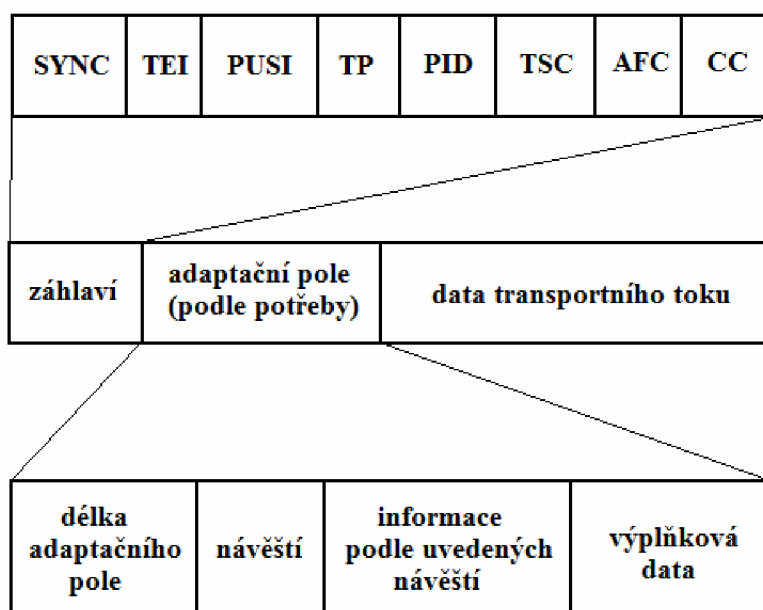
Úprava **PES** (Paketized Elementary Stream) datového toku dodávaného zdrojovým kodérem je základem pro vytvoření programového či transportního toku. Každý paket začíná záhlavím stálé délky 48 bitů. Za ním následuje část určujících informací, která má proměnnou délku, a tudíž za ní následují vyplňující data. Ta vyrovnávají délku informačních dat na stálý počet. Užitečná informace může obsahovat maximálně 65526 bytů, což je $(2^{16} - 1) - 9$ (tj. 6 bytů pro záhlaví a minimálně 3 pro informační byty).

2.4.2 Transportní tok

Pro terestrické (pozemní) vysílání představuje transportní multiplexování velmi důležitý článek, který je umístěn mezi zdrojové a kanálové kódování. Transportní tok jako celek, tvoří standard multiplexování MPEG-2, který je použit jako jednotlivý standard pro evropské digitální vysílání DVB (**ISO/IEC 13818-2**).

Transportní tok je na své cestě k přijímači vystaven rušení, proto se vytvářejí krátké pakety stejné délky, aby bylo usnadněno zabezpečení proti chybám, realizované při kanálovém kódování. Data transportního toku mají délku 184 bajtů, a před nimi se přenáší 4 bajty záhlaví. Maximální počet užitečných dat (**payload**) je doporučen jako násobek osmi, neboť po 8 bytových sledech se uskutečňuje skramblování signálu. Dělení paketových elementárních toků, a jejich časová poloha vzhledem k transportnímu toku, je zobrazena na obrázku 2.5. Záhlaví toku PES musí následovat vždy za některým hustěji se objevujícím záhlavím transportního toku. Má-li tok za svým záhlavím tzv. **adaptační pole**, následuje těsně za ním záhlaví PES.

Adaptační pole je vytvářeno pro případ, že počet bytů (maximálně 65526) z paketů elementárního toku, se nerozdělí beze zbytku do 184 bytových transportních paketů. Poslední paket má pak méně než 184 bytů, a zbytek se přenesou vyplňovacími byty v adaptačním poli. Pole začíná údajem o jeho délce, návěstími a informacemi závislými od těchto návěstí, a pak počtem vyplňovacích bytů. Adaptační pole se nepřenáší za každým paketem, nejméně však v intervalu 0,1 s. Pole dále přenáší některé řídicí informace pro rekonstrukci obrazu a zvuku v dekodéru. Nejdůležitější z nich je návěst o programových referenčních hodinových impulsích **PCR** (Programme Clock Reference), mající za úkol jednou za 0,1 s, synchronizovat zdroj hodinových impulsů SCR v dekodéru.



Obr. 2.5 Složení transportního datového paketu [2].

Na obrázku 2.5 je záhlaví transportního toku rozděleno do 8 skupin, s následujícím významem. První skupinu tvoří synchronizační byte SYNC BYTE (47_{HEX}), a oznamuje začátek transportního paketu. Následuje indikátor chybného přenosu TEI (Transport Error Indicator), který nebyl před dekodérem opraven zabezpečovacími obvody. Ukazatel začátku skupiny užitečných dat PUSI (Payload Unit Start Indicator), udává že v transportním toku se přenášejí informační tabulky o programech, a jejich parametrech. Bit o přednosti přenosu TP (Transport Priority) vybírá důležité části transportního toku, které se při přetížení cesty mají

přenášet jako přednostně. Skupina označená jako identifikace paketů PID (Paket Identification Numer and Priority) obsahuje informace o obrazových, zvukových, teletextových a doplňkových informacích, na stených časových pozicích. Dva bity označují scrambling programu TSC (Transport Scrambling Control), přičemž se záhlaví a adaptační pole neovlivňuje.

Bitů pro řízení adaptačního pole AFC (Adaptation Field Control) označují jeho podíl rozsahu užitečných dat, tj. 184 bytů jednoho transportního paketu. Stav 01 označuje payload bez adaptačního pole, a stav 10 pak znamená přítomnost pole. Čítač souvislosti CC (Continuity Counter) čítá pakety identifikačního znaku a může odhalit ztrátu paketů nebo jejich nesprávné pořadí.

2.4.3 Tabulky transportního toku

Na přijímací straně po demodulaci televizního kanálu, po korekci chyb, kdy přichází transportní tok do dekodéru, rozdělí podle údajů v záhlaví o identifikaci paketů, obrazové a zvukové signály příslušné zvolenému programu. Z adaptačního pole, které se v toku objeví minimálně 1x za 0,1 s, se získávají hodinové referenční pulsy PCR, kterými se synchronizuje generátor pravidelných hodinových impulsů s frekvencí 27 MHz (STC – System Time Clock). Oscilátor je tvořen krystalem a číslicově doladován. Přicházející synchronizační impulsy se porovnávají v čítači s vyrobenými impulsy STC, a rozdíl působí na součtový člen tím způsobem, že se kmitočet oscilátoru doladí. Synchronizační údaj PCR má nejvyšší prioritu mezi ostatními synchronizačními znaky, a tudíž je vyslán přímo v transportním toku. Synchronizované hodinové impulsy STC řídí všechny obvody dekodéru, včetně paměti a výstupních digitálně analogových převodníků. Do elementárního toku jsou vloženy značky DTS a PTS, pro zařazení signálu ve správný okamžik, tj. DTS pro dekodér obrazu a zvuku, a PTS pro obvody dalšího zpracování po dekodování.

Tab. 2.1 Tabulky transportního toku a jejich struktura [2].

	PID hex	ID tabulky hex	Opakování	
	(13 bit)	(8bit)	Min	Max
PSI tabulky				
PAT	0000	00	25 ms	100 ms
CAT	0001	01	25 ms	100 ms
PMT	0020 až 1FFE	02	25 ms	100 ms
NIT	0010	40 až 41	25 ms	10 s
SI tabulky				
NIT	0010	40 až 41	25 ms	10 s
SDT	0011	42, 46	25 ms	2 s
BAT	0011	4A	25 ms	10 s
EIT	0012	4E až 6F	25 ms	2 s
RST	0013	71	25 ms	-
TDT	0014	70	25 ms	30 s
TOT	0014	73	25 ms	30 s
ST	0010 až 001F	72	25 ms	-

Význam jednotlivých zkratk:

- PSI** – Program Service Information (typ tabulky, která nese informace o vysílaných programech).
- SI** – Service Information (typ tabulky, která nese doplňující informace v rámci systému DVB, jako název služby a její details, přenáší datum a čas, a další details o přenosu).
- PAT** – Program Association Table (seznam PIDů, které informují o vysílaných programech)
- CAT** – Conditional Access Table (definuje typ použitého kódování a definuje PIDy programů, které jsou v transportním toku vysílány s podmíněným přístupem).
- PMT** – Program Map Table (definuje PIDy asociovány s vysílanými programy (video, audio)).
- NIT** – Network Information Table (PID = 10, obsahuje informace jako „nositel“ sítě, které se používají na vysílání multiplexu MPEG, včetně informace o nosném kmitočtu).
- SDT** – Service Description Table (popisuje název a jiné details o službách).
- BAT** – Bouquet Association Table (seskupuje služby do logických skupin).
- EIT** – Event Information Table (PID = 12, poskytuje doplňující details o vysílání).
- RST** – Running Status Table (PID = 13, poskytuje informaci o stavu vysílání, a automatickým přepínání).
- TDT** – Time and Date Table (PID = 14, zabezpečuje přenos přesného data a času).
- TOT** – Time Offset Table (PID = 14, přenáší informaci o lokálním časovém posuvu).
- ST** – Stuffing Table (když je jedna část „podtabulky“ přepsána, pak musí být přepsány všechny části tabulky).

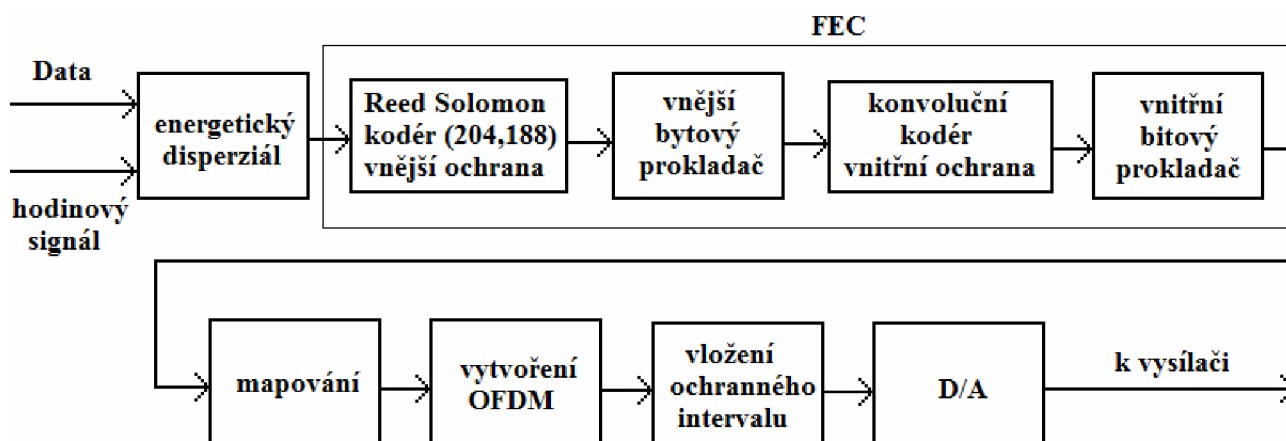
Po zapnutí přijímače (Set-Top-Boxu) je potřeba dekodéru stanovit složení multiplexovaného datového toku, což je provedeno pomocí sdružovací tabulky PAT (Programme Association Table), která je přenášena pakety označenými značkami PID = 0. Tyto paket dekodér zpracovává nejdříve, aby získal „odkličování“ multiplexu (tabulku PAT). Pak může pokračovat zvolený výběr programu, a správná činnost dekodéru. Kromě tabulky PAT je ještě dalších devět tabulek určených hodnotou znaku PID. Usnadňují naladění set-top-boxu a orientaci diváka ve vysílaných programech. Tyto skupiny dat se nazývají servisní informace, a náleží ke každému vysílanému digitálnímu programu, nebo skupině programů.

2.5 Kanálové kódování

Kanálovým kódováním rozumíme úpravu zdrojově kódovaného digitálního signálu, pro umožnění jeho neporušeného přenosu, od vysílací k přijímací anténě. Tato úprava signálu, bez velké redundance a irelevance, zařazená do zpracování transportního toku zahrnuje v sobě zabezpečení signálu proti rušení, vhodné pro dané přenosové prostředí, tj. s co nejvyšší šířkou pásma pro jeden televizní program. Kanálové kódování, společně s komprimací digitálního signálu, umožňuje přenášet více programů ve stávajícím analogovém kanálu.

Zavedením ochrany datového toku, přidáme signálu **novou redundanci**, která však účinně chrání transportní tok, proti rušení přenosového prostředí. Způsob ochrany signálu je jiný v pozemním, kabelovém i satelitním vysílání. Kdybychom porovnali tyto 3 způsoby zabezpečení, pak nejsložitější zabezpečení mám pozemní verze DVB-T, za ní je satelitní přenos digitální televize DVB-S, a nejjednodušší je v kabelových rozvodech DVB-C, kde rušení téměř nenastává.

Na pozemské vysílání působí mnoho rušivých faktorů, jako například mnohacestné šíření a vznik odrazů. Na obrázku 2.6 vidíme zapojení modulátoru DVB-T, kde jsou popsány jednotlivé obvody kanálového kódování pro tento systém.



Obr. 2.6 Blokové schéma DVB-T modulátoru s FEC [2].

2.5.1 Dopředná chybová korekce

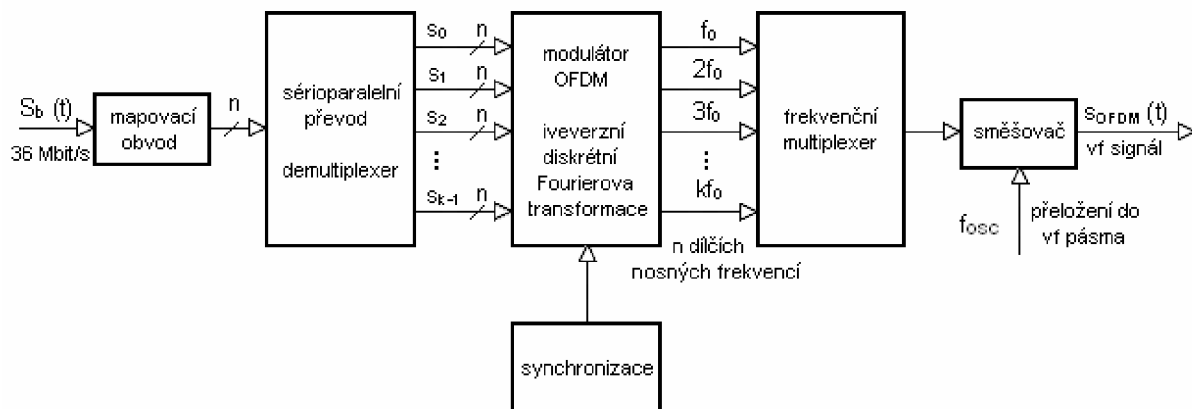
Při ochraně transportního toku se využívá tzv. princip „dopředné“ ochrany FEC, sestávající se z vnější ochrany blokového kódu „**Reed Solomon**“ a vnitřní ochrany **Konvolučního kódu**, symbolového a bitového prokladače. Tato ochrana se také nazývá „zřetězené kódy“. Princip je takový, že zdrojové symboly jsou zakódovány nejprve RS kódem chránícím před skupinovými chybami (vnější kodér). Kódová posloupnost je pak zakódována kódem chránícím před nezávislými chybami (vnitřní kodér). Za vnější ochranou následuje vnější bajtový prokladač, a za vnitřní ochranou vnitřní bitový prokladač. Hlavním rozdílem mezi oběma kódy je, že u blokového (vnějšího) kódu je přidávaj k informačním symbolům délky m opravující symboly v počtu k , ale u konvolučního binárního kódu se korekční bity nepřidávají, ale informační bity se mezi sebou různým způsobem ovlivňují.

Tab. 2.2 Parametry COFDM modulace pro standard DVB-T [3].

	2k mód			8k mód		
Šířka TV kanálu [MHz]	6	7	8	6	7	8
Symbolová perioda [μ s]	298	256	224	1194	1024	896
Odstup nosných Δf [Hz]	3348	3906	4464	837	977	1116
Využitý rozsah B [MHz]	5,72	6,66	7,612	5,71	6,66	7,609

2.5.2 Mapování a digitální modulace

Systém DVB-T používá pro přenos tzv. ortogonální kmitočtově dělený multiplex (OFDM). Všechny nosné dat v jediném **OFDM** rámci jsou modulovány modulací QPSK, 16-QAM nebo 64-QAM. Mapování dat do OFDM symbolů, představuje modulaci každé subnosné vlny podle tří konstelací, již zmíněných modulací. V závislosti na konstelaci jsou přeneseny současně 2 bity (QPSK), 4bity (16-QAM) nebo 6 bitů (64-QAM), na jedné subnosné. Každá z konstelací vyžaduje jinou hodnoty poměru C/N , aby byla možná demodulace v přijímači. Při QPSK je zhruba 4 až 5x odolnější proti šumu, než modulace 64-QAM, ovšem na úkor malé přenosové rychlosti.



Obr. 2.7 Schéma modulátoru OFDM [6].

V praxi se místo k modulátorů ve větvích demultiplexovaných symbolů s_0 až s_{k-1} , používá integrovaný obvod nebo signálový procesor, který zpracovává tyto symboly podle pravidel **IDFT** (Inverzní diskretní Fourierovy transformace). Každý bit n bitového symbolu je přiveden na vstup obvodu IDFT, a těmto vstupům se přiřazují ortogonální frekvence:

$$f = n \cdot f_s \quad (1)$$

poté se signály z výstupů modulátoru kmitočtově multiplexují, čímž se vytváří výsledný průběh.

2.5.3 Varianty systému DVB-T

Standard digitální televize DVB-T je velice variabilní. Základní dělení je dáno počtem nosných kmitočtů v rámci multiplexu COFDM, a to:

- Systém 2k (1705 nosných kmitočtů v jednom TV kanálu)
- Systém 8k (6817 nosných)

Další varianty se liší způsobem modulace, kódovým poměrem (jinak označovaným také FEC) a také ochranným intervalem. Toto vše má vliv na tzv. čistou přenosovou rychlost (4,98 – 31,67 Mbit/s), z čehož vyplývá, kolik programů, televizních nebo rádiových, lze v daném multiplexu přenášet. Proti přenosové rychlosti, jde tzv. robustnost systému (tj. odolnost proti narušení kvalitního příjmu v různých podmínkách). Podrobněji se základní parametry těchto variant zabývá tabulka 2.3.

Systém DVB-T umožňuje přenášet jednu modulaci v druhé, např. QPSK v QAM64. Tento způsob modulace se nazývá **hierarchickou modulací**. Samostatné modulace QPSK a QAM, jsou nepřenosové varianty. Hierarchický přenos tedy umožňuje, aby programy v multiplexu byly přenášeny s různou bitovou rychlostí, ale o to robustněji. Toto je využito hlavně u vysílání pro mobilní příjem.

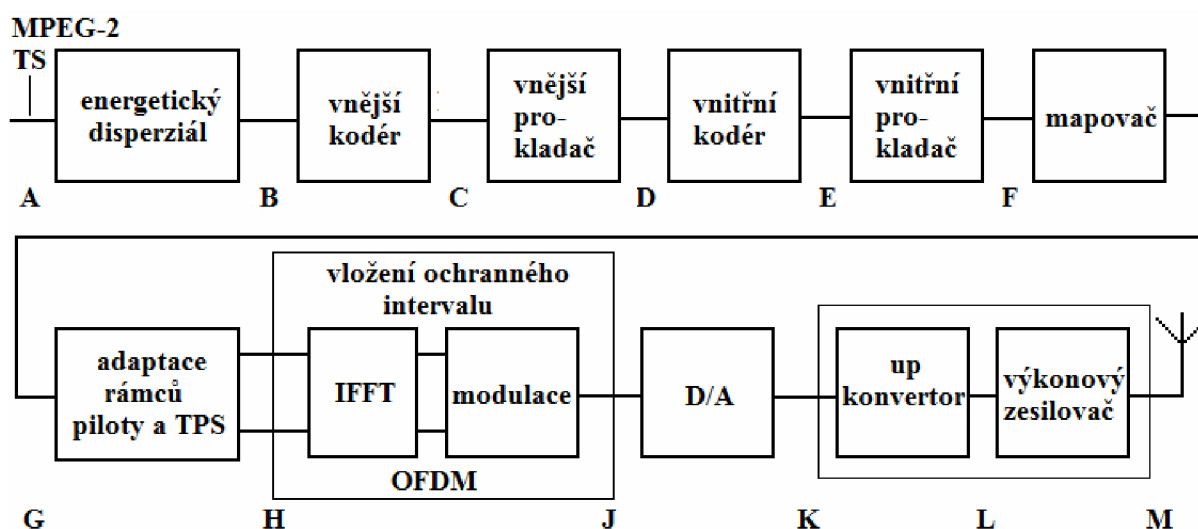
Jak z tabulky 2.3 vyplývá, při vyšším kódovém poměru (hůře zabezpečeném), bitová rychlost stoupá, a bude v ní možno přenést více dat, na úkor větší chybovosti. Je tedy vhodné zvolit jakýsi kompromis. V evropském měřítku se nejvíce používá varianta **C2**, která je platná i v ČR, a také B2. Ale také další varianty v trvalém nebo zkušebním provozu jsou možné.

Tab. 2.3 Varianty systému DVB-T [2].

Varianta systému	Modulace	Kódový poměr	Požadované C/N pro BER=2E-4 za Viterbiho dekodérem [dB]			Čistá bitová rychlost [Mbit/s]			
			Gaussův kanál	Riceův kanál (F1)	Rayleigho kanál (P1)	D/Tu = 1/4	D/Tu = 1/8	D/Tu = 1/16	D/Tu = 1/32
A1	QPSK	1/2	3,1	3,6	5,4	4,98	5,53	5,85	6,03
A2	QPSK	2/3	4,9	5,7	8,4	6,64	7,37	7,81	8,04
A3	QPSK	3/4	5,9	6,8	10,7	7,46	8,29	8,78	9,05
A5	QPSK	5/6	6,9	8,0	13,1	8,29	9,22	9,76	10,05
A7	QPSK	7/8	7,7	8,7	16,3	8,71	9,68	10,25	10,56
B1	16QAM	1/2	8,8	9,6	11,2	9,95	11,06	11,71	12,06
B2	16QAM	2/3	11,1	11,6	14,2	13,27	14,75	15,61	16,09
B3	16QAM	3/4	12,5	13,0	16,7	14,93	16,59	17,56	18,10
B5	16QAM	5/6	13,5	14,4	19,3	16,59	18,43	19,52	20,11
B7	16QAM	7/8	13,9	15,0	22,8	17,42	19,35	20,49	21,11
C1	64QAM	1/2	14,4	14,7	16,0	14,93	16,59	17,56	18,10
C2	64QAM	2/3	16,5	17,1	19,3	19,91	22,12	23,42	24,13
C3	64QAM	3/4	18,0	18,6	21,7	22,39	24,88	26,35	27,14
C5	64QAM	5/6	19,3	20,0	25,3	24,88	27,65	29,27	30,16
C7	64QAM	7/8	20,1	21,0	27,9	29,03	29,03	30,74	31,67

Varianta C2 je vhodná pro přenos 4 televizních programů v jednom multiplexu, bez použití statického multiplexování (tj. bez dynamické změny přenosové rychlosti v závislosti na momentálním obsahu scény). Při statickém multiplexování je možné vysílat **až 5 TV programů**, nebo 4 a několik rozhlasových programů, při zachování stejné kvality obrazu.

