

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra technologických zařízení staveb



Bakalářská práce

**Technické podmínky pozemního televizního a
rozhlasového vysílání v ČR**

Marek Kovařík

© 2018 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Marek Kovařík

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

Technické podmínky pozemního televizního a rozhlasového vysílání v ČR

Název anglicky

Technical conditions of terrestrial radio and television broadcasting in the Czech Republic

Cíle práce

Cílem práce je shrnout aktuálně používané technické prostředky pro pozemní vysílání televize a rádia v České republice. Na základě tohoto shrnutí definovat očekávaný vývoj a předpokládané služby v horizontu několika dalších let.

Metodika

1. Elektromagnetické vlnění, modulace signálu a komprese dat
2. Popis pozemního rozhlasového vysílání v ČR
3. Popis pozemního televizního vysílání v ČR
4. Vlastní měření
5. Očekávaný vývoj standardů a služeb v pozemním vysílání

Doporučený rozsah práce

30 až 40 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Klíčová slova

pozemní vysílání, radio, televize, přenosová soustava

Doporučené zdroje informací

Aleš Rozehnal: Zákon o provozování rozhlasového a televizního vysílání, 2011, Wolters Kluwer

Amatéřské radio : časopis pro radiotechniku a amatérské vysílání. Praha: ISSN 0322-9572.

Legiň Martin: Televizní technika DVB-T, Ben, 2006, ISBN: 80-7300-204-3

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Zdeněk Votruba, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 18. 1. 2017

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2017

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 07. 03. 2018

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "*Technické podmínky pozemního televizního a rozhlasového vysílání v ČR*" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce Ing. Zdeňka Votruby, Ph.D. a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 30. 3. 2018

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval mému vedoucímu práce Ing. Zdeňku Votrubovi, Ph.D. a Ing. Luboši Velískovi z Českých radiokomunikací za velice přátelskou a odbornou pomoc při psaní této práce. Moc si toho vážím. Děkuji!

Technické podmínky pozemního televizního a rozhlasového vysílání v ČR

Abstrakt

Bakalářská práce popisuje aktuální standardy pozemního vysílání televize a rozhlasu v České republice s ohledem na vývoj v několika následujících letech. První část je věnována technickým aspektům při radiovém přenosu dat. Následuje znázornění aktuálního stavu rozhlasového a televizního vysílání v ČR. A dále je v rámci vlastního měření prověřena správná funkčnost SFN sítě DAB. Závěrem je rozebrána předpokládaná budoucnost terestriálního vysílání v ČR.

Klíčová slova: DVB-T, DVB-T2, DAB, FM, AM, HbbTV, pozemní, vysílání

Technical conditions of terrestrial radio and television broadcasting in the Czech Republic

Abstract

This bachelor thesis describes the current standards of terrestrial broadcasting of television and radio in the Czech Republic with a look at the future development in the following years. The first part is dedicated to the technical aspects of radio data transmission. The current state of radio and television broadcasting in the Czech Republic is also presented. In addition, the proper functionality of the SFN DAB network is tested within our own measurement. Finally, the assumed future of terrestrial broadcasting in the Czech Republic is analyzed.

Keywords: DVB-T, DVB-T2, DAB, FM, AM, HbbTV, terrestrial, broadcasting

Obsah

1	ÚVOD	1
2	CÍL PRÁCE	2
3	METODIKA PRÁCE.....	3
4	TECHNICKÁ A FYZIKÁLNÍ ANALÝZA	4
4.1	Elektromagnetické vlnění	4
4.2	Vysokofrekvenční vedení	6
4.2.1	Vysokofrekvenční metalické vedení	6
4.2.2	Optické vedení	8
4.2.3	Bezdrátové vedení	8
4.3	Antény	9
4.4	Modulace	11
4.4.1	Analogové modulace	11
4.4.2	Impulsní modulace	14
4.4.3	Digitální modulace	15
4.5	Kompresce dat.....	17
4.5.1	Kompresce obrazu.....	17
4.5.2	Kompresce zvuku.....	18
4.5.3	Kompresní formáty MPEG.....	18
4.6	Důležité pojmy digitálního vysílání	20
4.6.1	FEC.....	20
4.6.2	Ochranný interval	20
4.6.3	SFN síť	20
4.6.4	Odstup C/N.....	21
4.6.5	Modulační chybovost (MER).....	21
4.6.6	Bitová chybovost (BER).....	21
5	ROZHLASOVÉ VYSÍLÁNÍ	22
5.1	Analogové rozhlasové vysílání.....	22
5.1.1	Frekvenčně modulované vysílání (FM).....	23
5.1.2	Amplitudově modulované vysílání (AM)	24

5.2	Digitální rozhlasové vysílání (DAB, DAB+)	25
6	TELEVIZNÍ VYSÍLÁNÍ	27
6.1	DVB-T	28
6.2	DVB-T2	29
6.3	HbbTV	31
7	VLASTNÍ MĚŘENÍ.....	32
7.1	Teoretický výpočet	33
7.2	Výsledky měření.....	34
8	ZÁVĚR A ZHODNOCENÍ	36
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	37
	SEZNAM OBRÁZKŮ	41
	SEZNAM TABULEK.....	42
	SEZNAM VZORCŮ.....	42
	SEZNAM PŘÍLOH	42

1 Úvod

Roku 1923 bylo na našem území spuštěno první rozhlasové vysílání a roku 1953 bylo na petřínské rozhledně spuštěno první vysílání televize u nás. Od té doby prošel rozhlas i televize rozšířením a mnoha technickými úpravami. Největší změny proběhly v posledních letech přechodem z analogového vysílání na digitální. Digitální vysílání má řadu výhod, např. lepší využití přenosového kanálu, možnosti systémové opravy signálu, příjem ve studiové kvalitě atd.

Zatímco v začátcích jsme si mohli na našem území naladit pouze jednu rozhlasovou a jednu televizní stanici, a to často ve velmi špatné kvalitě. V současnosti si můžeme na území ČR naladit 96 rozhlasových stanic včetně regionálních a 62 televizních stanic rovněž včetně regionálních.

V této práci je popsáno aktuální analogové a digitální (DAB) vysílání rozhlasu a digitální (DVB-T) vysílání televize. V rámci měření bude zkontrolována stabilita a chybovost v SFN síti DAB+.

2 Cíl práce

V této práci bude popsáno aktuální fungování rozhlasové a televizní terestriální sítě v ČR, včetně podrobného technického a fyzikálního přehledu pro celkovou představu o vlastnostech jejího fungování. Budou změřeny a verifikovány veličiny rozhlasového vysílání DAB, v rámci migrace na nový headend a následně zhodnocen subjektivní předpoklad následujícího vývoje pozemního vysílání v ČR.

3 Metodika práce

V první části bude přehled technických a fyzikálních aspektů používaných v pozemním vysílání. Dále bude popsáno fungování elektromagnetického vlnění, druhy vedení signálu, a také zde bude vysvětleno fungování modulačních principů a komprese dat.

Dále bude popsáno aktuální fungování jak rozhlasového, tak televizního vysílání. Budou popsány technické parametry, mapy pokrytí a veškeré zajímavé a důležité informace k danému standardu vysílání.

V rámci migrace na nový headend digitálního rozhlasového vysílání, o kterém jsme mohli slyšet z médií, bude proměřena funkčnost a stabilita sítě při a po provedení migrace.

Závěrem bude zhodnocen předpokládaný vývoj probíraných standardů a jejich konkurenceschopnost v budoucnu.

4 Technická a fyzikální analýza

Základním fyzikálním kamenem moderní radiotechniky je *frekvence* (kmitočet), ta udává počet opakování periodického děje (vlny) za čas. Setkáváme se také s pojmem *vlnová délka* (λ), která je v radiotechnice vyjádřitelná z frekvence.

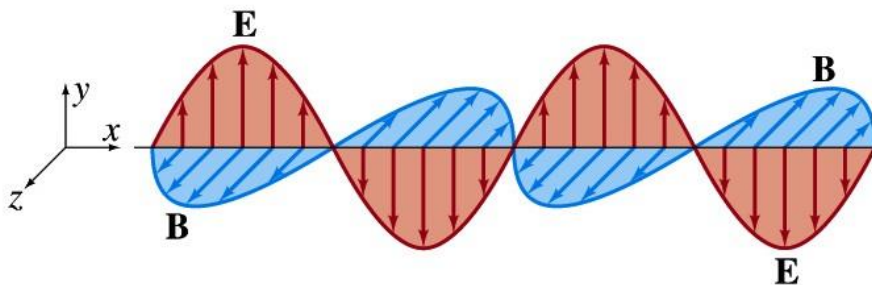
$$\lambda = \frac{v}{f} [m]$$

Vzorec 1: Vlnová délka

Kde: λ je vlnová délka [m]
 v je rychlost (299 792 458 m/s) [m/s]
 f je frekvence [Hz] [20]

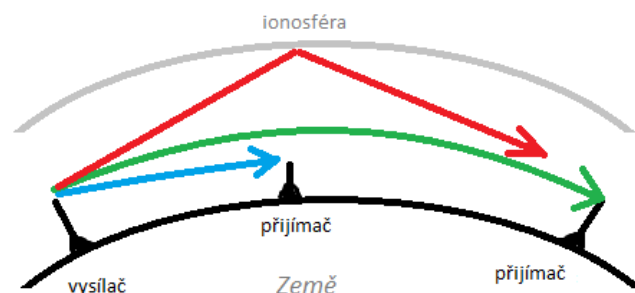
4.1 Elektromagnetické vlnění

Elektromagnetické vlnění nazýváme děj, při kterém se prostorem příčně šíří elektrické (E) a magnetické pole (B), viz obrázek 1. [20]



Obrázek 1: Šíření elektromagnetických vln [1]

Tyto vlny se šíří rychlostí světla ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s). Polarizace vlny je dána vektorem E, pokud kmitá svisle k zemi, je polarizace vertikální. Pokud kmitá k zemi vodorovně, jedná se o polarizaci horizontální. Šířit prostorem se může elektromagnetická vlna přízemní přímou vlnou, ionosférickou vlnou (odraz od ionosféry) nebo přízemní povrchovou vlnou (ohyb nad povrchem Země), viz obrázek 2. Vlastnosti vln jsou velmi závislé na jejich vlnové délce. Obecně platí, že menší vlnové délky mají kratší dosah, ale mohou přenášet více informací. [20]



Obrázek 2: Pozemní šíření elektromagnetických vln

Rozdělení vln dle frekvence:

