



# **TELEKOMUNIKACE**

## **10. přednáška**

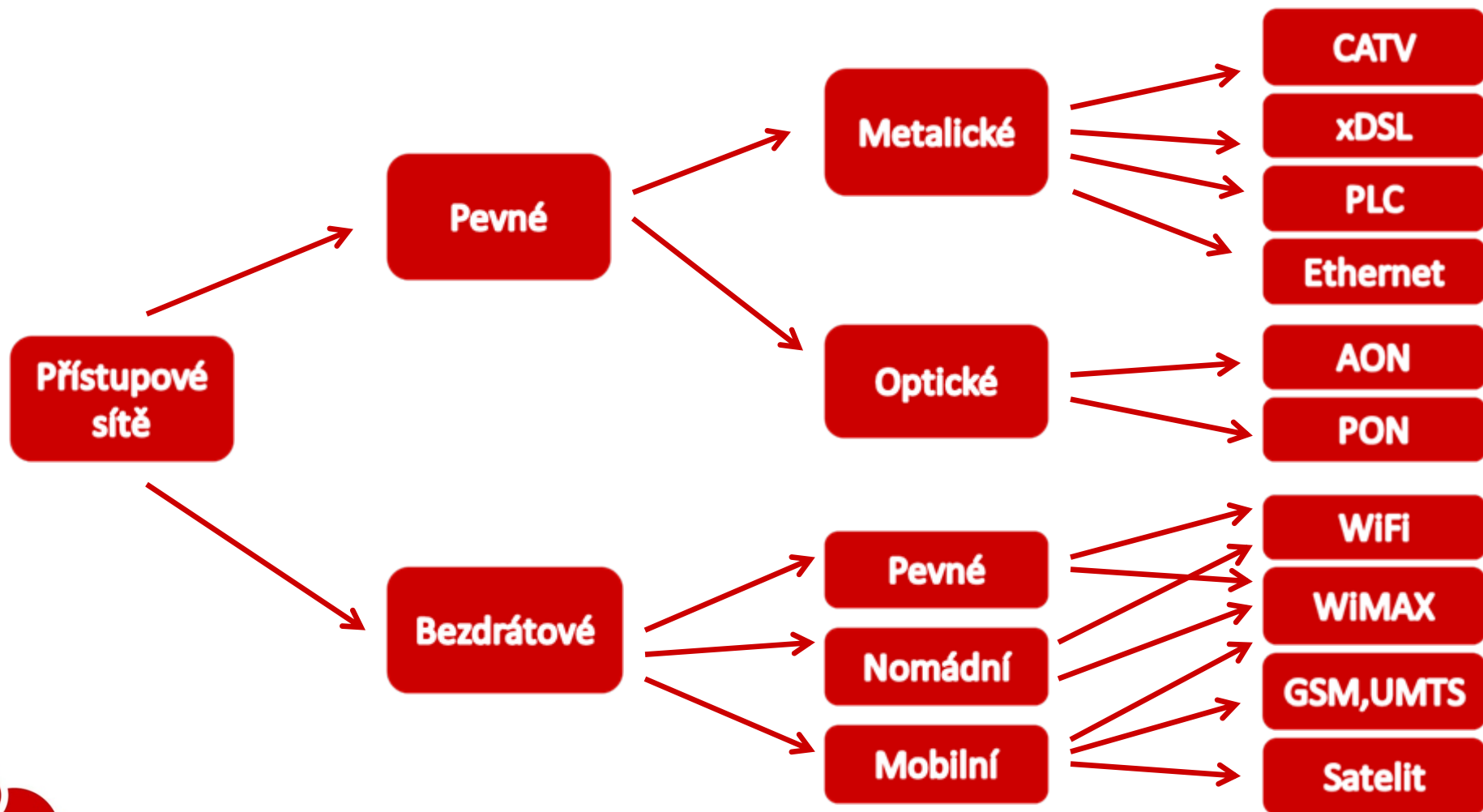
### **Přístupové sítě**

Zimní semestr akademického roku 2009/2010

# Agenda

- Různé klasifikace přístupových sítí
- Kabelové přístupové technologie
  - CATV, PLC, xDSL, FTTx, Ethernet
- Bezdrátové přístupové technologie
  - WiFi, WiMAX, Bluetooth, UWB, ZigBee, MBWA, GSM(přístě)

