

# Koncepce systémů pro vysílání digitální televize a rozhlasu, moderní standardy pro vysílání

Ing. Karel Ulovec, Ph.D.

ČVUT, Fakulta elektrotechnická

xulovec@fel.cvut.cz

Tyto podklady k přednášce slouží jako pomůcka pro studenty předmětu B2M37DTRA.  
Žádné jiné využití (zveřejňování, kopírování, apod.) není povoleno bez projednání s autorem!

©



## Koncepce systémů pro vysílání digitální televize a rozhlasu, moderní standardy pro vysílání

Digitální televize DVB

Digitální rozhlas DAB

Digitální rozhlas DRM

Rozšířená témata pro přípravu studentů ke zkoušce ...



# Digitální televize

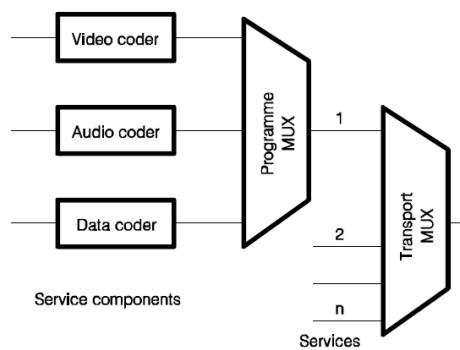
## – DVB, Digital Video Broadcasting



## Digitální televize

### DVB – Digital Video Broadcasting

- Standard pro digitální přenos TV
- Prvá generace vyvíjena od r. 1991
- Zdrojové kódování
  - Zvuk – MPEG Layer 2 (typická hodnota rychlosti datového toku po kompresi 192 kb/s)
  - Obraz – MPEG2 (typická hodnota rychlosti datového toku po kompresi 4 Mb/s)
  - Programový multiplex (MUX) = MUX zvukových, odrazových a dodatečných dat patříci jednomu TV programu
  - Transportní MUX = MUX několika programových MUXů



MPEG-2  
Source coding and multiplexing

[www.etsi.org: EN 300 421]



## Digitální televize

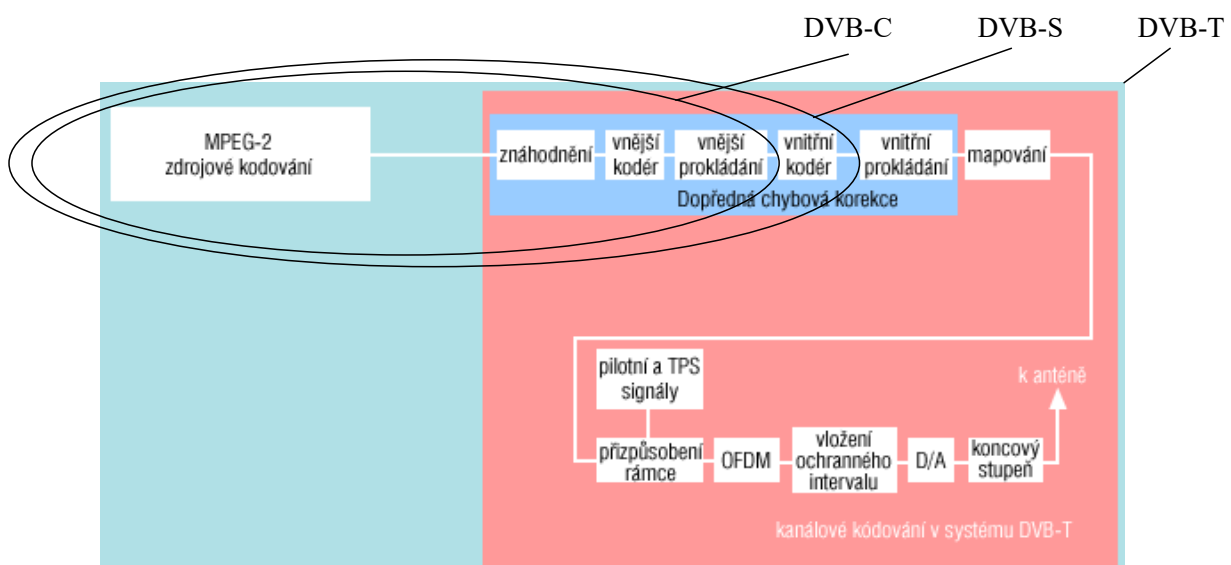
DVB – různé verze systému podle přenosového kanálu

- Satelitní – DVB-S (Satellite)
  - ETSI standard v r. 1993
  - Značný útlum šířením signálu přes družici (36 tis. km nad povrchem Země)
  - Nízké příkony na družici, účinné (nelineární) koncové stupně
  - Při satelitním spoji se uvažují směrové spoje (za použití parabolických antén je signál soustředěn do velmi úzkého svazku)
  - Relativně velký kmitočtový prostor v satelitních pásmech
- Kabelový – DVB-C (Cable)
  - ETSI standard v r. 1994
  - Kvalitní (správně přizpůsobený) kabelový spoj – koaxiální kabel ale také optické vlákno
- Terestrický – DVB-T (Terrestrial)
  - ETSI standard v r. 1995
  - Nejvíce rušené přenosové prostředí
  - Uvažují se odražené signály
  - Jediný způsob pro skutečně mobilní příjem



## Digitální televize

DVB – vyznačení společných bloků pro -S, -C a -T (prvá generace)



DVB – možnost dvou různých zabezpečení částí datového toku (High / Low Priority stream)

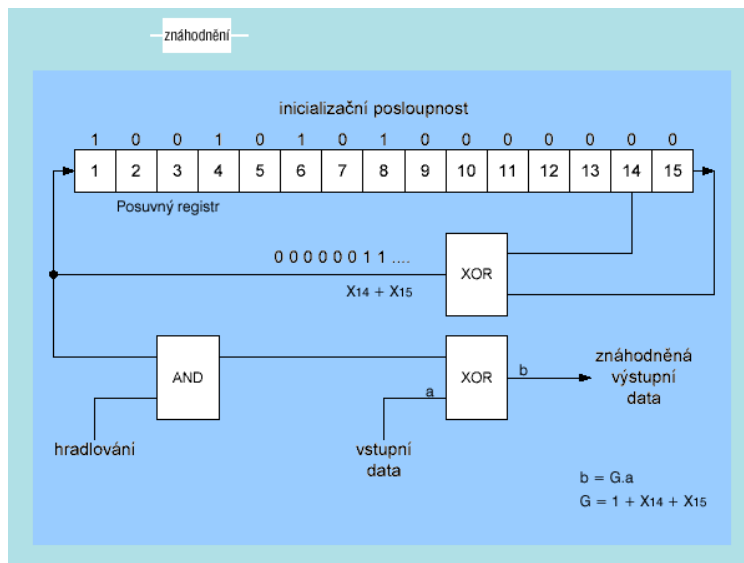
- Hierarchická modulace (16QAM nebo 64QAM;  $\alpha = 1, 2$  nebo 4)
- Různé kódové poměry



## Digitální televize

DVB – znáhodnění signálu

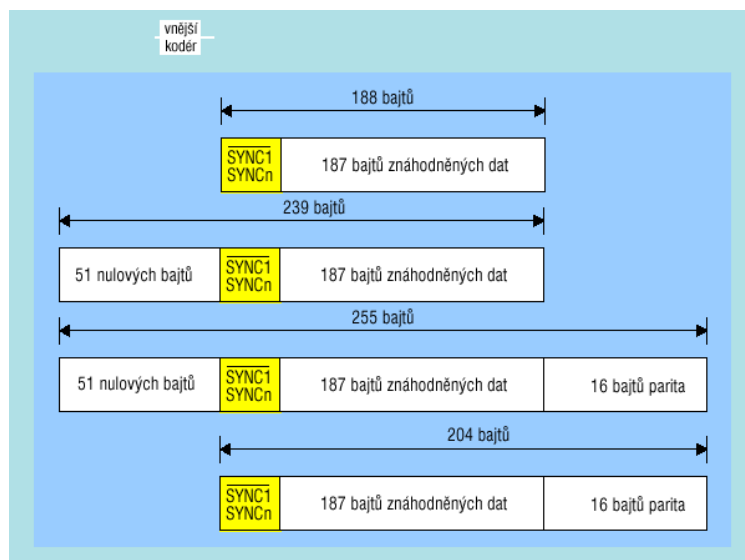
- Společné pro -S, -C a -T
- Zamezení dlouhé sekvence jedniček nebo nul



## Digitální televize

DVB – vnější ochranné kódování

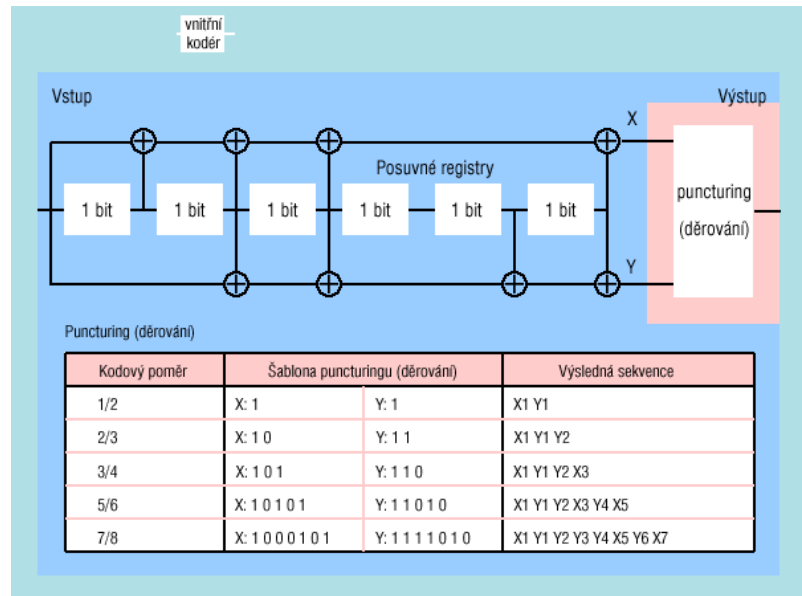
- Společné pro -S, -C a -T
- Reed-Solomonův kód (zkrácený cyklický kód, po bajtech)
- 188 vstupních a 204 výstupních bajtů, přidáno 16 kontrolních bajtů
- Opravit lze až 16/2 bajtů (bez ohledu na počet chybných bitů v chybném bajtu)