- **VLF (Very Low Frequency) – velmi nízké frekvence**
 - $f=3-30\text{ kHz}$; $\lambda=100-10\text{ km}$
 - použití: podmořská komunikace, radiová navigace (radiomajáky Omega), komunikace po silnoproudých sítích
- **LF (Low Frequency) – nízké frekvence**
 - $f=30-300\text{ kHz}$; $\lambda=10-1\text{ km}$
 - použití: radiová navigace, **rozhlas LF (AM)**, časové signály
- **MF (Medium Frequency) – střední frekvence**
 - $f=300\text{ kHz} - 3\text{ MHz}$; $\lambda=1000-100\text{ m}$
 - použití: **rozhlas MF (AM)**, pásmo pro radioamatéry (1,8-1,9 MHz)
- **HF (High Frequency) – vysoké frekvence**
 - $f=3-30\text{ MHz}$; $\lambda=100-10\text{ m}$
 - použití: **rozhlas HF (AM)**, pásmo pro radioamatéry, námořní komunikace
- **VHF (Very High Frequency) – velmi vysoké frekvence**
 - $f=30-300\text{ MHz}$; $\lambda=10-1\text{ m}$
 - použití: **rozhlas VHF (FM)**, letecká služba, námořní služba, **TV vysílání (I. a III. pásmo)**, **DAB vysílání (III. pásmo)**

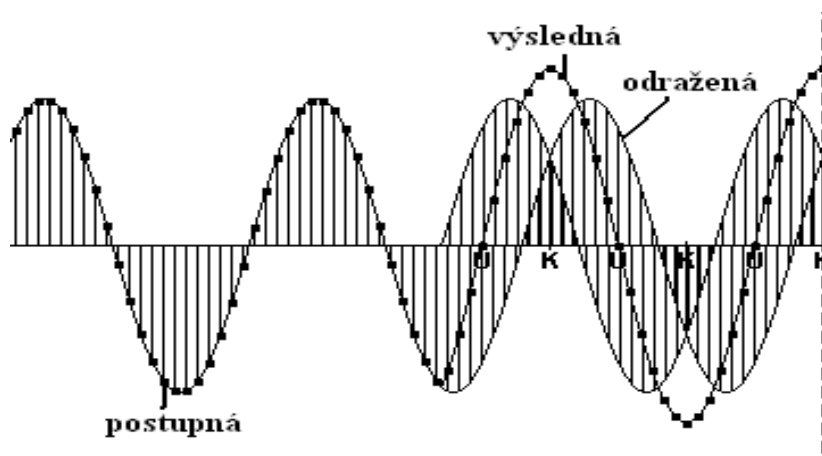
- *UHF (Ultra High Frequency) – ultra vysoké frekvence*
 - $f=300\text{ MHz}-3\text{ GHz}$; $\lambda=1\text{ m}-10\text{ cm}$
 - použití: **TV vysílání (IV. a V. pásmo)**, **DAB vysílání (L pásmo)**, bezdrátové telefonní sítě, GPS, WiFi
- *SHF (Super High Frequency) – super vysoké frekvence*
 - $f=3-30\text{ GHz}$; $\lambda=10-1\text{ cm}$
 - použití: radioreléové spoje, radary
- *Další pásma: vlastnosti světla a infračervené záření*

4.2 Vysokofrekvenční vedení

4.2.1 Vysokofrekvenční metalické vedení

Pro přenos signálu od zdroje k anténě a od antény k přijímači musíme použít vysokofrekvenční vedení, které má na rozdíl od běžných vodičů určité impedanční přizpůsobení a izolaci okolo vodiče (izolace, stínění...). [3]

Ideální je postupná vlna, která se pohybuje po vedení bez odrazů. Jakmile nastane v některém místě částečný nebo úplný odraz, kromě hlavní postupné vlny, vzniká zpětná odražená vlna, viz obrázek 3. Sčítáním postupné a odražené vlny vzniká stojaté vlnění, což je nežádoucí stav. U stojatého vlnění se energie nepřenáší, protože vektory E a H nejsou ve fázi, pouze se mění z energie elektrického pole na energii magnetického pole a naopak. Vedení se rovněž chová částečně jako anténa. Vyzařuje energii do okolí, také může přijímat rušivé vlivy z okolí. [3]



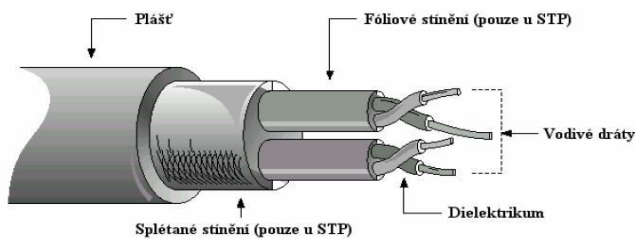
Obrázek 3: Postupná, odražená a výsledná vlna [3]

Aby se zamezilo nežádoucím odrazům, používá se impedanční přizpůsobení, tj. vlnový odpor, který na konci vedení pohltí přebytečnou energii, která by se odrazila. [3]

Druhy VF vedení:

kroucená dvoulinka

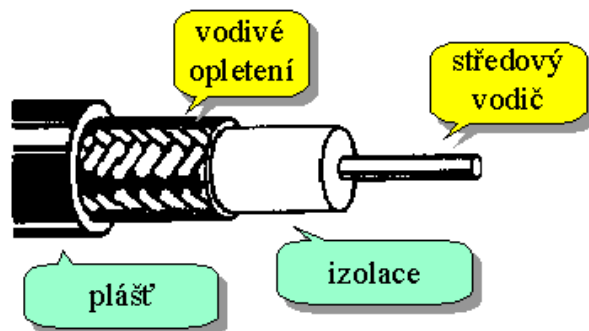
- dva nebo dvojice vodičů zakroucené do sebe (obrázek 4)
- vlnová impedance okolo 100Ω
- UTP (Unshielded Twisted Pair) jsou nestíněné
- STP (Shielded Twisted Pair) jsou stíněné
- používají se pro datové přenosy (síťové a telefonní rozvody)
- frekvence od 1 MHz do stovek MHz, podle použité kategorie [3]



Obrázek 4: Kroucená dvoulinka [4]

koaxiální kabel (souosý)

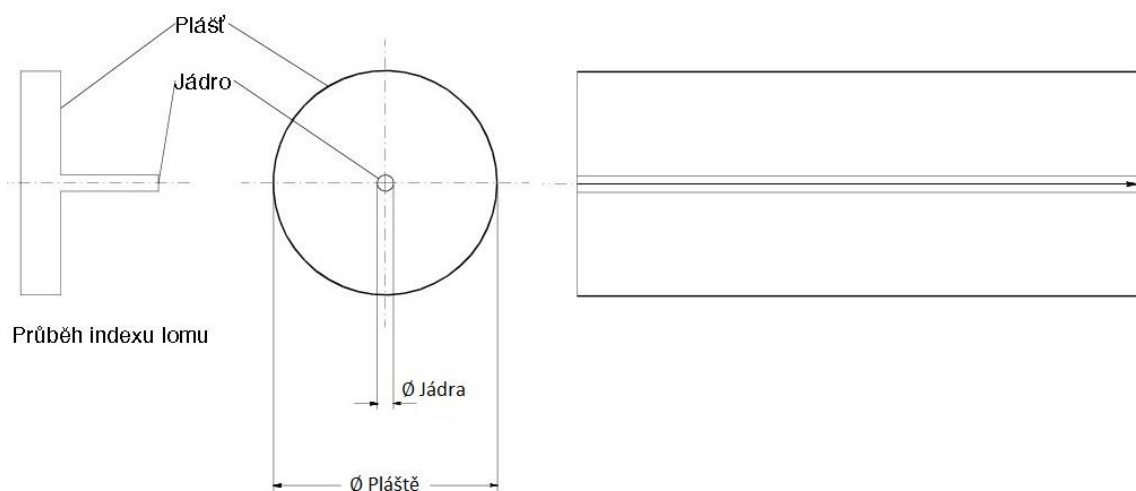
- skládá se z vnitřního vodiče, dielektrika, vodivého opletení (stínění) a pláště
- vlnová impedance je 75Ω v TV technice; 50Ω u datových sítí
- frekvence v řádu jednotek GHz [3]



Obrázek 5: Koaxiální kabel [5]

4.2.2 Optické vedení

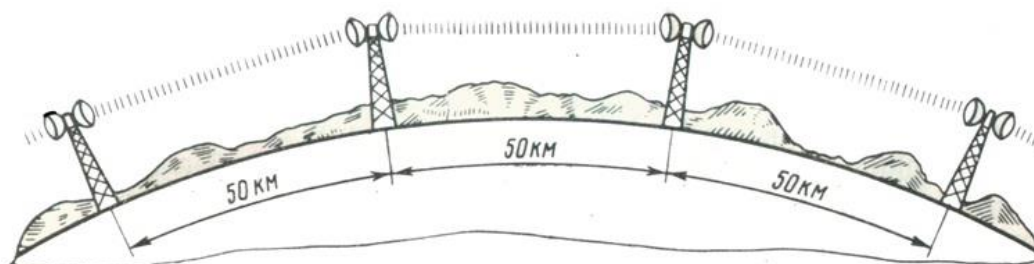
Vedení signálu optickými vlákny se v telekomunikaci používá zejména na dlouhé vzdálenosti, a to kvůli svému malému útlumu a své elektrické nevodivosti (nedochází k rušením). Dnes už jsou v telekomunikaci používána výhradně jednovláknová vlákna, která mají dosah stovek kilometrů a nedochází u nich k odrazům (obrázek 6). Tato vlákna mají velkou citlivost na mechanické ohyby a spojování vláken je problematické (ale provádí se). [6]



Obrázek 6: Optické vlákno [6]

4.2.3 Bezdrátové vedení

Vedení signálu radioreléovými spoji (dále jen „RR“) se využívá pro bezdrátové vedení signálu skrze několik parabolických antén až k vysílači (obrázek 7). Rozstup mezi jednotlivými parabolami může dosahovat až desítek km. RR spoje se využívají zejména pro vedení signálu k vysílačům, které ještě nejsou spojeny s páteří optickou sítí nebo připojení není možné. [7]



Obrázek 7: RR spoj [7]

4.3 Antény

Antény jsou zařízení pro příjem nebo vysílání elektromagnetických vln. Každý vodič, pokud jím prochází střídavý elektrický proud, vyzařuje elektromagnetické vlny. Anténa je tedy vodič, který je upraven tak, aby vyzařoval či přijímal maximální množství elektrické energie.

Každá anténa má vyzařovací diagram, tj. grafické znázornění citlivosti E ku maximálnímu napětí, v určité rovině. Udává se v poměrných jednotkách nebo v dB.

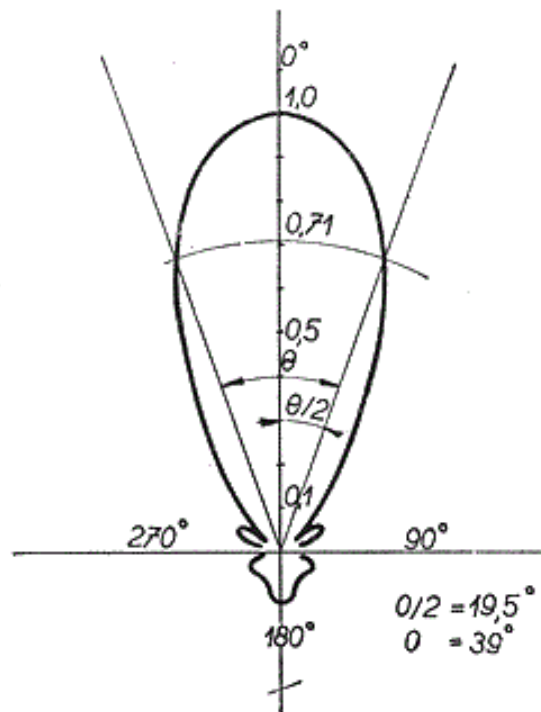
Přijímání či vysílání vlny v určitém směru je závislé na tzv. směrovosti antény. Antény jsou buď směrové, (viz obrázek 8) nebo všesměrové (vyzařuje ve 360°).