# Přístupové systémy



# Klasifikace kabelových systémů

dle typu signálu:

- **Metalické sítě** – nejčastější typ, dosah až desítky/stovky km, různá přenosová rychlost, u nejvyšších typů až několik stovek Mbit/s,



- **Optické sítě** – dosah až několik jednotek/desítek/stovek km, vysoká přenosová rychlost – až několik Gbit/s



# Klasifikace bezdrátových systémů

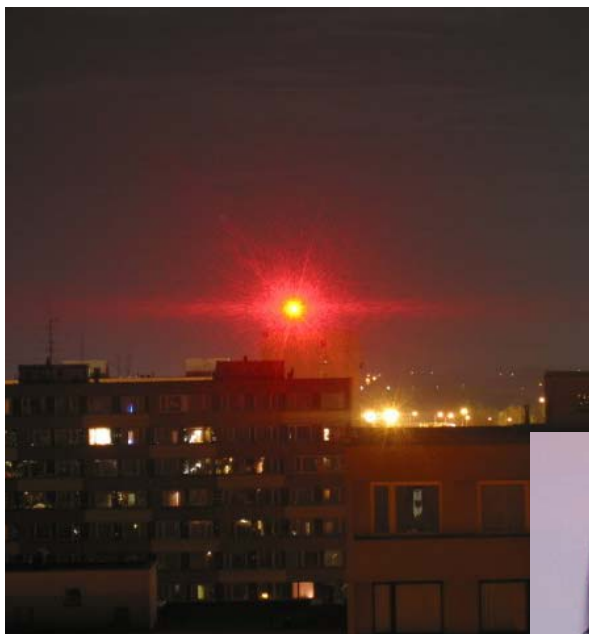
dle typu signálu:

- **Radiové sítě** – nejčastější typ, dosah až desítky km, různá přenosová rychlost, u nejvyšších typů až několik Gbit/s, licenční vs. bezlicenční.
- **Optické bezdrátové sítě** – dosah až několik km, přímá viditelnost, vysoká přenosová rychlost – až několik Gbit/s.
- **Infračervené sítě** – malý dosah, přímá viditelnost, větší bezpečnost, kapacita přenosu omezena pouze výkonem vysílače, infračervené sítě nepodléhají regulaci.