## Digitální televize

### DVB-S, DVB-T – vnitřní ochranné kódování

- Konvoluční kód (po bitech) – 2 výstupní větve z kodéru
- Možné hodnoty kódového poměru (po punkturování): 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 nebo 7/8



## Digitální televize

### DVB-T – modulace

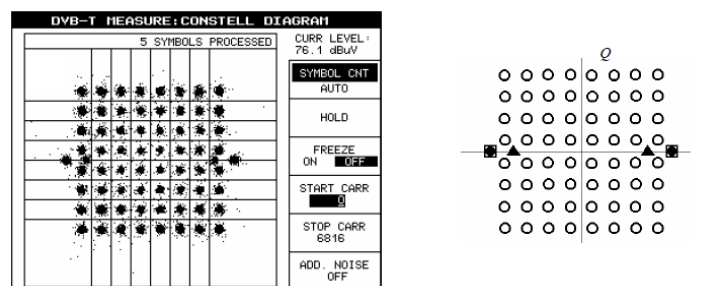
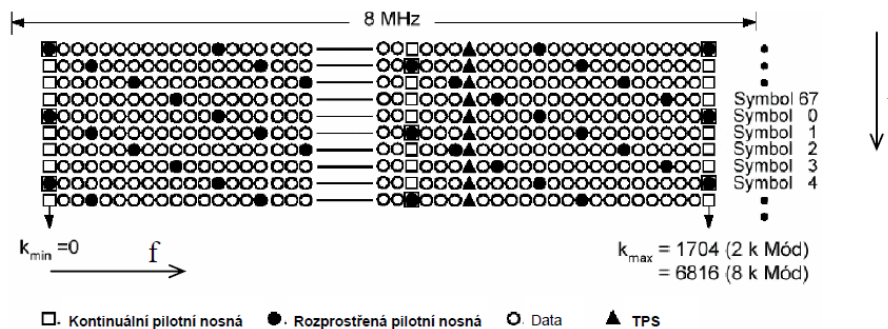
- OFDM
- Mapování
  - Stavby modulace všech nosných vln (komplexní čísla pro výpočet OFDM signálu)
  - Datové nosné vlny
    - 64-QAM (nejvyšší užitečný datový tok), 16-QAM (nižší užitečný datový tok, odolnější) nebo QPSK (nejodolnější, nejnižší užitečný datový tok) ... **vždy nutno dodat „v rámci modulačního formátu OFDM“, zkráceně možno použít např. „OFDM/64-QAM“**
    - Přenos obrazových, zvukových a případně doplňkových dat
    - 1512 v módu 2k a 6048 v módu 8k
  - Pilotní signály
    - Nemodulované (s vyšším výkonem 16/9), 2 možné hodnoty fáze 0 a 180 st. (dle PRBS)
    - Odhad stavu kanálu (reference fáze), AFC (frekvenční synchronizace)
    - Nosné vlny se stálou pozicí (kontinuální, 45 v módu 2k a 177 v módu 8k) a nosné sloužící alternativně i jako datové nosné vlny (rozptýlené či rozprostřené), každá 12. (o 3 se posouvá) pozice
  - TPS (Transmission Parameter Signalling) signály
    - Modulovány DBPSK (diferenciální dvoustavová PSK)
    - Informace o modulaci datových nosných vln, o hodnotě ochranného intervalu, o zvolené hodnotě kódového poměru konvolučního kodéru, o vysílacím módu a o číslu rámce (v jednom symbolu nesou všechny TPS vlny stejnou informaci – 1 bit TPS sekvence, celá sekvence má 68 bitů)
    - 17 v módu 2k a 68 v módu 8k



## Digitální televize

### DVB-T – modulace

- Mapování – nahoře: rozmístění různých typů nosných vln v čase (symboly) a frekvenci (index „k“ nosné vlny); dole: konstelační diagramy (sjednocení přes všechny nosné vlny při modulaci datových nosných vln 64-QAM)



## Digitální televize

### DVB-T – modulace

- OFDM
  - Dva módy 2K ( $N = 1705$  nosných vln) a 8K ( $N = 6817$  nosných vln), v DVB-H (Handheld) také mód 4K
  - Ochranný interval  $1/4$ ,  $1/8$ ,  $1/16$  nebo  $1/32$  (např. pro 8 MHz kanál a mód 8K max.  $224 \mu s$ )
  - Užitečná část  $T_u = 224 \mu s$  v módu 2K a  $896 \mu s$  v módu 8K (pro šířku kanálu 8 MHz)
  - Šířka kanálu 6, 7, nebo 8 MHz (5 MHz jako dodatečná příloha normy)

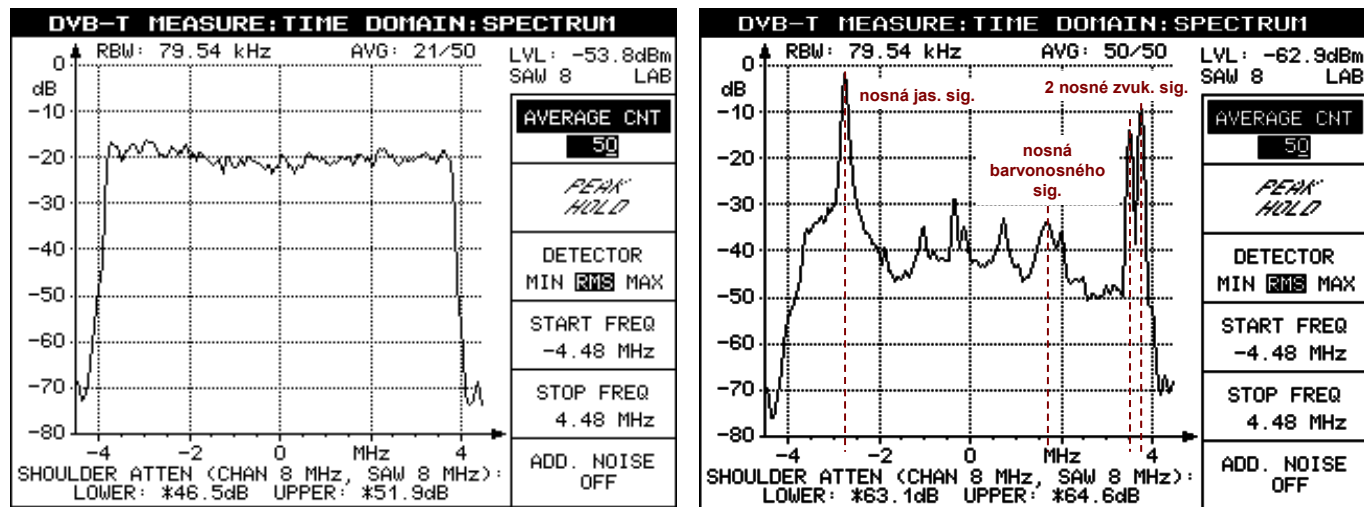
### DVB-T – příklady kmitočtu a šířky pásma VF signálu

- III. TV pásmo (174 až 230 MHz), IV. a V. (474 až 860 MHz), stejné kanály jako dříve pro terestrickou analogovou TV
- Šířka kanálu obvykle 7 MHz pro III. TV pásmo, 8 MHz pro IV. a V. TV pásmo
- Šířka pásma signálu např. pro 8 MHz kanál  $B = (N-1)\Delta f = 7.607 \text{ MHz}$



## Digitální televize

DVB-T – porovnání spektra reálného signálu DVB-T se spektrem signálu zemské analogové TV



## Digitální televize

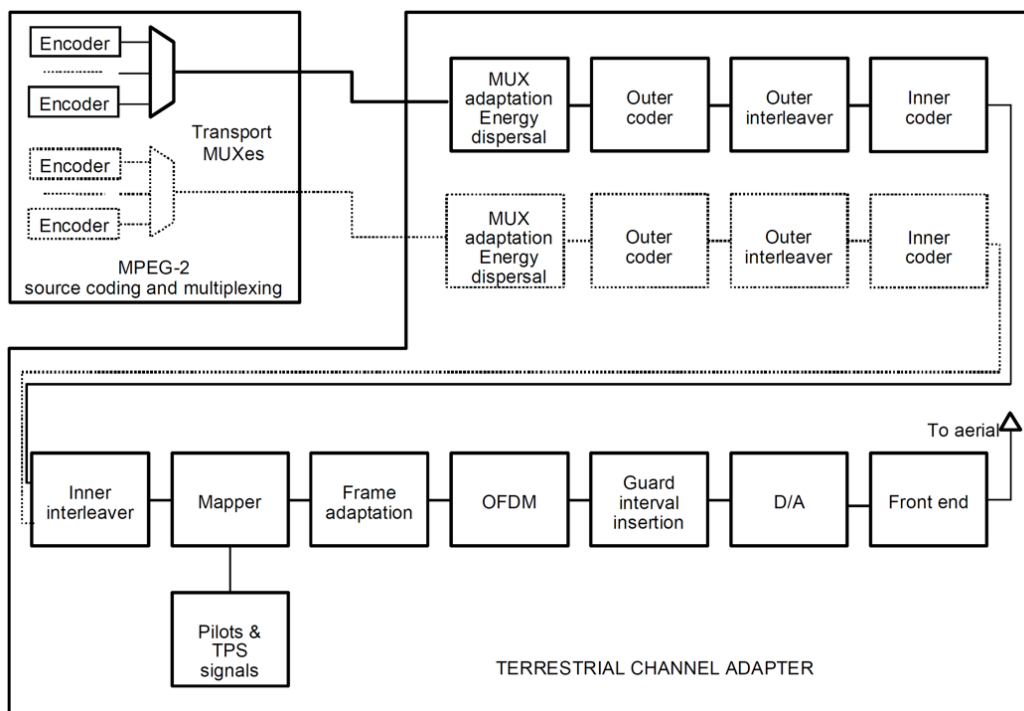
DVB-T – užitečné přenosové rychlosti v Mbit/s (kanál 8 MHz):

| modu-<br>lace | kód.<br>po-<br>měr | ochr. int.<br>1/4 | ochr. int.<br>1/8 | ochr. int.<br>1/16 | ochr. int.<br>1/32 |
|---------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| QPSK          | 1/2                | 4,98              | 5,53              | 5,85               | 6,03               |
| QPSK          | 2/3                | 6,64              | 7,37              | 7,81               | 8,04               |
| QPSK          | 3/4                | 7,46              | 8,29              | 8,78               | 9,05               |
| QPSK          | 5/6                | 8,29              | 9,22              | 9,76               | 10,05              |
| QPSK          | 7/8                | 8,71              | 9,68              | 10,25              | 10,56              |
| 16-QAM        | 1/2                | 9,95              | 11,06             | 11,71              | 12,06              |
| 16-QAM        | 2/3                | 13,27             | 14,75             | 15,61              | 16,09              |
| 16-QAM        | 3/4                | 14,93             | 16,59             | 17,56              | 18,10              |
| 16-QAM        | 5/6                | 16,59             | 18,43             | 19,52              | 20,11              |
| 16-QAM        | 7/8                | 17,42             | 19,35             | 20,49              | 21,11              |
| 64-QAM        | 1/2                | 14,93             | 16,59             | 17,56              | 18,10              |
| 64-QAM        | 2/3                | 19,91             | 22,12             | 23,42              | 24,13              |
| 64-QAM        | 3/4                | 22,39             | 24,88             | 26,35              | 27,14              |
| 64-QAM        | 5/6                | 24,88             | 27,65             | 29,27              | 30,16              |
| 64-QAM        | 7/8                | 26,13             | 29,03             | 30,74              | 31,67              |