Varianta B2 umožňuje, bez statického multiplexování, přenos 3 TV programů. Se statickým multiplexováním je to pak o jeden TV program navíc.



Obr. 2.8 Blokové schéma DVB-T vysílače [2].

2.5.4 Vkládání ochranného intervalu

Signál z vysílače se šíří pozemskou trasou nejprve „přímou“ cestou. Signál z přímé cesty přichází do přijímače první a s největší amplitudou. Signál vycházející z vysílače se však také šíří pomocí odrazů, od objektů na zemském povrchu, jako jsou budovy nebo kopce. Tento signál pak k přijímači dorazí s menší amplitudou, a určitým zpožděním oproti signálu z přímé cesty. K zabránění překrývání symbolů se vyřešilo vkládáním tzv. ochranného intervalu, který bývá určen **zlomkem** (1/4, 1/8, 1/16, 1/32) **doby trvání symbolu**. Přijímač po dobu ochranného intervalu nepřímá žádné signály, kdy se vyhne příjmu stejných, jen zpožděných signálů. V případě jednofrekvenčních sítí hraje ochranný interval významnou roli, protože v místě příjmu mezi dvěma vysílači přijímá tuner dva přímé a více odražených signálů. Dominantní jsou signály získané z přímé cesty, které mohou přijít do přijímače s různým zpožděním. Délku doby trvání ochranného intervalu v síti SFN určuje maximální vzdálenost mezi jednotlivými vysílači. Proto při plánování sítí je navrhnout vhodnou hodnotu ochranného intervalu.

2.6 SFN síť

Pro vysílání DVB-T a T-DAB signálu lze vytvořit soustavu vysílačů, které používají **stejný nosný kmitočet** při vysílání stejného multiplexu. Toto má zásadní vliv na úsporu přidělovaných kmitočtů v dané oblasti. Vysílače sítě SFN se navzájem neovlivňují, pokud jejich vzájemná vzdálenost nepřekročí maximální hodnotu danou ochranným intervalem (viz tabulka 2.4). Ve praxi je však uplatňován vliv vzdálenějších vysílačů, které mají v dané chvíli příznivé podmínky pro šíření signálu. Jednofrekvenční vysílače **nesmí** mít zpoždění daného signálu vůči přijímači větší než je hodnota ochranného intervalu, jinak zde mohou nastat **interference**, a pak přijímač vyhodnotí signál vysílače jako šum.

Tab. 2.4 Parametry SFN při šířce kanálu 8 MHz [1].

Mód	Symbolová perioda	Ochranný interval	Ochranný interval	Vzdálenost vysílače
[-]	[μ s]	[-]	[μ s]	[km]
2K	224	1/4	56	16,8
2K	224	1/8	28	8,4
2K	224	1/16	14	4,2
2K	224	1/32	7	2,1
8K	896	1/4	224	67,1
8K	896	1/8	112	33,6
8K	896	1/16	56	16,8
8K	896	1/32	28	8,4

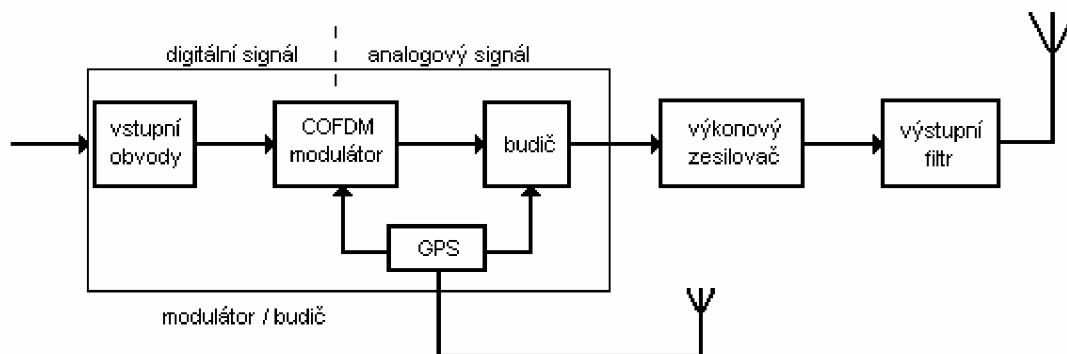
Výhody SFN sítě

- Efektivní využití kmitočtového pásma, pokrytí velkého území jedním kmitočtem.
- Postačuje menší vysílaný výkon signálu.
- V případě úniku signálu (např. hluboké údolí) v pokrytí, je možné tyto úniky vyplnit.

Nevýhody SFN sítě

- Vysílač, který porušuje pravidla SFN sítě je „rušičkou“ v oblasti pokrytí.
- Je nutná synchronizace (čas, frekvence, informace).
- Je nutné neustálé monitorování vlastností SFN sítě.

Na straně vysílače, kterou popisuje obrázek 2.9, jsou v budiči se vytvořeny nosné signály COFDM, které jsou modulovány na výstupní vysokofrekvenční signál v analogové podobě. Ten je zesílen na požadovanou výkonovou úroveň a pak filtrován (filtr harmonických, kanálový filtr).



Obr. 2.9 Blokové schéma vysílače SFN [2].

2.6.1 Synchronizace v síti SFN

Signály přijímané v síti SFN mohou být přijímačem považovány za odrazy, a proto musejí být splněny určité **podmínky synchronizace** sítě SFN. Vysílané signály všech vysílačů SFN musí být synchronní v kmitočtu a čase, až do posledního bitu.

- Synchronní v kmitočtu – tolerance všech nosných f_k v módu 2k nebo 8k musí být u všech vysílačů splněno:

$$\Delta f = (f_k - f_{k-1})/1000 \quad (2)$$

kde $(f_k - f_{k-1})$ je kmitočtový odstup nosných, Δf v módu 8k je přibližně 1 Hz. Synchronizaci lze zabezpečit použitím referenčního oscilátoru přijímače GPS.

- Synchronní v čase – není až tak významnou podmínkou, protože se používá ochranný interval.
- Synchronní do posledního bitu – vyžaduje se, aby byly symboly vysílány ve stejném okamžiku, identické bity na identických nosných u všech vysílačů s nulovou tolerancí.
- Synchronizace energetického disperzálu – vyžaduje se u všech vysílačů SFN, aby začátek vysílání náhodné posloupnosti byl stejný.

Synchronizace se tvoří vložením paketu MIP (PID = 0x15) do megarámce transportního toku. Paket obsahuje potřebné informace pro synchronizace celé sítě GPS signálu z družice.

2.7 Vlastnosti antény DVB-T vysílače

Provozní vlastnosti antén lze charakterizovat několika veličinami, jako směrovost, činitel zpětného příjmu, zisk, impedance a širokopásmovost. Z teoretických předpokladů vyplývá, že vlastnosti vysílací a přijímací antény jsou ekvivalentní.

2.7.1 Směřovost antény

Požadavek na směrovost antény vyplývají z předpokladu, že v místě příjmu se skládá signál přímé cesty, a signálů odražených. Dráha odraženého signálu bývá zpravidla větší, tudíž signály dorazí do přijímače časově posunuty. U standardu DVB-T se toto vyřešilo zavedením ochranného intervalu, který zabraňuje mezisymbolovým přeslechům. Ovšem když je zpoždění signálu větší než doba ochranného intervalu, nastává problém. Řešením může být použití směrových antén.

Směrová anténa přijímá signál z jednoho směru lépe, než z ostatních. Tímto je možné vliv nežádoucího odraženého signálu redukovat, nebo úplně odstranit. Směřovost antén se určují pomocí jejich vyzařovacího diagramu.

2.7.2 Činitel zpětného příjmu

Činitel zpětného příjmu je poměr mezi napětím na svorkách antény při příjmu ve směru hlavního maxima, k napětí při příjmu ve směru největšího postranního laloku v zadní části diagramu.

2.7.3 Zisk

Tento parametr určuje, kolikrát bude větší napětí dodané na přijímací anténu ve směru svého hlavního maxima v porovnání s referenční anténou. Obvyklou referenční anténou v pásmu decimetrových vln je normalizovaný **půlvtlný dipól**. Někdy se používá všesměrová anténa nebo elementární dipól. Zisky jednotlivých antén uvádí tabulka 2.5.

Tab. 2.5 Zisky jednotlivých antén [2].

Záříč	Všesměrový	Elementární dipól	Půlvtlný dipól
Všesměrový	$G = 1$ (0 dB)	$G = 1,5$ (1,76 dB)	$G = 1,64$ (2,15 dB)
Elementární dipól	$G = 0,666$ (-1,76 dB)	$G = 1$ (0 dB)	$G = 1,09$ (0,39 dB)
Půlvtlný dipól	$G = 0,61$ (-2,15 dB)	$G = 0,91$ (-0,39 dB)	$G = 1$ (0 dB)

Zisk antény G vzhledem ke všesměrovému záříči, o vlnové délce λ , je úměrný velikosti její efektivní plochy A_{ef} , a lze vyjádřit vztahem:

$$G = \left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right) \cdot A_{ef} \quad (3)$$

2.7.4 Impedance

Vycházíme-li z Ohmova zákona, pak poměr napětí a proudu na svorkách antény, se nazývá vstupní impedance antény. Hodnota impedance má velký význam, neboť má vliv na impedance přizpůsobení antény k napájecí. Impedance antény je komplexní veličina, skládající se z reálné části (činný odpor) a imaginární části (jalových složek). Nastane-li na dipólu **rezonance**, má impedanci čistě reálnou, je-li dipól delší než $\lambda/2$, má jalová složka indukční charakter (+j), a je-li dipól kratší než $\lambda/2$, má jalová složka kapacitní charakter. Podle požadavků na přizpůsobení antény, že žádoucí aby impedance byla čistě reálná.

2.8 Šíření vln v pásmu UHF

Teorie šíření elektromagnetických vln vychází z vlnové rovnice, která je odvozena přímo z Maxwellových rovnic. Pro potřeby plánování pozemním rádiových komunikačních systémů, je důležitá teorie šíření vln v zemské atmosféře. Ionosferická a troposferická vlna se šíří pomocí odrazů v atmosféře, zatímco přízemní **povrchová vlna** se šíří těsně nad zemským povrchem. V této kapitole se zaměříme se na tzv. přízemní prostorovou vlnu, která se šíří v prostoru nad zemským povrchem.

Charakter chování takovéto elektromagnetické vlny určuje hlavně její frekvence f , nebo také vlnová délka λ . Jejich vzájemný přepočtení přes rychlost světla c , znázorňuje následující vztah:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (4)$$

Délka vlny a rozměry objektů v prostředí, ve kterém se vlna šíří, totiž determinují, jak se bude vlna při šíření tlumit, odrážet, ohýbat a rozptylovat. Současné pozemní mobilní služby jako jsou televize a rozhlas, dnes převážně pracují v pásmu decimetrových vln, neboli v pásmu **UHF** (Ultra High Frequency). Toto pásmo zahrnuje kmitočty od 300 MHz do 3 GHz. Důvodem proč bylo vybráno toto pásmo, jsou jeho vhodné vlastnosti pro daný typ komunikace. Signál při šíření má relativně malé ztráty, dobrou schopnost odrážet se, ohýbat se, a pronikat překážkami v zástavbě. Decimetrové vlnové délky navíc umožňují konstrukci malých antén, které jsou vhodné například pro mobilní terminály.

Přízemní prostorová vlna se může šířit buďto spojením s přímou viditelností mezi dvěma anténami, nebo spojením s **ohyby**, **odrazy** a **rozptyly** na překážkách, se kterými přízemní prostorová vlna interaguje. Podle tohoto kritéria, lze mluvit o vlně šířící se ve volném prostoru, v poloprostoru nad rovinnou zemí, nad členitým terénem, nad terénem s vegetací, a nakonec vlně šířící se ve městské zástavbě, kde si překážky pro šíření signálu postavil sám člověk. Jednotlivé vlivy se často kombinují.

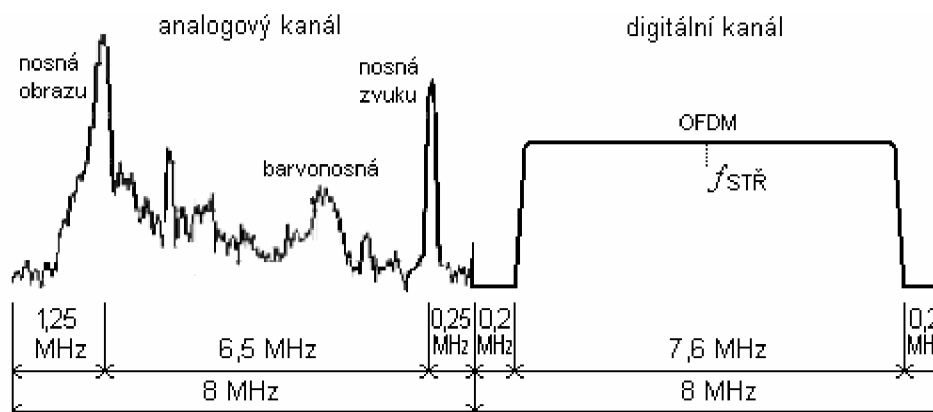
Díky uvažovanému frekvenčnímu pásmu UHF, a relativně krátkým spojům v řádu jednotek kilometrů, můžeme u šíření vln v zástavbě, zanedbat další jevy v přízemních vrstvách atmosféry, jako jsou troposferická refrakce, útlum hydrometeory, útlum atmosférických plynů aj. Právě zkoumaná část radiokomunikačního řetězce, představuje přeměnu elektromagnetické energie vedené např. kabelem, na energii vyzářenou do prostoru pomocí antény, přenos vlny daným prostředím, a pak zpětnou transformaci vyzářené vlny na vlnu vedenou. Pro modelování bezdrátového přenosu, je určující nejen druh spoje, vlastnosti přenosového prostředí, ale i typ a umístění vysílací a přijímací antény. Pro popis tzv. pokrytí, což je základní pojetí úrovně signálu generovaného vysílací anténou v daném bodě pozorování, existují dvě možnosti. Úroveň signálu popíšeme, buď jako intenzitu elektrického pole v daném místě příjmu, nebo jako výkonovou úroveň na referenční přijímací anténě. Jako referenční anténa se typicky volí ideálně všesměrová (isotropická) anténa s jednotkovým ziskem (0 dB). Pro zobrazení pokrytí se častěji používá výkonová úroveň. Pro šíření vln v idealizovaných podmínkách volného prostoru, platí následující vztah:

$$E_{ef} = \frac{\sqrt{30 \cdot P_V \cdot G_V}}{d} \quad (5)$$

kde, E_{ef} je efektivní hodnota intenzity elektrického pole (V/m) v bodě pozorování.
 P_V výkon (W) na vstupu vysílací antény.
 G_V zisk vysílací antény (W) v příslušném směru.
 d vzdálenost (m) vysílací a přijímací antény.

2.8.1 Frekvenční rozsahy

Současně jsou pro účely vysílání DVB-T a T-DAB stanoveny tři frekvenční pásma. Je to třetí televizní pásmo v VHF rozsahu (174 – 230 MHz), UHF pásmo (470-890 MHz) a části L-pásma (1452 – 1479,5 MHz). Nyní se T-DAB vysílá hlavně ve III. televizní pásmu a v pásmu L, protože **IV. a V. TV pásmo**, které se nacházejí v UHF pásmu, jsou přednostně určeny pro DVB-T. Nicméně tyto spektra jsou nyní sdílena pro obě zmiňované služby, aby byla zaručena jejich spektrální spoluexistence, tedy aby mohly být vysílány v jednom multiplexu.



Obr. 2.10 Porovnání analogového a digitálního TV kanálu.

Tyto dvě služby se nemohou vysílat na libovolných kmitočtech, protože při nedostatečné koordinaci kmitočtového pásma, ať už na lokální nebo na mezinárodní úrovni, by se mohly signály vysílané na stejných frekvencích rušit, nebo alespoň překrývat. Proto bylo spektrum rozděleno na televizní kanály. V Evropě v UHF pásmu je stanovena šířka jednoho kanálu na **8 MHz**. Spektrum se rozkládá od 470 MHz do 862 MHz (21. – 69. kanál), a tudíž zahrnuje 49 televizních kanálů. Všechny TV vysílače, pak musí být slučitelné s tímto standardem.

Rádiové kanály mají šířkou pásma 1,75 MHz, a do 7 MHz TV kanálu (charakteristický pro III. TV pásmo), vejdu přesně 4. Tudíž u označení těchto kanálů, se udává nejen číslo kanálu, ale i písmeno A až D, kdy A značí nejmenší střední frekvenci, a D nejvyšší střední frekvenci.

2.8.2 Převaděče signálu DVB-T

Operátoři DVB-T se budou ze strategických důvodů snažit hned v úvodu použít vysílačů s velkými výkony, s cílem rychle pokrýt co největší území. V dalších krocích budou muset hlavně v morfologicky složitém terénu postupně pokrývat tzv. „hluché“ území (nedostatečná úroveň signálu, množství odrazů, nekvalitní kolísající úroveň signálu, stíněné údolí apod.).

Ve druhém kole se stavějí převaděče, nebo opakovače digitálního signálu. Nově vyvíjené typy převaděčů pro DVB-T používají profesionální digitální přijímač, který dokáže digitální signál obnovit (opraví všechny chyby po dekódování), obsahuje vlastní modulátor a zesilovač a tím se vytvoří úplně nový digitální signál.

Převaděč nebo opakovač digitálního signálu nejen zesiluje signál, ale taky ho kompletně **regeneruje**. Kvalita výstupního signálu z převaděče, by měla být podobná kvalitě výstupního signálu na vysílači. To znamená, že i když kvalita signálu na vstupu

převaděče kolísá, výstupní signál by měl být na kvalitní, a nezávislý na fázovém šumu výstupního signálu, pocházejícího z lokálního oscilátoru daného převaděče. Několik digitálních převaděčů může být zapojeno v kaskádě bez výraznějšího zhoršení a zkreslení signálu.

Velkým omezením (nevýhodou) je fakt, že celkové zpoždění signálu vůči vstupnímu může být větší, než je délka ochranného intervalu, a tím se převaděč stává rušičkou a nelze jej použít v sítích SFN. Signál přijímaný z vysílače nesmí být dále opakován, pokud je jeho opoždění v síti SFN, je např. větší než hodnota 224 μ s pro ochranný interval 1/4 (mód 8k) (viz. Tab. 2.4).

Mezi hlavní výhody digitálních převaděčů a opakovačů tedy patří:

- Celkové zlepšení pokrytí a kvality signálu v zastíněné oblasti.
- Zvýšení výstupní hodnoty $MER > 33$ dB.
- Zvýšení kvality signálu díky protichybové ochraně **FEC**, můžou být převaděče řazeny bez omezení. Jsou vhodné pro oblasti jako jsou zastíněná údolí.
- V silně zastíněných místech, kde je signál velmi slabý nebo žádný, lze převaděč použít bez nutnosti synchronizace, a přitom bude pracovat na stejném kanálu jako kanál sítě SFN. Takový převaděč obsahuje interní paměť (**buffer**), který eliminuje účinky překrývání symbolů.

Na převaděč může být nahlíženo jako na synchronizovaný vysílač malého výkonu. Analogový převaděč pouze existující signál zesiluje, avšak digitální převaděč jej musí regenerovat. Cílem použití převaděče je v podstatě maximálně zefektivnit využití kmitočtového spektra a pokrytí signálem. Může být použit i jako samostatný **vysílač malého výkonu** v síti SFN.

2.8.3 *Měření parametrů vysílačů DVB-T*

Parametry jednotlivých zařízení pro digitální televizi sjednocuje mezinárodně přijatý technický dokument ETSI (European Telecommunications Standards Institute) pod označením **ETSI TR 102 377** z listopadu 2005 [13].

Tento dokument uvádí měření a analýzu MPEG-2 TS (Motion Picture Experts Group 2 Transport Stream), měření společných parametrů pro družicová a kabelová **transportní média**, specifická měření družicových zařízení, a přístupné hodnoty parametrů pro zemský televizní systém DVB-T. V přílohách A a B tohoto dokumentu lze nalézt doporučení k některým měřicím metodám.

Vysílač DVB-T je jedním z hlavních článků zemského systému, který tvoří článek, transformující digitální studiový signál obrazu a zvuku, ze základního pásma na vysokofrekvenční signál, o energii nutné k dokonalému přenosu v daném přenosovém kanálu. Jeho parametry zásadně ovlivňují kvalitu celého systému.

2.8.4 *Rozdělení modelů šíření vln*

Znalost fyzikálních charakteristik pozemního rádiového kanálu je základní předpoklad pro jejich následné plánování. Existuje několik více způsobů jak předpovídat intenzitu elektrického pole v bodě příjmu. K tomuto je nutno zvolit model šíření elektromagnetických vln. Ovšem modely byly vyvíjeny postupně, a mnoho z nich používají pro výpočet intenzity pole odlišné podmínky šíření. Když je na modely pohlíženo z fyzikální podstaty, uvažuje se šíření volným prostorem, odrazy, ohyb a rozptyl signálu, jako fyzikální mechanismy šíření elektromagnetické vlny, která zajišťuje vysílání televizních a rádiových signálů.

3 druhy modelů:

- Empirické modely – založeno na měřených datech, jednoduché (pouze pár parametrů), používá statistické metody, nejsou moc přesné.
- Semi-deterministické modely – založeno na empirických modelech, současně s deterministickými aspekty.
- Deterministické modely – specifické pro každou polohu, vyžaduje velké množství geometrických informací o daném místě, velmi výpočetně náročné, ovšem velmi přesné.

Výpočet síly intenzity pole v místech příjmu vyžaduje dostatečně přesné místopisné a morfologické mapy, území od vysílače k přijímači. **Místopisná mapa** (DTM) určuje nadmořskou výšku, a **morfologická mapa** strukturu povrchu, tudíž zdali je v daném místě hustě či mírně zalidněná oblast, pole, les, přehrada nebo moře. Při výpočtech se pak uvažuje i oblasti v blízké trase šíření signálu, na kterých by mohlo dojít k odrazu signálu od přímé trasy. V této diplomové práci je použita místopisná a morfologická mapa České a Slovenské Republiky od firmy CRC Data.

Tato data mohou být různě přesná, protože zemský povrch bývá rozdělen na čtverce o straně d , které mají různou velikost (od 200 m do 1 km), a v celé čtverci je stejná nadmořská výška. To znamená, že výška v daném jednom bodě nemusí korespondovat s výškou nastavenou pro celý čtverec $d \times d$. Při velkém rovinatém území je možno uvažovat větší čtverce, naopak v hornaté krajině, by měly být co nejmenší.

Tab. 2.6 Typy a velikosti buněk [11].