Vyznačený úhel (θ) v obrázku 8 je tzv. vyzařovací úhel, tj. úhel mezi body, kde je pokles signálu o 3 dB od maxima.

$$\text{Zisk antény: } A_{ant} = 20 * \log \frac{U_{ant}}{U_{dip}} \text{ [dB]}$$

Vzorec 2: Zisk antény

Ze vzorce vyplývá, že zisk závisí na citlivosti antény ve srovnání s dipólem. [3]

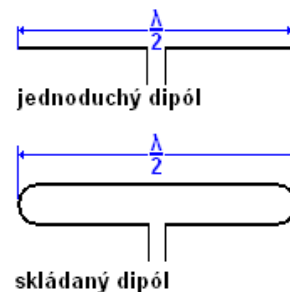


Obrázek 8: Vyzařovací diagram [8]

Základní druhy antén:

Dipól

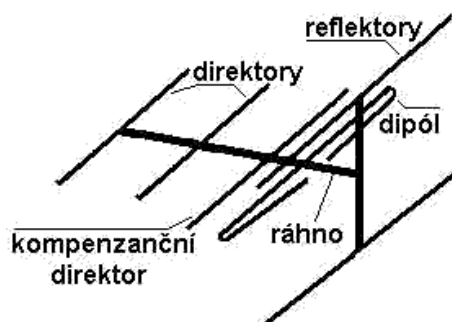
- nejjednodušší anténa pro příjem a vysílání elektromagnetických vln (obrázek 9).
- dva základní typy dipólů jsou: jednoduché a skládané
- délka dipólu by měla být přibližně polovina vlnové délky
- u koaxiálního kabelu je dobré uzemnění stejně s dipólem, aby byly elektricky symetrické
- dipól má všesměrovou vyzařovací charakteristiku [3]



Obrázek 9: Dipóly [9]

Yagi

- aktivní člen – dipól
- odrazem elektromagnetických vln od reflektoru se dosáhne zesílení a zároveň direktory „usměrňují“ signál ze směru příjmu (obrázek 10).
- je vysoce směrová – nepřijímá tak odražené vlny z jiných směrů. Může mít až desítky prvků. [3]



Obrázek 10: YAGI anténa [10]

Parabolická anténa

- vysoce směrová anténa
- vlny se odráží do ohniska paraboly, kde je tzv. ozařovač, který přijímá signál [3]

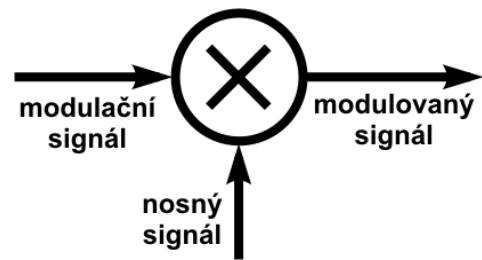
Ground Plane

- skládá se z vertikálního zářiče o čtvrtvlnné délce a zemního systému
- pokud je anténa postavená přímo na zemi, což je časté u antén pro nižší krátkovlnná pásma, zemní systém se skládá z velkého množství radiálů zakopaných v zemi nebo položených na povrchu. Obdobně se konstruují i profesionální antény například pro středovlnné rozhlasové vysílače, které mívají také čtvrtvlnnou délku (ale často se jedná i o náročnější anténní systémy s délkou zcela odlišnou). Antény pro VKV se spíš staví ve volném prostoru. Potom se i zemní systém skládá zpravidla ze čtyř nebo minimálně dvou, většinou šikmých čtvrtvlnných radiálů. [31]

4.4 Modulace

Modulace je úprava signálu (informace) pro přenos.

Je to proces, při kterém se uloží informace (modulační signál) na vysokofrekvenční nosný signál (dále jen „nosná“) a vznikne tzv. modulovaný signál (obrázek 11), ze kterého zase lze demodulací získat zpět signál modulační. [3]



Obrázek 11: Modulace [11]

4.4.1 Analogové modulace

Je to tzv. nabalování analogového modulačního signálu na analogovou nosnou s harmonickým sinusovým průběhem.

Nosnou vlnou můžeme ovlivňovat třemi parametry. Digitální modulace rozlišujeme na:

- Amplitudovou modulaci (známá jako AM)
- Frekvenční modulaci (známá jako FM)
- Fázovou modulaci (známá jako PM)

Časový průběh vysokofrekvenční nosné lze vyjádřit:

$$u(t) = U_{\Omega} \cos(\Omega t + \varphi)$$

Vzorec 3: Okamžitá hodnota nosné vlny

$u(t)$ – okamžitá hodnota nosné; U_{Ω} – amplituda nosné; Ω – úhlová frekvence nosné; φ – fáze nosné; U_{ω} – amplituda modulačního signálu; ω – úhlová frekvence modulačního signálu; f – modulační frekvence [3]

Amplitudová modulace

U amplitudové modulace se mění amplituda nosné podle okamžité hodnoty modulačního signálu (obrázek 12). Velikost změny amplitudy nosné je tzv. *hloubka modulace* (m), může se udávat procentech.

$$m = \frac{U_{\omega}}{U_{\Omega}}$$

Vzorec 4: Hloubka modulace

To znamená, že při $m = 1$ bude nejmenší velikost amplitudy modulovaného signálu rovna nule. Hodnota m by neměla být větší než 1, protože pak dochází k výraznému zkreslení přenášeného signálu.

Při běžném rozhlasovém vysílání se nosná vlna amplitudově moduluje nikoli jedním kmitočtem, ale celým spektrem akustických kmitočtů.

Frekvenční spektrum obsahuje kromě frekvence nosné vlny f_0 , ještě dvě postranní frekvenční pásma stejné šířky. [13]

Frekvence horního postranního pásma se mění v rozmezí:

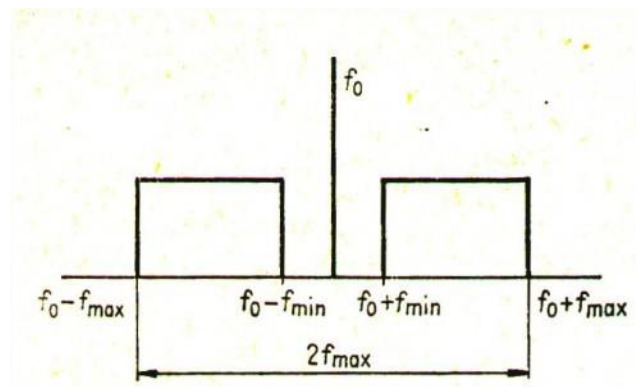
$$f_0 + f_{\min} \text{ až } f_0 + f_{\max},$$

kde f_{\min} a f_{\max} jsou nejnižší a nejvyšší hodnoty modulační frekvence (obrázek 13).

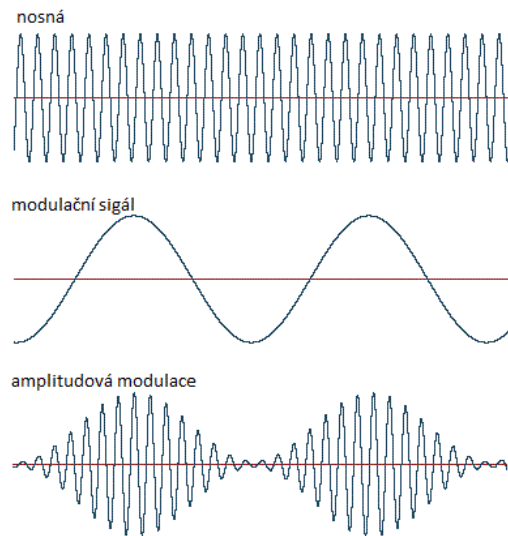
Frekvence dolního postranního pásma se mění v rozmezí:

$$f_0 - f_{\max} \text{ až } f_0 - f_{\min}.$$

Celková šířka obou pásem je dvojnásobkem f_{\max} . (Bude-li $f_{\max} = 4,5$ kHz, je celková šířka $2f_{\max} = 9$ kHz.) [13]



Obrázek 13: Postranní pásma [14]



Obrázek 12: Amplitudová modulace [12]

Frekvenční modulace

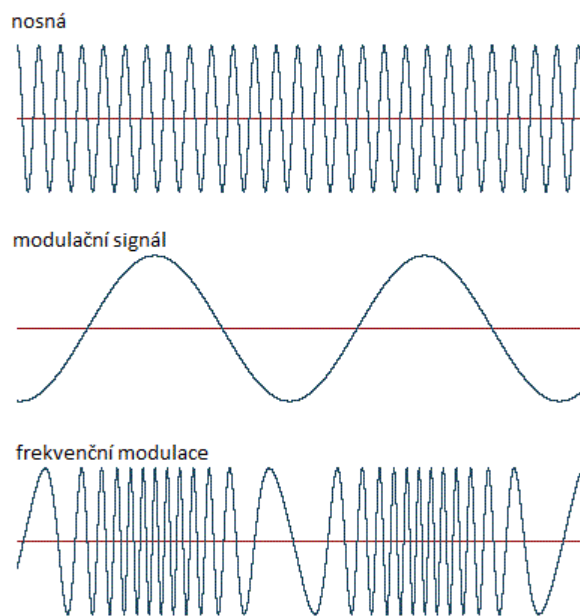
U frekvenční modulace se mění okamžitá hodnota frekvence nosné podle amplitudy modulačního signálu (obrázek 14). Maximální velikost změny této frekvence je tzv. *frekvenční zdvih* ($\Delta\Omega$). Při amplitudě modulačního signálu je změna frekvence maximální. Maximální odchylka frekvence od fáze nosné vlny je tzv. *index frekvenční modulace* (M).

$$\Delta\Omega = 2\pi\Delta F$$

Vzorec 5: Frekvenční zdvih

$$M = \frac{\Delta\Omega}{\omega} = \frac{\Delta F}{f}$$

Vzorec 6: Index frekvenční modulace



Obrázek 14: Frekvenční modulace [15]

Frekvenční spektrum je teoreticky nekonečné. Prakticky lze však spektrum omezit přibližně na šířku: $2(\Delta F + f)$ (Carsonův vztah).

U vyšších frekvencí je přenášený signál náchylný k rušení šumem, proto se ještě před vysíláním zesílí amplituda modulačního signálu (tzv. preemfáze) Příjímač následně stejnou metodou amplitudu zeslabí (deemfáze), a tím se zeslabí také šum. [3]

Fázová modulace

Velmi podobná FM, pro složitost demodulace a pro problematické rozeznávání fázového posuvu je v praxi téměř nevyužívaná.