## Digitální televize

### DVB-T – koncepční schéma podle normy



[www.etsi.org: EN 300 744]



## Digitální televize

### DVB-S – modulace

- QPSK (jediná nosná vlna)
  - Modulační impuls typu SqRRC,  $\alpha = 0.35$
  - Šířka kanálu 26 až 54 MHz
- Rychlosti datového toku
  - Užitečná rychlost do 68 Mb/s
  - Příklad pro kanál široký 33 MHz v závislosti na kódovém poměru – „after MUX“ označuje užitečnou rychlost datového toku

| Bit Rate $R_u$<br>(after MUX)<br>[Mbit/s] | Bit Rate $R'_u$<br>(after RS)<br>[Mbit/s] | Symbol<br>Rate<br>[Mbaud] | Convolut.<br>Inner<br>Code Rate | RS<br>Outer<br>Code Rate | C/N<br>(33 MHz)<br>[dB] |
|---|---|---------------------------|---------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 23,754                                    | 25,776                                    | 25,776                    | 1/2                             | 188/204                  | 4,1                     |
| 31,672                                    | 34,368                                    | 25,776                    | 2/3                             | 188/204                  | 5,8                     |
| 35,631                                    | 38,664                                    | 25,776                    | 3/4                             | 188/204                  | 6,8                     |
| 39,590                                    | 42,960                                    | 25,776                    | 5/6                             | 188/204                  | 7,8                     |
| 41,570                                    | 45,108                                    | 25,776                    | 7/8                             | 188/204                  | 8,4                     |

[www.etsi.org: EN 300 421]

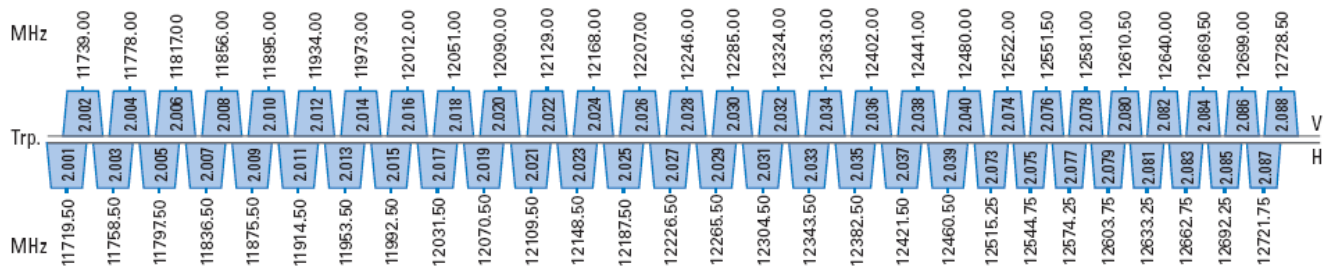




## Digitální televize

### DVB-S – příklady kmitočtu a šířky pásma VF signálu

- Jednotky až desítky GHz, stejná pásma jako dříve satelitní analogová TV
- Šířka pásma 26 až 54 MHz
- Příklad využití pásma 11 GHz / 12 GHz:



[www.ses-astra.com]

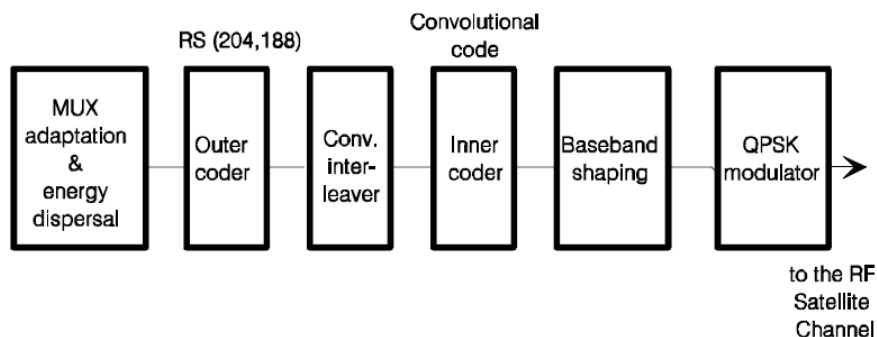
### DVB-S2 – 2. generace satelitní verze systému DVB

- Vychází z DVB-S, ETSI standard v r. 2005
- QPSK, 8-PSK, 16-APSK, 32-APSK (zůstává modulace s jedinou nosnou vlnou)
- Zdrojové kódování – MPEG-4 AVC (cca 2x vyšší účinnost)
- Kvalitnější ochranné kódování – o více než 30 % vyšší užitečný datový tok
  - Vnitřní – LDPC, vnější – BCH
- HDTV, distribuce tv signálu k pozemním vysílačům, přenosy point-to-point (zpravodajství)



## Digitální televize

### DVB-S – koncepční schéma podle normy



[www.etsi.org: EN 300 421]

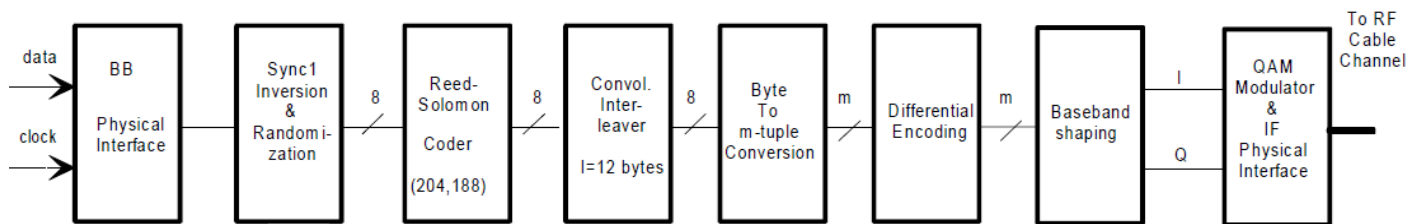


## Digitální televize

### DVB-C – modulace

- Diferenciální QAM (jediná nosná vlna)
  - 16, 32, 64, 128 nebo 256-QAM (max. 64-QAM – koax, max. 256-QAM – optický kabel)
  - Modulační impuls typu SqRRC,  $\alpha = 0.15$
  - Šířka kanálu 2, 4 nebo 8 MHz
- Datový tok např. 38 Mb/s pro 8 MHz kanál a 64-QAM

### DVB-C – koncepční schéma podle normy



[www.etsi.org: EN 300 429]



## Digitální televize

### DVB-T2 – 2. generace terestrické verze systému DVB

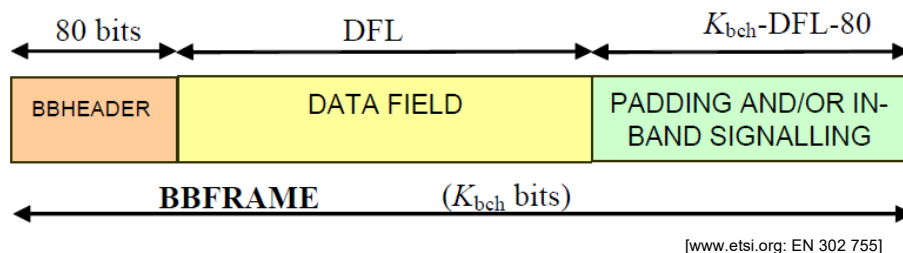
- Oproti DVB-T podstatně složitější a mnohem více variabilnější
- ETSI standard
  - První verze v r. 2009 (1.1.1)
  - Verze v r. 2012 (1.3.1) – podstatné změny:
    - Zaveden zjednodušený profil, T2-Lite, především pro mobilní příjem (na přijímačích s jednodušší konstrukcí) s nízkými datovými toky – pouze některé kombinace parametrů a robustnější protichybové zabezpečení
    - Předchozí kombinace parametrů ... profil T2-base
- Zdrojové kódování – využití moderních kompresních algoritmů (H.264/AVC MPEG-4, H.265/HEVC)
- Kvalitnější ochranné kódování – o více než 30 % vyšší užitečný datový tok
  - Vnitřní – LDPC, vnější – BCH
  - Také složitější prokládání
- Možno přenášet libovolný datový tok



## Digitální televize

### DVB-T2 – logické kanály datového toku

- Základní jednotkou dat je datový rámec BBFRAME (délka závisí na volbě protichybového zabezpečení)
- Možno přenášet jediný (Input Mode A) nebo více (Input Mode B) logických kanálů tzv. PLP (Physical Layer Pipe); existují různé formáty a módy PLP kanálů
- V každém PLP může být jeden nebo více programů
- Každý PLP může využít vlastní volbu modulace a protichybového zabezpečení (lze kombinovat i T2-base a T2-lite)
- Lze realizovat time slicing a time-frequency slicing
  - time slicing – data určitého programu se vysílají během kratších intervalů v každém rámci
  - time-frequency slicing – navíc jen v určité kmitočtové části