Typ buňky	Poloměr buňky	Umístění	Výška přijímací antény
Velká makro buňka	od 1 do 30 km	venkovní	Nad průměrnou výškou okolních střeš ostatní budovy jsou níže než tato anténa.
Malá makro buňka	od 0,5 do 3 km	venkovní	Nad průměrnou výškou okolních střeš ostatní budovy mohou být i výše.
mikro buňka	do 1 km	venkovní	Pod úrovní průměrné okolní střešy.
piko buňka	do 500m	domáci/ venkovní	Pod střešou.

Volba hodnoty d závisí na přesnosti dostupných dat, a na vlnové délce uvažovaného televizního nebo rádiového signálu. Signál s menší vlnovou délkou, který znamená vyšší frekvenci signálu, je náchylnější na šíření, protože ho mohou ovlivnit i menší překážky v trase.

Všechny modely šíření bojují s faktem, že intenzita v bodě příjmu je časově proměnná. Úroveň síly signálu kolísá, proto tyto data u empirických modelů určují statisticky, ze série měření při různých podmínkách, např. povětrnostních nebo teplotních. Tyto modely zajišťují, že daná intenzita pole bude v místě příjmu po x % času. Většinou pro 1%, 10%, 50% nebo 90 % času.

Intenzita elektromagnetické vlny E , která dopadá na místo příjmu, udává výkon P v daném místě. Tento výkon může zhruba určen jako:

$$P \cong |E|^2 \quad (6)$$

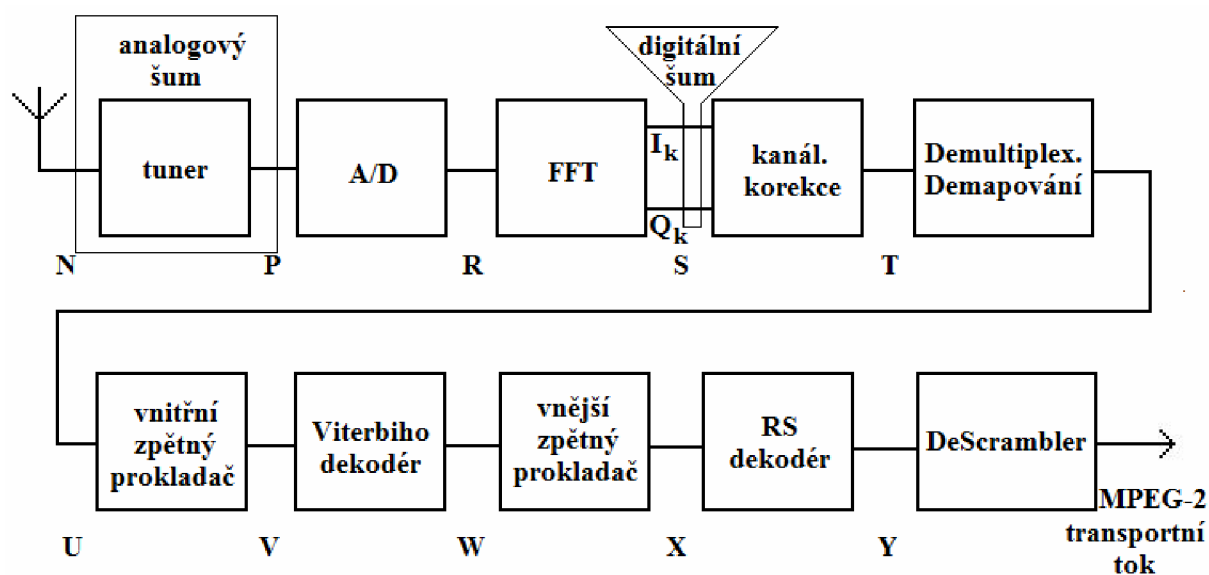
Ovšem výkon signálu se může měnit, až o několik řádů, proto ho většinou udáváme v logaritmické míře, v jednotkách dB μ V/m a je ho možno vyjádřit vzorcem:

$$F = 10 \cdot \log\left(\frac{P}{P_0}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{E^2}{E_0^2}\right) \quad (7)$$

Kde $E_0 = 1 \mu\text{V/m}$
 $P_0 = 1 \text{ W}$

Útlum šířením je definován jako rozdíl (většinou $\text{dB}\mu\text{V/m}$) mezi výkonem na vysílací anténě a výkonem, který má signál když dorazí k přijímací anténě, za působení odrazů, ohybu a rozptylu signálu.

2.9 Přijímač signálu DVB-T



Obr. 2.11 Blokové schéma přijímače DVB-T [2].

Systém DVB-T vzhledem ke své struktuře a principům, umožňuje tři různé druhy příjmu:

- **Pevný příjem** je definován jako „příjem, při kterém se používá směrová přijímací anténa umístěná v úrovni střechy“. Při výpočtech, kde je uvažován pevný příjem, se uvažuje výška přijímací antény 10 m nad zemským povrchem. V praxi ovšem toto není vždy dodrženo. Z tohoto pohledu se naskytuje otázka, do jaké míry je hodnota 10 m rozhodující. Měření digitálních signálů ukázalo, že při kolísání úrovně signálu je standardní odchylka rozložení 5,5 dB. Odchylka je mírně závislá na prostředí obklopující místo příjmu. Pro analogové signály, kterými je DVB-T rušena, se též uvažuje standardní odchylka 5,5 dB.
- **Přenosný příjem** je dále rozdělen:
 - Třída A (vnější), což je příjem, při kterém se používá přenosný přijímač s připojenou nebo zabudovanou anténou ve vnějším prostředí, alespoň ve výšce 1,5 m nad zemí.
 - Třída B (vnitřní, nebo na přizemí domu) charakterizuje příjem, kdy se používá přenosný přijímač s připojenou nebo zabudovanou anténou uvnitř domu, ve výšce alespoň 1,5 m nad úrovní podlahy místnosti v přizemí, nebo v okně na vnější stěně.

Při obou třídách se uvažuje s tím, že optimálního příjmu se dosáhne při pohybu antény do vzdálenosti 0,5 m v libovolném směru. V průběhu příjmu se již s přenosným přijímačem nehýbe, stejně jako s velkými předměty umístěnými poblíž. Není uvažován příjem v extrémních podmínkách, např. úplně elektromagneticky stíněné místnosti. Toto dnes bývá velkým problémem v moderních, železobetonových budovách s plastovými okny. Tudíž se pro optimalizaci příjmu se vyvíjí tzv. diverzitní přijímače pro přenosný a mobilní příjem DVB-T.

Přenosný příjem v prvním nebo vyšším poschodí se považuje za příjem třídy B, přičemž se používají korekce úrovně signálu, avšak příjem v přízemní je asi nejčastějším případem. Předpokládá se, že přijímač pro přenosný a pevný příjem, mají stejné šumové číslo $F = 7$ dB.

Podmínky při přenosném příjmu se od pevného příjmu liší v:

- Neexistence zisku a směrovosti antény přijímače.
- Zmenšení útlumu napáječe.
- Menší útlum způsobený vedením signálu budovou.
- Mobilní příjem je možný jen při splnění příslušných podmínek. Které závisí na zvoleném.
- Typu modulace.
- Ochranném intervalu.
- Počtu nosných kmitočtů COFDM (mód 2k nebo 8k, u standardu DVB-H mód 4k).
- Typu příjmu (jednoduchý či diverzitní).
- Intenzitě elektromagnetického pole podle dráhy pokrytí.
- Typu přijímací antény (směrová, všesměrová, aktivní, pasivní).
- Kmitočtu kanálu (nižší je lepší).
- Rychlosti pohybu přijímače, např. v jedoucím automobilu.

Důležitým pojmem u mobilního příjmu je **Dopplerův posuv kmitočtu**, který udává jak se mění kmitočet pohybujícího se přijímače.

$$\Delta f_d = v \cdot \left(\frac{f}{c} \right) \cdot \cos \varphi \quad (8)$$

Δf_d – je dopplerův kmitočtový posuv.

v – rychlost pohybu přijímače.

f – je střední kmitočet vysílaného signálu.

c – rychlost světla.

φ – úhel směru šíření elektromagnetické vlny vůči směru pohybu vozidla.

Ze vztahu vyplývá, že pro mobilní příjem je vhodné hlavně III. a IV. televizní pásmo. Hodnota Dopplerova kmitočtu závisí na konstrukci přijímače, profilu terénu, robustnosti vysílaného módu DVB-T, ale také na hodnotě ochranného intervalu.

Pro systém 2k je za stejných podmínek tento kmitočet čtyřikrát vyšší, než pro systém 8k, který je tedy z hlediska mobilního příjmu nevhodný. Na druhou stranu mód 8k umožňuje, při stejném ochranném intervalu, 4x rozsáhlejší území pro pokrytí jednofrekvenčními sítěmi SFN. V mobilních standardech se tedy volí kompromis ve formě 4k módu. Jednofrekvenční síť jsou pro mobilní příjem příznivější – Dopplerův kmitočet je přibližně o 30 % vyšší.

2.9.1 Definice pokrytí službou DVB-T

Pokrytí službou digitální televize je charakterizované podle dohody s názvem CH97, která byla podepsána na mezinárodní radiokonferenci v Chestru v roce 1997. U digitálního signálu snadno rozlišíme přechod mezi téměř dokonalým a žádným příjmem. Proto se stává rozhodujícím definovat, které oblasti budou pokryty a které nikoliv. Kvůli velmi rychlému přechodu na vysílání podle standardu DVB-T, by však vysoko stanovený požadavek na skvělé pokrytí malého území (např. 100x100 m) vyšel příliš drahý. To by nastalo, protože buď by bylo nutno zvýšit výkon jednotlivých vysílačů, nebo zvýšit jejich počet, s cílem pokrýt celé i ty nejmenší územní celky s nedostatečným pokrytím.

Z tohoto důvodu je pokrytí hodnoceno jako „dobré“, už když je pokryto alespoň 95% míst v rámci malé oblasti. Hodnocení není myšleno za nejhorších podmínek, ale poskytuje popis oblasti, kdy by mělo být dosaženo „dobré“ nebo „příjemné“ pokrytí za reprezentativních podmínek. V dané situaci je možné zlepšit příjem následujícími způsoby:

- Nalezení lepšího místa pro přijímací anténu.
- Použití směrové antény s větším ziskem.
- Použití nízkošumového anténního předzesilovače (pro případ pevného příjmu).

Při definování oblastí pokrytí, pro každý druh příjmu, se požívá přístup se třemi úrovněmi:

Úroveň 1 : Přijímací místo, je nejmenší jednotkou, a považuje se za pokryté, je-li úroveň užitečného signálu dostatečně vysoká na to, aby v průběhu daného procenta času překonala šum a rušení. Doporučuje se hodnota 99 % času.

Úroveň 2 : Pokrytí malé oblasti, která má typicky rozlohu 100x100 m. V této malé oblasti se udává procento pokrytých míst. Pokrytí se označuje jako

- „dobré“, je-li v ní pokrytých alespoň 95 % míst.
- „příjemné“, je-li v ní pokrytých alespoň 70 % míst.

Úroveň 3 : Oblast pokrytí, vysílače nebo skupiny vysílačů pro diverzifikační příjem (přijímač se dvěma anténami) je tvořena součtem malých oblastí, ve kterých se dosáhne dané procento pokrytí (70 nebo 95 %).

2.9.2 Selektivita přijímače

Selektivita značí schopnost přijímače oddělit užitečný signál od nežádoucího signálu. U kmitočtové selektivity k tomu dochází na základě rozdílu kmitočtu obou signálů. Způsob vyhodnocování je takový, že se na přijímací straně v místě N (viz. Obr. 2.11) měří vstupní úroveň užitečného a rušivého signálu, a v místě X se monitoruje bitová chybovost BER. Vstupní úroveň se pak nastaví na o 10 dB větší než byla minimální vstupní úroveň. Minimální úroveň je myšlena úroveň, kdy chybovost $BER < 2E-4$ před RS dekodérem. Odstup C/I neboli odstup nosné vlny od rušícího signálu se měří v závislosti na kmitočtu rušícího signálu.

2.9.3 Měření výkonu šumu, odstup C/N a S/N

Šum na přenosové trase představuje určité znehodnocení užitečného signálu. Úroveň šumu na vstupu přijímače se měří v místech N a P (viz. Obr. 2.11). Střední hodnota úrovně šumu se v studiových podmínkách měří spektrálním analyzátozem (mimo služby na stejném kanále). Minimální hodnota pro standard DVB-T je specifikována zabránou šířkou pásma OFDM signálu. Známý parametr C/N značí odstup úrovně nosné vlny a úrovně šumu.

2.9.4 Seznam měřených parametrů

Ve standardu DVB-T lze zkoumat celou řadu parametrů, jak na vysílací a přijímací anténě, tak na síti samotné. Pro kvalitní **monitorování** je potřeba celá řada měřících přístrojů. Analyzuje se transportní tok, synchronizace v síti, vysokofrekvenční parametry, a taktéž I/Q analýzy. Pro potřeby televizního technika např. u výstavby sítě postačí jeden jednodušší přístroj, který měří pouze základní parametry. Následující tabulka 2.7 zobrazuje seznam parametrů, které jsou uvedeny v technické příručce **ETSI TR 101 290** (2001-05) pro měření parametrů standardu DVB-T.

Tab. 2.7 Seznam měřených parametrů [2].

Parametr měření	Vysílač	Síť	Přijímač
1) Měření v oblasti vř pásma	X		
1.1) Přesnost nastavených kmitočtů	X		
1.2) Šířka vř kanálu	X		
1.3) Měření délky symbolu	X		
2) Selektivita přijímače			
3) Zachytávací rozsah AFC			X
4) Fázový šum místních oscilátorů	X		X
5) vř/mf výkon signálu	X		X
6) Šumová úroveň			X
7) vř a mf spektrum	X		X
8) Citlivost přijímače/ dynamický rozsah pro Gaussův kanál			
9) Rovnocenné šumové zkreslení (END)			X
9) Rovnocenná šumová hladina (ENF)			X
10) Charakteristika linearity	X		
11) Výkonová účinnost	X		
12) Koherentní rušení	X	X	
13) BER v závislosti od C/N (při změně P _{OUT})	X	X	
14) BER v závislosti od C/N (při změnách Gauss. úrovně šumu)		X	X
15) BER před Viterbiho dekodérem	X	X	X
16) BER před RS (vnějším) dekodérem	X	X	X
17) BER za RS (vnějším) dekodérem	X	X	
18) Analýza složek I/Q	X		X
18.1) Měření MER	X	X	X
18.2 STE (System Target Error)	X		X
19) Synchronizace SFN	X		
20) Odolnost systému vůči chybám	X	X	X

2.9.5 Měření chybovosti BER

Chybovost digitálního signálu je při vyhodnocování kvality považována za nejdůležitější parametr. Všeobecně je definována jako poměr chybně přijatých symbolů m k celkovému počtu vyslaných symbolů n :

$$BER = m/n [-] \quad (9)$$

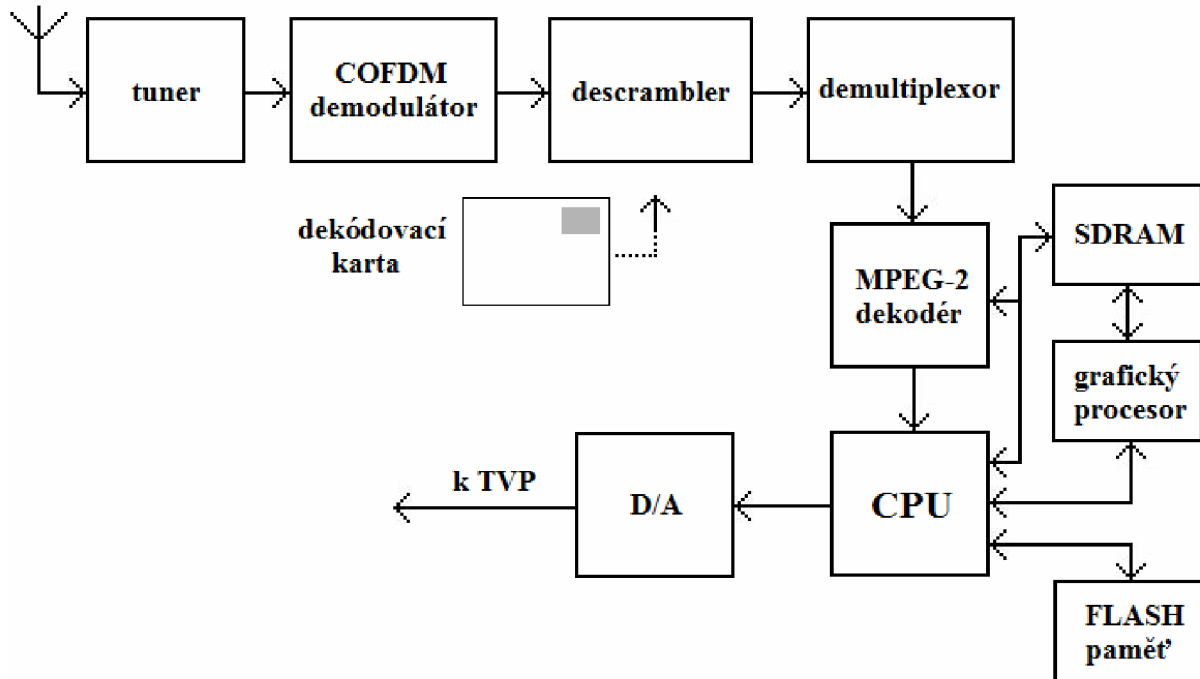
- a) BER v závislosti na C/N, při změně výstupního výkonu vysílače
Měření má vyhodnotit závislost chybovosti BER na C/N vzhledem k určitému vysílači. Takto lze porovnat několik vysílačů mezi sebou, nebo porovnat konkrétní vysílač s teoretickými předpoklady. Na rozhraní F (viz. Obr. 2.8) se přivede pseudonáhodná posloupnost (PRBS). Na vstupu testovacího zařízení se vytváří určité hodnoty C/N superponováním Gausovského šumu. Chybovost je pak vyhodnocována v místě V.
- b) BER před Viterbiho dekodérem
Někdy se také označuje jako „BER před FEC“. Toto měření udává informaci o chybovosti celé soustavy vysílače a přijímače, a také přenosové cesty. Měří se v bodě V (viz. Obr. 2.11) před dekodérem. Metoda spočívá v tom, že signál dekódovaný ve Viterbiho dekodéru se opět kóduje použitím stejného kódového poměru, jako na vysílací straně, s cílem dosáhnout originální datový tok jako ve vysílači. Tento datový tok se pak porovnává se signálem dostupným před Viterbiho dekodérem.
- c) BER před RS dekodérem
Tato chybovost se měří v místě X (viz. Obr. 2.11) a jsou dva způsoby měření. Jedna je mimo a druhá je v průběhu provozu:
Mimo provoz se generuje posloupnost bitů, cyklicky se opakujících, většinou pseudonáhodné povahy. Tato posloupnost je definována jako nulový paket.
Za provozu opraví RS dekodér všechny chyby a vytvoří bezchybný paket transportního toku. Vyskytnou-li se nějaké shlukové chyby, RS dekodér se může zahltit a nemusí paket správně opravit. V tomto případě nastává chyba přenosu transportního toku.
- d) BER za RS dekodérem
Zde platí podobné principy jako před dekodérem, s tím rozdílem, že výsledek je prezentován jako počet chyb, a ne jako poměr chybných bitů k celkovému počtu bitů. Přijímač jenom porovná TS pakety s nulovými pakety. Toto měření je možno aplikovat, pokud je hodnota BER před RS menší než $1E-3$.

2.9.6 *Set-Top-Box*

- 1) Tuner
V tuneru se vybere radiový kanál, ve kterém se nachází požadovaný program či multiplex. Pro pozemní vysílání se používá 7 nebo 8 MHz kanál. Poté je vř signál konvertován do základního pásma, a předán dalším obvodům.
- 2) COFDM modulátor
Signál v základním pásmu je přiveden kódově zabezpečeného (C)OFDM modulátoru. Jde o zařízení, které v sobě obsahuje obvody pro FFT, demodulátor QAM, QPSK, Viterbiho dekodér, RS dekodér, a oba zpětné prokladače. Výsledný tok je pak veden do demultiplexeru, ze kterého vychází základní jednotka transportního toku MPEG-2 TS.

3) Descrambler

Systém podmíněného přístupu zabraňuje neautorizovanému sledování některých placených programů, nebo dodatečných služeb. Signál se tedy ve vysílání kóduje, a v přijímači se dekóduje pomocí enkrypčního klíče, uloženého na dekódovací kartě. Na zabezpečení podmíněného přístupu se používá množství kódovacích algoritmů, např. Cryptoworks, Conax.



Obr. 2.12 Blokové schéma Set-Top-Boxu [2].

4) Demultiplexor transportního toku

V tomto bloku můžeme vybrat na základě definovaných tabulek jednotlivé elementární obrazové, zvukové a datové toky, a také servisní informace (SI), které jsou vedeny do příslušných dekodérů.

5) Video/Audio/Data dekodér

Dekodér obsahuje tři samostatné části, které konvertují signál do původního formátu, který může být následně zpracován grafickým obvodem. Video dekodér transformuje video pakety, do sekvence (PAL, SECAM, NTSC) a výstupní signál je pak možno zobrazit přímo v televizním přijímači. Komprimovaný audio tok je dekódován na výstupu D/A převodníku, který může přímo reprodukován dalšími obvody televizního přijímače.

6) Mikroprocesor (CPU)

Mikroprocesor udržuje a řídí v set-top-boxu procesy dekódování datových toků, zpracování servisních informací a interakci uživatele. Centrální procesor a dekodér MPEG-2 TS, dnes většinou bývají integrovány v jednom čipu.

2.10 RRC 06

Dne 16.června 2006 skončila ve Švýcarské Ženevě Regionální radiokomunikační konference (RRC06), s více jak 1000 účastníky ze 104 zemí celého světa. Jejím úkolem bylo připravit podmínky pro přechod od stávajícího analogového hlavně televizního, ale také rozhlasového vysílání k budoucímu vysílání digitálnímu. To obnášelo zejména tzv. **koordinaci kmitočtů**, v pásmu 174 - 230 MHz (VHF, kanály 5 až 12), a v pásmu 470 - 862 MHz (UHF, pásma IV a V, kanály 21-69). Obě tato pásma byla dosud využívána pro analogové televizní vysílání, takže se účastnické země musely dohodnout, které konkrétní kmitočty (rádiové kanály) budou používat, aby se jejich vysílání vzájemně nerušila.

Digitalizace je dnes velkým trendem v oblasti elektronických komunikací, a v mnoha oblastech je již dokončena, jako třeba ve veřejné telefonní síti, či v oblasti datových komunikací. Televizní a rozhlasové signály jsou jedním z posledního odvětví, kde digitalizace teprve proniká. Relativně obtížně digitalizace probíhá u satelitního vysílání, naopak velkou podporu má digitalizace kabelových sítí. U terestrického vysílání je problém, že není dostatečný prostor pro plnohodnotný souběh analogového a digitálního vysílání. Navíc až na výjimky se nevolí teorie „dne D“, kdy se vypne analogové vysílání a spustí se digitální, ale tyto vysílání chvíli poběží současně. Kdy je potřeba postupně uvolňovat analogové frekvence, a postupně na nich spouštět vysílání digitální. Diváci či posluchači rozhlasu tak mají možnost si v klidu pořídit digitální přijímače, či ke klasickým televizorům, připojit Set-Top-Box, který jim umožní sledovat digitální stanice.