# Optický spoj (TereScope 5000)



# LED spoj (RONJA)



# Radiový spoj



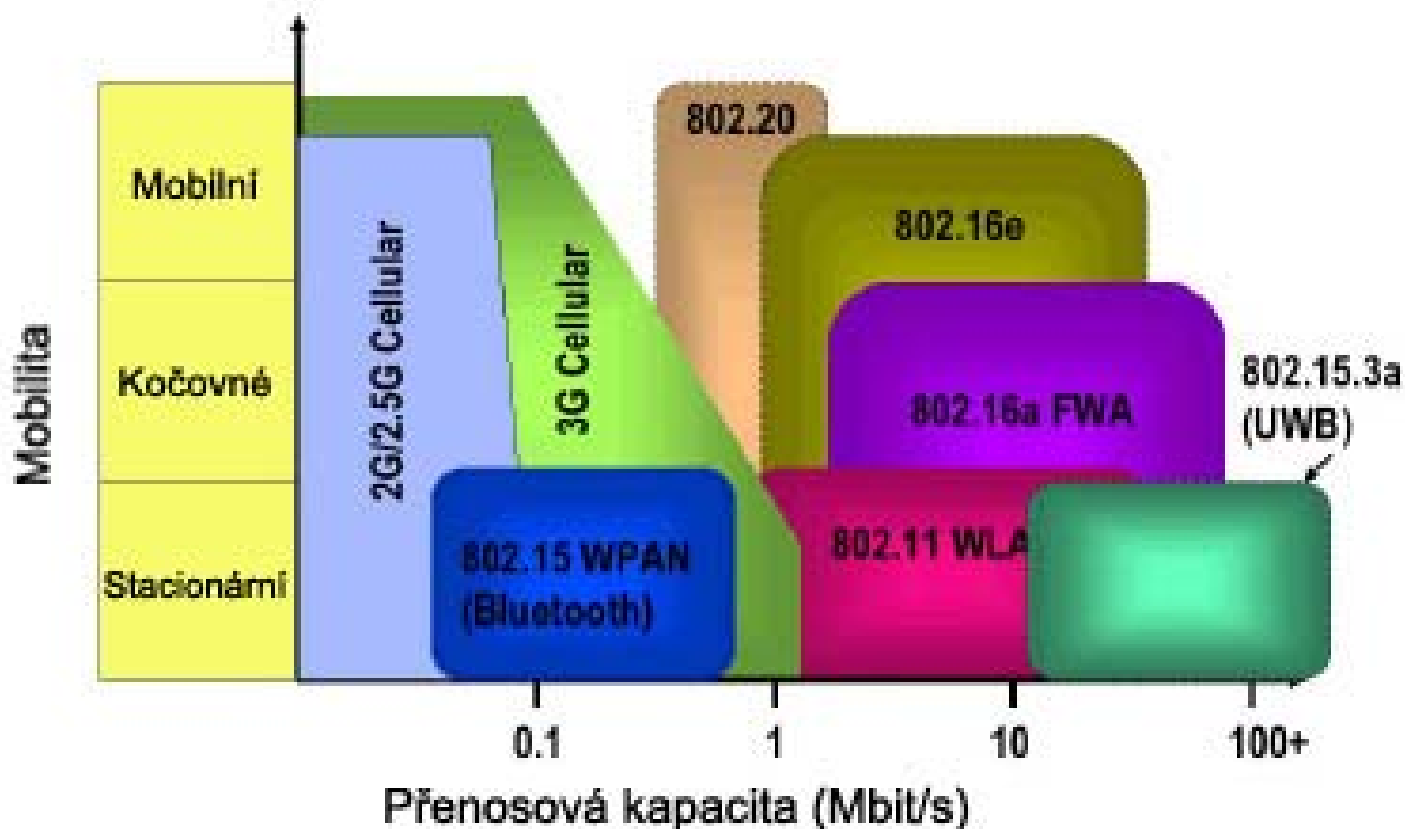
# Klasifikace bezdrátových systémů

dle podpory mobility objektů:

- **Stacionární síť** – síť pro komunikaci v klidovém stavu bez přesunu objektů.
- **Nomádní (kočovné) síť** – síť pro komunikaci objektů, které jsou v klidu (nebo ve stavu blízcímu se klidu), avšak objekt se mezi klidovými stavy pohybuje. (Na čerpacích stanicích, světelně řízených křižovatkách, při parkování, atd.).
- **Mobilní síť** – síť s plnou podporou mobilních komunikujících objektů.

# Klasifikace bezdrátových systémů

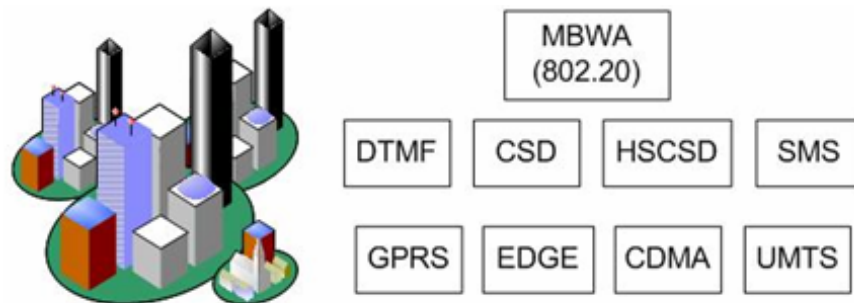
dle podpory mobility objektů:



# Klasifikace bezdrátových systémů

dle oblasti použití:

- **Rozlehlé síť (WAN)**  
(Wide Area Network)
- **Metropolitní síť (MAN)**  
(Metropolitan Area Network)
- **Lokální síť (LAN)**  
(Local Area Network)
- **Personální síť (PAN)**  
(Personal Area Network)



WiMAX  
(802.16)



WiFi (802.11)



Bluetooth  
(802.15.1)

UWB  
(802.15.3)

ZigBee  
(802.15.4)

# Kabelové přístupové sítě

Uvedeme typické představitele celého spektra dostupných řešení:

- **CATV** pro připojení zákazníků k Internetu pomocí kabelové televizní sítě – 23 %
- **PLC (PDSL/BPL)** technologie přenosu po silových kabelech
- **xDSL technologie**, jako jsou **HDSL, ADSL, VDSL** atd. využívající přístupové sítě telekomunikačních sítí povětšinou CAT 1. – 25 %
- **FTTx** (Fiber To The X (Home Building Network)) – 5 %
- **Ethernet** sítě užívající UTP kabelů

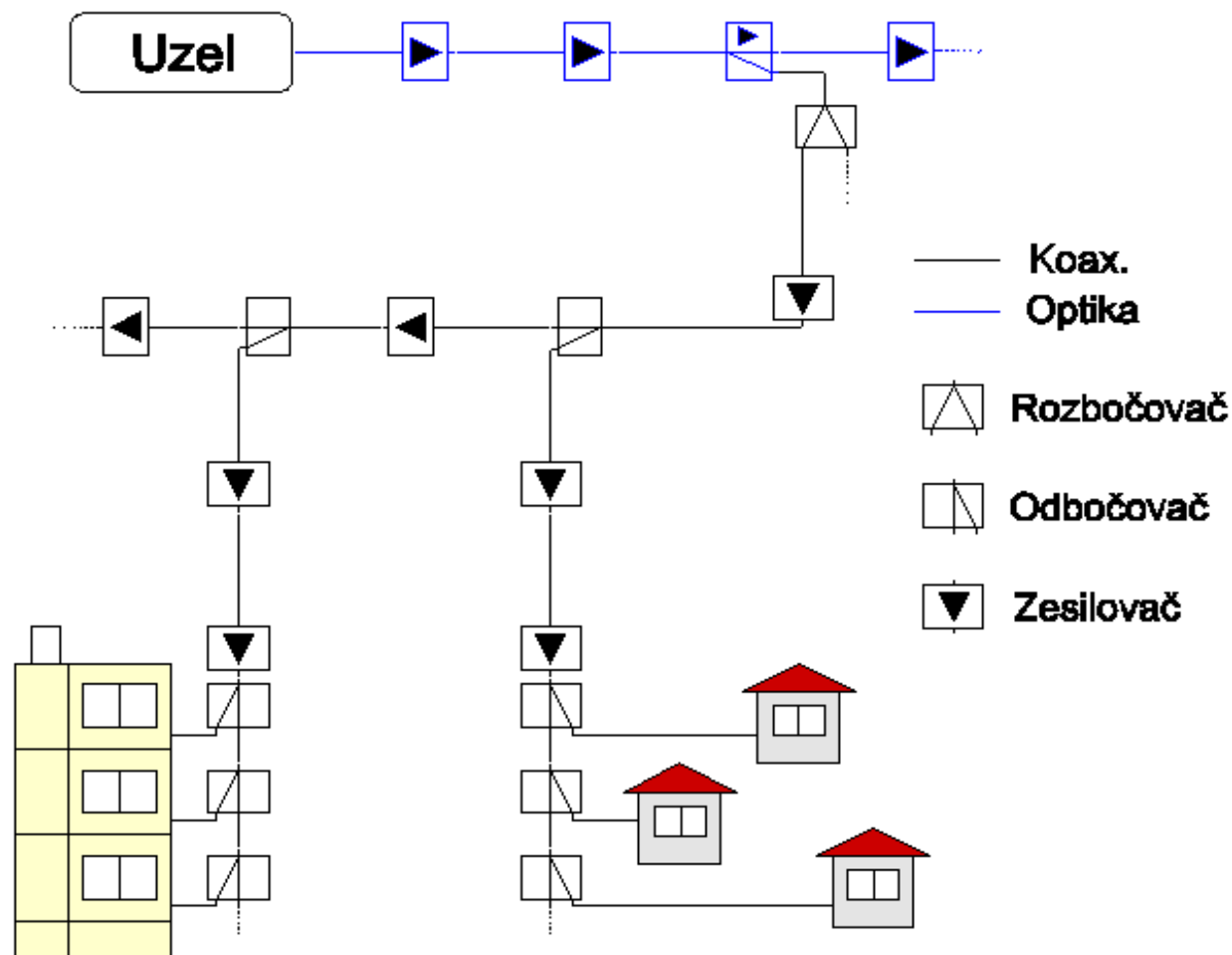
# CATV

- V sítích kabelové televize v pásmu 42 - 750 MHz bývá k dispozici dostatek neobsazených kanálů o šířce 6 MHz.
- Ve zpětném směru se využívají „úzké“ kanály v pásmu 5 - 40MHz.
- **Přípojka** je stejně jako např. u ADSL **asymetrická**.
- 6MHz kanálem lze v "**dopředném**" směru přenést až **27Mbit/s** nebo **36 Mbit/s** v závislosti na typu modulace, opačným směrem obvykle pouze **stovky kilobitů** až **jednotky megabitů**.
- Každý **kanál sdílí více účastníků** - podle kvality poskytované služby až stovky uživatelů.