Při amplitudě modulačního signálu se fáze nosné nemění, naopak nejmenší a největší fáze je vždy v nule. Problém je tedy v určení úhlu 0 nebo 180°. [3]

4.4.2 Impulsní modulace

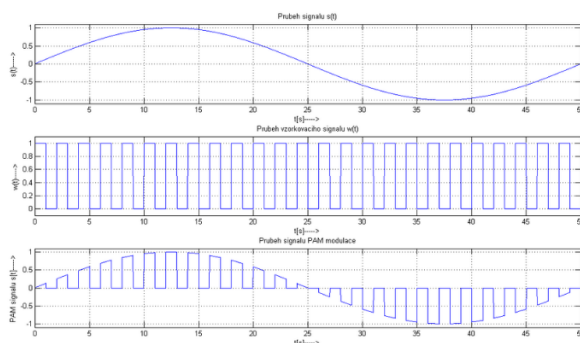
Impulsní (diskrétní) modulace fungují na principu sbírání vzorků z analogového modulačního signálu. Dělíme je na:

- Nekódované – PAM, PWM, PPM
- Kódované (digitální) – PCM, DM

Důležitý je také známý *Kotělnikův teorem*, který říká, že frekvence vzorkování musí být alespoň dvakrát vyšší, než frekvence modulačního signálu. Ten se v praxi využívá ještě s malou rezervou. [3]

Pulsně amplitudová modulace (PAM)

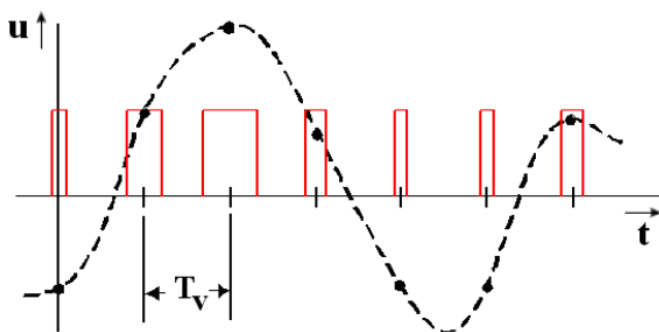
Vzorkovač odebírá vzorky modulačního signálu o vzorkovací frekvenci a vždy krátkou část propustí (obrázek 15). [3]



Obrázek 15: PAM [16]

Pulsně šířková modulace (PWM)

Vzorkovač odebírá vzorky modulačního signálu a vytváří pulsy, jejichž šířka je přímo úměrná okamžité hodnotě modulačního signálu a amplituda je konstantní (obrázek 16). PWM je často využívána i v elektrických pohonech. [3]

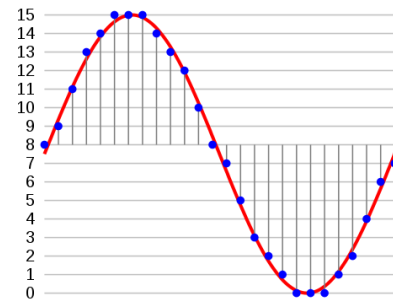


Obrázek 16: PWM [3]

Pulsně kódová modulace (PCM)

Vzorkovač odebírá vzorky podle vzorkovací frekvence, ty se následně přiřadí (zaokrouhlením) do určité hladiny (obrázek 17), kde každá hladina má vlastní číslo. Následně se provede kódování, které číslo převede na binární kód.

Následnou kvalitu a datový tok ovlivňuje počet hladin a vzorkovací frekvence. [3]



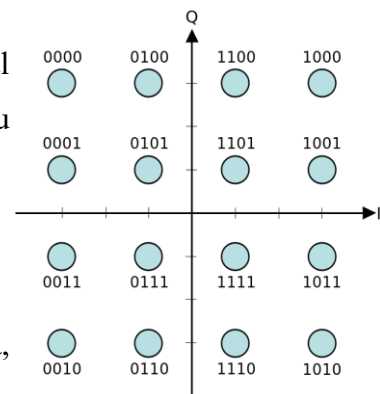
Obrázek 17: PCM [17]

4.4.3 Digitální modulace

U digitálních modulací ovlivňuje digitální signál analogovou nosnou vlnu. Používají se k přenosu digitálního signálu na delší vzdálenosti.

Dělí se:

- podle počtu stavů (dvou a více stavové)
- podle ovlivňované veličiny (amplituda, frekvence...) (obrázek 18). [3]



Obrázek 18: 16-QAM [21]

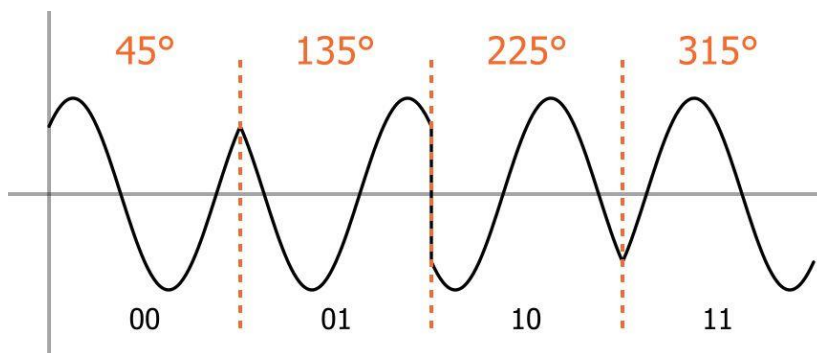
Amplitudové klíčování (ASK)

Jedná se o dvoustavovou modulaci, kde se amplituda mění podle hodnoty digitálního signálu. Používá se více druhů ASK, podle amplitudy při stavu digitálního signálu 0. Pokud se používá 100% ASK, tak je při binární 0 amplituda nosné také 0. Pokud se použije 50% ASK, tak bude při binární 0 amplituda poloviční než při binární 1.

Stejným způsobem pracuje i Fázové klíčování (FSK) nicméně se nemění amplituda, ale frekvence nosné. [3]

Čtyřstavová modulace (QPSK)

Vicestavová modulace, která přenáší 2 bity, tedy čtyři možné stavy. Každý stav se liší fázovým posunem nosné o 90° . Demodulátor rozpoznává polohu každé periody a z toho zrekonstruuje kód. Na obrázku je možno vidět, jak se dá pomocí jedné periody přenést 2bitová informace (obrázek 19). [3]

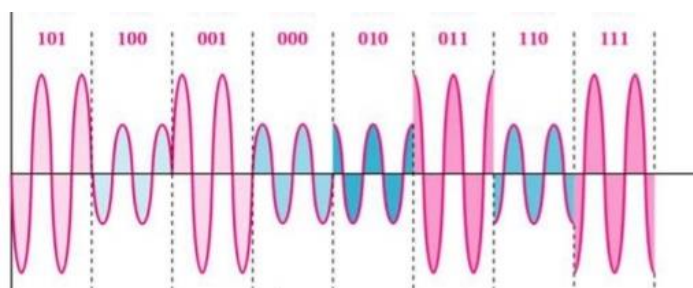


Obrázek 19: QPSK [23]

Kvadrurně amplitudová modulace (n-QAM)

Vícestavová modulace, která přenáší n bitů, podle počtu stavů (nejčastěji 8, 16, 64 nebo 256). U této modulace se liší jak, jednotlivý fázový posuv, tak i amplituda signálu.

Na obrázku lze vidět, že byla použita tříbitová 8-QAM. Každý fázový posuv je buď se 100% nebo 50% amplitudou. [3]



Obrázek 20: 8-QAM [22]

Ortogonalní frekvenčně dělený multiplex (OFDM)

Metoda, při níž je použito několik stovek až tisíců nosných frekvencí (subnosných), které jsou navzájem ortogonální (skalární součin se rovná nule), takže se nijak neovlivňují. Jednotlivé nosné jsou modulovány QPSK nebo n -QAM. Dle normy se OFDM rozděluje na dva módy, a to na 2k (1705 subnosných) a 8k (6817 subnosných). [3]

4.5 Komprese dat

Zpracování dat, které má za úkol zmenšit jejich objem a současně zachovat informace v datech obsažené. Hlavním důvodem je zmenšení datového toku a úspora místa při případném ukládání.

Komprese dělíme na:

- ztrátové – nenávratná ztráta dat
- bezztrátové – komprimovaná data se zpět vypočtou do původní podoby

Kodek (**ko**dér a **de**kodér) je program pro kompresi a dekompresi dat. [3]

4.5.1 Komprese obrazu

Dělíme na statickou (komprimují se jednotlivé snímky) a dynamickou kompresi (komprese skupin po sobě jdoucích snímků).

Statická komprese

Snížení prostorové redundance v jednotlivých snímcích. Používá se pro ni kompresní mechanismus MPEG. Obraz se komprimuje po blocích 8×8 , ty se následně ještě sdružují do makrobloků.

Kompresní mechanismus má několik částí:

- převedení barev R, G, B na Y (jasová složka), R, B (bez ztráty kvality),
- podvzorkování barvonosných složek z Y:R:B 4:2:2 na 4:2:0. Oko je citlivé na jasovou složku, proto je tato ztráta zanedbatelná,
- DCT (diskrétní kosinová transformace) – provádí se v blocích 8×8 hodnot, jde o bezztrátový převod hodnot Y, R, B na frekvenci a úroveň, vede k získání velkého množství nulových hodnot,
- kvantování kmitočtových koeficientů (výsledků DCT) – přináší zdaleka největší ztrátovost,
- kódování: různé algoritmy.

Princip je velmi jednoduchý – znakům vyskytujícím se s větší četností se přiřadí kód s malým počtem bitů a naopak. Tak se sníží množství dat.

Dynamická komprese

Pro snížení časové redundance mezi snímky se používá sekvence opakujících se snímků nazývaných se GOP struktura (Group of Pictures).

Druhy snímků:

- snímky typu I – (Intra Frame): klíčové snímky, přenášejí se celé, nelze je vypustit při střihání videa,
- snímky typu P – (Predicted): rozdíl od předchozího snímku; až 2× menší datový tok,
- snímky typu B – (Bidirectional): rozdíl vytvořený z předchozího a následujícího snímku, až 8× menší datový tok.

GOP: např. I B B P I B B P ... I B B P (čím více klíčových snímků **I**, tím je video kvalitnější). [3]

4.5.2 Komprese zvuku

Zvukové kompresní mechanismy využívají chyb a slabin lidského sluchového ústrojí, z něhož vyplývají tři principy.

- maskování sluchu – před a po silnějším tónu je slabý signál překryt,
- odřezávání neslyšitelných zvuků – lidské ucho slyší zvuk v rozsahu 16 Hz – 20 000 Hz,
- společné kódování stereofonních signálů – při podobnosti se oba kanály kódují společně. [3]

4.5.3 Kompresní formáty MPEG

MPEG-1 (Moving Picture Experts Group)

Video: tzv. VHS kvalita; rozměr 352 × 288 bodů; neprokládaný obraz; datový tok max. 1,5 Mbit/s

Audio: používají se 3 vrstvy; layer 1: 384 kbit/s, layer 2: 256 kbit/s a layer 3: 128 kbit/s; nejznámější layer 3 – (**MP3**) [3]

MPEG-2

Video: DVD kvalita; poměr 4:3 nebo 16:9; možnost prokládání snímků; datový tok max. 10 Mbit/s.