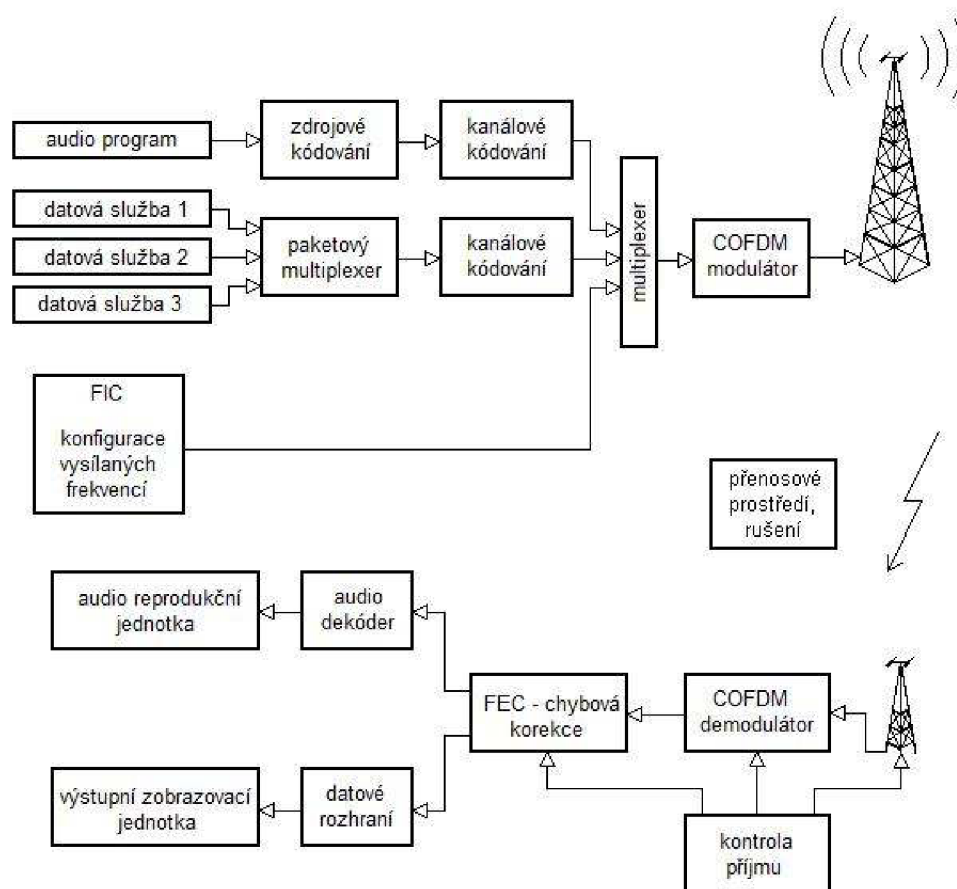
Tato konference ustanovila v naší republice dočasné sítě A, B, C, které se teď byly převedeny **do sítí 1, 2, 3 a 4**. Až se podaří uvolnit další frekvence, dosud obsazené analogovým vysíláním, bude možné zvětšovat pokrytí těchto digitálních sítí, a také vytvářet případně další digitální sítě. Cílový stav představuje „definitivní“ rozdělení kmitočtů mezi jednotlivé země, pro potřeby digitálního vysílání, nahrazující starou dohodu CH97, pro potřeby analogového vysílání. Na této listině by se měly podílet všechny zainteresované země, které mají zájem o digitalizaci jejich televizních a rádiových sítí, proto se organizují takovéto mezinárodní konference, jako byla ta Ženevská.

Hlavní podstatou dohody je rozdělení dostupných kmitočtů (v pásmech VHF a UHF popsaných výše), které uspokojí co největší počet zemí, a současně respektuje technické požadavky a geografické realie (zejména vyloučení rušení v geograficky sousedících oblastech). Na konferenci RRC06 bylo uplatněno přesně 87288 takovýchto požadavků, které musí navíc splňovat fyzikální zákony o šíření signálu, vyjádřených pomocí tzv. administrativních deklarácí. Tyto **deklarace** definují vazby a kompatibilitu mezi jednotlivými požadavky, a zde na konferenci jich bylo uvažováno okolo 4 milionů. Tato obrovská cifra požadavků byla v Ženevě řešena na 100 vzájemně propojených počítačů PC, přímo od organizátorů - Mezinárodní telekomunikační unie (ITU). Toto však nestačilo, a tak s výpočty muselo pomoci středisko CERN (kde se zrodil i dnešní World Wide Web), a to nabídlo k využití výpočetní kapacitu své sítě GRID (sítě distribuovaných výpočtů). Celý výpočet, představující jednu iteraci (resp. jedno plánovací cvičení) se pak podařilo významně zkrátit. Zatímco první iterace trvala 20 dnů, poslední čtvrtá zabrala jen asi 4 hodiny. Delegace České republiky se po RRC06 na tiskové konferenci, na půdě Českého Telekomunikačního Úřadu (ČTÚ), pochlubila tím, že se jí podařilo prosadit do výsledné dohody všechny její předem připravené požadavky.

Nová dohoda, vzniklá v Ženevě, označována jako GE06 (od: Geneva 2006), je na veřejnost prezentována jako nástup moderních digitálních technologií do světa televizního a rozhlasového vysílání. To zahrnuje třeba i mobilní televizní vysílání na bázi DVB-H, či televizní vysílání s vysokým rozlišením (HDTV). V ČR bude přechodem do cílového stavu zabývá Technický plán přechodu (TPP), který vydal Český telekomunikační úřad.

2.11 Standard T-DAB

Digitální vysílací systém audio, známý jako T-DAB, byl navržen okolo roku 1990 v rámci evropského výzkumného programu Eureka 147, a standardizován byl v roce 1997. Datová šířka zdrojových dat je redukována kompresní metodou MPEG-3 layer II, která využívá psychoakustických vlastností lidského sluchu. Další podstatnou výhodou digitálního vysílání je možnost sloučení více datových zdrojů, do jednoho transportního toku. V takovémto transportním toku se nemusí přenášet čistě audio, ale jsou zde kombinovány s datovými video toky, například s televizními kanály, které se pak společně přenášejí ve stejném multiplexu. Digitální audio vysílání navíc používá, modulaci COFDM, která obsahuje více nosných kmitočetů v jednom rádiovém kanálu. Nominální šířka pásma pro T-DAB je 1,75 MHz.



Obr. 2.13 Model sítě T-DAB [3].

Samotný rádiový kanál je doplněn o další datové služby. Kombinaci rozhlasového kanálu a datových služeb, se nazývá programová nabídka. Datový tok je nejprve redukován tzv. zdrojovým kódováním, a v dalším kroku signál podléhá kanálovému kódování. U T-DAB je použit Konvoluční kódér. Díky kanálovému kódování, přenášený signál opět získá určitou redundanci (nadbytečnost dat), která ovšem zabraňuje chybám v přenosu, pomocí časového prokládání signálu.

Informace o struktuře multiplexu T-DAB jsou uloženy v takzvaném Rychlém informačním kanálu **FIC** (Fast Information Channel). Společně s programovými daty, je FIC vkládán do T-DAB multiplexu, a pak společně jdou do zpracovávání COFDM modulací, tak jak popisuje obrázek 2.13. Modulace v systému T-DAB je založena na rychlé Fourierově transformaci, po které následuje D/A převod signálu, a signál je posunut na požadovanou

rádiovou frekvenci. Nakonec signál projde filtrací, a přes výkonový zesilovač dojde až k vysílací anténě.

Signál na přijímací anténě je vyfiltrován, převeden do základního pásma kmitočtů a digitalizován. COFDM demodulátor pak vrací amplitudy a fáze použitých nosných, čemuž napomáhá inverzní rychlá fourierova transformace (**IFFT**). Pomocí FIC je následně analyzováno, která část dat následuje pro hledaný rádiový kanál, nebo pro datovou službu. Chyby v přenosu jsou odstraněny pomocí algoritmů na odstraňování chyb, jako je například Viterbiho algoritmus. Výsledný datový tok je pak přiveden do zobrazovacího média.

Pro T-DAB, který byl vytvořen také pro mobilní příjem, bylo nutno vybrat vhodnou modulaci, jako je **DQPSK**, která přenáší pouze rozdíly fáze jednotlivých nosných vln T-DAB symbolu. Určitý počet těchto symbolů je pak poskládáno do tzv. T-DAB rámců, kterému předchází nulový symbol. Nulový symbol má za úkol zasynchronizovat přijímač.

V ustanovení ETS97a bylo definováno několik typů COFDM modulace, které popisuje tabulka 2.8 .

Tab. 2.8 Provozní módy standardu T-DAB [3].

	Mód I	Mód II	Mód III	Mód IV
Počet nosných frekvencí [-]	1536	284	192	768
Odstup nosných Δf [kHz]	1	4	8	2
Délka trvání symbolu [μs]	1246,0	311,5	155,75	623,0
Délka ochranného intervalu [μs]	246,0	61,5	30,75	123,0

Mód 1 byl navržen pro VHF kmitočtové pásmo, které je typické pro pokrytí širších územních celků. Z důvodů degradace signálu, by vzdálenost vysílače a přijímače v jednofrekvenční síti neměla překročit 73 km. Mód 2 byl navržen pro aplikace v pásmu L (1452 - 1492 MHz). Tento mód je díky kratšímu ochrannému intervalu spíše vhodný pro pokrytí malých územních celků. Třetí mód byl navržen pro satelitní vysílání, kde Dopplerův posuv frekvence dosahuje velkých hodnot. Zde byly vzdálenosti jednotlivých nosných zvoleny 8 kHz. Čtvrtý mód byl navržen pro pokrytí území, které jsou na rozhraní velkých rovinných území a městskou zástavbou.

3. Praktická část

3.1 Software firmy CRC Data

Celá diplomová práce byla zpracována v software české vývojářské firmy **CRC Data**. Programový balík obsahuje 3 programy, a to **RadioLab 3.6**, **RadioBase 2.5** a **Sítě SFN 5.2**. Systém RadioLab se používá pro zobrazení viditelnosti na jednotlivých stanovištích. Systém RadioBase je určen k zadávání parametrů pro vytvoření databáze vysílačů DVB-T. Systém Sítě SFN je výpočetní i zobrazovací program, pro vizualizaci diagramů pokrytí s rušením pro sítě SFN i MFN. Všechny zmiňované programy sdílí některé vzájemné komponenty celého software (např. funkci pokrytí).

3.1.1 RadioLab 3.6

RadioLab je systém pro **analýzu a vizualizaci šíření rádiových signálů**. Jedná se o inženýrský systém pro řešení základních úloh při analýze a návrhu radiokomunikačních systémů, pro služby plošného pokrytí (mobilní služby, analogová a digitální televize a rozhlas), systémů point to multipoint a mikrovlnných směrových spojů.

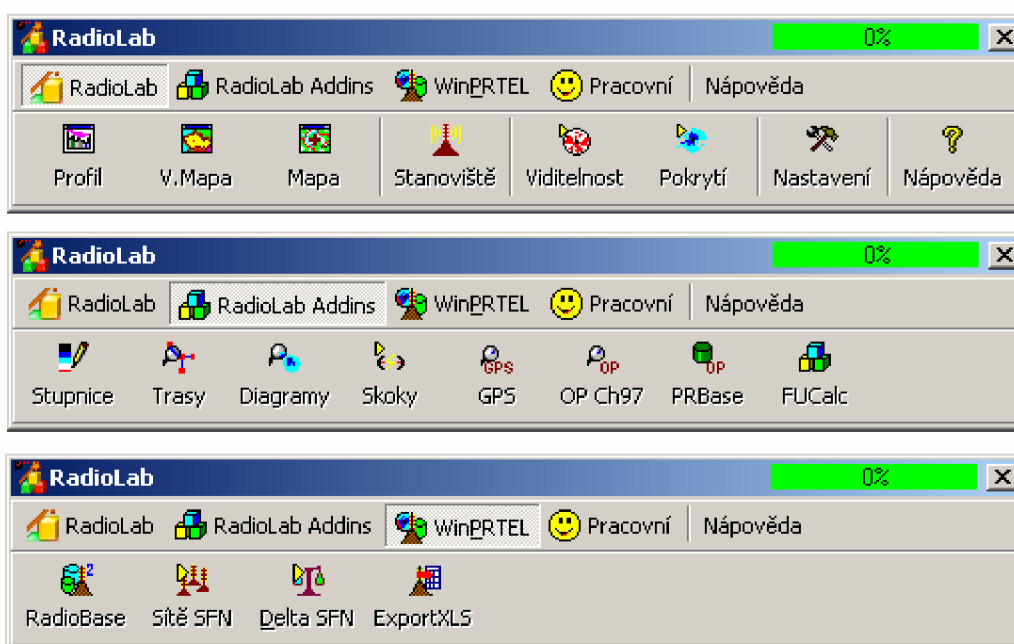
Základní funkčnost systému RadioLab zahrnuje:

- Profil – nástroj pro zobrazení terénního profilu. Slouží k zobrazení a tisku profilu daného dvěma vysílači. Volitelně je možné zobrazit například morfologické kategorie, Fresnelovu zónu, překážky a úhel otevření antén. Nástroj obsahující podporu pro analýzu odrazů.
- Mapový server – tento server obsahuje jádro pro zobrazení rádiových objektů (stanice, skoky,...) a výsledků výpočtů (diagramů viditelnosti a pokrytí) na podkladu digitalizovaných map rastrových, vektorových nebo libovolných mapových podkladů.
- Výškopisnou mapu – tato mapa je určena zejména k zobrazení stanic, skoků a diagramů viditelnosti a pokrytí v **LON**gitude / **LAT**itude (zeměpisná délka/zeměpisná šířka) projekci, tedy v zobrazení jako podklad slouží DTM (digitální model terénu) nebo MO (morfologická mapa).
- Databázi stanovišť – nástroj umožňující editaci, vyhledávání, třídění a zobrazení databáze stanic na obou mapách.
- Výpočet viditelnosti – výpočet diagramu viditelnosti pro zadanou stanici s možností zobrazení výsledku na obou mapách.
- Výpočet pokrytí – výpočet pokrytí signálem pro zadanou stanici s možností zobrazení výsledného diagramu na obou mapách. Nástroj obsahuje podporu pro horizontální i vertikální vyzařovací charakteristiku antény. Lze zobrazit spádovou křivku a diagram efektivních výšek.

Jednotlivé části systému jsou vzájemně propojeny. Systém RadioLab využívá služeb **Vizualizačního manažeru** – správce vícenásobných instancí jednotlivých vizualizačních serverů, popsaných výše v textu. Toto dává uživateli možnost rozhodnout o potřebném počtu instancí (formulářů) těchto serverů, zvolit danou akci pro konkrétní instanci, případně vytvořit instanci novou. Pokud titulěk hlavního formuláře serveru neobsahuje číslo instance, daný server není pod správou Vizualizačního manažeru.

Radiolab obsahuje možnost rozšiřování funkčnosti systému pomocí modulů **RadioLab Add-Ins**. Při instalaci dalších výpočetních a administrativních systémů lze využít možnosti sdílených komponent – jako např. zobrazovat informace z více systémů v jednom vizualizačním serveru a docílit tak požadovaného výstupu. Nástroje systému RadioLab Add-Ins využívají široké spektrum služeb systému RadioLab, zejména vizualizační služby obou mapových systémů, vizualizaci profilů, databázi stanic a jiné.

Pomocí RadioLab Add-Ins lze řešit práci s již vypočtenými daty (Zobrazovač diagramů), import (export) z (do) jiných systémů, spolupráci s přístroji GPS (Zaměřovač GPS), a další. Standardní součásti jsou Zobrazovač diagramů, Zobrazovač tras, Barevné stupnice, Zaměřovač GPS, Ochranné poměry Chester 97 a úroňová rozvaha skoku bez podpory pro pasivní prvky. Ostatní RadioLab Add-Ins je třeba nainstalovat vlastním instalačním programem.



Obr. 3.1 Funkce Radiolabu.

3.1.2 *RadioBase 2.5*

RadioBase je datový subsystém pro **ukládání a správu dat vysílačů plošného pokrytí**. Zejména pro služby analogové a digitální televize, a rozhlasu. Jedná se o serverový systém poskytující služby uživatelského rozhraní pro práci s daty vysílačů, služby funkční pro nadřazené systémy realizující výpočty pokrytí, a rušení nad těmito daty (Síť SFN, Delta SFN a další).

Systém RadioBase umožňuje práci s více datovými zdroji – datovými kontejnery (databáze, skupina databází) a podporuje nezbytné operace pro organizaci, sdílení a vzájemnou výměnu dat na nejrůznějších úrovních. Systém je plně kompatibilní s databázemi CEPT – ERO. Systém navíc umožňuje rozšiřovat základní sadu technických parametrů o další parametry administrativního charakteru (nevstupují do výpočtů). Uživatel má tedy možnost přizpůsobit obsah databáze svým specifickým požadavkům. Při operacích kopírování mezi datovými kontejnery, může uživatel specifikovat, zda a které administrativní parametry budou přeneseny, a tím např. chránit svá data privátního charakteru.

RadioBase umožňuje doinstalování uživatelsky definovaných šablon pro tiskové sestavy. Pomocí úprav šablon pro tisk je možno docílit většiny požadovaných výstupů při zachování možnosti jednoduché úpravy vzhledu. RadioBase je kompatibilní s ostatními radiokomunikačními systémy CRC Data. Pro vizualizaci vysílačů a diagramů viditelnosti a pokrytí na mapách využívá komponenty systému RadioLab 3.

Základní koncepce systému je architektura **klient – server**. V systému jsou implementovány jednotlivé komponenty - servery, poskytující přes definované rozhraní služby, které umožňují přístup k datům, uživatelskému rozhraní a konfiguraci. Základním elementem datového subsystému je datový server DS, implementující služby přístupu k datům pro konkrétní implementaci úložiště dat. Datový server spolu s vlastním úložištěm dat (zde např. soubor typu **MDB**) označujeme jako datový kontejner. Je možno ho implementovat pro různá databázová řešení (MS SQL Server, MySQL), nebo pro různé formáty souborových databází, popř. import/export formátů (MDB, TVA, TVD, FMA, v dalších verzích ITU formáty). Základní verze systému obsahuje implementaci pro souborovou databázi formátu MS Access 97.

Datový manažér organizuje služby nad více datovými kontejnery. Požadovanou operaci buď přeměruje požadovaný datový kontejner (např. načtení dat vysílače) na aktivní, nebo provede kompilaci výsledků pro všechny aktivní datové kontejnery (např. výběr všech rušících vysílačů). Komponent Merge DS implementuje virtuální datový kontejner poskytující služby s daty více datových kontejnerů, pro účely současného zobrazení dat z více databází. Komponenty DUI a CUI obsahují formuláře pro práci s daty a formuláře pro konfiguraci datových kontejnerů. Pro zobrazení vysílačů na mapách a pro výpočty na daty digitálního modelu terénu (např. výpočet efektivní výšky), jsou použity komponenty systému RadioLab .

Následující tabulka 3.1 popisuje parametry, které jsou potřeba do RadioBase „nezbytně“ zadat, pro správnou činnost programu. Jinak program vypíše hlášku, že nejsou zadány všechny parametry, a výpočet tak nešel provést. Jednotlivé čísla 1-12 (13-15), zobrazují pole v přílohu D obrázek 1 (obrázek 2), kde se parametry zadávají.

Tab. 3.1 Zadávání parametrů vysílače.

Číslo	Položka	Popis
Záložka Vysílač		
Vysílač		
1	Jméno	Název vysílače, možno i s TV kanálem
2		Lokalita
3	Typ	Rozlišení mezi analogovými a digitálními TV i rádii
4	ERP H	Hodnota výkonu pro horizontální polarizaci v dBW
5	ERP H	Hodnota výkonu pro horizontální polarizaci v kW
6	K	Výběr radiového kanálu
7	Síť	Nutno zadat pro výpočty SFN v Síť SFN
Stanoviště		
8	Jméno	Název stanoviště
9	Nadm.	Nadmořská výška, možno zjistit z TDM
10	Lon	Zeměpisná výška ve formátu [X° X' X"]
11	Lat	Zeměpisná šířka ve formátu [X° X' X"]
12	Anténa rel.	Výška stožáru vysílače
Záložka Parametry		
13	Polarizace	Použitá polarizace vysílače
14	Systém	Typ modulace s příslušným kódovým poměrem
15	Subsystém	OFDM mód s délkou trvání ochranného intervalu

3.1.3 Sítě SFN 5.2

Sítě SFN je výpočetní systém pro **analýzu pokrytí a rušení** pro služby DVB-T, T-DAB, TV, FM, analýzu a návrh jednofrekvenčních sítí DVB-T a T-DAB. Síť SFN řeší obecně formulovanou úlohu výpočtu kritéria pokrytí s množinou vysílačů užitečného signálu a signálu rušícího. Pro jednotlivé vysílače jednofrekvenčních sítí lze modifikovat relativní časování v rámci sítě. Posouzením výsledků výpočtů pokrytí lze optimalizovat konfiguraci sítě, výpočetními algoritmy a parametry, které vycházejí ze standardů konference RRC06, a souvisejících dokumentů.

Vedle výpočetních postupů orientovaných na jednofrekvenční síť tento systém **realizuje výpočty pokrytí a rušení** analogových vysílačů TV a FM i digitálních vysílačů DVB-T a T-DAB. Pro zobrazení výsledků výpočtů v mapě, a pro zobrazení terénního profilu systém Sítě SFN využívá služeb vizualizačních komponentů, sdílených s ostatními radiokomunikačními systémy CRC Data, jako např. RadioLab, WinNORA, RadioBase, Databáze signálu apod. Systém Sítě SFN 5.2 pracuje s kontejnerově orientovaným databázovým systémem RadioBase 2.

Základní funkce a vlastnosti programu:

- Výpočet a zobrazení diagramů intenzity signálu pro užitečné i rušící vysílače, využití blokových diagramů z RadioLab 3.6, pro zvětšení přesnosti a úspornosti.
- Automatické vyhledání nebo manuální zadání rušících vysílačů pro zadanou síť.
- Výpočet a zobrazení hraniční křivky pokrytí, s rušením a bez rušení.
- Výpočet a zobrazení diagramů signálu s rušením (s možností barevného rozlišení tří kategorií intenzity rušení).
- Zobrazení terénního profilu mezi rušeným a rušícím vysílačem.
- Výpočet a zobrazení rastrového kritéria se sítí diagramů pokrytí - pokrytí maximálním signálem nebo násobnost pokrytí z více vysílačů.
- Výpočet a zobrazení pokrytí jednofrekvenční sítě, bez rušení a s rušením (s možností volby vlastností přijímače).
- Nastavení relativního časování v rámci SFN a výpočet pokrytí modifikované sítě.
- Nastavení přesnosti výpočtu, nastavení všech parametrů výpočtů i zobrazení, možnost modifikace hodnot ochranných poměrů.
- Uložení a načtení úlohy, včetně vypočtených diagramů pokrytí a rastrového kritéria.
- Zobrazení podrobného strukturovaného záznamu o průběhu výpočtu, s informacemi o rozhodování systému.
- Spolupráce s aplikací pro vyhodnocení pokrytí - výpočet procenta pokrytého území, resp. procenta pokrytí obyvatel.
- Spolupráce s nástrojem pro zobrazení referenčních křivek šíření dle Chester 97.