## Digitální televize

### DVB-T2 – logické kanály datového toku

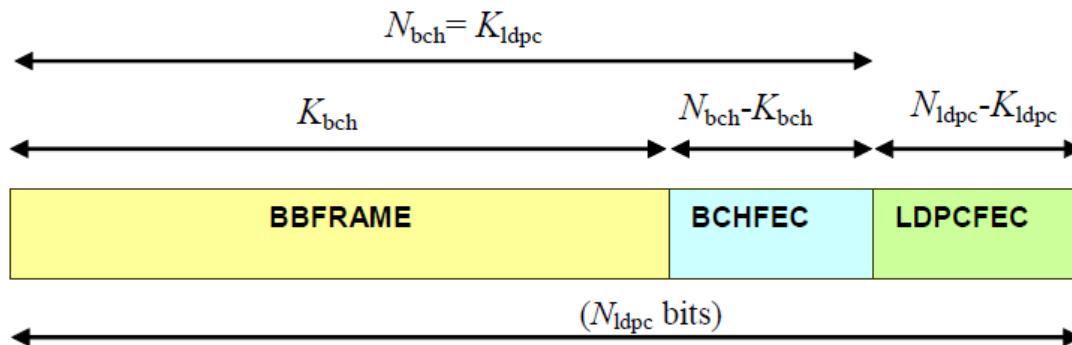
- Formáty PLP kanálů (vstupní formáty)
  - Transport Stream (TS) – transportní tok (MPEG2), paket délky 188 B (DVB-T používá TS)
  - Generic Stream Encapsulated (GSE) – tok s proměnnou nebo pevnou délkou paketu
  - Generic Fixed-length Packetized Stream (GFPS) – tok s pevnou délkou paketu; kompatibilní s DVB-S2
  - Generic Continuous Stream (GCS) – tok s proměnnou délkou paketu, v modulátoru nejsou známy hranice paketů
  - Další úpravy vstupního toku
    - Pro možnost precizního přenosu s konstantním časováním a pro dodržení konstantního zpoždění slouží synchronizátor vstupního toku (Input Stream Synchronization)
    - Odstranění nulových paketů v MPEG2 transportním toku (Null Packet Deletion) – při požadavku na konstantní přenosovou rychlost jsou vkládány nulové pakety do TS, jejich přenos je zbytečný, v přijímači mohou být opět vloženy
- Typy PLP kanálů
  - Společný (common) – PLP kanály v jediné skupině buněk (sub-slice) v T2 rámci (za L1 signalizací); obsahující data sdílená více službami (např. programový průvodce)
  - Typ 1 (type 1 PLP) – PLP kanály v jediné skupině buněk v T2 rámci (před PLP kanály typu 2) ... například pro případ jediného PLP (Input Mode A) pro jediný TS multiplex
  - Typ 2 (type 2 PLP) – PLP kanály ve dvou či více (až 6480) skupinách buněk v T2 rámci (za PLP typu 1)
- Při více PLP je flexibilnější time-slicing a hlubší časové prokládání (70 ms vs. až 250 ms)



## Digitální televize

### DVB-T2 – protichybové zabezpečení

- Dvě úrovně
  - Vnější kódování – blokové protichybové cyklické kódování BCH; vstupují jednotlivé rámce BBFRAME
  - Vnitřní kódování – blokové protichybové kódování LDPC a bitové prokládání; vystupují rámce FECFRAME
- FECFRAME skupina bitů délky  $N_{ldpc}$  – dvě možnosti délky:
  - Normální rámec ... 64800 bitů
  - Krátký rámec ... 16200 bitů
- Kódový poměr LDPC =  $K_{ldpc} / N_{ldpc}$



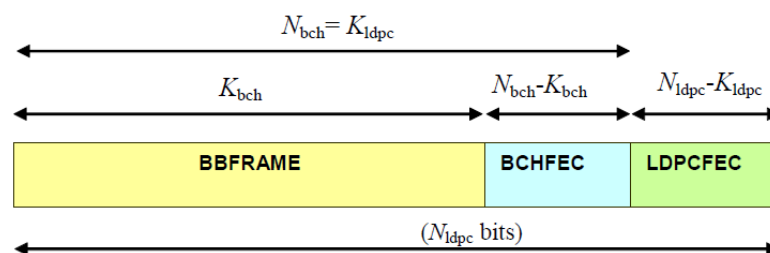
[www.etsi.org: EN 302 755]



## Digitální televize

### DVB-T2 – protichybové zabezpečení

- Hodnoty kódového poměru LDPC pro normální FECFRAME



| LDPC Code | BCH Uncoded Block $K_{bch}$ | BCH coded block $N_{bch}$<br>LDPC Uncoded Block $K_{ldpc}$ | BCH t-error correction | $N_{bch} - K_{bch}$ | LDPC Coded Block $N_{ldpc}$ |
|-----------|-----------------------------|--|------------------------|---------------------|-----------------------------|
| 1/2       | 32 208                      | 32 400   | 12                     | 192                 | 64 800                      |
| 3/5       | 38 688                      | 38 880   | 12                     | 192                 | 64 800                      |
| 2/3       | 43 040                      | 43 200   | 10                     | 160                 | 64 800                      |
| 3/4       | 48 408                      | 48 600   | 12                     | 192                 | 64 800                      |
| 4/5       | 51 648                      | 51 840   | 12                     | 192                 | 64 800                      |
| 5/6       | 53 840                      | 54 000   | 10                     | 160                 | 64 800                      |

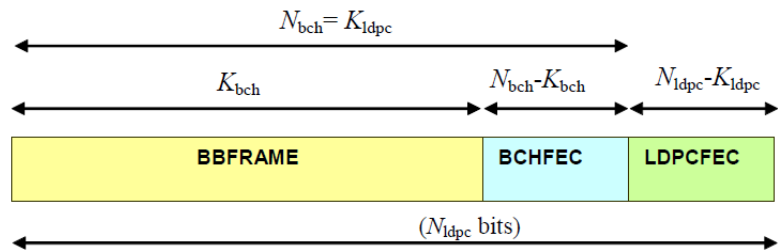
[www.etsi.org: EN 302 755]



## Digitální televize

### DVB-T2 – protichybové zabezpečení

- Hodnoty kódového poměru LDPC pro krátký FECFRAME
- Skutečná hodnota (Effective LDPC rate) se pro některé volby liší od nominální signalizované (LDPC Code identifier)



| LDPC Code identifier | BCH Uncoded Block $K_{bch}$ | BCH coded block $N_{bch}$<br>LDPC Uncoded Block $K_{ldpc}$ | BCH t-error correction | $N_{bch} - K_{bch}$ | Effective LDPC Rate $K_{ldpc}/16\,200$ | LDPC Coded Block $N_{ldpc}$ |
|----------------------|-----------------------------|--|------------------------|---------------------|--|-----------------------------|
| 1/4 (see note)       | 3 072                       | 3 240  | 12                     | 168                 | 1/5                                    | 16 200                      |
| 1/2                  | 7 032                       | 7 200  | 12                     | 168                 | 4/9                                    | 16 200                      |
| 3/5                  | 9 552                       | 9 720  | 12                     | 168                 | 3/5                                    | 16 200                      |
| 2/3                  | 10 632                      | 10 800   | 12                     | 168                 | 2/3                                    | 16 200                      |
| 3/4                  | 11 712                      | 11 880   | 12                     | 168                 | 11/15                                  | 16 200                      |
| 4/5                  | 12 432                      | 12 600   | 12                     | 168                 | 7/9                                    | 16 200                      |
| 5/6                  | 13 152                      | 13 320   | 12                     | 168                 | 37/45                                  | 16 200                      |

NOTE: This code rate is only used for protection of L1-pre signalling and not for data.

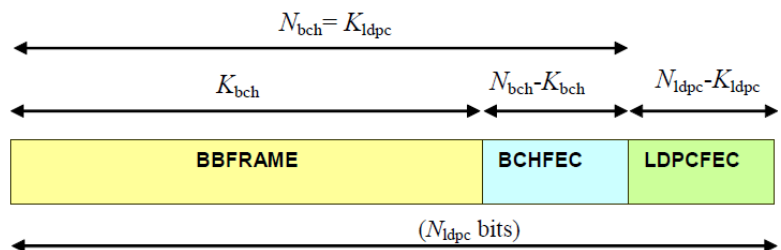
[www.etsi.org: EN 302 755]



## Digitální televize

### DVB-T2 – protichybové zabezpečení

- Hodnoty kódového poměru LDPC pro krátký FECFRAME T2-Lite
- Skutečná hodnota (Effective LDPC rate) se pro některé volby liší od nominální signalizované (LDPC Code identifier)



| LDPC Code identifier | BCH Uncoded Block $K_{bch}$ | BCH coded block $N_{bch}$<br>LDPC Uncoded Block $K_{ldpc}$ | BCH t-error correction | $N_{bch} - K_{bch}$ | Effective LDPC Rate $K_{ldpc}/16\,200$ | LDPC Coded Block $N_{ldpc}$ |
|----------------------|-----------------------------|--|------------------------|---------------------|--|-----------------------------|
| 1/4 (see note)       | 3 072                       | 3 240  | 12                     | 168                 | 1/5                                    | 16 200                      |
| 1/3                  | 5 232                       | 5 400  | 12                     | 168                 | 1/3                                    | 16 200                      |
| 2/5                  | 6 312                       | 6 480  | 12                     | 168                 | 2/5                                    | 16 200                      |
| 1/2                  | 7 032                       | 7 200  | 12                     | 168                 | 4/9                                    | 16 200                      |
| 3/5                  | 9 552                       | 9 720  | 12                     | 168                 | 3/5                                    | 16 200                      |
| 2/3                  | 10 632                      | 10 800   | 12                     | 168                 | 2/3                                    | 16 200                      |
| 3/4                  | 11 712                      | 11 880   | 12                     | 168                 | 11/15                                  | 16 200                      |

NOTE: This code rate is only used for protection of L1-pre signalling and not for data.