Audio: kompatibilní s MPEG-1 layer1 – 3; obsahuje následovníky MP3; ACC; AC-3 (vícekanálový zvuk až do 5.1). [3]

MPEG-4

Obsahuje 30 skupin, kde každá definuje formát komprese určitého média. Zahrnuje prakticky všechny aktuálně používané kodeky (H.264; DivX; MP4...). [3]

MPEG-H

Vysoce efektivní kódování a doručování médií v heterogenních prostředích. Obsahuje 13 skupin, mimo jiné část 2 HEVC (High Efficiency Video Coding), která je momentálně známá díky přechodu na DVB-T2. Je značně efektivnější než kodeky MPEG-4 (tabulka 1). [3]

Rozlišení	MPEG-4	HEVC
640×480 (VGA)	1,58 Mb/s	0,57 Mb/s
1280×1024 (1.3Mpix)	6,76 Mb/s	2,46 Mb/s
1920×1080 (Full HD)	10,65 Mb/s	3,89 Mb/s

Tabulka 1: Srovnání MPEG-4 a HEVC

4.6 Důležité pojmy digitálního vysílání

4.6.1 FEC

Samoopravný kód dovoluje při dostatečně malém poškození zrekonstruovat původní data. Při ochraně transportního toku digitálního signálu se využívá tzv. princip dopředné ochrany (FEC), skládající se z vnější ochrany blokového kódu (zvaného RS kód) a vnitřní ochrany konvolučního kódu, symbolového a bitového prokladače. [2]

4.6.2 Ochranný interval

Část doby trvání jednoho OFDM symbolu, která není zpracována (dekódována) přijímačem jako užitečný signál. Do tohoto intervalu spadnou všechny odrazy signálu (duchy). Velikost ochranného intervalu je vyjádřena zlomkem ($1/4$, $1/8$, $1/16$ nebo $1/32$), vzhledem k délce trvání celého OFDM symbolu. [2]

4.6.3 SFN síť

Provoz více vysílačů na jednom kmitočtu. Díky přesnému naladění, synchronizaci, digitálnímu modulování a využití dalších ochranných a zabezpečovacích principů se vysílače vzájemně neruší, naopak se v pokrytém území signál sčítá. To umožňuje lépe naplánovat vysílací síť a používat nižší výkony vysílačů nebo podle potřeby dokrývat vysílání dalšími místními vysílači.

Dokonce ani při pohybu přijímače (pokud uvažujeme zejména systém T-DAB) v autě při jízdě v oblasti překryvu vysílačů nedochází k žádnému rušení nebo výpadkům. Podmínkou použití jednofrekvenční sítě je její dokonalá synchronizace (používá se družicová synchronizace GPS) a přesně stejný vysílaný obsah. Nelze tedy na území pokrytém takovou sítí šířit různé programy, resp. různé balíky (multiplexy) programů.

Výhody SFN sítě:

- efektivní využití kmitočtového pásma,
- efektivnější vynaložení energie potřebné na vysílání (v přepočtu na jeden program).

Nevýhody SFN sítě:

- vysílač, který vysílá jinak, než ostatní se stává „rušičkou“,
- je nutná perfektní synchronizace. [2]

4.6.4 Odstup C/N

Odstup nosné vlny od šumu. Je vyjádřen jako poměr úrovně výkonu užitečného signálu k úrovni šumu naměřené podle tohoto bodu. [2]

4.6.5 Modulační chybovost (MER)

Je definována, jako poměr součtu čtverců amplitud ideálních symbolových vektorů k součtu čtverců amplitud chybových symbolových vektorů v konstelačním diagramu. Chybový vektor je při tom definován jako vzdálenost od ideální polohy vybraného symbolu k aktuální poloze přijatého symbolu. Výsledek je nejčastěji vyjádřený jako výkonový poměr v dB. [2]

4.6.6 Bitová chybovost (BER)

Je vypočítána jako poměr chybných bitů k celkovému počtu bitů za dobu měření. [2]

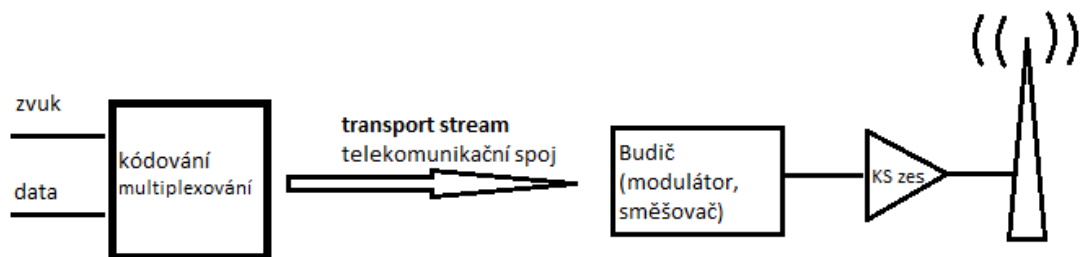
5 Rozhlasové vysílání

V České republice je aktuálně nejrozšířenější zastaralé analogové rozhlasové vysílání. Stále více se však prosazuje nové a moderní digitální vysílání, které má oproti analogu mnoho výhod, bohužel ale i zápory.

Rozhlasové vysílání se dělí na:

- analogové
 - Frekvenčně modulované (FM)
 - Amplitudově modulované (AM)
 - dlouhé vlny
 - střední vlny
- digitální
 - Digital Audio Broadcasting (DAB)

Cesta zvuku a dat záleží na druhu vysílání. Signál je veden přes telekomunikační spoj až k budiči (modulátor, mezifrekvenční směšovač) a koncovému zesilovači, od kterého je pak vyzářen vysílačem (Obrázek: 19). [3]



Obrázek 21: Cesta rozhlasového signálu

5.1 Analogové rozhlasové vysílání

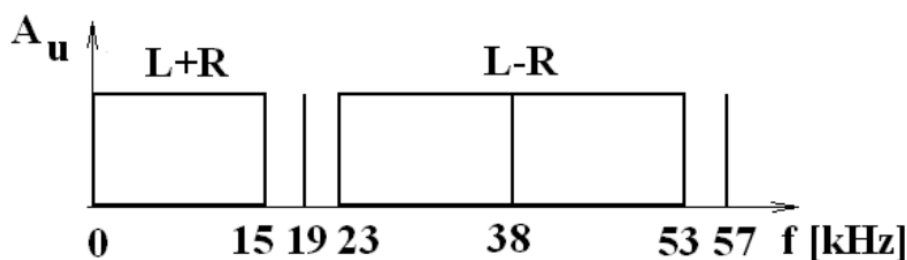
Hlavní výhody má analogové vysílání v aktuální dostupnosti, velkém pokrytí a podpoře všech rozhlasových přijímačů, a to díky jednoduchému principu. U analogového vysílání jsou ale vyčerpány všechny technické možnosti a v současnosti nestačí především z důvodu přenesení malého množství dodatečných informací. U FM lze obtížně získat frekvenční licenci. [3]

5.1.1 Frekvenčně modulované vysílání (FM)

Jedná se o nejpoužívanější typ rozhlasového vysílání. Celé území ČR je pokryto velkým množstvím regionálních nebo celostátních stanic.

Pro FM vysílání je vyhrazeno VKV pásmo 87,5–108 MHz (dříve se používalo 66–73 MHz). Šířka kanálu včetně bezpečnostního pásma (zajišťuje, aby se pásma stanic nepřekrývala) je 210 kHz. Maximální modulační frekvence pro FM je 15 kHz, což umožňuje přenášet vysoce kvalitní zvuk (CD kvalita), což kvitují zejména audiofilové.

U FM je možno přijímat monofonní, tak stereofonní zvuk. Před frekvenční modulací se vytvoří nízkofrekvenční spektrum (tzv. frekvenční multiplex) se součtovým signálem L+R (levý + pravý kanál), rozdílovým signálem L-R, Radio Data System – RDS (informace o stanici, o skladbě, ...) a tzv. pilotní frekvencí (obnovuje nosnou frekvenci, zapíná dekodér). [3]



Obrázek 22: Rozložení signálů [3]

Signál L+R (pro monofonní příjem), tj. zvukový signál dobré kvality, který má šířku pásma od cca 50 Hz do 15 kHz. Bylo rozhodnuto, že se signál L-R posune po frekvenční ose tím, že se amplitudově namoduluje na kmitočet 38 kHz; tomuto kmitočtu říkáme subnosný kmitočet. Modulace se provádí s potlačenou nosnou vlnou (výrazně zmenšená amplituda) a zabírá pásmo od $38-15=23$ kHz do $38+15=53$ kHz. Nosný kmitočet se potlačuje proto, aby netvořil ve spektru složeného signálu významný kmitočet, který by pak ovlivňoval šířku postranních pásem při kmitočtové modulaci. Prostor subnosného kmitočtu se vysílá s relativně malou amplitudou. Ve frekvenčním pásmu mezi 15 a 23 kHz je poloviční kmitočet k subnosnému, tedy 19 kHz, který nazýváme pilotním kmitočtem. Pilotní kmitočet nese informace o okamžité fázi subnosného kmitočtu, avšak má relativně malou amplitudu, tedy podstatně neovlivňuje šířku postranních pásem při frekvenční modulaci. Takto vzniklý signál se nazývá kompozitním signálem. Kompozitní signál (obrázek 22) se celý frekvenčně namoduluje na nosný kmitočet a vyšle se do prostoru. [32]

$$\text{Mono: } M = L + R$$

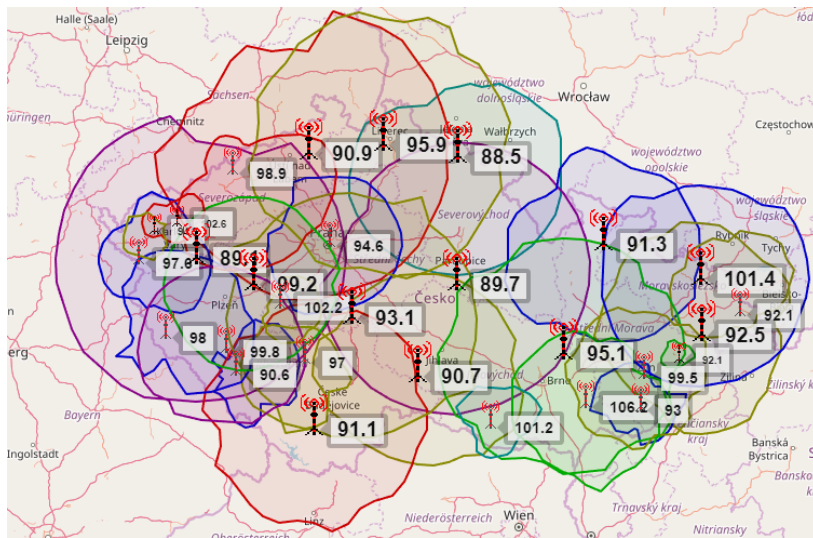
$$\text{Rozdílový signál: } D = L - P$$

$$\text{Levý kanál: } M + D = 2L$$

$$\text{Pravý kanál: } M - D = 2P$$

Vzorec 7: Dopočet levého a pravého kanálu

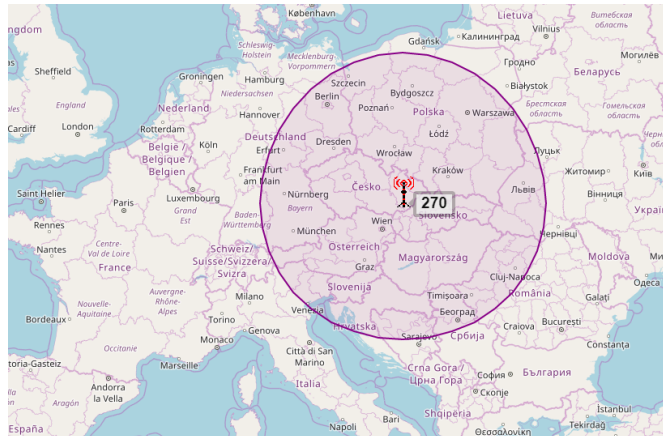
Na obrázku 23 je aktuální pokrytí FM ČRo-Radiožurnál. Tam kde se oblasti překrývají, lze stanici naladit na více frekvencích.