Systém Sítě SFN je koncipován otevřeně a univerzálně, a svou funkčností převyšuje základní cíle výpočtu – analýza a návrh jednofrekvenčních sítí. Otevřenost systému spočívá jednak v možnosti spolupráce s různými zdroji dat, a také v organizaci výpočetních bloků tak, aby bylo možné jejich jiným uspořádáním realizovat další ucelené výpočetní postupy.

Vstupem pro výpočty jsou dvě množiny vysílačů - vysílače užitečného signálu a vysílače rušící, a sada parametrů určující metody výpočtů a jejich parametry. Celý postup výpočtů lze rozčlenit do několika základních kroků, se kterými souvisejí hlavní funkční bloky i jednotlivé části uživatelského rozhraní. Tyto kroky lze aktivovat jednotlivě v sekvenci nebo opakovaně při změně některého parametru.

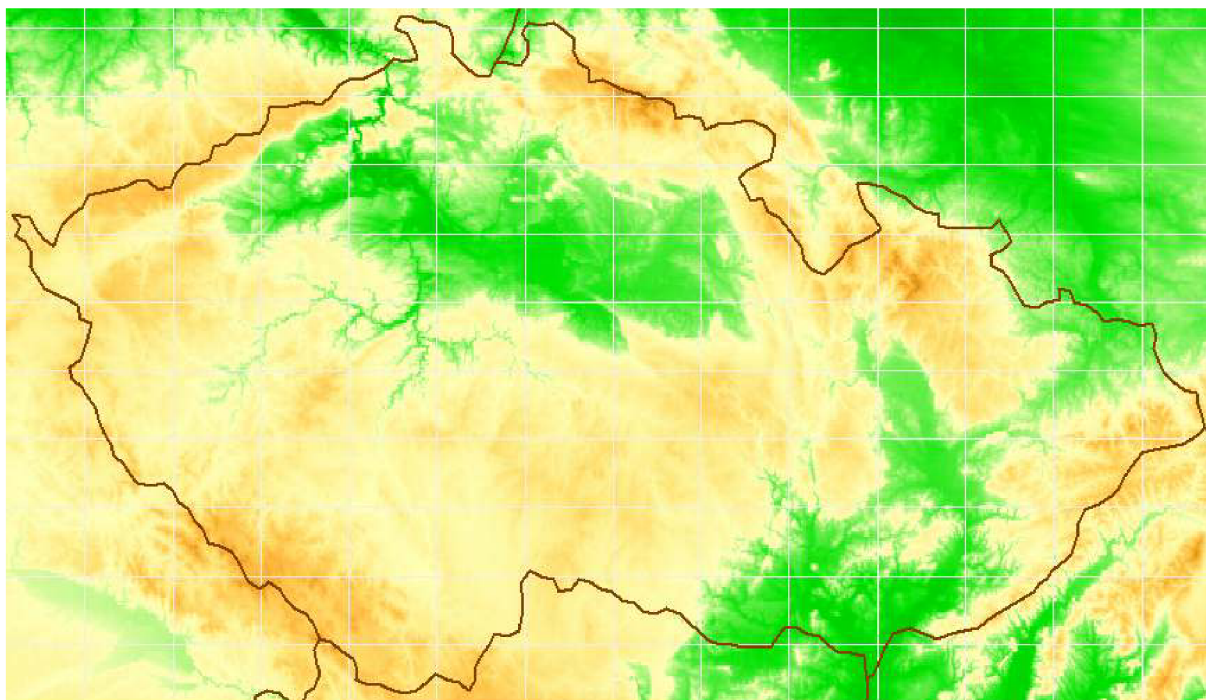
Hlavní bloky výpočtů :

- Definice množiny vysílačů užitečného signálu - vysílače lze individuálně přidávat nebo rušit pomocí služeb datového serveru. Sada vysílačů užitečného signálu (spolu s dalším nastavením výpočtů) může být uložena do souboru definice úlohy, a později načtena.
- Nalezení rušících vysílačů – manuální (uživatel zadá rušící vysílače obdobně jako užitečné) nebo automatické, kdy je proveden výběr potenciálních zdrojů rušení (dle kmítočtové podmínky) a následná eliminace vysílačů, jejichž příspěvek rušení je podprahový (práh lze nastavit). Při uložení úlohy do souboru je možné zároveň uložit i seznam rušících vysílačů.
- Výpočet diagramů intenzity signálu – pro vysílače užitečného i rušícího signálu jsou vypočítány, dle zvolených parametrů, plošné diagramy intenzity signálu. Tyto diagramy lze zobrazit jak ve vlastní aplikaci, tak na výškopisné nebo rastrovém mapě.
- Výpočet diagramů s rušením – pro každý bod diagramu signálu vysílače užitečného signálu je vyhodnoceno celkové rušení (metodou power sum). Pokud nejsou splněna kritéria nerušeného příjmu, je přiřazen atribut rušený příjem. Tyto diagramy s rušením mohou být rovněž zobrazeny na výškopisné mapě nebo mapovém serveru.
- Výpočet rastrového kritéria – pro každý bod zvolené obdélníkové oblasti je na základě vypočtených diagramů s rušením, vyhodnoceno zadané rastrové kritérium – absolutní maximální úroveň pokrytí, maximální pokrytí na minimální úrovni nebo násobnost pokrytí.
- Výpočet pokrytí SFN sítě – tento výpočet navazuje na vypočtené hodnoty diagramů signálu. Pro každý bod v oblasti pokrytí je vyhodnocena celková hodnota signálu, od všech vysílačů SFN sítě, s uvažováním aktuální vzdálenosti a relativní časování jednotlivých vysílačů v rámci sítě. Jako rušící vysílače se uvažují pouze vysílače v rámci sítě SFN jejichž zpoždění signálu přesáhne velikost ochranného intervalu.
- Výpočet pokrytí SFN sítě s rušením – je stejný jako předchozí bod s tím rozdílem, že do výpočtů rušení jsou zahrnuty rovněž vysílače z množiny rušících vysílačů.

Digitální model terénu

Digitální model terénu (DMT) je základním nástrojem při návrhu šíření rádiového signálu, a představuje prostorový, **výškopisný popis reliéfu terénu**. Využije se v celé řadě aplikací, od vizualizací terénu až po analytické úlohy. U digitálního modelu terénu je většinou použito rozlišení 1 km, což reprezentuje plochu 1 x 1 km, namísto přesnějších rozlišení, které by byly pro počítačové výpočty příliš složité. V této diplomové práci je použito rozlišení 300 m, s náhledovou přesností. V T-DAB je typické rozlišení mezi 150 a 250 m.

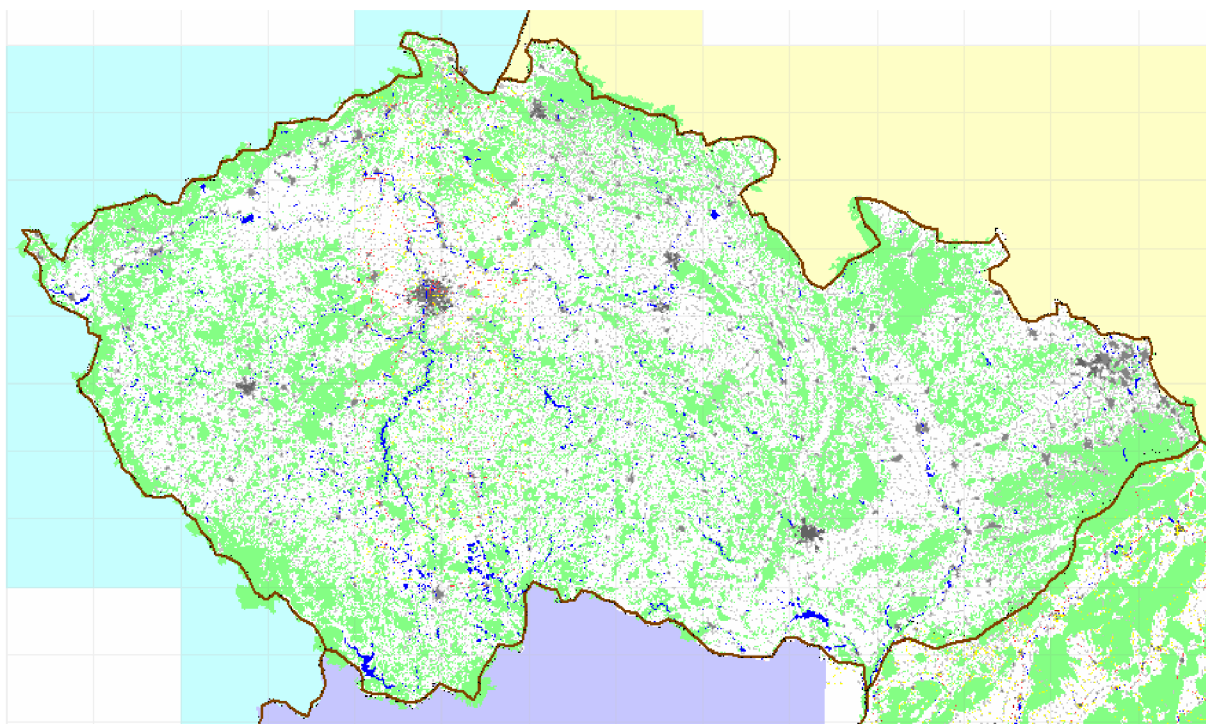
Problematika zpracování digitálního modelu terénu (DMT) se řadí do dvou skupin - a to mezi systémy **CAD** (objemové modelování, zobrazování), a mezi **GIS** systémy (rozsáhlostí dat a shodným předmětem modelování). Pro inženýrské úlohy je důležité vybrat správnou kategorii software (CAD, GIS, DMT), z nichž každý může být orientován na stejný předmět (krajinu, terén), ovšem s různými rozlišovacími schopnostmi. Při podrobném modelování rodinného domu použijeme určitě CAD systém (především jeho objemový modelář). Pokud chceme vymodelovat město, nezajímají nás konstrukční detaily každého domu, použijeme program, který schematicky zobrazí stavby, k nim přidá terén a vytvoří tak celou krajinnou scénérii. Pokud se budeme zajímat o vyšší územní celky, zajímá nás většinou pouze polohopis (výškopis maximálně schematicky - přes nakreslené vrstevnice) a dále vedení inženýrských sítí, silnice, řeky, hranice, pozemky, atd., použijeme systém GIS. Výběr je otázkou rozlišovací úrovně.



Obr. 3.2 Digitální model terénu.

Morfologická mapa

Předmětem morfologické mapy je zobrazení reliéfu povrchu planety Země. V případě této diplomové práce je to povrch České republiky. Geomorfologie je věda zabývající se řešením vztahů vazeb mezi složkami reliéfu. Toto je důležité kvůli zkušenosti, že signál se jinak šíří nad zemským povrchem, nad studenou vodou, a nad teplou vodou.



Obr. 3.3 Morfologická mapa.

3.2 Plánování allotmentů a assingmentů

Jedním z důležitých faktorů u procesu plánování, jsou allotmenty a assingmenty, které jsou základem pro vytváření frekvenčního plánu pro konkrétní území. **Allotment** je skupinové přidělení kmitočtu pro určité definované území, a **Assingment** zahrnuje přidělení kmitočtu, výkonu a dalších parametrů na konkrétní stanoviště vysílače. Plánování T-DAB je založeno na allotmentech, a plánování sítě DVB-T kombinuje plánování pomocí assingmentů i allotmentů.

Při plánování assignmentů se každému vysílači přiřadí specifický rádiový kanál, definuje se jeho polohou a vysílacími parametry, jako jsou vyzářený výkon, výška antény apod. Takto navržená vysílací síť pak může být uvedena do provozu bez nutné pozdější koordinace.

Při plánování allotmentů se přiřadí skupina frekvencí danému území, nazvanému allotmentové území. Pozice vysílače a vysílací podmínky nejsou známy, a proto musíme konvertovat allotment do několika assignmentů.

Požadavky allotmentů jsou více vhodné, když se jedná o síť **SFN**, když chce pokrýt neznámé území, nebo když chceme upravit vysílací charakteristiky (před, v průběhu nebo po implementaci). **Požadavky assignmentů** jsou naopak vhodnější pro síť **MFN**, a při známých vysílacích charakteristikách. Tyto dvě skupiny požadavků můžeme skloubit, při nařízení o přednaplánování těchto assignmentů s dalšími nařízeními, které pak dojdou ke shodě, nebo u plánování kdy operátor chce zavést SFN síť, spolupracující s sítí MFN.

3.2.1 Plánovací konfigurace

Je užitečné redukovat počet možných plánovacích konfigurací na co nejméně. Na konferenci RRC06 se řešily tyto konfigurace, a vzniklo 5 odlišných doporučení nazvaných Reference Planning Configurations (RPC), první tři pro DVB-T, a další dva pro T-DAB.

DVB-T

- RPC1 – pevná střešní anténa.
- RPC2 – přenosná venkovní, nízkodosahová vnitřní přenosná, nebo mobilní anténa.
- RPC3 – vysokodosahová vnitřní přenosná anténa.

T-DAB

- RPC4 – mobilní anténa.
- RPC5 – přenosná vnitřní anténa.

Tab. 3.2 Parametry plánovacích [10].

	RPC1	RPC2	RPC3	RPC4	RPC5
Pravděpodobnost výskytu [%]	95	95	95	99	95
Poměr C/N [dB]	21	19	17	15	15
$(E_{STR})_{REF}$ při 650 MHz [dBmV/m]	50	67	76	60	66
$(E_{STR})_{REF}$ při 200 MHz [dBmV/m]	56	78	88	-	-

Hodnota minimální intenzity pole $(E_{STR})_{REF}$ je definována 10 m nad zemským povrchem, pro 50 % míst a 50 % času. Útlum šířením je spočten z nařízení ITU-R P.1546-2.

3.3 Modely pokrytí

3.3.1 Model ITU-R 370

Poslední verze tohoto modelu je vydaná v roce 1995, a byla poměrně hodně používaná. ITU-R 370 je tzv. **koordinační model**, což znamená, že má tendence přeceňovat intenzitu elektrického pole, v místě příjmu signálu.

Data pro vznik tohoto modelu, byla měřena v Severní Americe, Evropě, v Severním ledovém oceánu (chlad), a na Středozezemním moři (teplé). Měření bylo prováděno za použití těchto parametrů:

- Frekvenční rozsah VHF (30...250 MHz) a UHF (450..1000 MHz).
- Efektivní vyzářený výkon $ERP = 1$ kW.
- Efektivní výška vysílací antény $h_{\text{eff}} = 37,5..1200$ m (ve vzdálenosti $3 \text{ km} \leq d \leq 15 \text{ km}$).
- Terénní nerovnosti $\Delta h = 50$ m (ve vzdálenosti $10 \text{ km} \leq d \leq 50 \text{ km}$).
- Přijímací anténa byla umístěna na pevnině, na studené vodě a na teplé vodě.
- Výška přijímací antény 10 m.

Hlavní rozdíly v modelu ITU-R 1546 oproti ITU-R 370 :

- Interpolace a rozšíření frekvencí (3 křivky v rozsahu od 30..3000 MHz).
- Výpočty také ve vzdálenosti pod 10km (od 1 km).
- Terénní nerovnost není zahrnuta jako parametr výpočtů.
- Více komplexních výpočtů okolo vysílače.
- Způsob výpočtu pro zápornou h_{eff} , křivky rozšířeny do 10 m.
- Interpolace pro časovou nestálost.
- Standardní lokační odchylka hodnocena jako funkce frekvence.
- Více komplexních výpočtů při šíření přes moře.

3.3.2 Model ITU-R P. 1546

Pokud máme pouze málo informací o místopisu území, kde chceme provádět **predikci signálu**, můžeme použít tento model založený doporučení ITU (International Telecommunication Union) ITU-R P.1546. Tato norma nahrazuje současně platné doporučení ITU-R P.370, které bylo dlouho používáno, až do konce roku 2001. Doporučení ITU-R P.1546 je současný standard pro vysílání elektromagnetických vln, a mezinárodní frekvenční plánování, a ostatní koordinační aktivity ITU jsou založeny na tomto modelu.

Místopisná mapa není výhradně zdrojem dat pro výpočty intenzity pole, tento model také zahrnuje množství měření po řadu předchozích let. Tímto se model řadí mezi **semi-deterministické modely**. Informace jsou uloženy do množství vyzářovacích křivek, ze kterých si pak systém umí vytáhnout údaj, o dané intenzitě v konkrétní vzdálenosti od vysílače. Křivky šíření jsou nastaveny pro určité parametry, například se uvažuje vysílací výkon 1kW. Tyto hodnoty musí být chápány jako intenzita pole v daném místě pro určité procento času, proto intenzita pole v daném místě nemusí být shodná, když na tomto místě je provedeno měření podruhé. Spočítaná hodnota je tedy pravdivá jen v případě, že jen statisticky podložena množstvím měření za různých podmínek.

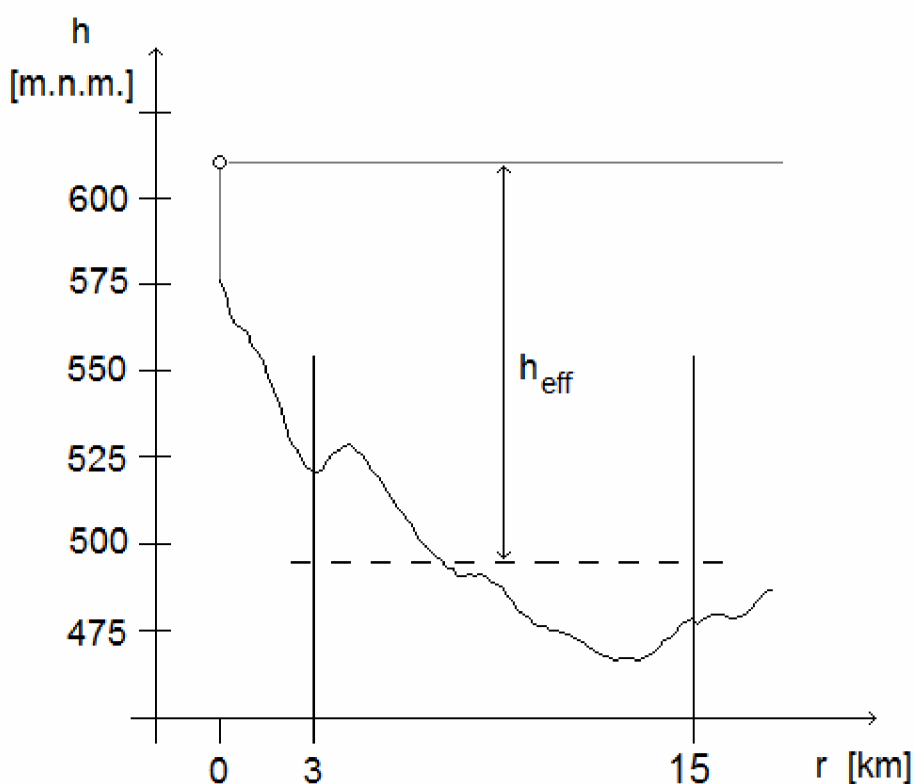
Na první pohled by se mohlo zdát, že metody založené na doporučení ITU jsou použitelné jen v málo případech, protože vyzařovací křivky zahrnují pouze omezené množství technických parametrů. Toto není tak zcela pravda, protože díky **interpolačním pravidlům**, můžeme tento model použít i pro jiné technické parametry. Například mohou být vykresleny vysílací i přijímací charakteristiky, kde je možno měnit vysílací výkon, nebo výšku vysílací antény nad zemským povrchem.

Nejdůležitějšími **parametry** při šíření signálu je intenzita elektrického pole zaručená v určitých procentech času vysílání, uvažovaná vzdálenost od vysílače, výška vysílací antény, a frekvence signálu. V tomto doporučení jsou dostupné křivky síly signálu pro 1%, 10% a 50% času. S respektováním vzdálenosti vysílače a přijímače od 1 km do 1000 km, kdy tyto křivky obsahují 78 hodnot mezi těmito hodnotami. Výška přijímací antény může být nastavena od 10 m do 1200 m. Křivky lze použít od frekvence 30 MHz do 3000 MHz, ale jsou zaznamenány pouze frekvence 100 MHz, 600 MHz a 2000 MHz.

Systém navíc rozeznává šíří-li se signál nad zemí, či nad studenou nebo teplou vodní plochou. Jako studenou vodu může považovat Severní moře, a jako teplou např. Středozemní moře, nebo Rudé moře.

Každá křivka šíření je v tomto doporučení zaznamenána tabulkou, ze které vychází graf. Jestliže se již parametry vysílače nebudou shodovat s parametry signálu v současně zaznamenaných křivkách, bude potřeba změřit nové tabulky, nebo se tento problém může vyřešit interpolací, kterou toto doporučení řeší. **Interpolace** se je tudíž využívaná často a byla přestavena při přechodu, ze starého doporučení ITU-R P.370 na nové ITU-R P.1546.

Pro výpočty místopisné mapy jsou je hlavním parametrem je výška antény h_1 . A pro výpočet intenzity pole, hodnota závisí na uvažované vzdálenosti od vysílače, pro každý případ totiž bude výpočet jiný.



Obr. 3.4 Určení efektivní výšky antény [4].

$$h_1 = \begin{cases} h_a & , d < 3 \text{ km} \\ h_a + (h_{eff} - h_a) \cdot \frac{(d-3)}{12} & , 3 \text{ km} < d < 15 \text{ km} \\ h_{eff} & , d > 15 \text{ km} \end{cases} \quad (10)$$

Místopisné a morfologické podmínky v blízkosti přijímače jsou závislé na výšce přijímací antény h_2 . V hustě zalidněných oblastech bývá tato hodnota rovna 30m, v menších městech 20 m, a v téměř nezalidněných oblastech se $h_2 = 10$ m. Jestliže se skutečná výška přijímací antény neshoduje s hodnotou zahrnutou do výpočtu, je nutno použít interpolaci jako korekční prvek.

Na následujících obrázcích, za modelem Okumura-Hata, byly v programu Síť SFN (CRC Data) modelovány stavy současného pokrytí území České Republiky, pro jednotlivé sítě 1-4. V příloze C pak najdete aktuální pokrytí **sítí 3**, vykresleného jednotlivými modely šíření signálu, v software Síť SFN dostupnými. U obrázků je vždy název modelu, kterým byl spočten, i s použitou korekcí. Zkratka **CA** za modelem znamená, že na obrázku byla provedena korekce podle tzv. Clearance angle. V příloze se objevuje také zkratka **DH**, která znamená korekci signálu podle Δh .