# CATV

- Stávající **rozvody kabelové televize jsou** z principu **jednosměrné**, s jedním vysílačem a mnoha přijímači ve stromové architektuře, tj. multiplexní médium typu „**broadcast**“.
- **IP požaduje** jednoznačně obousměrný přenos (**duplex**).
- Je nutná přestavba rozvodů - **aktivní prvky jsou jednosměrné**.
- **Pasivní prvky** (rozbočovače, odbočovače) a koaxiální kabeláž jsou z principu **obousměrné**.
- Uzlová zařízení pro připojení k internetu jsou umístěny u kořene každého analogového segmentu jejichž IP konektivita se řeší **odděleně od distribuce televizního signálu**.

# Typická topologie analogové TV kabelové sítě



# PLC – Power Line Communication

Někdy též **BPL (Broadband over Power Line)**

- Určen pro **přenos informací po** elektrických rozvodech **NN a VN**.
- Není doposud standardizován – hlavní **problém** je **elektromagnetická kompatibilita**
- Dosah při dodržení referenčních vlastností na „ideálním“ kabelu
  - do 400m na NN rozvodech
  - do 700m na VN rozvodech
- Datový tok až **200Mbit/s**
- Možnost opakování (zesílení)



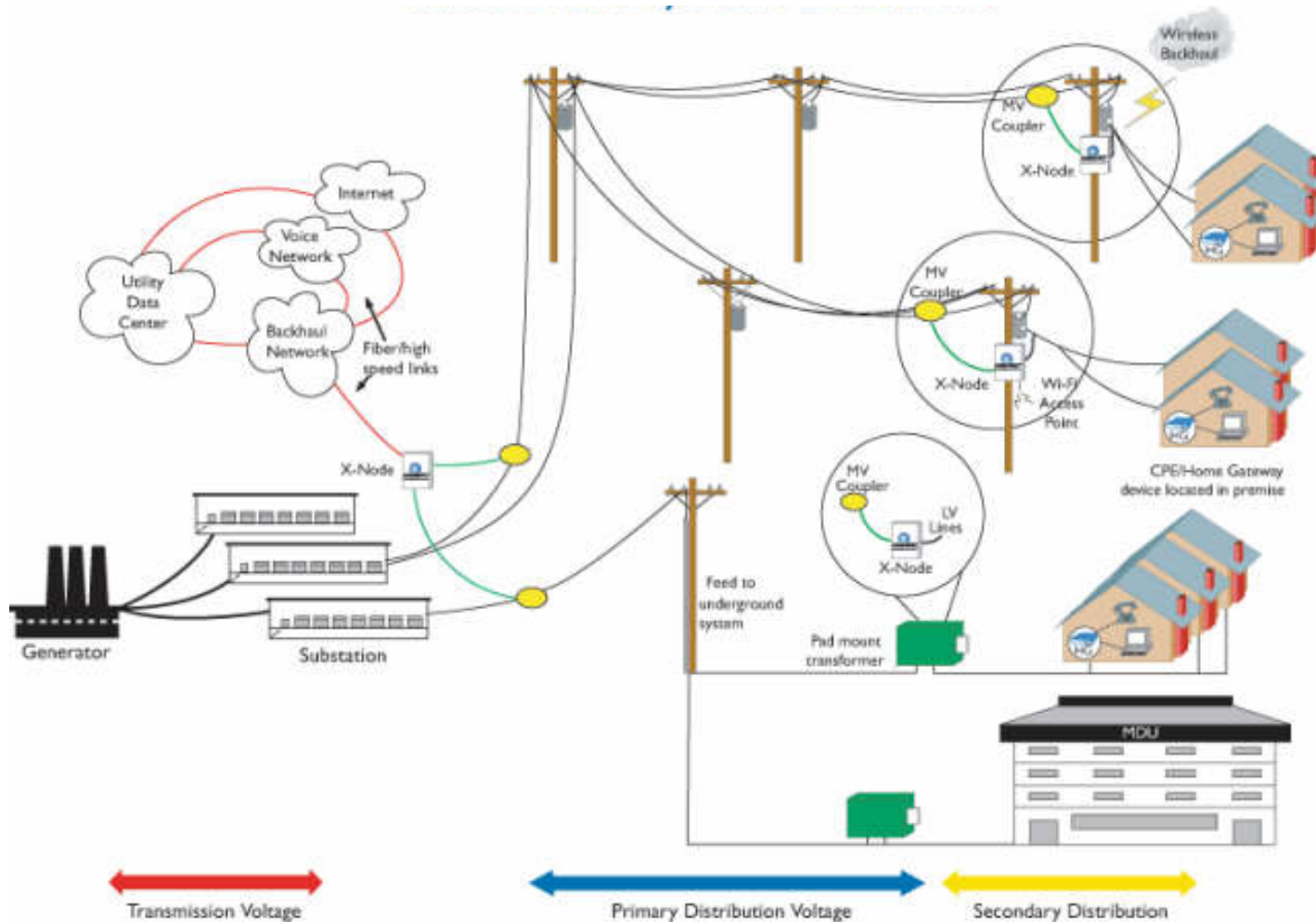