[www.etsi.org: EN 302 755]

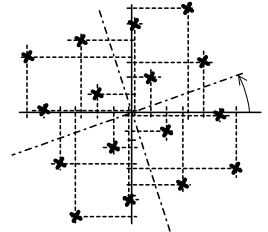


## Digitální televize

### DVB-T2 – modulace

- OFDM
- Mapování
  - QPSK, 16-QAM, 64-QAM nebo 256-QAM (signalizace nepoužívá 256-QAM a navíc používá BPSK)
- Konstelace s rotací (volitelné)
  - Pootočení konstelačního diagramu
  - Cyklické zpoždění hodnot Q složky v bloku FEC
  - Pouze pro PLP (ne v signalizaci)

| Modulace datových dílčích nosných vln | QPSK | 16QAM | 64QAM | 256QAM |
|---------------------------------------|------|-------|-------|--------|
| Úhel natočení [°]                     | 29   | 16,8  | 8,6   | 3,6    |



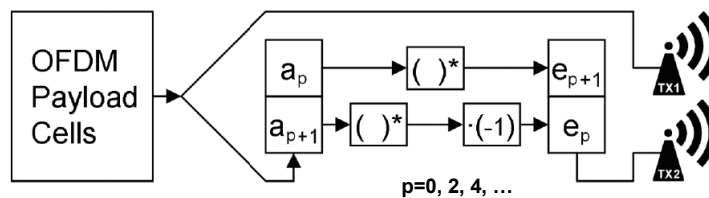
### DVB-T2 – vkládání pilotních buněk

- Rozprostřené (scattered), stálé (continual), na okraji spektra (edge), v posledním symbolu rámce (frame-closing)
- 8 možných vzorů rozložení pilotních buněk PP (Pilot Pattern)
- Jiné vzory rozložení (viz dále) při užití techniky MISO-SFN

## Digitální televize

### DVB-T2 – Technika MISO-SFN (Multiple Input, Single Output; Single Frequency Network)

- Signál systému DVB-T2 může být vyslán technikou MISO ze dvou vysílačů (ze dvou skupin vysílačů) na jednu přijímací anténu (předpokládá se příjem na jedinou anténu, obecně lze užít libovolný počet přijímacích antén) na stejném kmitočtu v rámci jednofrekvenční sítě SFN
- Použito Alamoutiho kódování – princip viz obr.
  - Signál pro druhý vysílač (pro druhou skupinu vysílačů) je modifikován  
( $\cdot$ ) $^*$  znamená operaci komplexně sdružené číslo  
 $a_p$  představuje buňku  $a$  OFDM symbolu s indexem  $p$



[www.etsi.org: EN 302 755]

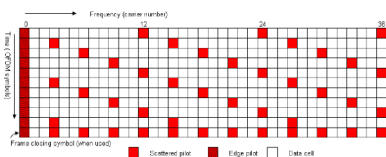
- V přijímači lze využít optimální kombinaci obou signálů (analogie diverzifikačního příjmu), nutno provádět dvojité odhad vlivu kanálu a Alamoutiho dekódování (jako na vysílací straně & „MIMO“ matice kanálu)
- Pro MISO jsou předepsána rozložení pilotních nosných pro obě skupiny vysílačů – viz dále příklad
- Oproti (standardní) SFN přináší MISO-SFN vylepšení příjmu v oblastech, kde je stejná vzdálenost k oběma vysílačům a tedy hrozí odečtení obou příspěvků pro příjem (signály pro dvě skupiny vysílačů MISO nejsou totožné a tudíž nedochází k silným únikům)

## Digitální televize

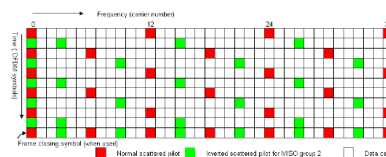
### DVB-T2 – vkládání pilotních buněk

- Rozložení rozprostřených pilotních buněk PPx (Pilot Pattern) pro prvních 37 resp. 49 nosných vln

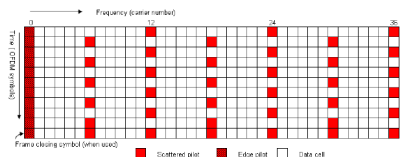
PP1



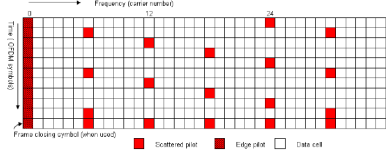
PP1-MISO (jeden příklad z 8 možných)



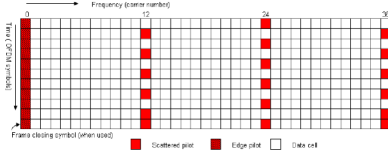
PP2



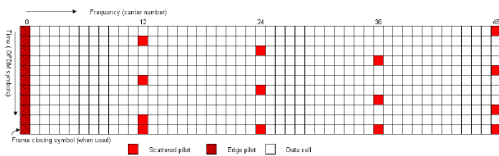
PP3



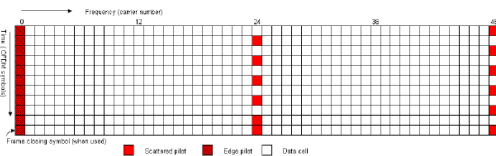
PP4



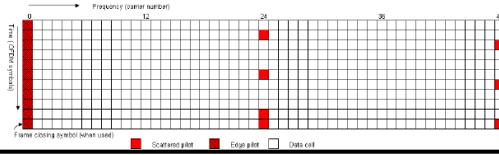
PP5



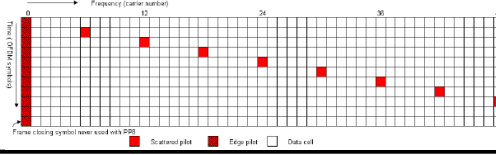
PP6



PP7



PP8



EN 302 755]



## Digitální televize

### DVB-T2 – parametry OFDM

- 6 možných hodnot nominální šířky pásma [MHz]: 1,7, 5, 6, 7, 8, 10 (10 MHz není povinné pro domácí přijímače)
- 6 možných voleb módu FFT (FFT size): 1K, 2K, 4K, 8K, 16K, 32K
- 7 možných poměrů ochranného intervalu
  - Pouze některé možné kombinace vs. módy FFT
  - Hodnoty délky trvání ochranného intervalu [ $\mu$ s] při volbě 8 MHz nominální šířky pásma:

| FFT size | Guard-interval fraction |      |      |        |     |        |     |
|----------|-------------------------|------|------|--------|-----|--------|-----|
|          | 1/128                   | 1/32 | 1/16 | 19/256 | 1/8 | 19/128 | 1/4 |
| 32 K     | 28                      | 112  | 224  | 266    | 448 | 532    | N/A |
| 16 K     | 14                      | 56   | 112  | 133    | 224 | 266    | 448 |
| 8 K      | 7                       | 28   | 56   | 66.5   | 112 | 133    | 224 |
| 4 K      | N/A                     | 14   | 28   | N/A    | 56  | N/A    | 112 |
| 2 K      | N/A                     | 7    | 14   | N/A    | 28  | N/A    | 56  |
| 1 K      | N/A                     | N/A  | 7    | N/A    | 14  | N/A    | 28  |

... max. hodnota 532  $\mu$ s (2,375x větší než v DVB-T)

[www.dvb.org: DVB BlueBook A133]





## Digitální televize

### DVB-T2 – parametry OFDM

- Celkový počet aktivních nosných vln  $K_{\text{total}}$
- Trvání užitečné části OFDM symbolu  $T_U$  v  $\mu\text{s}$  (Duration  $T_U$ )
- Rozestup nosných vln  $\Delta f = 1/T_U$  (Carrier spacing)
- Šířka pásma signálu (Spacing between carriers  $K_{\text{min}}$  a  $K_{\text{max}}$ ) – rozšířený mód pro 8K, 16K a 32K

| Parameter   |                       | 1K mode  | 2K mode  | 4K mode  | 8K mode  | 16K mode | 32K mode |
|---|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Number of carriers $K_{\text{total}}$   | normal carrier mode   | 853      | 1 705    | 3 409    | 6 817    | 13 633   | 27 265   |
|   | extended carrier mode | NA       | NA       | NA       | 6 913    | 13 921   | 27 841   |
| Value of carrier number $K_{\text{min}}$  | normal carrier mode   | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
|   | extended carrier mode | NA       | NA       | NA       | 0        | 0        | 0        |
| Value of carrier number $K_{\text{max}}$  | normal carrier mode   | 852      | 1 704    | 3 408    | 6 816    | 13 632   | 27 264   |
|   | extended carrier mode | NA       | NA       | NA       | 6 912    | 13 920   | 27 840   |
| Number of carriers added on each side in extended carrier mode $K_{\text{ext}}$ (see note 2)            |                       | 0        | 0        | 0        | 48       | 144      | 288      |
| Duration $T_U$  |                       | 1 024T   | 2 048T   | 4 096T   | 8 192T   | 16 384T  | 32 768T  |
| Duration $T_U$ $\mu\text{s}$ (see note 3)   |                       | 112      | 224      | 448      | 896      | 1 792    | 3 584    |
| Carrier spacing $1/T_U$ (Hz) (see notes 1 and 2)  |                       | 8 929    | 4 464    | 2 232    | 1 116    | 558      | 279      |
| Spacing between carriers $K_{\text{min}}$ and $K_{\text{max}}$ ( $K_{\text{total}}-1)/T_U$ (see note 3) | normal carrier mode   | 7,61 MHz | 7,61 MHz | 7,61 MHz | 7,61 MHz | 7,61 MHz | 7,61 MHz |
|   | extended carrier mode | NA       | NA       | NA       | 7,71 MHz | 7,77 MHz | 7,77 MHz |

NOTE 1: Numerical values in italics are approximate values.  
NOTE 2: This value is used in the definition of the pilot sequence in both normal and extended carrier mode.  
NOTE 3: Values for 8 MHz channels.