3.3.3 Model Okumura - Hata

Empirický model pro rovnými a homogenními zalidněnými oblastmi. Je založen na Okumurově měření s vertikální polarizací, a na Hatově vzorci pro interpolaci.

Výhody modelu Okumura-Hata

- Výpočet efektivní výšky vysílací antény.
- Obsahuje přídavné difrakční podmínky pro šíření bez přímé viditelnosti.
- Uvažování morfologické mapy při výpočtu difrakčních podmínek.
- Korekce pro nerovný zemský povrch.

Výpočet

$$\text{Hustě zalidněné oblasti: } L_{dB} = A + B \cdot \log_{10} R - E \quad (11)$$

$$\text{Středně zalidněné oblasti: } L_{dB} = A + B \cdot \log_{10} R - C \quad (12)$$

$$\text{Mírně zalidněné oblasti: } L_{dB} = A + B \cdot \log_{10} R - D \quad (13)$$

$$A = 69,55 + 26,16 \cdot \log_{10} f_c - 13,82 \cdot \log_{10} h_b \quad (14)$$

$$B = 44,9 - 6,55 \cdot \log_{10} h_b \quad (15)$$

$$C = 2(\log_{10}(f_c / 28))^2 + 5,4 \quad (16)$$

$$D = 4,78(\log_{10} f_c)^2 + 18,33 \cdot \log_{10} f_c + 40,94 \quad (17)$$

$$E = 3,2(\log_{10}(11,7554 \cdot h_m))^2 - 4,97 \quad \text{pro velká města, kde } f_c \geq 300\text{MHz} \quad (18)$$

$$E = 8,29(\log_{10}(1,54 \cdot h_m))^2 - 1,1 \quad \text{pro velká města, kde } f_c < 300\text{MHz} \quad (19)$$

$$E = (1,1 \cdot \log f_c - 0,7) \cdot h_m - (1,56 \cdot \log_{10} f_c - 0,8) \quad \text{pro střední a malá města} \quad (20)$$

Příklad výpočtu pokrytí modelem Okumura-Hata

Vysílač v Ostravě má výkon 10 kW (40 dB, 177 dB μ V/m), při výšce základnové stanice $h_b = 40$ m nad terénem, a přijímací anténa je ve výšce $h_m = 10$ m nad terénem. Vysílač je použit pro digitální síť 1, a je provozován na 54. kanále, tudíž na střední frekvenci 738 MHz. Jaká intenzita bude v Opavě, ve vzdálenosti $R = 30$ km od vysílače? Uvažujte hustě zalidněnou oblast, se středními a malými městy.

$$A = 69,55 + 26,16 \cdot \log_{10} f_c - 13,82 \cdot \log_{10} h_b = 69,55 + 26,16 \cdot \log_{10} 738 - 13,82 \cdot \log_{10} 40 = 122,4 \text{ dB}$$

- frekvence f se zadává v [MHz] a výška h v [m]

$$B = 44,9 - 6,55 \cdot \log_{10} h_b = 44,9 - 6,55 \cdot \log_{10} 40 = 34,4 \text{ dB}$$

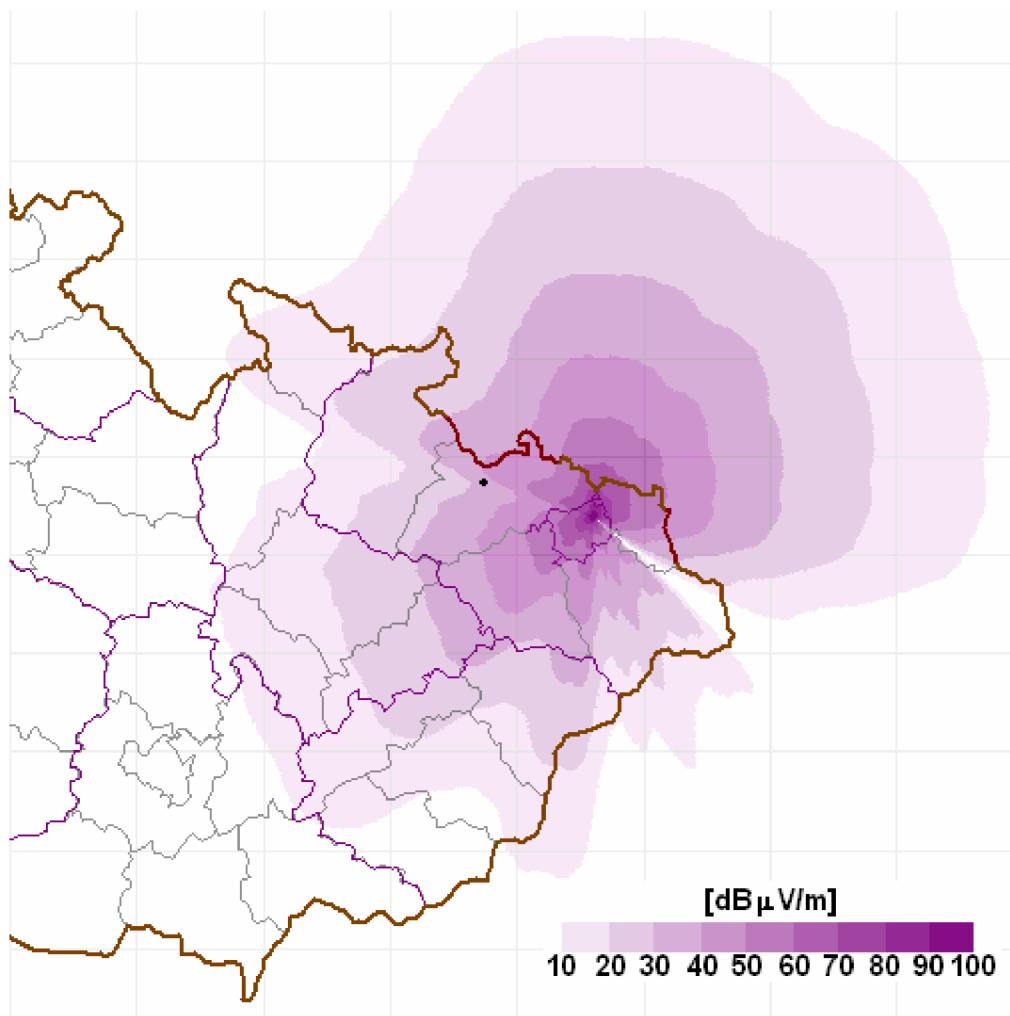
$$E = (1,1 \cdot \log_{10} f_c - 0,7) \cdot h_m - (1,56 \cdot \log_{10} f_c - 0,8) = (1,1 \cdot \log_{10} 738 - 0,7) \cdot 10 - (1,56 \cdot \log_{10} 738 - 0,8) = 20,87 \text{ dB}$$

$$L_{50} = A + B \cdot \log_{10} R - C = 122,4 + 34,4 \cdot \log_{10} 30 - 20,87 = 152,38 \text{ dB}$$

- vzdálenost R se zadává v [km]

$$P_{OPAVA} = P_{OSTRAVA} - L_{50}(30 \text{ km}) = 40 - 152,38 = -112,38 \text{ dB}$$

Na obrázku 3.5, je v Opavě (vyznačena černou tečkou) zobrazena intenzita 35 dB μ V/m, což je -101,99 dB. Výpočtem bylo teoreticky dosaženo, že je v Opavě intenzita -112,38 dB, tedy o 10,39 dB méně. Z čehož by šlo usoudit, že Okumura-Hata je koordinační model, který přeceňuje intenzitu elektrického pole, v místě příjmu signálu.

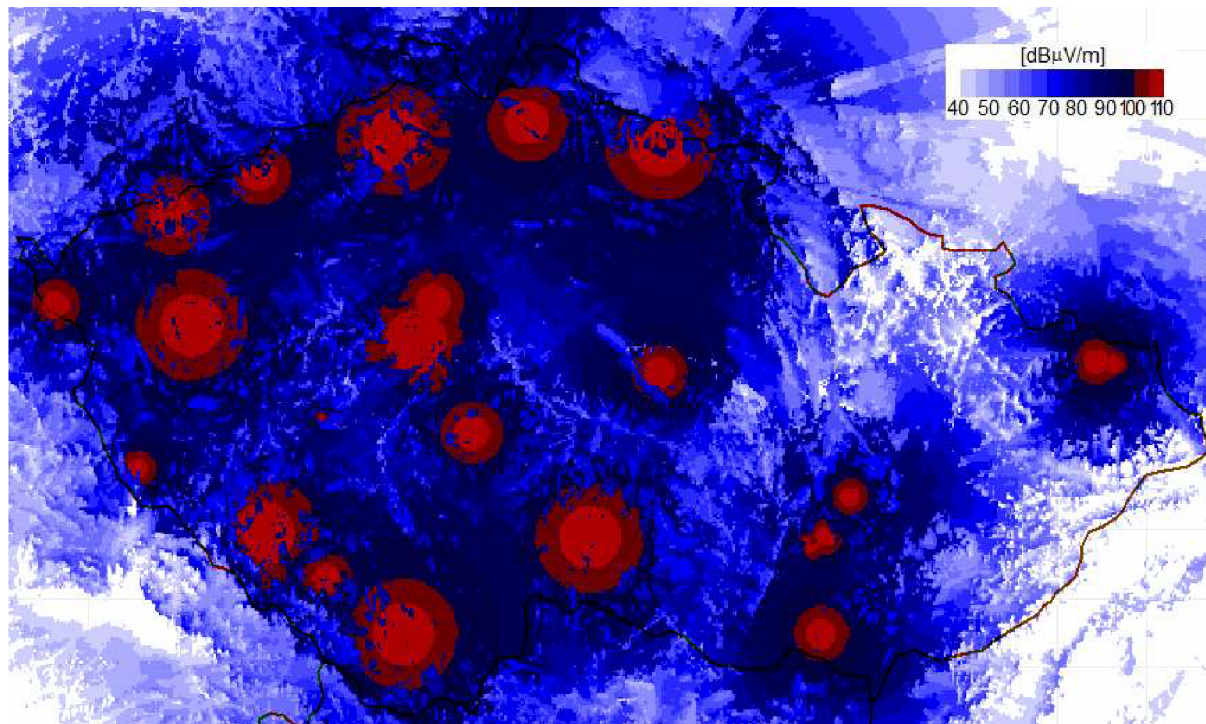


Obr. 3.5 Vysílač v Ostravě zobrazený modelem Okumura-Hata.

3.4 Síť DVB-T v České Republice

3.4.1 Síť 1

Aktuální pokrytí (stav k 31.3.2010)



Obr. 3.6 Pokrytí ČR sítě 1 vytvořené v Síť SFN.

Vysílače

Tab. 3.3 Vysílače sítě 1 v provozu (k 31.3.2010) [7].

Název vysílače					LON	Výška	Výška
Stanoviště	Kanál	Kmitočet	Výkon	Polarizace	LAT	paty	stožáru
	[-]	[MHz]	[kW]	[-]	[-]	[m.n.m.]	[m.n.m.]
BRNO Kojál	29	538	100	H	16°48'59" 49°22'11"	600	304
BRNO - HÁDY Hády	29	538	10	H	16°40'28" 49°13'22"	424	73
BRNO - MĚSTO Barvičova	29	538	10	V	16°34'47" 49°11'56"	305	35
ČESKÉ BUDĚJOVICE Kleť	49	698	100	H	14°16'53" 48°52'03"	1056	163
CHEB Zelená hora	36	594	20	H	12°18'29" 50°04'10"	634	80
CHOMUTOV Jedlová hora	33	570	32	H	13°27'47" 50°32'58"	848	60
DOMAŽLICE Vraní Vrch	34	578	10	H	12°46'41" 49°28'21"	684	75
JÁCHYMOV Klínovec	36	594	50	H	12°58'04" 50°23'49"	1243	62

Tab. 3.4 Vysílače sítě 1 v provozu (k 31.3.2010), 2. část [7].

Název vysílače					LON	Výška	Výška
Stanoviště	Kanál	Kmitočet	Výkon	Polarizace	LAT	paty	stožáru
	[-]	[MHz]	[kW]	[-]	[-]	[m.n.m.]	[m.n.m.]
JIHLAVA Javořice	33	570	100	H	15°20'22" 49°13'17"	834	152
KRASLICE - SNĚŽNÁ Sněžná	36	594	10	H	12°30'20" 50°18'41"	619	40
LIBEREC Ještěd	43	650	50	H	14°59'05" 50°43'58"	1012	63
MIKULOV Děvín	29	538	25	H	16°39'01" 48°52'10"	554	39
NEMANICE Nemanice	34	578	10	H	12°43'49" 49°28'18"	675	40
NÝRSKO Suchý Kámen	34	578	10	H	13°07'50" 49°16'36"	656	40
OSTRAVA - SL. OST. Hladnov, vodojem	54	738	10	H	18°18'19" 49°50'51"	266	40
OSTRAVA - HOŠŤ. Hošťálkovice	54	738	100	H	18°12'45" 49°51'41"	287	171
PARDUBICE Krásné	32	562	25*	H	15°44'15" 49°49'21"	614	168
PLZEŇ Krašov	34	578	100	H	13°04'46" 49°59' 45"	711	304
PRAHA Cukrák	53	730	100	H	14°21'21" 49°56'12"	399	162
PRAHA - MĚSTO Žižkov	53	730	32	V	14°27'04" 50°04'52"	258	197
ROTAVA Rotava	36	594	7	H	12°34'09" 50°17'49"	565	40
SUŠICE Svatobor	49	698	100	H	13°29'23" 49°14'06"	834	48
TRUTNOV Černá hora	40	626	100	H	15°44'30" 50°39'09"	1299	54
ÚSTÍ NAD LABEM Verneřice, Buková hora	33	570	100	H	14°13'50" 50°40'20"	662	205
VIMPERK Mažský vrch	49	698	20	H	13°50'49" 49°04'20"	895	70
VOTICE - MEZIVRATA Mezivrata	53	730	32	H	14°40'16" 49°36'10"	713	92

* dočasně snížený výkon na 25 kW, 31.5.2010 plánováno 100 kW.

Parametry multiplexu

Tab. 3.5 Parametry sítě 1 [8].

Celková bitová rychlost	19,10 Mbit/s
Kódový poměr	2/3
Vysílací mód	8K
Modulace	64QAM
Hierarchická mód	ne
Ochranný interval	1/4
Šířka pásma	8 MHz

Vykrývače

Tab. 3.6 Vysílače malého výkonu sítě 1 [7].

Název vysílače					LON	Výška	Výška
Stanoviště	Kanál	Kmitočet	Výkon	Polarizace	LAT	paty	stožáru
[-]	[-]	[MHz]	[kW]	[-]	[-]	[m.n.m.]	[m.n.m.]
ALBRECHTICE Desná	43	650	0,1	H	15°16'57" 50°45'05"	699	50
AŠ vrch Háj	36	594	0,05	V	12°12'07" 50°14'02"	714	40
DESNÁ III Desná	33	570	0,003	V	15°21'07" 50°45'47"	759	40
HOLOUBKOV Holoubkov	33	570	0,004	H	13°41'25" 49°46'32"	441	40
KAMÝK NAD VLTAVOU Kamýk nad Vltavou	53	730	0,005	H	14°14'50" 49°38'30"	280	40
KARLOVY VARY Tři Kříže	36	594	0,025	H	12°53'12" 50°13'39"	554	48
KRASLICE Sněžná	36	594	0,01	H	12°30'19" 50°18'41"	619	40
MARIÁNSKÉ LÁZNĚ hotel Monty	36	594	10	H	12°41'58" 49°58'06"	635	35
NEMANICE Vranovský vrch	34	578	10	H	12°43'49" 49°28'18"	675	40
NÝRSKO Suchý Kámen	34	578	10	H	13°07'50" 49°16'36"	656	40
PELECHOV Pelechov	43	650	0,1	V	15°15'59" 50°38'15"	367	40
PŘÍBRAM Březové hory	29	538	0,1	H	13°59'49" 49°41'07"	555	40
PŘÍBRAM kopec Praha	29	538	1	H	13°49'08" 49°39'34"	862	40
ROTAVA pod hřbitovem	36	594	0,005	H	12°34'09" 50°17'49"	588	40

Provozovatel multiplexu - Česká Televize

Tab. 3.7 Plánované vysílače pro síť 1 [8].

Územní oblast [-]	Stanoviště [-]	Kanál [-]	Kmitočet [MHz]	Výkon [kW]	Polarizace [-]	LON LAT [-]	Výška paty [m.n.m.]	Termín [-]
Jeseník	Praděd	36	594	100	H	17°13'58" 50°05'00"	1491	31.7.2010
Ostrava	Lysá hora	54	738	100	H	18°27'02" 49°32'48"	1313	30.9.2010
Zlín	Ploštiny	33	570	25	H	18°03'28" 49°08'21"	716	31.10.2010
Zlín	Tlustá hora	33	570	100	H	17°38'53" 49°21'31"	457	31.10.2010

Programová nabídka



Obr. 3.7 Televizní programy sítě 1 [8].

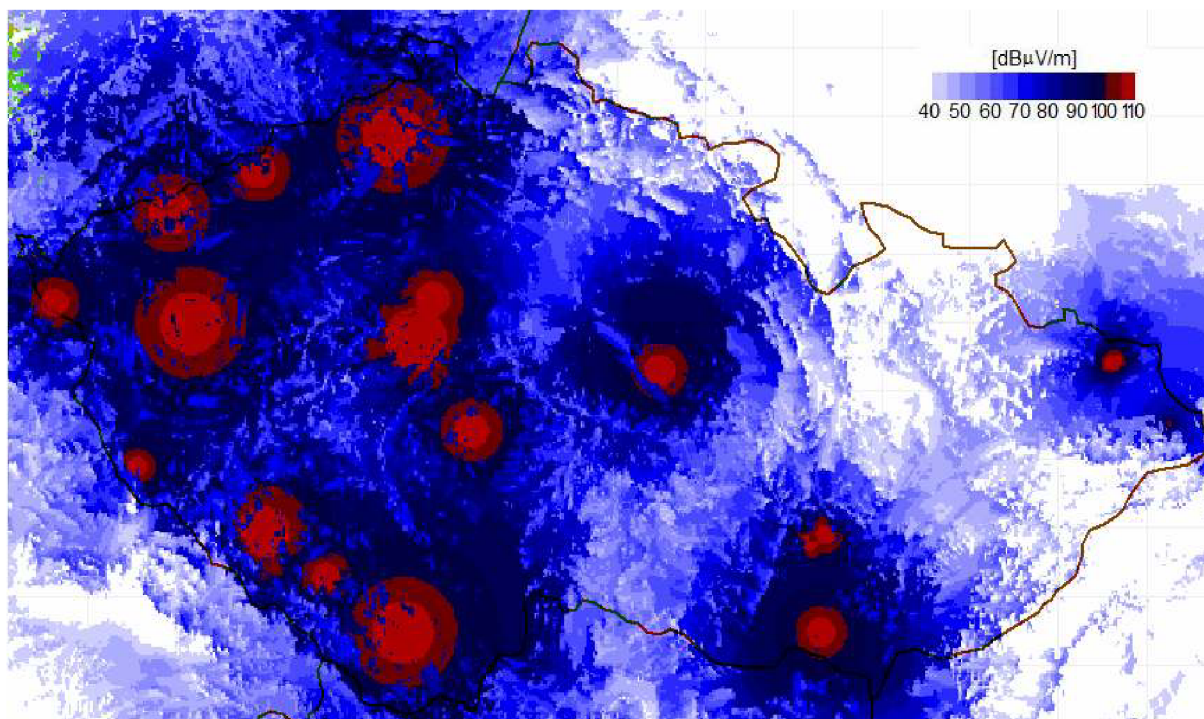
Tab. 3.8 Programová nabídka sítě 1 [8].

Název programu	Rozlišení obrazu	Formát obrazu	Dat. Tok - obraz (MBit/s)	Dat. Tok - Zvuk (kbit/s)	Dat. Tok - Teletext (kbit/s)	Mód zvuku
Televizní stanice						
ČT1	720x576	16:9/4:3	4,17	192	230	stereo
ČT2	720x576	16:9/4:3	4,17	192	221	stereo
ČT24	720x576	16:9	3,02	192	39	stereo
ČT4	720x576	16:9/4:3	4,25	192	183	stereo
Rádia						
Český rozhlas 1				192		stereo
Český rozhlas 2				192		stereo
Český rozhlas 3				192		stereo
Český rozhlas 4 Radio Wave				192		stereo
Český rozhlas D-Dur				256		stereo
Český rozhlas Leonardo				160		stereo
Český rozhlas Rádio Česko				96		mono

V tabulkách vysílačů, vykrývačů a dalšího rozvoje sítí 1-4, byl použit tzv. střední kmitočet f_{STR} , který zjistíme, z tabulky E.1 v příloze E, aritmetickým průměrem počáteční a koncové frekvence radiového kanálu. Výkon vysílačů se pohybuje v řádu desítek kW, a výkon dokrývačů v řádu desítek W. Dále jsou zde uvedeny GPS souřadnice souřadného systému WGS-84. Výšku paty stožáru jsem zjistil v internetových stránkách [8], a kontrolou pro mě byla hodnota vypsaná softwarem Síť SFN. Výšky stožáru jsem zjišťoval také z internetových stránek [8], popřípadě z literatury [15]. Tuto výšku se mi bohužel nepodařilo zjistit u všech vysílačů, proto u některých bylo standardně nastavena výška paty **40 m**.

3.4.2 Sít' 2

Aktuální pokrytí (stav k 31.3.2010)



Obr. 3.8 Pokrytí ČR sítí 2 vytvořené v Sítě SFN.

Vysílače

Tab. 3.9 Vysílače sítě 2 v provozu (k 31.3.2010) [7].

Název vysílače					LON	Výška	Výška
Stanoviště	Kanál	Kmitočet	Výkon	Polarizace	LAT	paty	stožáru
[-]	[-]	[MHz]	[kW]	[-]	[-]	[m.n.m.]	[m.n.m.]
BRNO - HÁDY Hády	40	626	10	H	16°40'28" 49°13'22"	424	77
BRNO - MĚSTO Barvičova	40	626	10	V	16°34'47" 49°11'56"	305	35
ČESKÉ BUDĚJOVICE Kleť	50	706	100	H	14°16'53" 48°52'03"	1056	163
DOMAŽLICE, VRANÍ V. Domažlice	48	690	10	H	12°46'41" 49°28'21"	684	75
CHEB Zelená hora	66	834	20	H	12°18'29" 50°04'10"	634	80
CHOMUTOV Jedlová hora	58	770	32	H	13°27'47" 50°32'58"	848	60
JÁCHYMOV Klínovec	66	834	50	H	12°58'04" 50°23'49"	1243	62
MIKULOV Děvín	40	626	25	H	16°39'01" 48°52'10"	554	39
OSTRAVA - SL. OST. Hladnov, vodojem	39	618	10	H	18°18'00" 49°50'00"	266	40
PARDUBICE Krásné	39	618	25*	H	15°44'15" 49°49'21"	614	168

Tab. 3.10 Vysílače sítě 2 v provozu (k 31.3.2010), 2. část [7].