# PLC – Power Line Communication

Zejména ze systémového pohledu PLC představuje skutečně vysoce moderní přístupovou technologii.

- **QoS (802.1p) s víceúrovňovými prioritními frontami** a programově nastavitelným mechanismem klasifikace priorit pro simultánní multimediální aplikace v reálném čase.
- Možnost **distribuce video a audio signálů**.
- Programově **nastavitelná šířka pásma**.



# Princip PLC



# ADSL

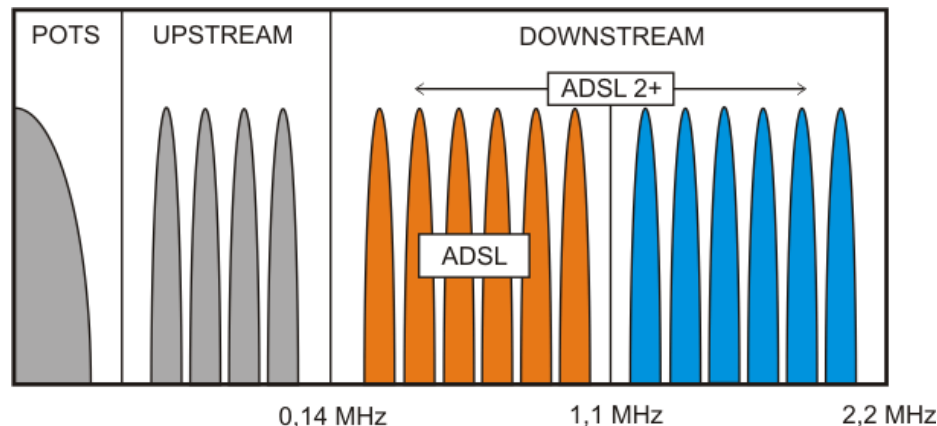
## Asymmetric Digital Subscriber Line

Využívá **metalický kroucený pár** kde je využitelný frekvenční rozsah do cca 1,1 MHz.



Vzhledem k tomu, že přenosová charakteristika přenosového média nezaručuje srovnatelné parametry v celém frekvenčním spektru, vychází princip ADSL z **rozdělení** použitého **pásma na sub-pásma**, z nichž každé je individuálně využíváno na základě identifikace jeho vlastností při iniciaci modemu.

# Rozdělení spektra u technologie ADSL 1. generace



- Nejnižší pásmo 64Khz

je určeno výhradně pro přenos analogové telefonní služby s oddělovacím pásmem 60kb/s, tj. celkem 64kb/s, anebo pro 2B+D službu ISDN.