Obrázek 23: FM frekvence ČRo-Radiožurnál [24]

5.1.2 Amplitudově modulované vysílání (AM)

V současné době je na našem území už jen několik vysílačů – pro 6 stanic. Výhodou AM je veliké pokrytí (vysílač dlouhých vln pokryje až čtvrtinu Evropy při efektivním vyzařovaném výkonu 50kW). AM vysílá 5 stanic na středních vlnách a ČRo Radiožurnál



Obrázek 24: Pokrytí ČRo-Radiožurnál z vysílače Topolná [25]

vysílá z vysílače Topolná na dlouhých vlnách (obrázek 24). Nevýhodou AM je nízká modulační frekvence (4,5 kHz), kvůli které je nízká kvalita zvuku a zvuk je pouze monofonní. Pro AM rozhlas na středních vlnách je vyhrazeno pásmo 526,5–1606,5 kHz. Pro vysílač dlouhých vln na Topolně je vyhrazeno pásmo 148,5–283,5 kHz. [3]

5.2 Digitální rozhlasové vysílání (DAB, DAB+)

Jedná se o „nový“ a perspektivní formát vysílání, oproti již zaběhlému analogu. Hlavní nevýhodou je nutnost složitějších a dražších přijímačů, které ale automobilky pomalu nasazují jako standardní vybavení nových aut. DAB je oblíbený především pro:

- kvalitní zvuk (CD kvalita),
- uživatelsky příjemnější ladění stanic,
- žánrové a programové nabídky,
- doplňkové informace,
 - **EPG** – Elektronický programový průvodce,
 - **SLS** – Obrazové informace,
 - **EWS** – Emergency Warning Systém (nouzový varovný systém),
 - **TPEG** – Dopravní informace,
- vynikající příjem v pokrytých oblastech (žádný šum),
- nižší náklady na vysílání (oproti FM).

Digitální rozhlas funguje na principu vyslání transportního datového paketu, který obsahuje jednotlivé stanice kanálu (až 20 stanic), doplňkové informace a ochranný interval (odrazy, jiné vysílače). Dělí se na DAB a DAB+ přičemž DAB+ je zhruba dvakrát efektivnější díky použití jiného audio kodeku (AAC+). DAB+ je zpětně kompatibilní s DAB.

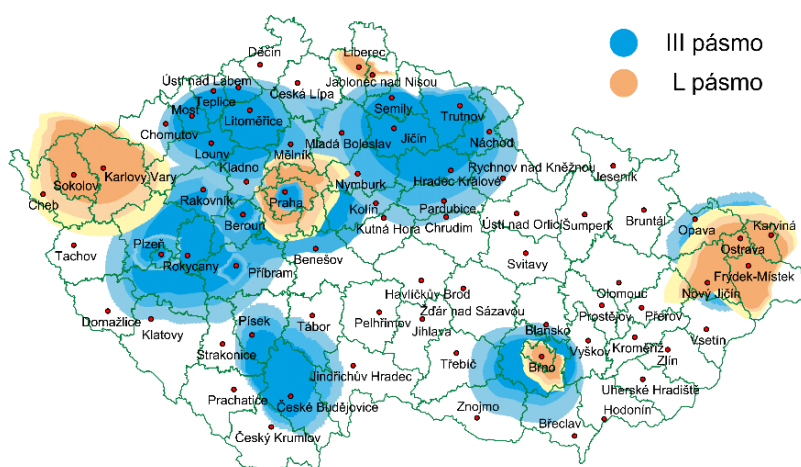
Vysílá se ve III pásmu (174 – 230MHz) a L pásmu (1 452 – 1 492MHz) a lze využít SFN síť (vysílání stejného obsahu na stejné frekvenci). Šířka pásma je 1,536 MHz a pro přenos dat se využívá OFDM modulace s celkovou přenosovou rychlostí 1,8 Mbit/s. Délka ochranného intervalu je $\frac{1}{4}$ z délky užitečného OFDM symbolu (1000 μ s). DAB je kódován formátem MPEG 2. DAB+ je kódován MPEG 4.

V ČR se poprvé objevil v roce 2007. V současnosti u nás digitální rozhlasové vysílání provozují 3 společnosti:

- České radiokomunikace,
 - provozují vlastní síť po Praze a provozují síť Českého rozhlasu ČRo – DAB+,
 - plánuje se rozšíření především v okolí dálnic,
- RTI CZ,
- TELEKO.

V souvislosti s olympijskými hrami 2018 bylo do multiplexu ČRo DAB+ zařazeno vysílání olympijského speciálu, který byl věnován pouze informacím z olympijských her. Po jejich skončení byl speciál z multiplexu zase vyjmut. Jednoduché a finančně nenáročné přidávání programů do multiplexu je výhodou systému DAB.

Aktuálně je digitálním rozhlasem pokryto území s 6,6 miliony obyvatel ČR (obrázek 25). Zejména v západní Evropě je ale již formát digitálního rozhlasu mnohem rozšířenější. Například ve Švýcarsku a Belgii tento formát již předčil standární FM vysílání. Na druhou stranu, ve státech východní Evropy není tolik rozšířený nebo probíhá zkušební vysílání. [26]

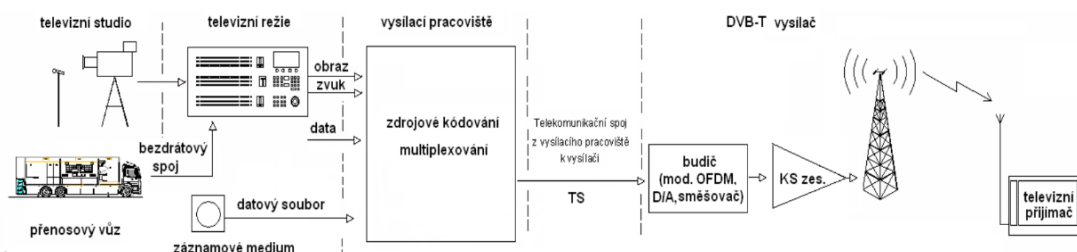


Obrázek 25: Pokrytí ČR signálem DAB [26]

6 Televizní vysílání

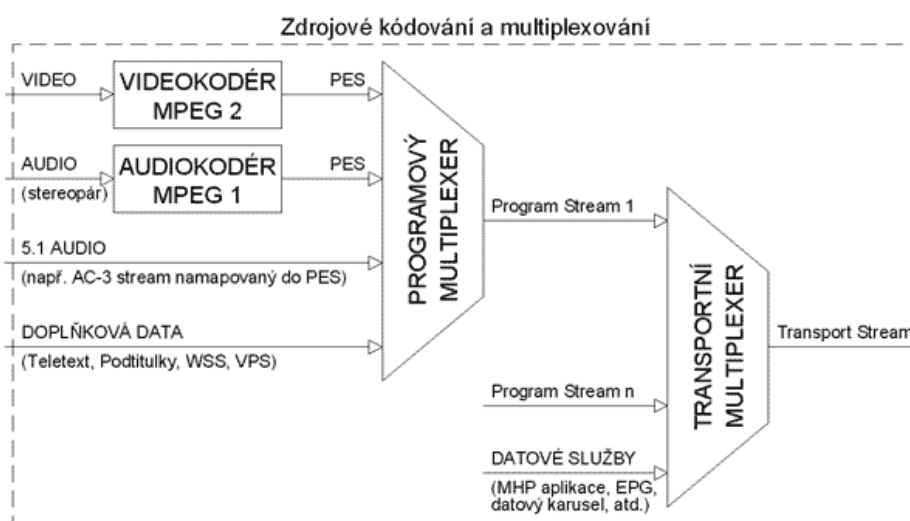
V současné době je na území ČR provozováno pouze digitální televizní vysílání. Analogové vysílání bylo roku 2011 na území ČR ukončeno. Vysílání probíhalo v I. – III. pásmu, které se nyní používá pro DAB. Aktuálně je v ČR provozován standard DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial) a ve zkušebním provozu je i DVB-T2.

Televizní signál je z televizní režie veden k tzv. headendu (enkodéry a multiplexory), následně je signál ve formě transportních paketů (transport stream) přepraven telekomunikačními spoji (optika, RR spoje, metalika) k vysílači, kde se provede zpracování, OFDM modulace, koncové zesílení a signál je vyzářen vysílačem (obrázek 26). [3]



Obrázek 26: Cesta DVB-T [3]

Každý program se skládá z audia, videa a dodatečných dat. Audio a video se zakóduje a spolu s dodatečnými daty se programovým multiplexorem sloučí v jeden programový tok (PTS). Následně transportní multiplex vytvoří multiplex většího počtu programů, které jsou odeslány k vysílači (TS) (obrázek 27). [3]



Obrázek 27: Zdrojové kódování a multiplexování [27]

6.1 DVB-T

O DVB-T se v ČR začalo mluvit okolo roku 2000, kdy probíhalo spuštění prvních pilotních projektů. Od roku 2005–2008 probíhal testovací provoz a v roce 2010 byl spuštěn první multiplex.

Přechod na digitální vysílání měl pro diváky řadu výhod, ale i nevýhodu:

- ✓ větší počet programů,
- ✓ větší kvalita obrazu i zvuku,
- ✓ doplňkové služby (televizní program, titulky, ...),
- ✗ investice do nových přijímačů, případně set-top boxů.

Z vysílače jsou vysílány (jako u DAB) tzv. transportní datové pakety, které obsahují jednotlivé programy, doplňkové informace, protichybovou ochranu a ochranný interval.

Vysílání probíhá ve IV. a V. pásmu (470–862 MHz). Šířka pásma je 8 MHz. Vysokofrekvenční modulace je OFDM s počtem subnosných 2k nebo 8k. OFDM je modulována (vnitřní modulace) QPSK, 16-QAM nebo 64-QAM.