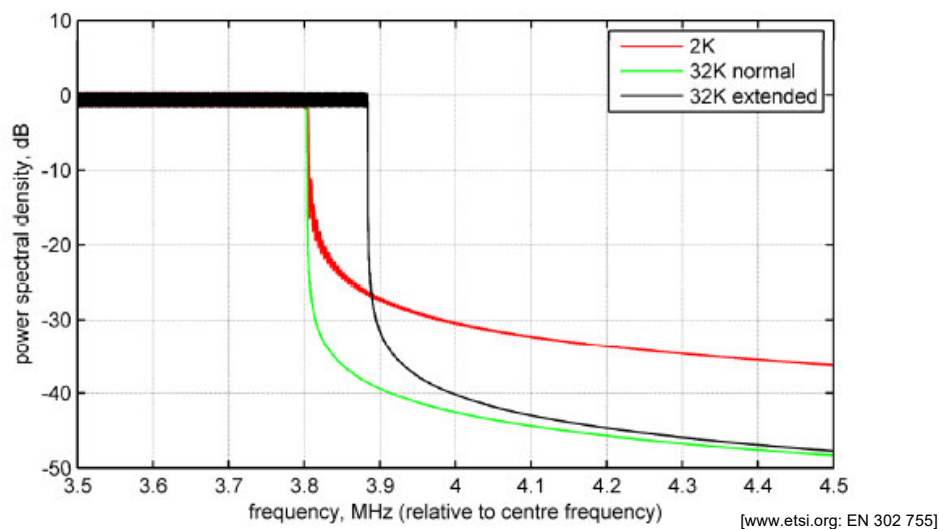
[etsi.org: EN 302 755]



## Digitální televize

### DVB-T2 – teoretické spektrum signálu

- Příklad pro nominální šířku 8 MHz
- Pouze část spektra okolo poslední nosné vlny
- Velké rozměry FFT ... rychleji klesá nežádoucí vyzařování (důležité pro módy s rozšířenou šířkou pásma)





## Digitální televize

DVB-T2 – příklady hodnot bitové rychlosti při nastavení pro maximální rychlost a při optimálním nastavení (pro šířku kanálu 8 MHz, mód 32K a pro pilotní nosné PP7)

| Modulation | Code rate | Absolute maximum bit-rate |                    |                      | Recommended configuration |                    |                      |
|------------|-----------|---------------------------|--------------------|----------------------|---------------------------|--------------------|----------------------|
|            |           | Bitrate Mbit/s            | Frame length $L_F$ | FEC blocks per frame | Bitrate Mbit/s            | Frame length $L_F$ | FEC blocks per frame |
| QPSK       | 1/2       | 7,49255                   | 62                 | 52                   | 7,4442731                 | 60                 | 50                   |
|            | 3/5       | 9,003747                  |                    |                      | 8,9457325                 |                    |                      |
|            | 2/3       | 10,01867                  |                    |                      | 9,9541201                 |                    |                      |
|            | 3/4       | 11,27054                  |                    |                      | 11,197922                 |                    |                      |
|            | 4/5       | 12,02614                  |                    |                      | 11,948651                 |                    |                      |
|            | 5/6       | 12,53733                  |                    |                      | 12,456553                 |                    |                      |
| 16-QAM     | 1/2       | 15,03743                  | 60                 | 101                  | 15,037432                 | 60                 | 101                  |
|            | 3/5       | 18,07038                  |                    |                      | 18,07038                  |                    |                      |
|            | 2/3       | 20,10732                  |                    |                      | 20,107323                 |                    |                      |
|            | 3/4       | 22,6198                   |                    |                      | 22,619802                 |                    |                      |
|            | 4/5       | 24,13628                  |                    |                      | 24,136276                 |                    |                      |
|            | 5/6       | 25,16224                  |                    |                      | 25,162236                 |                    |                      |
| 64-QAM     | 1/2       | 22,51994                  | 46                 | 116                  | 22,481705                 | 60                 | 151                  |
|            | 3/5       | 27,06206                  |                    |                      | 27,016112                 |                    |                      |
|            | 2/3       | 30,11257                  |                    |                      | 30,061443                 |                    |                      |
|            | 3/4       | 33,87524                  |                    |                      | 33,817724                 |                    |                      |
|            | 4/5       | 36,1463                   |                    |                      | 36,084927                 |                    |                      |
|            | 5/6       | 37,68277                  |                    |                      | 37,618789                 |                    |                      |
| 256-QAM    | 1/2       | 30,08728                  | 68                 | 229                  | 30,074863                 | 60                 | 202                  |
|            | 3/5       | 36,15568                  |                    |                      | 36,140759                 |                    |                      |
|            | 2/3       | 40,23124                  |                    |                      | 40,214645                 |                    |                      |
|            | 3/4       | 45,25828                  |                    |                      | 45,239604                 |                    |                      |
|            | 4/5       | 48,29248                  |                    |                      | 48,272552                 |                    |                      |
|            | 5/6       | 50,34524                  |                    |                      | 50,324472                 |                    |                      |

[www.dvb.org: DVB BlueBook A133]



## Digitální televize

DVB-T2 – porovnání důležitých parametrů s DVB-T

|  | DVB-T                           | DVB-T2  |
|--|---------------------------------|---|
| FEC  | <b>Konvoluční kódování + RS</b> | <b>LDPC + BCH</b>   |
| Kódový poměr   | 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, <b>7/8</b>  | 1/2, <b>3/5</b> , 2/3, 3/4, <b>4/5</b> , 5/6  |
| Módy FFT   | 2K, 8K                          | <b>1K</b> , 2K, <b>4K</b> , 8K, <b>16K</b> , <b>32K</b>                                       |
| Modulace datových nosných                                  | OFDM / QPSK, 16QAM, 64QAM       | OFDM / QPSK, 16QAM, 64QAM, <b>256QAM</b>  |
| Možné šířky kanálu [MHz]                                   | 6, 7, 8                         | <b>1.7</b> , <b>5</b> , 6, 7, 8, <b>10</b>  |
| Ochranný interval: $\Delta T / T_u$                        | 1/4, 1/8, 1/16, 1/32            | 1/4, <b>19/128</b> , 1/8, <b>19/256</b> , 1/16, 1/32, <b>1/128</b>                            |
| Obsazení pilotními nosnými – kontinuálními; rozprostřenými | <b>2.6 %</b> ; 8 %              | <b>0.35 %</b> ;<br><b>1 %</b> , <b>2 %</b> , <b>4 %</b> , 8 % <b>podle vzoru rozložení PP</b> |

DVB-T2 – příklad aktuálního nastavení parametrů

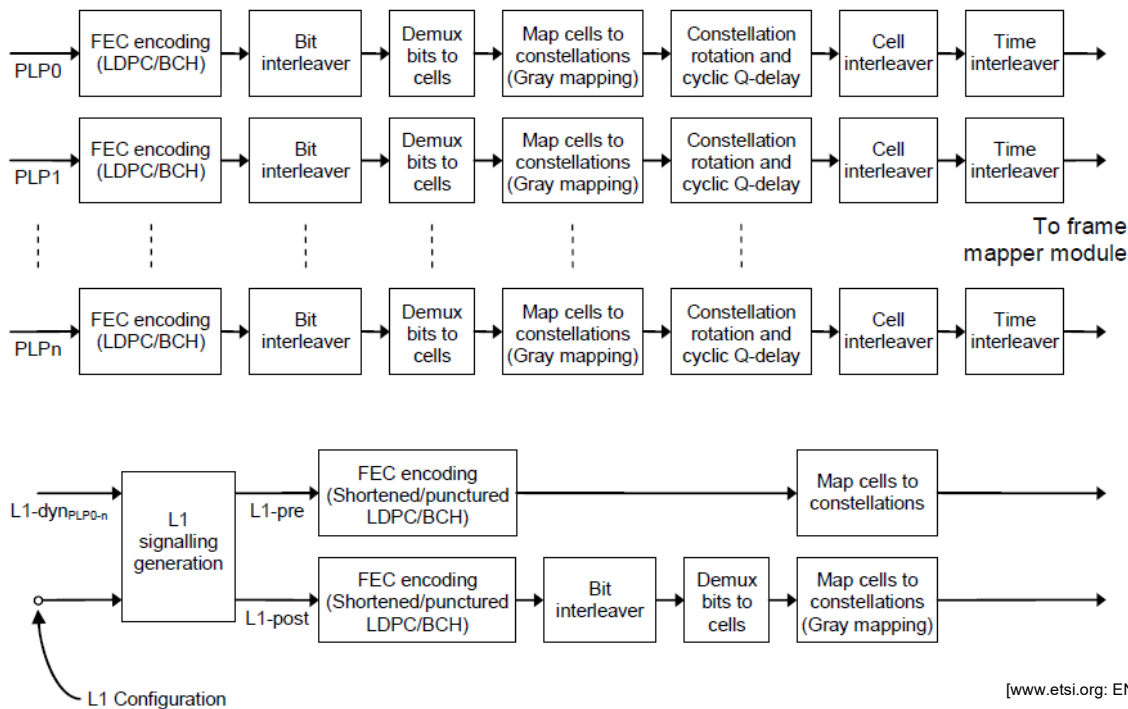
- UHF, 8 MHz kanál
- Modulace OFDM 32k ext., 256QAM, rotovaný diagram (signalizace 64 QAM);  
Vzor rozložení pilotních buněk PP2; ochranný interval 1/8
- Kódový poměr 2/3 (signalizace 1/2)
- Bitová rychlost cca 35,5 Mbit/s; TS formát
- SISO; DVB-T2 1.3.1; Base



## Digitální televize

### DVB-T2 – blokové schéma dle normy

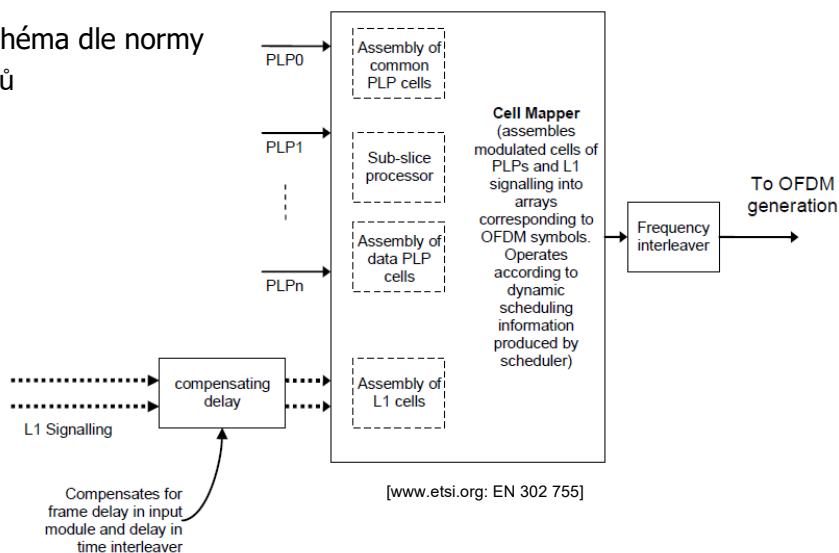
#### – Prokládání, FEC a Modulace



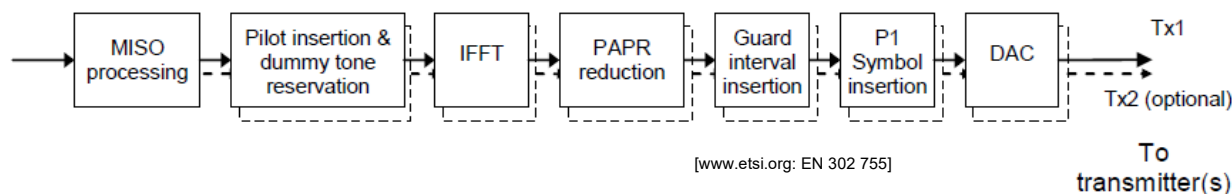
## Digitální televize

### DVB-T2 – blokové schéma dle normy

#### – Vytváření rámců



#### – OFDM modulace



# **Digitální rozhlas**

## **– DAB, Digital Audio Broadcasting**

## **– DRM, Digital Radio Mondiale**



## **Digitální rozhlas**

### **DAB – Digital Audio Broadcasting**

- Standard pro digitální přenos rozhlasu
- ETSI standard v roce 1995
- Verze podle přenosového kanálu
  - Od roku 2017 (verze standardu 2.1.1) pouze terestrický T-DAB (dříve též satelitní S-DAB, kabelový C-DAB)
- Zdrojové kódování – MPEG Audio Layer 2
  - Vzorkovací kmitočet 24 nebo 48 kSa/s
  - Bitový tok 8 až 384 (typicky 192) kb/s
  - Mono, joint stereo, stereo, prostorový zvuk (po maticovém kódování do stera)