Název vysílače					LON	Výška	Výška
Stanoviště	Kanál	Kmitočet	Výkon	Polarizace	LAT	paty	stožáru
[-]	[-]	[MHz]	[kW]	[-]	[-]	[m.n.m.]	[m.n.m.]
PLZEŇ Krašov	48	690	100	H	13°04'46" 49°59'45"	711	304
PRAHA Cukrák	41	634	100	H	14°21'21" 49°56'12"	399	162
PRAHA - MĚSTO Žižkov	41	634	32	V	14°27'04" 50°04'52"	258	197
SUŠICE Svatobor	48	690	71	H	13°29'23" 49°14'06"	834	48
TŘINEC* Javorový vrch	57	762	100	H	18°37'38" 49°37'40"	946	47
ÚSTÍ NAD LABEM Buková hora	58	770	100	H	14°13'50" 50°40'20"	662	205
VIMPERK Mařský vrch	50	706	20	H	13°50'49" 49°04'20"	907	70
VOTICE - MEZIVRATA Mezivrata	41	634	32	H	14°40'16" 49°36'10"	713	92

* vysílač mimo TPP vysílá pouze program TV Barrandov.

Vykrývače

Tab. 3.11 Vysílače malého výkonu sítě 2 [7].

Název vysílače					LON	Výška	Výška
Stanoviště	Kanál	Kmitočet	Výkon	Polarizace	LAT	paty	stožáru
[-]	[-]	[MHz]	[W]	[-]	[-]	[m.n.m.]	[m.n.m.]
AŠ vrch Háj	35	586	50	V	12°12'04" 50°14'01"	757	40
KARLOVY VARY Tři Kříže	35	586	25	H	12°53'12" 50°13'39"	554	48
KRASLICE Sněžná	35	586	10	H	12°30'20" 50°18'41"	619	40
MARIÁNSKÉ LÁZNĚ hotel Monty	35	586	10	H	12°41'58" 49°58'06"	630	35
NEMANICE Vranovský vrch	48	690	10	H	12°43'49" 49°28'18"	675	40
NÝRSKO Suchý Kámen	48	690	10	H	13°07'50" 49°16'36"	656	40
PŘÍBRAM Březové hory	29	538	10	H	13°59'49" 49°41'07"	555	40
ROTAVA pod hřbitovem	35	586	5	H	12°34'11" 50°17'48"	565	40

Provozovatel multiplexu - České Radiokomunikace a.s.

Parametry multiplexu

Tab. 3.12 Parametry sítě 2 [8].

Celková bitová rychlost	19,10 Mbit/s
Kódový poměr	2/3
Vysílací mód	8K
Modulace	64QAM
Hierarchická mód	ne
Ochranný interval	1/4
Šířka pásma	8 MHz

Další rozvoj sítě

Tab. 3.13 Plánované vysílače pro síť 2 [8].

Územní oblast [-]	Stanoviště [-]	Kanál [-]	Kmitočet [MHz]	Výkon [kW]	Polarizace [-]	LON LAT [-]	Výška paty [m.n.m.]	Termín [-]
Jihlava	Javořice	35	586	100	H	15°20'28" 49°13'18"	834	30.4.2010
Trutnov	Ještěd	52	722	50	H	14°59'11" 50°43'59"	1010	31.8.2010
Trutnov	Černá hora	61	794	100	H	15°44'36" 50°39'10"	1299	31.8.2010
Brno	Kojál	40	626	100	H	16°49'05" 49°22'12"	600	30.9.2010
Ostrava	Lysá hora	37	602	25	H	18°27'02" 49°32'48"	1313	30.4.2011
Jeseník	Praděd	53	730	100	H	17°13'58" 50°05'00"	1491	31.10.2011
Zlín	Ploštiny	49	698	25	H	18°03'28" 49°08'21"	716	30.11.2011
Zlín	Tlustá hora	49	698	100	H	17°38'53" 49°21'31"	457	30.11.2011

Programová nabídka



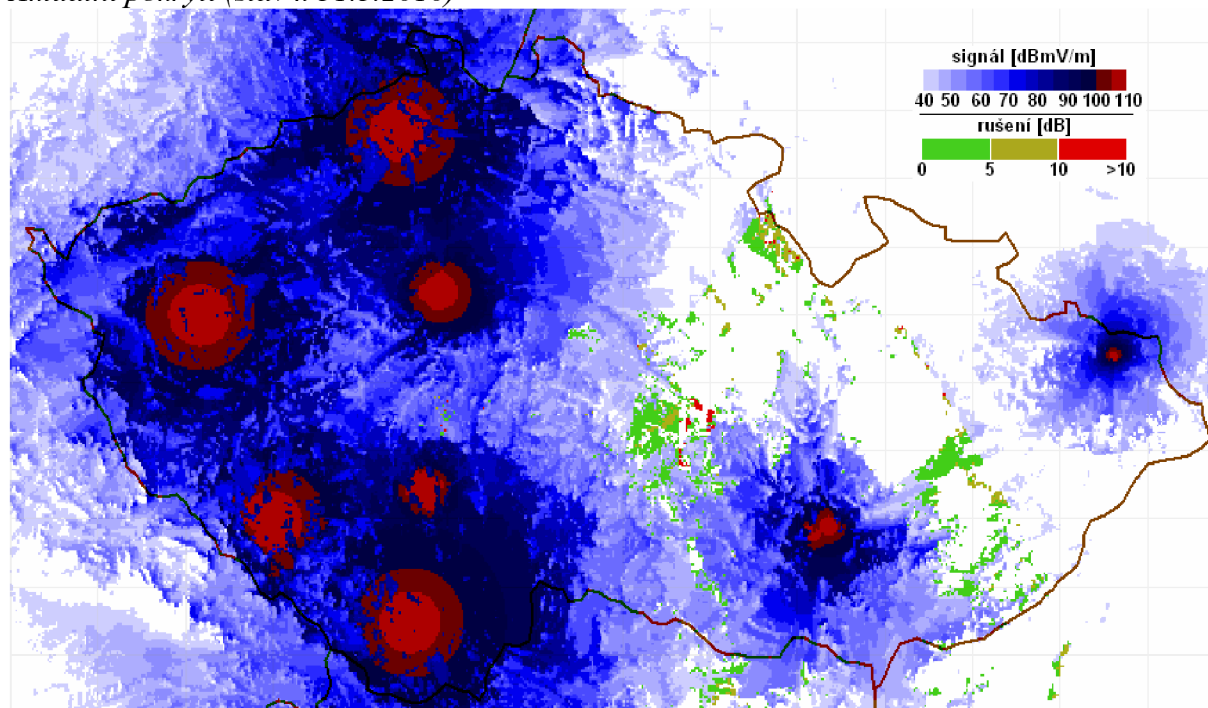
Obr. 3.9 Televizní programy sítě 2 [8].

Tab. 3.14 Programová nabídka sítě 2 [8].

Název programu	Rozlišení obrazu	Formát obrazu	Dat. Tok - obraz (MBit/s)	Dat. Tok - Zvuk (kbit/s)	Dat. Tok - Teletext (kbit/s)	Mód zvuku
TV Nova	720x576	16:9/4:3	3,87	192	214	s/dch/m
Nova Cinema	720x576	16:9/4:3	3,84	192	226	s/dch/m
TV Prima	720x576	16:9/4:3	4,00	192	226	stereo
TV Cool	720x576	16:9/4:3	-	-	-	-
Barrandov	720x576	16:9/4:3	3,39	192	226	stereo

3.4.3 Síť 3

Aktuální pokrytí (stav k 31.3.2010)



Obr. 3.10 Pokrytí ČR sítě 3 vytvořené v Síť SFN.

V síti 3 vzniká na území Moravy slabé rušení, řádově nízké jednotky dB. Toto zapříčiněno faktem, že vysílače v Praze, a v Brně vysílače vysílají na 59. kanále (778 MHz), a mezi nimi je porušen ochranný interval (je překročena maximální dovolená vzdálenost mezi vysílači). Po zavedení zbývajících vysílačů, daných tabulkou 3.15 by se mělo rušení omezit.

Programová nabídka



Obr. 3.11 Televizní programy sítě 3 [8].

Tab. 3.15 Programová nabídka sítě 3 [8].

Název programu	Rozlišení obrazu	Formát obrazu	Dat. Tok - obraz (MBit/s)	Dat. Tok - Zvuk (kbit/s)	Dat. Tok - Teletext (kbit/s)	Mód zvuku
Televizní stanice						
Z1	720x576	16:9	3,65	192	188	stereo
Public TV	720x576	16:9	3,77	192	-	stereo
TV Noe	720x576	16:9	2,90	192	-	stereo
Prima HD	1440x1080i	-	7,50	192, 384	-	-
Rádia						
Rádio Proglas				192		stereo

Parametry multiplexu - Parametry sítě 3 jsou shodné s parametry sítě 1 a 2, tudíž jejich technickou specifikaci lze zjistit z tabulky 3.11.

Vysílače

Tab. 3.16 Vysílače sítě 3 v provozu (k 31.3.2010) [7].

Název vysílače					LON	Výška	Výška
Stanoviště	Kanál	Kmitočet	Výkon	Polarizace	LAT	paty	stožáru
	[-]	[MHz]	[kW]	[-]	[-]	[m.n.m.]	[m.n.m.]
BRNO - HÁDY Hády	59	778	10	H	16°40'28" 49°13'22"	424	73
BRNO - MĚSTO Barvičova	59	778	10	V	16°34'47" 49°11'56"	305	35
ČESKÉ BUDĚJOVICE Kleť	22	482	100	H	14°16'53" 48°52'03"	1056	163
OSTRAVA - SL. OST. Hladnov, vodojem	32*	562	2**	H	18°18'00" 49°50'00"	266	40
PLZEŇ Krašov	52	722	100	H	13°04'46" 49°59'45"	711	304
PRAHA Cukrák	59	778	100	H	14°21'21" 49°56'12"	399	145
PRAHA - LÁDVÍ Ládví	46	674	4	H	14°27'45" 50°08'08"	306	40
PRAHA - MĚSTO Žižkov	59	730	32	V	14°27'04" 50°04'52"	258	197
PRAHA - STRAHOV Strahov	46	674	10	H	14°22'59" 50°04'53"	355	38
PRAHA - ZEL. PRUH Zelený Pruh	46	674	4	H	14°25'28" 50°02'19"	265	45
SUŠICE Svatobor	52	722	100	H	13°29'23" 49°14'06"	834	48
ÚSTÍ NAD LABEM Verneřice, Buková hora	55	746	100	H	14°13'50" 50°40'20"	662	187

* dočasný kmitočet, finální – Ostrava 48; ** dočasně snížený výkon, 04/2011 – 10 kW

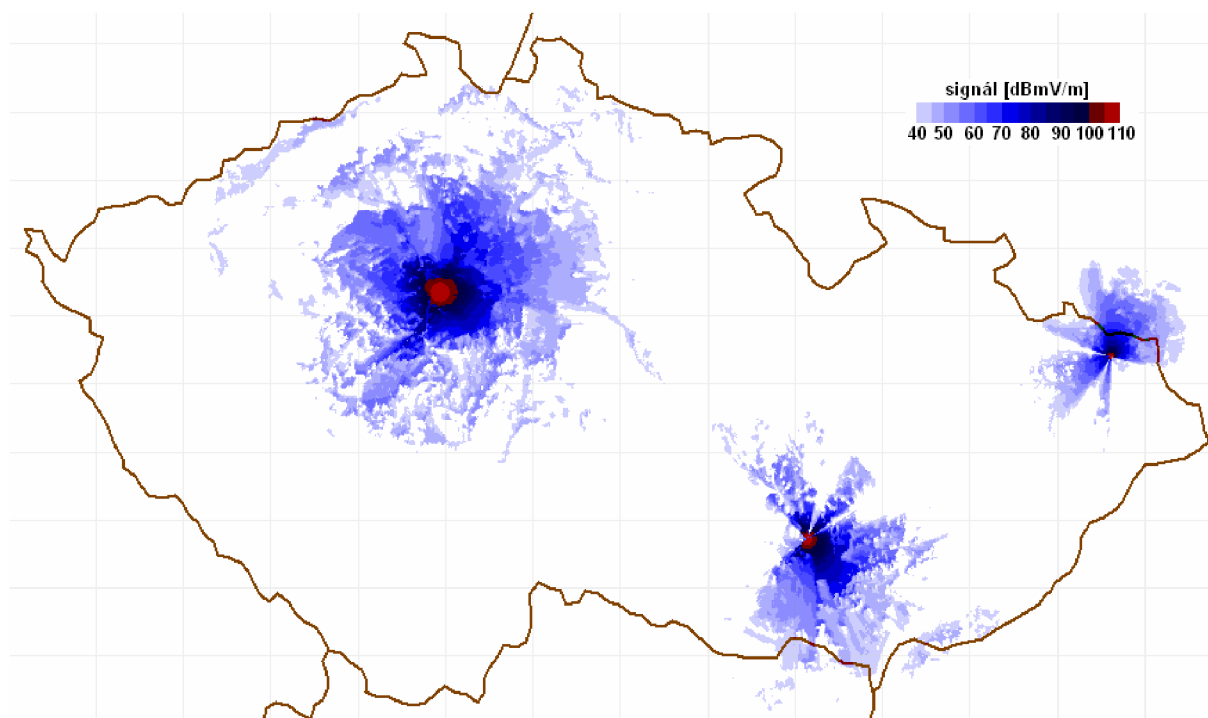
Další rozvoj sítě

Tab. 3.17 Plánované vysílače pro síť 3 [8].

Územní oblast	Stanoviště	Kanál	Kmitočet	Výkon	Polarizace	LON	Výška	Termín
[-]	[-]	[-]	[MHz]	[kW]	[-]	LAT	paty	[-]
						[-]	[m.n.m.]	
Jihlava	Javořice	30	546	100	H	15°20'28" 49°13'18"	834	04/2010
Trutnov	Černá hora	60	786	100	H	15°44'36" 50°39'10"	1299	08/2010
Brno	Kojál	59	778	100	H	16°49'05" 49°22'12"	600	09/2010
Ostrava	Hladnov	48*	690	10	H	18°18'19" 49°50'51"	266	04/2011
Ostrava	Hošťálkovice	48	690	100	H	18°12'45" 49°51'41"	287	04/2011
Jeseník	Praděd	51	714	100	H	17°13'58" 50°05'00"	1491	10/2011
Zlín	Tlustá hora	25	506	100	H	17°38'53" 49°21'31"	457	11/2011

3.4.4 Síť 4

Aktuální pokrytí (stav k 31.3.2010)



Obr. 3.12 Pokrytí ČR sítě 4 vytvořené v Sítě SFN.

Vysílače

Tab. 3.18 Vysílače sítě 4 v provozu (k 31.3.2010) [8].

Název vysílače Stanoviště [-]	Kanál [-]	Kmitočet [MHz]	Výkon [kW]	Polarizace [-]	LON LAT [-]	Výška paty [m.n.m.]	Výška stožáru [m.n.m.]
BRNO -FNB Brno, ul. Jihlavská	64	818	2	H	16°34'14" 49°10'33"	280	48
BRNO - TKB ul. Jana Babáka	64	818	2	H	16°35'14" 49°12'59"	251	48
PRAHA - ÚTB ul.Oišanská	64	818	2	H	14°28'09" 50°05'01"	250	85
PRAHA - NOV. ul. Novohradská	64	818	2	H	14°27'04" 50°00'59"	305	49
PRAHA - PETŘINY ul. Na Petřinách	64	818	2	H	14°20'37" 50°05'18"	362	45
PRAHA - VÁCL. ul. Václavská	64	818	2	H	14°25'03" 50°04'31"	205	32
PLZEŇ* Košutka	63	810	6,3	H	13°21'06" 49°46'51"	439	40
OSTRAVA ul. 1. máje	63	810	0,81	H	18°15'32" 49°39'39"	227	40

Parametry multiplexu

Tab. 3.19 Parametry sítě 4 [8].

Celková bitová rychlost	22,17 Mbit/s
Kódování češtiny pro EPG	ISO 8859-2
Kódový poměr	2/3
Vysílací mód	8K
Modulace	64QAM
Hierarchická mód	ne
Ochranný interval	1/8
Šířka pásma	8 MHz

Programová nabídka



Obr. 3.13 Televizní programy sítě 4 [8].

Tab. 3.20 Programová nabídka sítě 4 [8].

Název programu	Rozlišení obrazu	Formát obrazu	Dat. Tok - obraz (MBit/s)	Dat. Tok - Zvuk (kbit/s)	Dat. Tok - Teletext (kbit/s)	Mód zvuku
ČT1 HD (MPEG-4)	1920x1080	16:9	5,72	192	-	stereo
Nova HD (MPEG-4)	1440x1080i	16:9	5,68	192	-	s/dch/m
O2 Info	720x576	4:3	3,00	224	-	stereo
TV Óčko	-	-	-	-	-	-

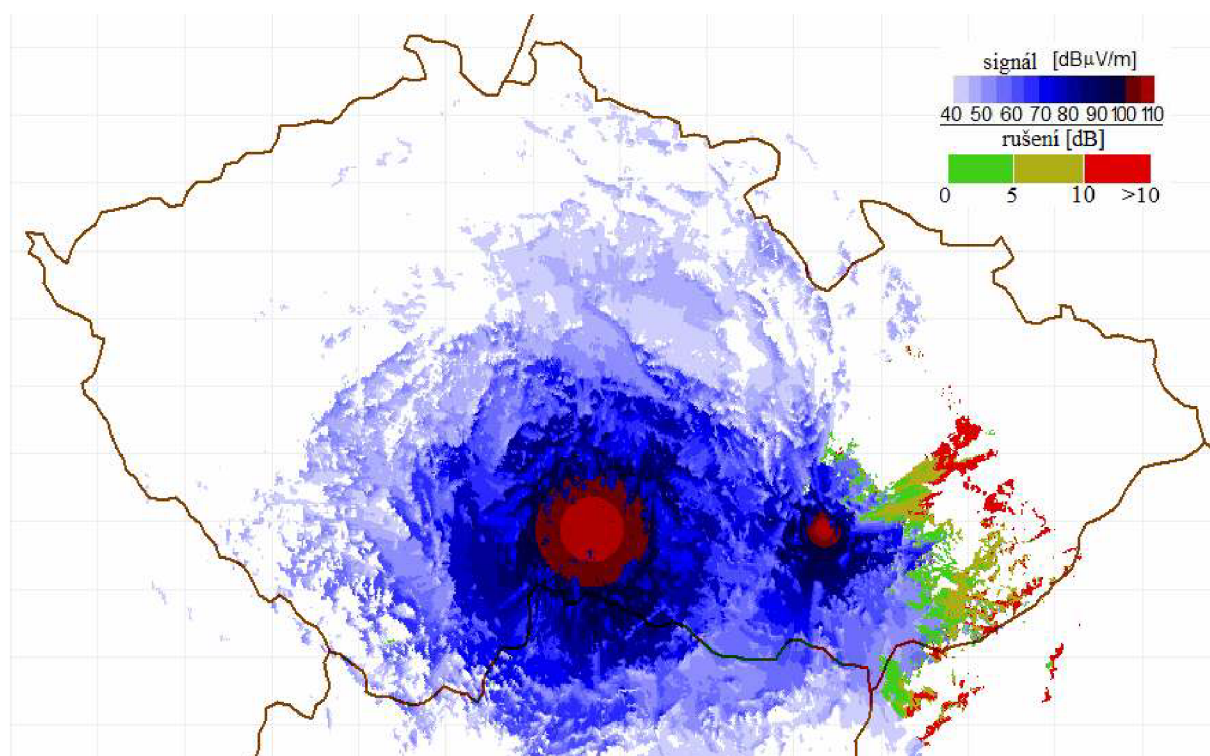
Provozovatel multiplexu - Telefónica O₂ Czech republic, a.s.

4. Experimentální část

V experimentální části byly u aktuálně používaných vysílačů měněny vysílací parametry, a byla vyhodnocována úroveň pokrytí užitečným signálem, a také vliv rušení. Jak je z obrázků patrné, stupnici užitečného signálu představuje postupně tmavnoucí modrá barva, která reprezentuje rostoucí **intenzitu elektrického pole**, udanou v jednotkách dB μ V/m. Je-li intenzita větší než 100 dB μ V/m, modrá barva přechází v odstíny červené, signalizující příliš velkou intenzitu signálu (možné „přehlcení“) pro digitální přijímač. **Rušení** je pak naznačeno zelenou, oranžovou a červenou barvou podle stupně intenzity rušení, udané v dB.

4.1 Situace 1.

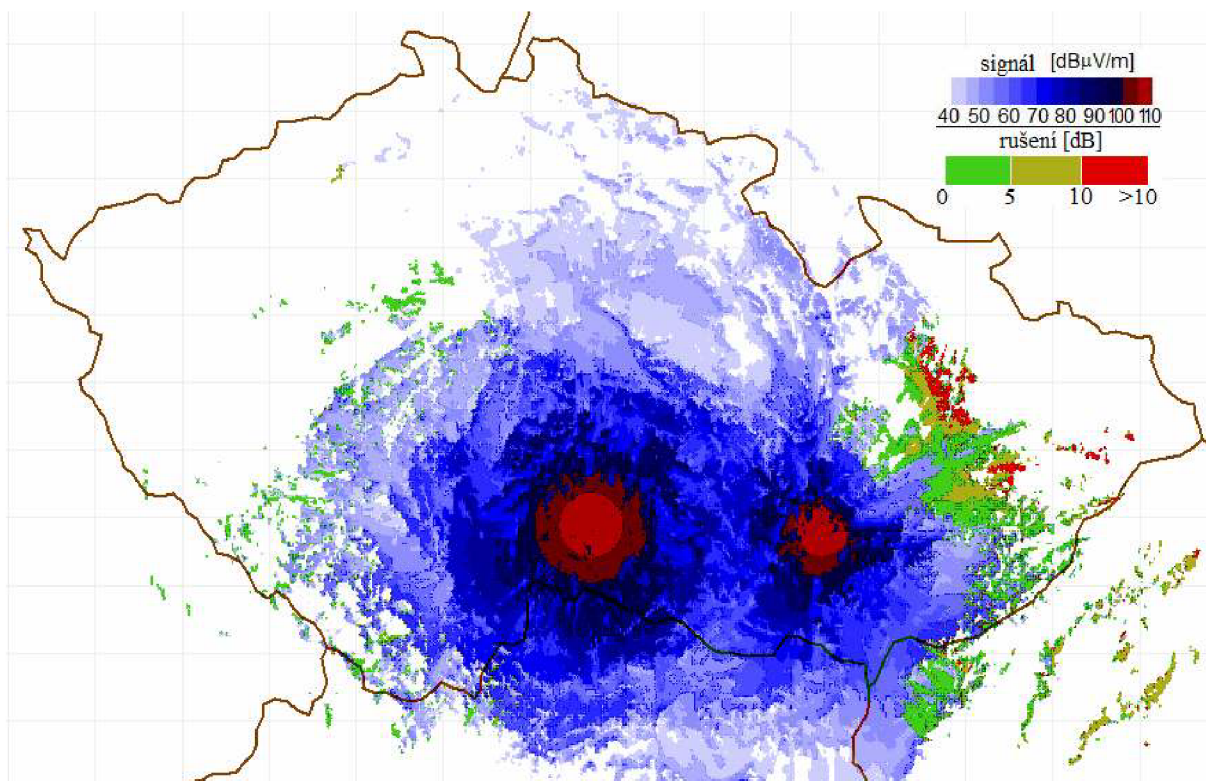
V České Republice je realizována síť SFN s vysílačem v Jihlavě o výkonu 100kW, s **Ochranným Intervalem** $\frac{1}{4}$, a Horizontální polarizací, a dále vysílač Brno Hády (10kW, OI $\frac{1}{4}$, H). Oba vysílače vysílají na 33. kanále. Není zde dodržena maximální povolená vzdálenost mezi vysílači, daná hodnotou (viz. Tab. 2.4), a vysílač v Jihlavě má, mezi vysílači, vyšší intenzitu elektromagnetického pole, než slabý vysílač v Brně. Tudíž rušení vzniká až za vysílačem v Brně, jak je patrné z obrázku 4.1.