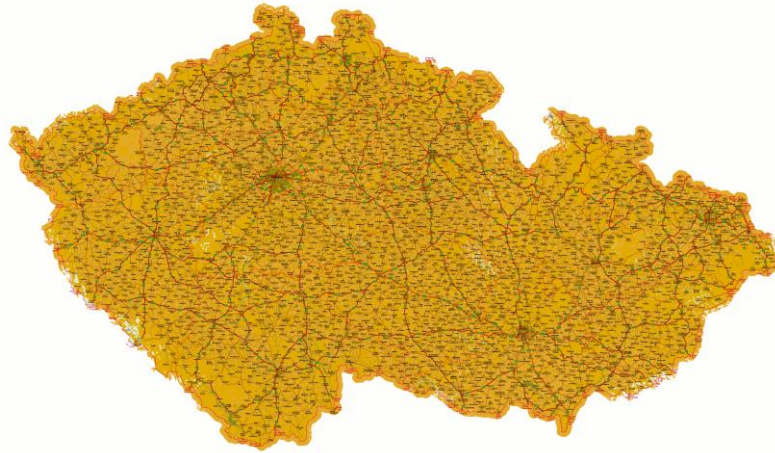
Obraz je komprimován dle MPEG-2 a zvuk dle MPEG-1. Obraz je ve formátu SD (Standard Definition) a zvuk je stereofonní. Maximální datový tok je u nás 22,12 Mbit/s.

V ČR jsou aktuálně vysílány 4 celostátní multiplexy:

- multiplex 1 (veřejnoprávní multiplex),
 - ČT1, ČT2, ČT24, ČT sport,
- multiplex 2
 - Nova, Prima, TV Barrandov, Nova Cinema, Prima Cool,
- multiplex 3,
 - Prima Love, Prima Zoom, Prima Max, Óčko, Óčko Gold, ČT :D/ČT art, Seznam.cz TV (HbbTV pro Stream.cz), Šlágr TV, Kino Barrandov, Barrandov Plus,
- multiplex 4,
 - Nova Gold, Nova 2, Nova Action, Prima Comedy Central, RELAX, REBEL, + regionální programy.

Dále jsou vysílány multiplexy regionální a Multiplex 7, které mohou využívat DVB-T HD, ten funguje na stejném principu, jen jsou při kompresi využívány kodeky MPEG-4. Je tedy možné vysílat pořady v HD (High Definition) kvalitě. [2]

DVB-T pokrývá v ČR 99,6 % obyvatel (viz obrázek 28).



Obrázek 28: Pokrytí ČR DVB-T [28]

6.2 DVB-T2

Jedná se o nový standard, který má do roku 2021 zcela nahradit současné DVB-T. Přejít na DVB-T2 je především z důvodu efektivnějšího využití spektra a ústup mobilním sítím (700 MHz).

Hlavní výhodou bude ve větším prostoru v každém kanálu. Díky použití HEVC komprese se do jednoho kanálu vejde až 18 programů v SD rozlišení nebo 6 programů v rozlišení HD.

Nevýhodou bude nutná investice do nových přijímačů a v některých oblastech i anténních systémů (bude využita vnitřní 256-stavová QAM modulace, díky které dojde ke zvýšení citlivosti na rušící signály).

Vysílání již běží ve zkušebním provozu (tzv. přechodová síť) a je pokryto již téměř 98 % populace (obrázek 29). Norma DVB-T2 probíhá v pásmu 470-694 MHz. Šířka pásma je 8 MHz. Vysokofrekvenční modulace je OFDM s počtem subnosných 32k. OFDM je modulována (vnitřní modulace) 256QAM. Obraz je komprimován dle HEVC a zvuk dle HE-AAC. Obraz je ve formátu SD nebo HD a zvuk je stereofonní. Maximální datový tok je v ČR 33,35 Mbit/s.

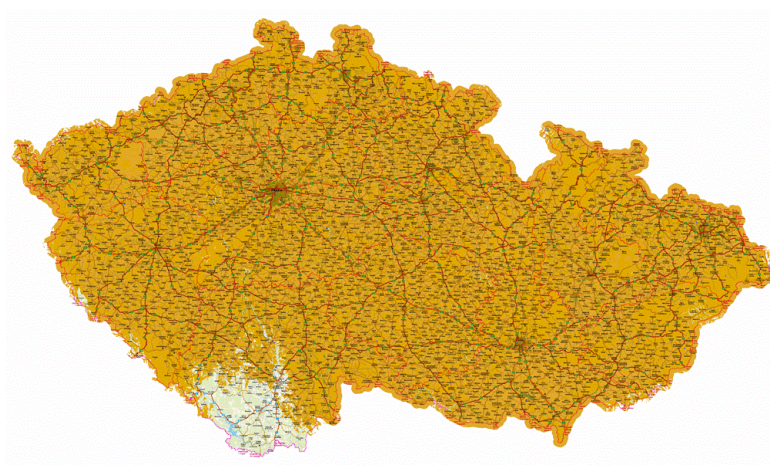
Výsledný datový tok je závislý na kombinaci všech nastavitelných parametrů u daného standardu. Dle tabulky 2 můžeme vidět srovnání parametrů a maximální datový tok. [33]

	DVB-T	DVB-T2
FEC (samoopravný kód)	1/2; 2/3 ; 3/4; 5/6; 7/8	1/2; 3/5; 2/3 ; 3/4; 4/5; 5/6
vnitřní modulace	QPSK; 16QAM; 64QAM	QPSK; 16QAM; 64QAM; 265QAM
ochranný interval	1/4 ; 1/8; 1/16; 1/32	1/4; 19/256; 1/8 ; 19/128; 1/16; 1/32; 1/128
počet nosných	2k; 8k	1k; 2k; 4k; 8k; 16k; 32k
maximální datový tok	31,7 Mbit/s	45,5 Mbit/s
požad. odstup nosné od šumu	16,7 dB	10,8 dB

Tabulka 2: Srovnání DVB-T a DVB-T2

Přechodová síť aktuálně běží na multiplexu **12** a **13** a to na kanálech:

- **22** → 482 MHz
- **24** → 498 MHz
- **28** → 530 MHz
- **31** → 554 MHz
- **43** → 650 MHz



Obrázek 29: Pokrytí ČR multiplexy 12 a 13 [29]

Česká televize aktuálně v DVB-T2 nevysílá. Start přechodové sítě **11** je naplánován na 29. března 2018, spuštění všech základních vysílačů do 10. května 2018 a to v kanálech 26 a 50. Všechny programy ČT budou vysílány v HD kvalitě. [33]

6.3 HbbTV

Je tzv. hybridní vysílání, které kombinuje lineární televizní vysílání s širokopásmovým internetovým připojením. Jedná se o doplňkovou službu většiny nových přijímačů. Na konci každého programového balíčku je vložen URL odkaz na stránku, která se po stisknutí červeného tlačítka na ovladači načte na monitor televize (obrázek 30).

Příkladem využití HbbTV může být:

- video archiv,
- jiné živé vysílání (např. při olympiádě),
- E-shop,
- počasí (viz obrázek 30),
- reklamy,
- soutěže.

Veškerý tento obsah je přijímačem přijímán skrze síťové rozhraní (WiFi, ethernet).

[34]



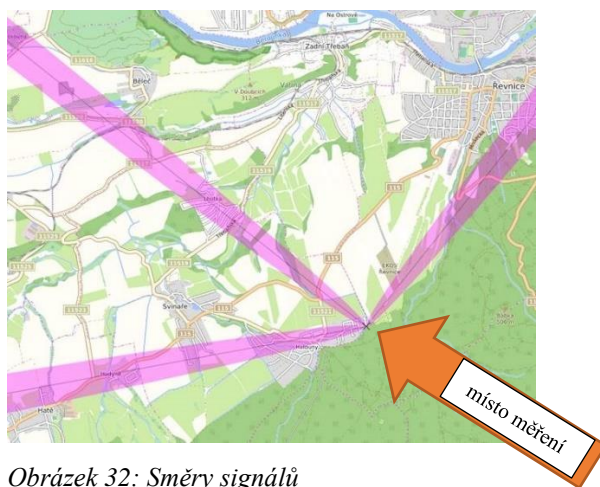
Obrázek 30: HbbTV rozhraní ČT [30]

7 Vlastní měření

V ČR se stává stále populárnější digitální vysílání. Pokrytí se pomalu rozšiřuje a investuje se do nových technologií a zálohování.

Dne 31. 1. 2018 provedly České radiokomunikace migraci ze starého VDL headendu (audioenkodéry a multiplexor) na nový a redundantní AVT headend. Z důvodu možných problémů na SFN síti (vysílání více vysílačů na jedné frekvenci), probíhalo v tu dobu měření, zda nedošlo ke změně parametrů sítě SFN. Měřila se impulsní odezva signálů z jednotlivých vysílačů, modulační chybovost (MER) a bitová chybovost (BER). Hlídala se celková stabilita SFN sítě. Od měření se očekávalo potvrzení, že migrace na nový koncový bod byla úspěšná a všechny měřené veličiny jsou v normě a je tedy čistý a bezchybný příjem.

Měření probíhalo v místě, kde se překrývají tři vysílače DAB+, tedy ve vesnici Halouny (okres Beroun). Byly to vysílače, Praha – Město (Žižkovský vysílač), Beroun (vrch Děd) a Plzeň – Radeč. Na obrázku můžeme vidět směry jednotlivých signálů.



Obrázek 32: Směry signálů



Obrázek 31: Měřicí vůz ČRa

Měření proběhlo na souřadnicích $49^{\circ} 53' 23''$ s. š., $14^{\circ} 12' 51''$ v. d., 390 m n.m. Bylo provedeno anténou Rohde&Schwarz HL033 ve vertikální polarizaci. Jako měřicí přístroj byl použit Rohde&Schwarz ETL. Celé měření proběhlo v atestovaném měřicím voze ČRa.

7.1 Teoretický výpočet

Vzdálenost k vysílači Beroun je 14,5 km, vzdálenost k vysílači Praha je 27,2 km a do Plzně je to 39,7 km vzdušnou čarou. Signál se šíří rychlostí světla.

Dobu šíření signálu k místu měření lze jednoduše dopočítat vztahem: $t = \frac{s}{v}$ [s]

$$t_{Ber} = \frac{s_{Ber}}{v} \rightarrow t_{Ber} = \frac{14500}{300000000} = 48,3 \mu s$$

$$t_{Pra} = \frac{s_{Pra}}{v} \rightarrow t_{Pra} = \frac{27200}{300000000} = 90,7 \mu s$$

$$t_{Plz} = \frac{s_{Plz}}{v} \rightarrow t_{Plz} = \frac{39700}{300000000} = 132,3 \mu s$$

Vzorec 8: Doba šíření signálu

Z těchto výpočtů můžeme vidět, že rozestup mezi příjmem každého signálu je zhruba 42 μs . Nejpozději dorazí signál z vysílače Plzeň – Radeč, nicméně dorazí dříve, než skončí ochranný interval pro příjem signálu, který má 250 μs .