### **DAB+**

- Doplněk ke standardu DAB v roce 2007
- Zdrojové kódování – MPEG4 High Efficiency AAC v2 (možné též profily MPEG4 HE-AAC v1 a MPEG4 AAC-LC)
  - Vzorkovací kmitočet 16, 24, 32 nebo 48 kSa/s (při SBR 16 nebo 24 kSa/s; bez SBR 32 nebo 48 kSa/s)
  - Maximální předpokládaný bitový tok na program 192 kb/s (audio + data)

### **DMB**

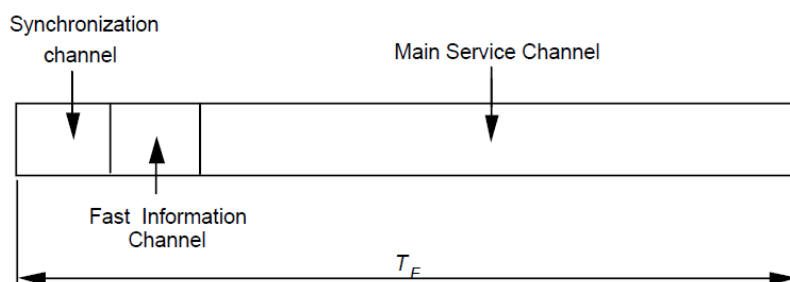
- Po doplnění o obrazový enkodér je možno přenášet i video – Digital Multimedia Broadcasting



## Digitální rozhlas

### DAB – typy kanálů

- Hlavní kanál MSC (Main Service Channel)
  - Audio data
- Rychlý informační FIC (Fast Information Channel)
  - Konfigurace MSC, popis programů (služeb), podmíněný přístup
  - Nepoužívá prokládání
- Synchronizační
  - Časová a frekvenční synchronizace, odhad stavu kanálu, identifikace vysílače
  - První dva symboly v DAB rámci – první symbol je nulový; druhý je referenční (pro diferenciální modulaci)



[www.etsi.org: EN 300 401]



## Digitální rozhlas

### DAB – kanálové zpracování signálu

- Prokládání (časové i kmitočtové)
- Konvoluční kódování v MSC (mnoho možností, nejmenší kódový poměr 1/4)
- Volitelné užití Reed-Solomonova kódování RS(204,188) v MSC
- V DAB+ užití Reed-Solomonova kódování povinné RS(120,110) v MSC
- OFDM / DQPSK (diferenciální QPSK) ... jednofrekvenční síť (SFN)
  - Z původně 4 přenosových módů od roku 2017 (verze standardu 2.1.1) pouze mód I:

| Mód | Počet nosných | $\Delta f$ | Délka GI ( $\sim 1/4$ ) | Trvání užít. části | Trvání OFDM symbolu | Určeno pro   |
|-----|---------------|------------|-------------------------|--------------------|---------------------|--|
| I   | 1536          | 1 kHz      | 246 $\mu$ s             | 1 ms               | 1.246 ms            | T-DAB;<br>SFN a lokální vysílání v pásmech I, II a III                         |
| II  | 384           | 4 kHz      | 62 $\mu$ s              | 250 $\mu$ s        | 312 $\mu$ s         | T-DAB a S-DAB;<br>lokální vysílání v pásmech I, II, III, IV, V a L             |
| III | 192           | 8 KHz      | 31 $\mu$ s              | 125 $\mu$ s        | 156 $\mu$ s         | C-DAB (T-DAB, S-DAB);<br>do 3 GHz  |
| IV  | 768           | 2 kHz      | 123 $\mu$ s             | 500 $\mu$ s        | 623 $\mu$ s         | T-DAB a S-DAB;<br>lokální vysílání v pásmech I, II, III, IV, V a L (větší SFN) |

- Užitečná přenosová rychlost 576 - 1728 kb/s ... v multiplexu max. cca 10 audio služeb pro DAB, 20 pro DAB+

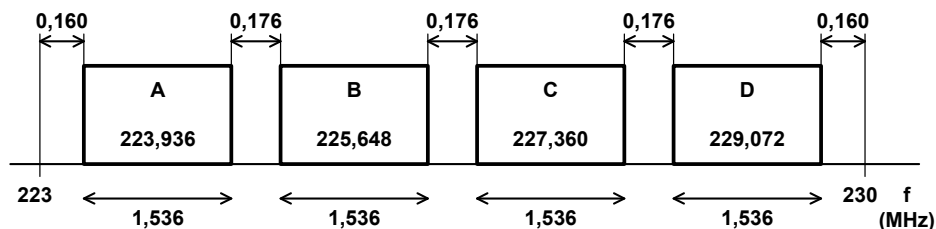


## Digitální rozhlas

DAB – příklady kmitočtu a šířky pásma VF signálu

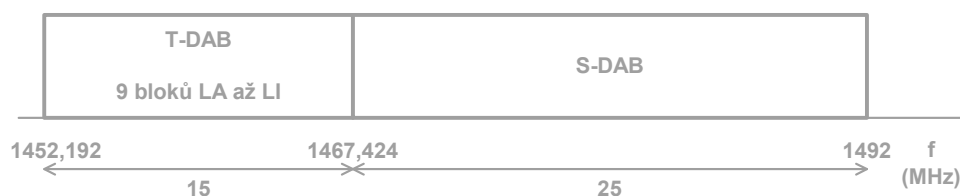
### – Mód I (T-DAB)

- 1536 nosných vln s odstupem 1 kHz ( $T_u = 1/\Delta f = 1$  ms), jeden blok má šířku 1.536 MHz
- III. TV pásmo: 174 až 230 MHz, na obr. např. 12. TV k. (4 bloky do TV kanálu) – pásmo pro T-DAB



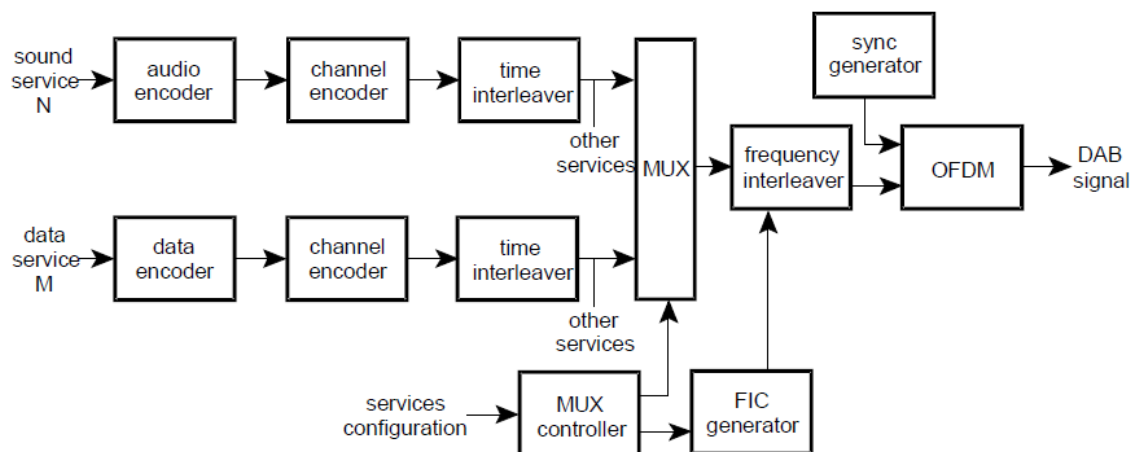
### – Mód II (T-DAB, S-DAB)

- 384 nosných vln s odstupem 4 kHz ( $T_u = 1/\Delta f = 250$   $\mu$ s), jeden blok má šířku 1.536 MHz
- Pásmo L 1452 až 1492 MHz



## Digitální rozhlas

DAB – koncepční schéma podle normy



[www.etsi.org: EN 300 401]



## Digitální rozhlas

### DRM – Digital Radio Mondiale

- Digitální terestrický přenos rozhlasu v pásmech DV, SV a KV (rozhlas do 30 MHz)
  - Dlouhé vlny 148.5 až 283.5 kHz
  - Střední vlny 526.5 až 1 606.5 kHz
  - Krátké vlny 2.3 až 27 MHz
- V malé šířce pásma max. 2x 10 kHz
- Navazuje na francouzský systém SkyWave 2000
- ETSI standard v r. 2001
- Mezinárodní konsorcium Digital Radio Mondiale

### DRM Plus (DRM+) – rozšířený systém DRM (nový mód E)

- Ohlášeno DRM konsorciem v r. 2005
- Rozšíření do vyšších kmitočtových pásem
  - 47 MHz to 68 MHz (VKV pásmo I; určené pro analogové TV vysílání v Evropě)
  - 65.8 MHz až 74 MHz (OIRT VKV pásmo),
  - 76 MHz až 90 MHz (VKV pásmo v Japonsku),
  - 87.5 MHz až 108 MHz (pásmo II; určené pro FM rozhlas)
  - 174 MHz až 240 MHz (pásmo III)
- Šířka pásma až 100 kHz



## Digitální rozhlas

### DRM / DRM+ / T-DAB – využití různých systémů pro terestrické vysílání digitálního rozhlasu

- DRM (do 30 MHz) – velké pokrytí, jediný program → náhrada stanic AM rozhlasu, zahraniční vysílání
- DRM+ – lokální pokrytí, jediný program → náhrada lokálních stanic FM rozhlasu
- T-DAB – větší šířka kanálu, více programů → náhrada celoplošných stanic FM rozhlasu, potřeba společného multiplexu více programů
- Systém DRM by neměl být chápán jako konkurenční k systému T-DAB