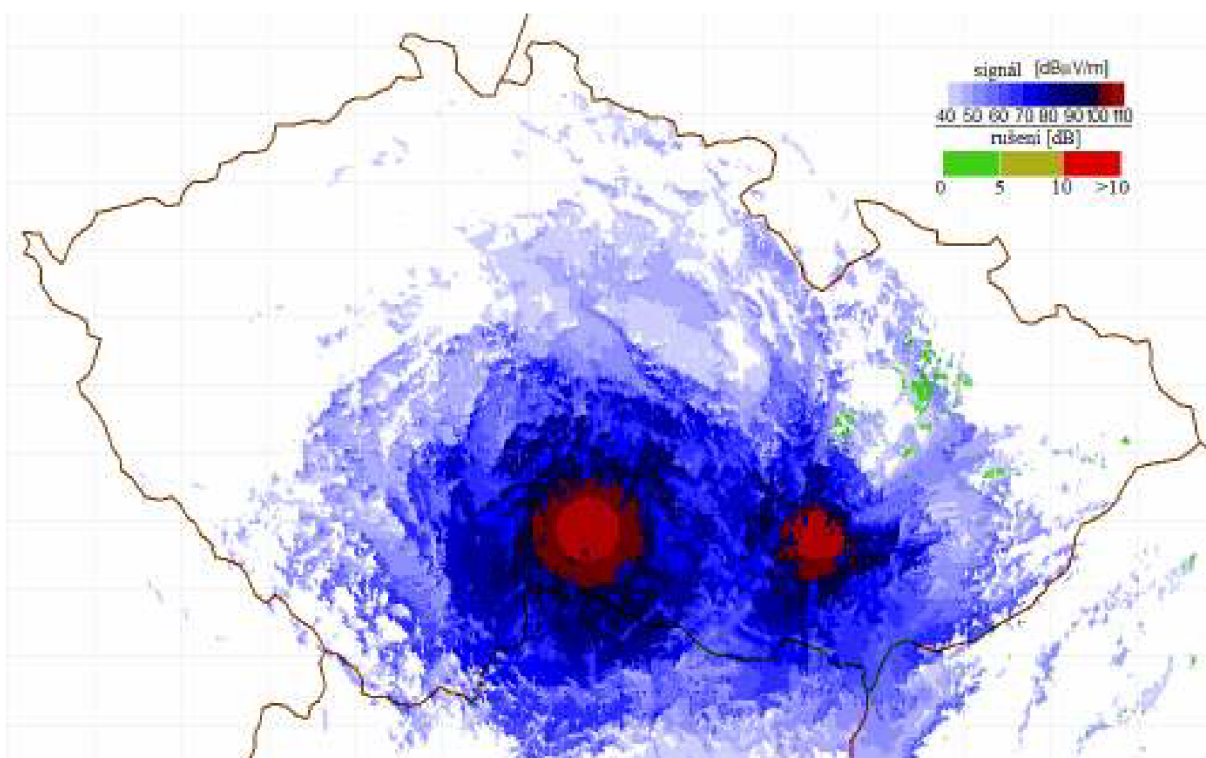
Obr. 4.1 Situace 1.1.

Na obrázku 4.2 byl změněn výkon vysílače Brno Hády na 100kW. Ostatní parametry zůstaly zachovány. V tomto případě už se vysílače v síti SFN, „přesvítlí“ navzájem, tudíž vzniká rušení na obou stranách, i když na straně Jihlavy méně.

Řešením tohoto problému by bylo **změna polarizace** jednoho z vysílačů na vertikální (v tomto případě vysílače Brno Hády). Jak je z obrázku 4.3 patrné, rušení se značně omezilo. Změna ostatních parametrů, jako kódový poměr, modulace a OFDM mód nemělo na výsledný diagram žádný vliv.



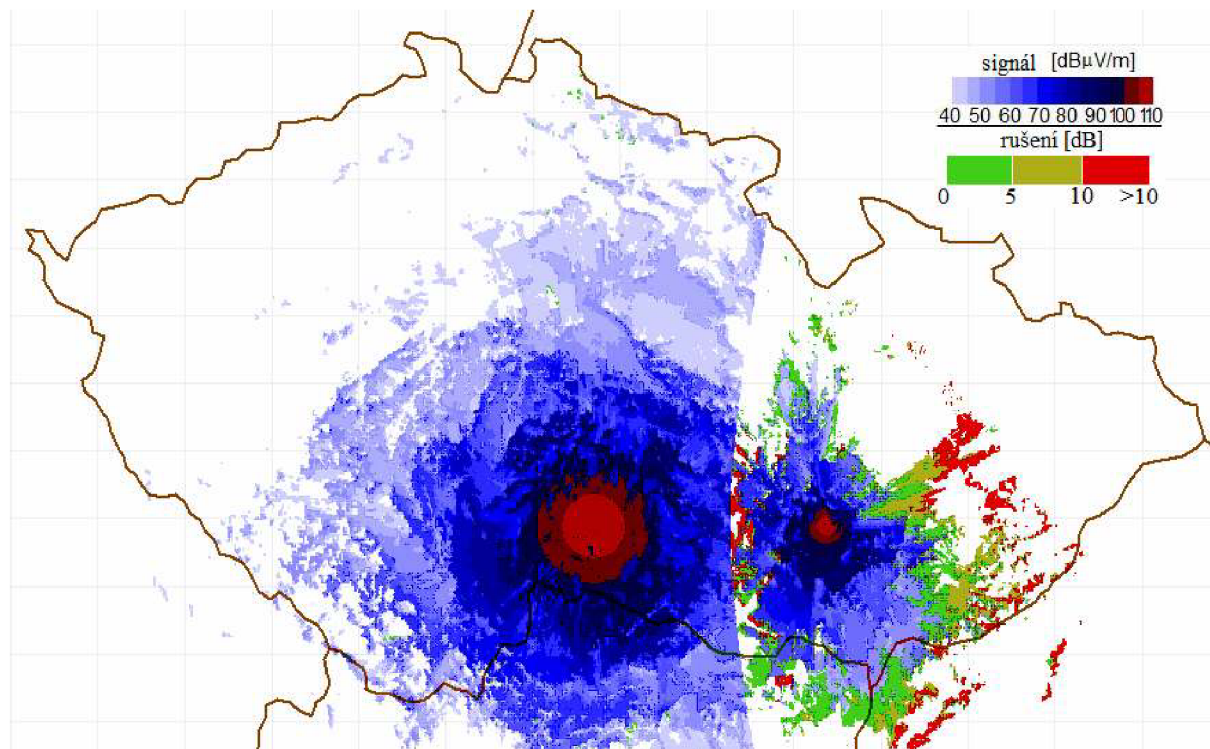
Obr. 4.2 Situace 1.2.



Obr. 4.3 Situace 1.3.

4.2 Situace 2.

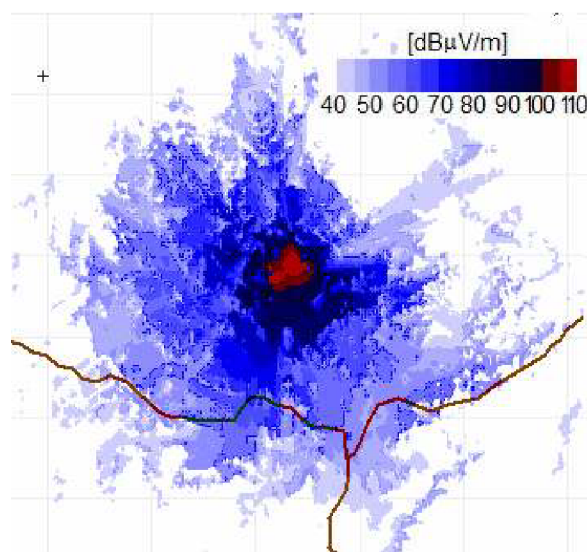
V ČR byla realizována síť SFN o dvou vysílačích. Vlevo se nachází vysílač Jihlava (100kW, OI $\frac{1}{4}$, H) a Brno Hády (10kW, OI $\frac{1}{16}$, H). **Nedodržením** maximální povolené vzdálenosti mezi vysílači v síti SFN došlo k porušení ochranného intervalu, a tudíž na těchto místech dochází k rušení užitečného signálu. Z obrázku 4.4 je patrné, že rušení převládá pouze do doby, kdy je v místě příjmu větší intenzita elektromagnetického pole z rušivého vysílače Brno Hády. Vysílač v Jihlavě má větší intenzitu elektromagnetického pole, než vysílač v Brně, tudíž na východ na Slovensko by byl vyslán silný rušivý signál. Proto je nutné SFN síť monitorovat, a mezinárodně kmitočtově plánovat.



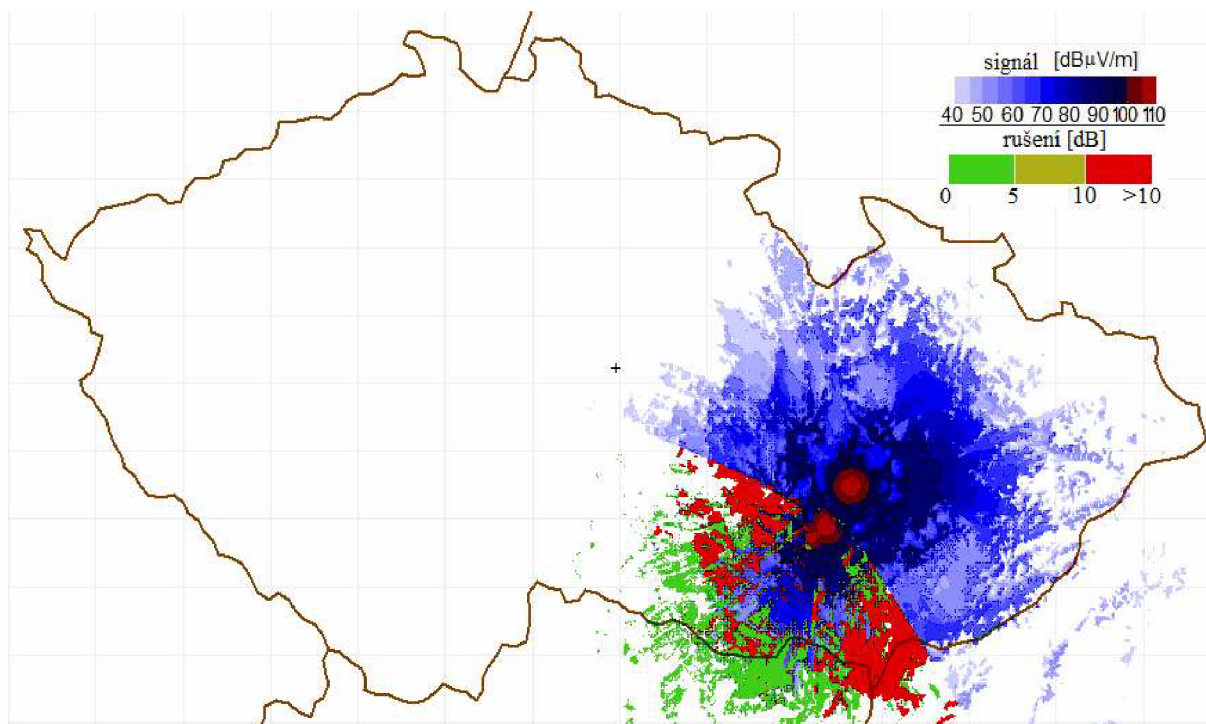
Obr. 4.4 Situace 2.1.

Na obrázku 4.5 je realizována síť SFN s vysílačem Brno Hády (10kW, OI $\frac{1}{32}$, H) a Brno Barvičova (10kW, OI $\frac{1}{32}$, H). Vysílače jsou v předepsané vzdálenosti, tudíž je vše v pořádku.

Na obrázku 4.6 se k nim přidal vysílač Brno (100kW, OI $\frac{1}{4}$, H). Je sice splněna podmínka maximální vzdálenosti vysílačů, a přesto v územní oblasti Brno město vzniká silné rušení. Z čehož vyplývá, že nejsou slučitelné SFN síť s jiným ochranným intervalem.



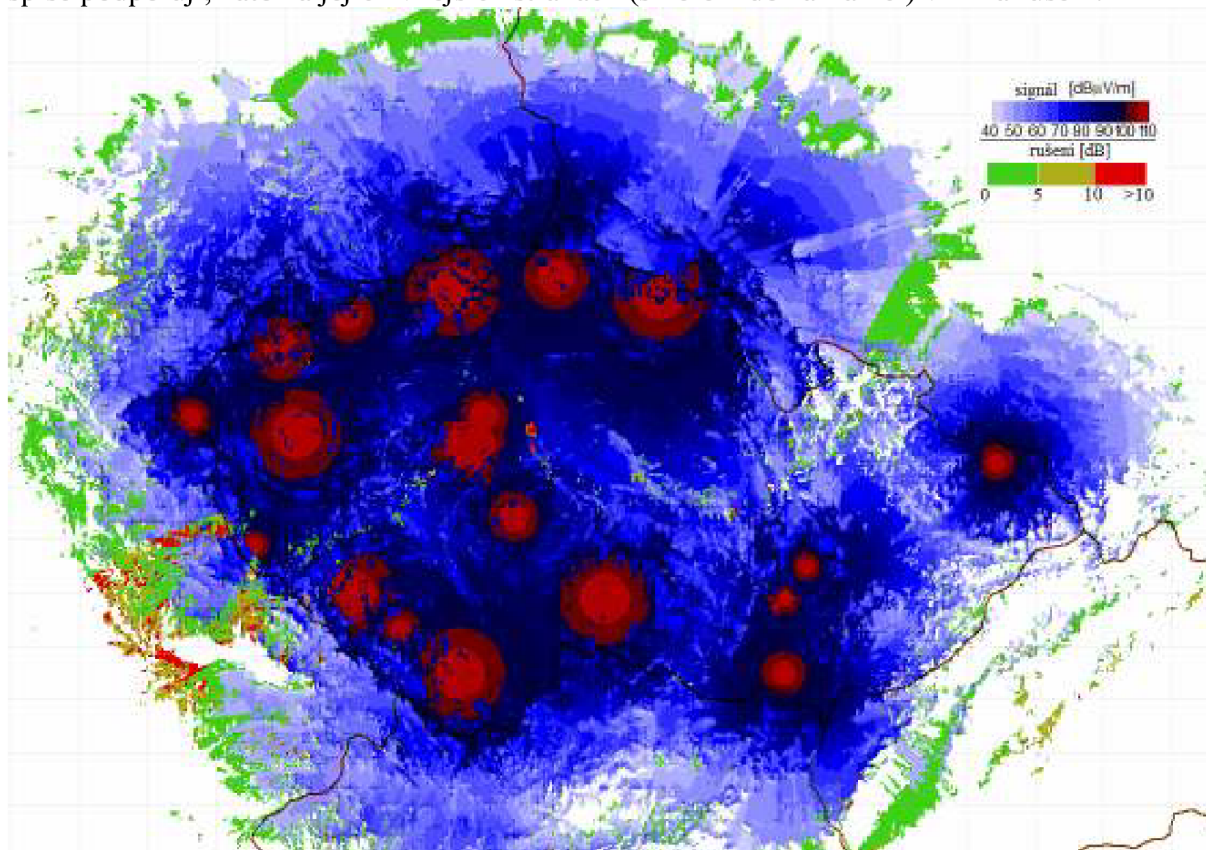
Obr. 4.5 Situace 2.2.



Obr. 4.6 Situace 2.3.

4.3 Situace 3.

V situaci 3 je celá ČR, přesněji současná (31.3.2010) síť 1, provozována na jenom televizním kanále. V tomto případě to je 33. kanál. Změna kanálu, nemá vliv na tvar vyzářovacího diagramu. Z obrázku 4.7 vyplývá, že v tuzemsku se jednotlivé vysílače (OI $\frac{1}{4}$) spíše podporují, zato na jejich vnějších stranách (směrem do zahraničí) vzniká rušení.



Obr. 4.7 Situace 3.

5. Závěr

Diplomovou prací, kterou jsem zpracovával na téma Plánování sítí pro digitální televizní a rozhlasové vysílání, se mi podařilo získat jak teoretické, tak i praktické znalosti o problému přechodu z analogového na celoplošné pozemní digitální vysílání.

V teoretické části jsem se nejprve věnoval popisu digitálního pozemního systému, a jeho výhodami v porovnání s analogovým systémem. Strukturu samotného standardu DVB-T a jeho transportního toku MPEG-2 TS, který je zdrojově kódován, multiplexován, kanálově kódován, D/A převodníkem převeden do analogové podoby, převeden do RF pásma, a anténou vyslán do volného prostoru. Na přijímací straně se práce zabývá podmínkami příjmu, veličinami zabývající se měřením přijaté úrovně. Jelikož frekvenční spektrum je také přírodní bohatství, je zmíněna Regionální Radiokomunikační Konference RRC06, na které bylo řešeno plánování allotmentů a assingmentů, v jednotlivých 104 zúčastněných státech celého světa. Na konec teoretické části byl přestaven standard T-DAB, podle kterého bude v ČR provozován digitální rozhlas.

V praktické části práce jsem provedl rozbor funkcí software od české firmy CRC Data, ve kterých byla diplomová práce zpracovávána. V RadioLabu jsem simuloval zadávání stanovišť pro vysílače s výpočtem viditelnosti a pokrytí. Tyto dva diagramy jsem pak zobrazoval na Digitální mapě terénu a Morfologické mapě, které jsou použity i pro ostatní software zmiňované firmy. V RadioBase jsem vytvořil databázi přibližně 80-ti vysílačů pro sítě 1-4, s parametry podle informací dostupných z internetových stránek [8]. V programu Síť SFN jsem pak s touto databází vytvářel mapy sítí 1 – 4, současného pokrytí digitálním televizním signálem. Jednou z částí toho programu byl i výpočet sítě SFN, která je v ČR také zastoupena, v kombinaci se strukturou sítě MFN. V jednotlivých územních oblastech vysílače totiž vysílají na stejných rádiových kmitočtech, což představuje strukturu sítě SFN, ovšem sousední územní oblasti jsou navrženy tak, aby měly kmitočet jiný, což se podobá struktuře MFN sítě. Dále jsem se zabýval teoretickou podstatou modelů pokrytí použitých v praktické a experimentální části práce.

V experimentální části diplomové práce bylo nejprve experimentováno s vyzářeným výkonem, ochranným intervalem signálu, a polohou vysílačů DVB-T, v programu RadioBase 2.5, a následné zobrazení výsledků v programu Síť SFN 5.2. Zjistil, že síť SFN jsou velmi výhodné při pokrytí území digitálním signálem, ovšem když není-li dodržena maximální povolená vzdálenost mezi SFN vysílači, nastává v těchto místech rušení, místo užitečného signálu. Bylo také dosaženo poznatku, že rušení lze silně redukovat, změnou polaritu vyzářovaného signálu, tak aby polaritu vysílačů nebyly stejné.

V přílohách bylo srovnány aktuální mapy pokrytí signálem DVB-T, stav na jaře 2010, vytvořené v programu Síť SFN a mapy stažené z webových stránek ČTÚ [7]. V RadioLabu byl představen příklad výpočtu viditelnosti a pokrytí. Asi největší část příloh zabírá představení všech jednotlivých modelů pokrytí, které program Síť SFN nabízí. Pro časovou zatížitelnost, toto bylo realizováno na síti 3, kde je menší počet DVB-T vysílačů než v síti 1. Na závěr příloh bylo přestaveno pracovní prostředí RadioBase, a kmitočtová tabulka, pro lepší orientaci ve vztahu rádiový kanál – frekvenční rozsah daného kanálu. U digitálního signálu se uvádí tzv. střední frekvence, která je tedy 4 MHz od začátku (v případě 8 MHz kanálu) rozsahu daného rádiovým kanálem.

Použitá literatura

- [1] FISHER, W. *Digital television - A practical guide for engineers*. Germany: Springer, 2004. 359 s. ISBN 3-540-01155-2.
- [2] LEGÍŇ, M. *Televizní technika DVB*. Praha: BEN-technická literatura, 2006. 288 s. ISBN 80-7300-204-3.
- [3] BEUTLER, R. *Frequency Assignment and Network Planning for Digital Terrestrial Broadcasting Systems*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2004. 309 s. ISBN 1-4020-7872-2.
- [4] BEUTLER, R. *Digital Terrestrial Broadcasting Network*. USA: Springer, 2009. 249 s. ISBN 978-0-387-09634-6.
- [5] PECHAČ, P., ZVÁNOVEC, S. *Základy šíření vln pro plánování pozemních rádiových spojů*. Praha: BEN - technická literatura, 2007. 199 s. ISBN 978-80-7300-223-7.
- [6] ŘÍČNÝ, V., KRATOCHVÍL, T. *Základy televizní techniky*. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2004.
- [7] ČTÚ [online]. 2008 [cit. 2010-04-13] Dostupné z WWW: <<http://dtv.ctu.cz>>
- [8] *Digitální televize* [online]. 1999 [cit. 2010-04-13] Dostupné z WWW: <<http://www.digitalnitelevize.cz>>
- [9] *Digizone* [online]. 2005 [cit. 2009-01-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.digizone.cz/>>. ISSN 1801-4933.
- [10] *Radiokomunikace 2006*. ČR, Pardubice : Rada pro televizní a rozhlasové vysílání, říjen 2006. 176 s.
- [11] *Path loss models*. Finland : Helsinki University Of Technology, 2004. 36 s.
- [12] *ITU-R P.370-7 VHF AND UHF PROPAGATION CURVES FOR THE FREQUENCY RANGE FROM 30 MHz TO 1 000 MHz* . France : International Telecommunication Union, 1995. 33 s.
- [13] *ETSI TR 102 377 v1.2.1* . France : European Telecommunications Standards Institute, 2005. 104 s.
- [14] DVB-T In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, , [cit. 2010-05-12]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/DVB-T>>.
- [15] *CSDXC Rozhlas Televize – Přehled vysílačů pro rok 2009*. Praha: BEN-technická literatura, 2009. 68 s.