Bitová chybovost (Bit Error Ratio – BER) je vypočítána jako poměr chybných bitů k celkovému počtu bitů za dobu měření.

$$BER = \frac{bE}{vp * t} [-]$$

Vzorec 9: Bitová chybovost

Při správné funkčnosti sítě a při dostatečném signálu by měla být hodnota BER téměř nulová. [2]

Modulační chybovost (Modulation Error Ratio – MER) je definována, jako poměr součtu čtverců amplitud ideálních symbolových vektorů k součtu čtverců amplitud chybových symbolových vektorů v konstelačním diagramu. Chybový vektor je při tom definován, jako vzdálenost od ideální polohy vybraného symbolu k aktuální poloze přijatého symbolu. Výsledek je nejčastěji vyjádřený jako výkonový poměr v dB. (2018)

$$MER = 20 \log \left\{ \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^n (I_k^2 + Q_k^2)}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (\delta I_k^2 + \delta Q_k^2)}} \right\} [dB]$$

Vzorec 10: Modulační chybovost

Při správné funkčnosti SFN sítě a při dostatečném signálu by měla být hodnota MER co nejvyšší (minimálně 24 dB). [2]

7.2 Výsledky měření



Date: 31.JAN.2018 13:39:49

Obrázek 33: Impulsní odezva s rozpadlou SFN sítí (vysílač Radeč je mimo SFN)



Date: 31.JAN.2018 14:39:56

Obrázek 34: Impulsní odezva s funkční SFN sítí (s novým head-endem)

Ochranný interval
246 μs → 1/4

signál Praha-město

signál Beroun

rozpadlá síť Radeč

veliká BER

velmi malá MER

Ochranný interval
246 μs → 1/4

signál Beroun

signál Praha-město

signál Radeč

Rozestup mezi
jednotlivými
signály je 42 μs

Téměř žádná bitová
chybovost

Optimální velikost
MER

Na obrázku 33 můžeme vidět rozpad sítě způsobený vysílačem Radeč, který pracuje mimo SFN, a tudíž působí jako rušivý signál. Bitová i modulační chybovost jsou značně mimo optimální úroveň.

Přechod na nový headend proběhl úspěšně (viz obrázek 34). Zřetelně jsou viditelné všechny tři signály, které se vešly do ochranného intervalu 250 μ s a jsou od sebe dle výpočtu, právě 42 μ s. Bitová chybovost je velice malá a v normě. Modulační chybovost má správnou úroveň.

Celé měření trvalo asi 1 hodinu. S techniky, kteří migraci prováděli, byl celé měření telefonický kontakt.

8 Závěr a zhodnocení

Z důvodu rozmachu IP technologií je předpoklad, že bude lineární televizní vysílání postupně opadat. Pravděpodobně nepomohou ani doplňkové služby, jako je hybridní vysílání (které je takový pokus o kombinaci lineárního a nelineárního vysílání). Lidé budou mít zájem o sestavování vlastního programu. Během deseti let bude naprostý útlum poptávky po lineárním vysílání, a to i s ohledem na přechod na DVB-T2, díky kterému jistě terestriální vysílání ještě část diváků ztratí. Většina mladých lidí již lineárně vysílané pořady nesleduje. Pro diváky bude příjemnější si pořady pouštět dle libosti (VOD – unicastové vysílání), případně si pustit živé vysílání (multicast) s možností si určité situace (části) zopakovat. Přechod na DVB-T2 je nejspíš poslední velký zásah v rámci terestriálního televizního vysílání.

Malá perspektiva je v digitálním rozhlasu (proto je mu věnováno měření), respektive v přijímání digitálního rozhlasu v dopravním prostředku. Sice by byl možný GPRS příjem, ale problém by nastal při hustém provozu (BTS stanice by byly přehlceny) nebo při vyšších rychlostech (s rychlostí se zvyšuje latence připojení). Spolu s doplňkovými službami a velkým množstvím hudebních žánrů a stanic, bude DAB pro řidiče velice příjemný způsob příjmu. S přibývajícím počtem DAB přijímačů a s rozmachem ČRo–DAB sítě, se tímto směrem vydají přes počáteční výdaje i ostatní stanice a v průběhu následujících deseti let bude vysíláním DAB pokryta naprostá většina ČR, stejně jako je to již nyní například v Belgii či Švýcarsku.

Seznam použitých zdrojů

- [1] Milos Steinhart's home page [online]. b.r. [cit. 2018-03-2] Dostupné z: http://stein.upce.cz/fIIP/figures/p6/FG32_009.JPG
- [2] LEGÍŇ, Martin. Televizní technika. 1. Praha: BEN, 2006. ISBN 80-7300-204-3.
- [3] Koblíček, Ing. Pavel. Sdělovací technika. 2015
- [4] DocPlayer [online]. In: . [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/docs-images/31/15317971/images/23-0.jpg>
- [5] PETERKA, Jiří. Earchiv [online]. In: . [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <http://www.earchiv.cz/a96/gifs/p643k151.gif>
- [6] Katedry informatiky Katolíckej univerzity v Ružomberku [online]. In: . [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <http://evyucba.ku.sk/oks/image/obr/08.jpg>
- [7] Wikimedia [online]. In: . [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/89/Alcoma.bg_Radio_relay_link.jpg
- [8] OK2KKW [online]. In: . [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: http://www.ok2kkw.com/next/ok1vr_1pic.gif
- [9] Mylms [online]. In: . [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <https://www.mylms.cz/obrazky/elektronika/zaverecky/69-2.png>
- [10] ELEKTRONIKA - TEORETICKÉ ZÁKLADY, PRAKTICKÁ ZAPOJENÍ [online]. In: . [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <http://elnika.sweb.cz/radia/yagi.gif>

- [11] Wikimedia [online]. In: . [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/93/Zna%C4%8Dka-Modul%C3%A1toru.png>
- [12] 2.bp [online]. In: . [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <http://2.bp.blogspot.com/-hMvltUI4API/TnxZidk2gRI/AAAAAAAAAC1I/j9I11wQ3imY/s1600/AMmod.gif>
- [13] Ackoo [online]. In: . [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <http://www.ackoo.estranky.cz/clanky/modulace.html>
- [14] Ackoo [online]. In: . [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <http://www.ackoo.estranky.cz/img/picture/145/am3.JPG>
- [15] The free dictionary [online]. In: . [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: https://img.tfd.com/cde/_FMMOD.GIF
- [16] Wikimedia [online]. In: . [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a4/Pr%C5%AFb%C4%9Bh_PAM.png/1024px-Pr%C5%AFb%C4%9Bh_PAM.png?1519047299654
- [17] Wikimedia [online]. In: . [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bf/Pcm.svg>
- [18] Digitální rádio [online]. In: . [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: http://www.rozhlas.cz/digital/slovník/_zprava/96525
- [19] Česká televize [online]. In: . [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/vse-o-ct/technika/digitalni-pozemni-vysilani-dvb-t/hlaseni-poruch-ve-vysilani/?glossaryChar=G>
- [20] Wikipedia [online]. In: . [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_vlny

[21] Wikimedia [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1e/16QAM_Gray_Coded.svg/641px-16QAM_Gray_Coded.svg.png

[22] Slidesharecdn [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://image.slidesharecdn.com/m-qam-160706174047/95/m-qam-5-638.jpg?cb=1467826877>

[23] Allaboutcircuits [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: https://www.allaboutcircuits.com/uploads/articles/TB_QPSK_1.JPG

[24] FM SCAN [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://fmscan.org/net.php?r=f&m=m&itu=CZE&pxf=%26%23268%3BRo+Radio%9Eurn%E11>

[25] FM SCAN [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://fmscan.org/net.php?r=m&m=m&itu=CZE&pxf=%26%23268%3BRo+Radio%9Eurn%E11>

[26] Digital Radio DAB [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: http://www.digitalradiodab.cz/images/2018_Band-III---L.png

[27] Česká televize [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://img.ceskatelevize.cz/boss/image/contents/technika/obr/kodovani.gif>

[28] České radiokomunikace [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: https://www.cra.cz/files/clanky_upld/mux2.gif

[29] Televizní web [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: http://www.televizniweb.cz/wp-content/uploads/2018/02/PS12_%C3%BAnor-2018.jpg

[30] Česká televize [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://img.ceskatelevize.cz/hbbtv/gallery/024.jpg>

[31] Radiosvět [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://www.radiosvet.wz.cz/cbgp/cbgp.html>

[32] Fyzikální sekce Matematicko-fyzikální fakulty UK [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/elektronika/kap5/5_4_2.html

[33] Digitální televize [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://www.digitalnitemelivize.cz/>

[34] Česká televize [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/hbbtv/>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Šíření elektromagnetických vln [1].....	4
Obrázek 2: Pozemní šíření elektromagnetických vln	5
Obrázek 3: Postupná, odražená a výsledná vlna [3].....	6
Obrázek 4: Kroucená dvoulinka [4]	7
Obrázek 5: Koaxiální kabel [5]	7
Obrázek 6: Optické vlákno [6]	8
Obrázek 7: RR spoj [7].....	8
Obrázek 8: Vyzařovací diagram [8]	9
Obrázek 9: Dipóly [9].....	10
Obrázek 10: YAGI anténa [10]	10
Obrázek 11: Modulace [11].....	11
Obrázek 12: Amplitudová modulace [12]	12
Obrázek 13: Postranní pásma [14].....	12
Obrázek 14: Frekvenční modulace [15]	13
Obrázek 15: PAM [16]	14
Obrázek 16: PWM [3]	14
Obrázek 17: PCM [17]	15
Obrázek 18: 16-QAM [21]	15
Obrázek 19: QPSK [23].....	16
Obrázek 20: 8-QAM [22]	16
Obrázek 21: Cesta rozhlasového signálu.....	22
Obrázek 22: Rozložení signálů [3]	23
Obrázek 23: FM frekvence ČRo-Radiožurnál [24]	24
Obrázek 24: Pokrytí ČRo-Radiožurnál z vysílače Topolná [25].....	24
Obrázek 25: Pokrytí ČR signálem DAB [26].....	26
Obrázek 26: Cesta DVB-T [3].....	27
Obrázek 27: Zdrojové kódování a multiplexování [27]	27
Obrázek 28: Pokrytí ČR DVB-T [28].....	29
Obrázek 29: Pokrytí ČR multiplexy 12 a 13 [29].....	30
Obrázek 30: HbbTV rozhraní ČT [30]	31
Obrázek 31: Měřící vůz ČRa	32

Obrázek 32: Směry signálů.....	32
Obrázek 33: Impulsní odezva s rozpadlou SFN sítí (vysílač Radeč je mimo SFN).....	34
Obrázek 34: Impulsní odezva s funkční SFN sítí (s novým head-endem)	34

Seznam tabulek

Tabulka 1: Srovnání MPEG-4 a HEVC	19
Tabulka 2: Srovnání DVB-T a DVB-T2	30

Seznam vzorců

Vzorec 1: Vlnová délka	4
Vzorec 2: Zisk antény.....	9
Vzorec 3: Okamžitá hodnota nosné vlny.....	11
Vzorec 4: Hloubka modulace	12
Vzorec 5: Frekvenční zdvih.....	13
Vzorec 6: Index frekvenční modulace.....	13
Vzorec 7: Dopočet levého a pravého kanálu	24
Vzorec 8: Doba šíření signálu	33
Vzorec 9: Bitová chybovost	33
Vzorec 10: Modulační chybovost.....	33

Seznam příloh

Příloha 1: Výsledky měření