### DRM – zdrojové kódování

- Účinné kompresní metody MPEG-4
  - MPEG4-AAC (Advanced Audio Coding) pro hudbu (mono, rozmítané stereo, stereo) – vzorkovací kmitočet 12 nebo 24 kSa/s, tok 20 kb/s
  - MPEG4-CELP (Code Excited Linear Prediction) nebo pro řeč – vzorkovací kmitočet 8 nebo 16 kSa/s, tok 4 až 20 kb/s, analýza a syntéza řeči
  - MPEG4-HVXC (Harmonic Vector Excitation Coding) pro řeč – vzork. kmitočet 8 kSa/s, tok 2 až 4 kb/s, parametrická analýza a syntéza řeči
  - SBR (Spectral Band Replication) ... MPEG4 HE-AAC v1, PS (Parametric Stereo) ... MPEG4 HE-AAC v2



## Digitální rozhlas

### DRM – typy logických kanálů

- Rychlý kanál FAC (Fast Access Channel)
  - Informace potřebné pro vyhledání služby, nastavení parametrů, synchronizace, konfigurace SDC a MSC; oznamuje rekonfiguraci
    - Parametry kanálové – např. mód robustnosti, šířka pásma, délka prokládání buněk, modulace SDC a MSC, počet a typ služeb v MSC
    - Parametry služby – např. identifikátor služby, podmíněný přístup (podrobnosti v SDC), jazyk, audio/data, typ programu (žánr)/dat
  - Některé nosné vlny, některé symboly (65 buněk v 1 rámcu, bitová rychlost 180 b/s)
- Popis služby SDC (Service Description Channel)
  - Jak dekódovat multiplex, další parametry, alternativní frekvence (systémů FM, DAB)
    - Parametry – volba protichybového zabezpečení, sestavení multiplexu, popis služby/služeb (např. vzorkovací kmitočty, audio-kodek, mono/stereo; ne/paketový mód), alternativní zdroje stejných dat (denní přehled frekvencí, jiné frekvence DRM, ale též odkaz na AM, DAB, FM, FM-RDS), identifikátor podmíněného přístupu, geografické informace (např. pro volbu frekvencí), jazyk, čas a datum
  - Všechny nosné vyjma referenčních, první 2 (či 3) symboly v superrámci (bitový tok a počet buněk v 1 superrámci v rozmezí 130 až 846 dle volby šířky pásma, módu a modulace)
- Hlavní kanál MSC (Main Service Channel)
  - Datový multiplexní tok audio a doprovodných data; maximálně 4 programy (služby)
  - Téměř celá část nosných vln vyjma referenčních symbolů
  - Bitový tok podle volby šířky pásma, módu, modulace a ochranného kódování (typicky cca 20 kb/s v 10 kHz kanále, cca 200 kb/s v 100 kHz kanále)



## Digitální rozhlas

### DRM – kanálové zpracování signálu (5 přenosových módů A až E)

- Protichybové zabezpečení konvolučním kódováním
  - MSC – dlouhé (2 s) nebo krátké (400 ms) prokládání, mnoho možností kódového poměru – typicky 0.6
  - (FAC – kódový poměr 0.6 pro módy A až D a 0.25 pro mód E)
  - (SDC – kódový poměr 0.5 pro módy A až D a 0.5 nebo 0.25 pro mód E)
- Modulace OFDM / QPSK, 16-QAM nebo 64-QAM
  - MSC – 16-QAM nebo 64-QAM pro módy A až D, QPSK nebo 16-QAM pro mód E
  - (FAC – QPSK)
  - (SDC – QPSK nebo 16-QAM)
- Šířka kanálu 9 nebo 10 kHz nebo poloviční (současný provoz analogového vysílání) anebo dvojnásobná (kvalitní stereofonní provoz) pro módy A až D, 100 kHz pro mód E
  - 90 až 460 nosných vln dle zvoleného módu, např. 204 při 9 kHz šířce kanálu



## Digitální rozhlas

DRM – 5 přenosových módů (dle robustnosti)

| Mód                     | A                                     | B   | C                              | D   | E                                    |
|-------------------------|---------------------------------------|---|--------------------------------|---|--------------------------------------|
| $\Delta f$              | 41.666 Hz                             | 46.875 Hz   | 68.182 Hz                      | 107.143 Hz  | 444.444 Hz                           |
| $T_u$                   | 24 ms                                 | 21.333 ms   | 14.666 ms                      | 9.333 ms  | 2.25 ms                              |
| $\Delta T / T_u$        | 1/9                                   | 1/4   | 4/11                           | 11/14   | 1/9                                  |
| $\Delta T$              | 2.666 ms                              | 5.333 ms  | 5.333 ms                       | 7.333 ms  | 0.25 ms                              |
| Typické podmínky šíření | Gaussovský kanál, zanedbatelné odrazy | Časově a frekvenčně selektivní kanál, odrazy s delšími zpožděními | Jako B a navíc Dopplerův efekt | Jako B a navíc Dopplerův efekt; nejvyšší robustnost | Časově a frekvenčně selektivní kanál |

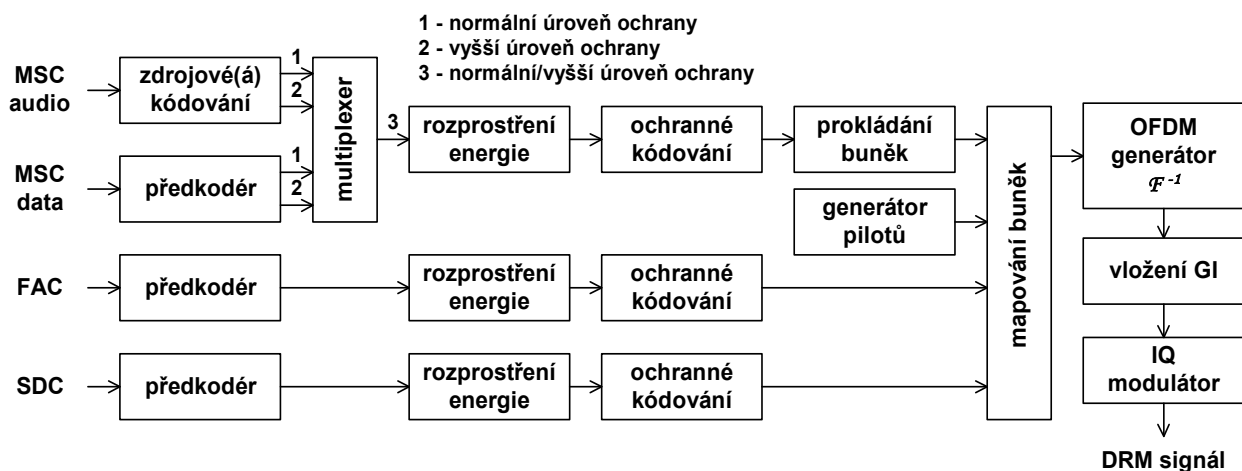
DRM – příklady užitečné přenosové rychlosti [kb/s] (64QAM a kódový poměr 0.6 pro módy A až D, 16QAM a kódový poměr 0.625 pro mód E v MSC)

| Šířka kanálu (kHz) | 4.5  | 5    | 9    | 10   | 18   | 20   | 100   |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Mód                |      |      |      |      |      |      |       |
| A                  | 11.3 | 12.8 | 23.6 | 26.6 | 49.1 | 55.1 | -     |
| B                  | 8.7  | 10.0 | 18.4 | 21.0 | 38.2 | 43.0 | -     |
| C                  | -    | -    | -    | 16.6 | -    | 34.9 | -     |
| D                  | -    | -    | -    | 11.0 | -    | 23.3 | -     |
| E                  | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 186.4 |



## Digitální rozhlas

DRM – koncepční schéma





## Shrnutí

| Systém   | Ochranné kanálové kódování                | Užitečná přenosová bitová rychlost (příklad pro celý multiplex) | Modulace (případně příklad) | Šířka pásma VF. signálu či kanálu (případně příklad) |
|----------|---|---|-----------------------------|--|
| DVB-T    | RS-CRC, konv. kód                         | 25 Mb/s   | OFDM(8K)/64QAM              | 8 MHz  |
| DVB-S    | RS-CRC, konv. kód                         | 32 Mb/s   | QPSK                        | 33 MHz   |
| DVB-C    | RS-CRC                                    | 38 Mb/s   | 64QAM                       | 8 MHz  |
| DVB-S2   | BCH-CRC, LDPC                             | 64 Mb/s   | 16APSK                      | 33 MHz   |
| DVB-T2   | BCH-CRC, LDPC                             | 40 Mb/s   | OFDM(32K)/256QAM            | 8 MHz  |
| DAB/DAB+ | RS-CRC<br>nepovinně/povinně,<br>konv. kód | 1,5 Mb/s  | OFDM(1,5K)/(D)QPSK          | 1,5 MHz  |
| DRM/DRM+ | konv. kód                                 | 20 kb/s / 200 kb/s  | OFDM(stovky)/16QAM          | 10 kHz / 100 kHz                                     |



## Témata pro přípravu studentů ke zkoušce

## Systém pro digitální televizní vysílání DVB (Digital Video Broadcasting)

- Varianty z hlediska přenosového kanálu,
- Pro libovolnou variantu (z hlediska přenosového kanálu) a pro libovolnou generaci: použitá modulace (příklad konkrétní modulace), ochranné kanálové kódování, příklad šířky pásma (kanálu nebo VF signálu) a příklad užitečné přenosové bitové rychlosti (pro přenos celého multiplexu s AV obsahem).

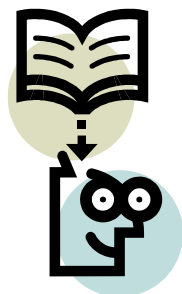
## Systém pro digitální rozhlasové vysílání DAB/DAB+ (Digital Audio Broadcasting)

- Použitá modulace, ochranné kanálové kódování, příklad šířky pásma (kanálu nebo VF signálu) a příklad užitečné přenosové bitové rychlosti (pro přenos celého multiplexu s audio obsahem); rozdíl DAB vs. DAB+.

(osnova)



Děkuji za pozornost,



prosím vaše dotazy ...