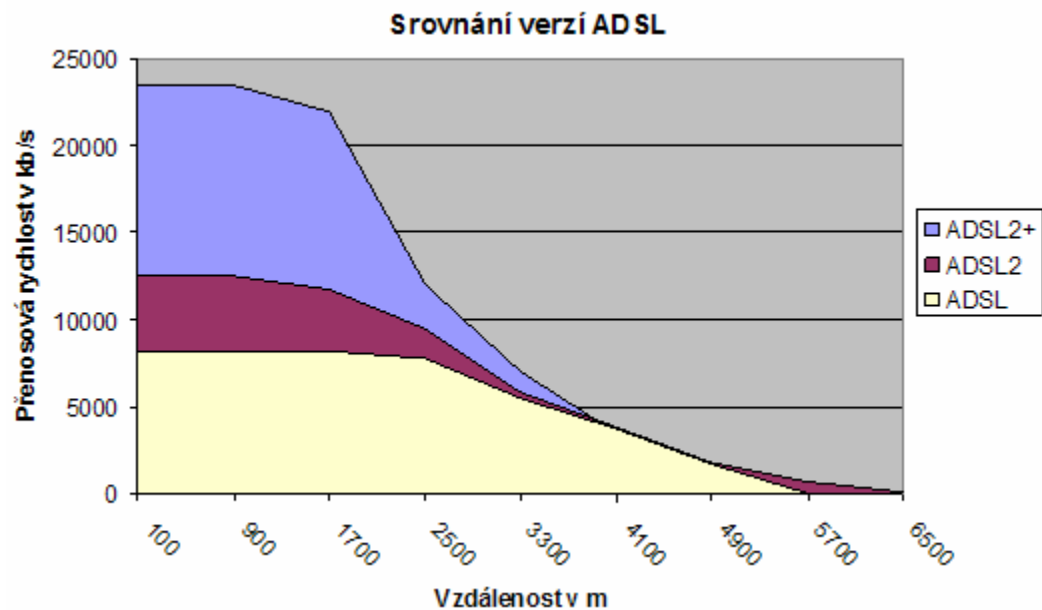
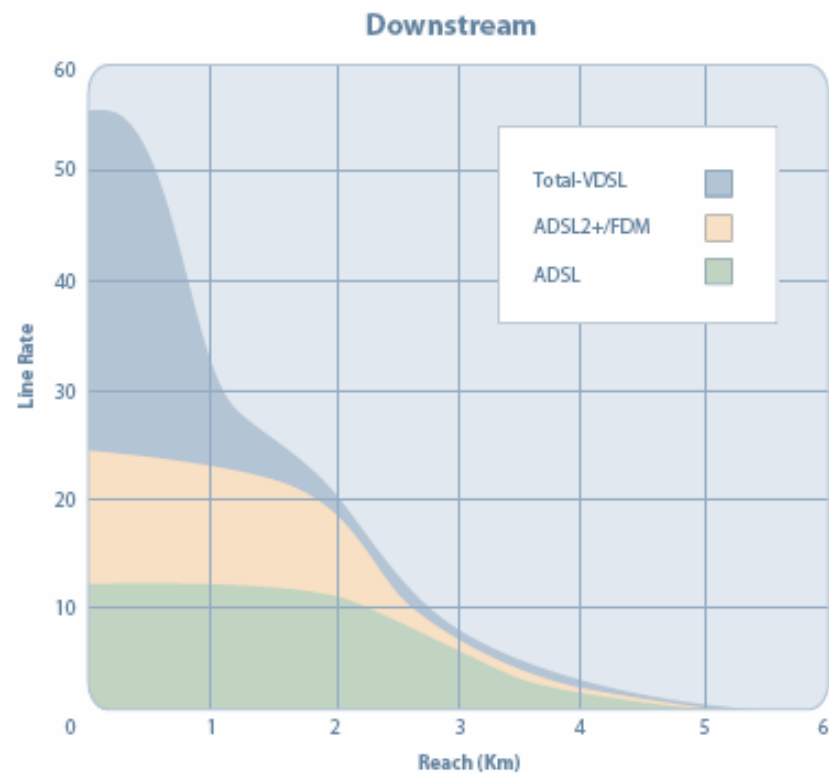
- Pásmo od 64Khz to 1,1Mhz

je rozděleno na 256 sub-pásmem. Každé sub-pásmo o šířce 4kHz představuje nezávislý kanál a je využíváno pro stanovenou přenosovou kapacitu podle při iniciaci modemu naměřených parametrů.

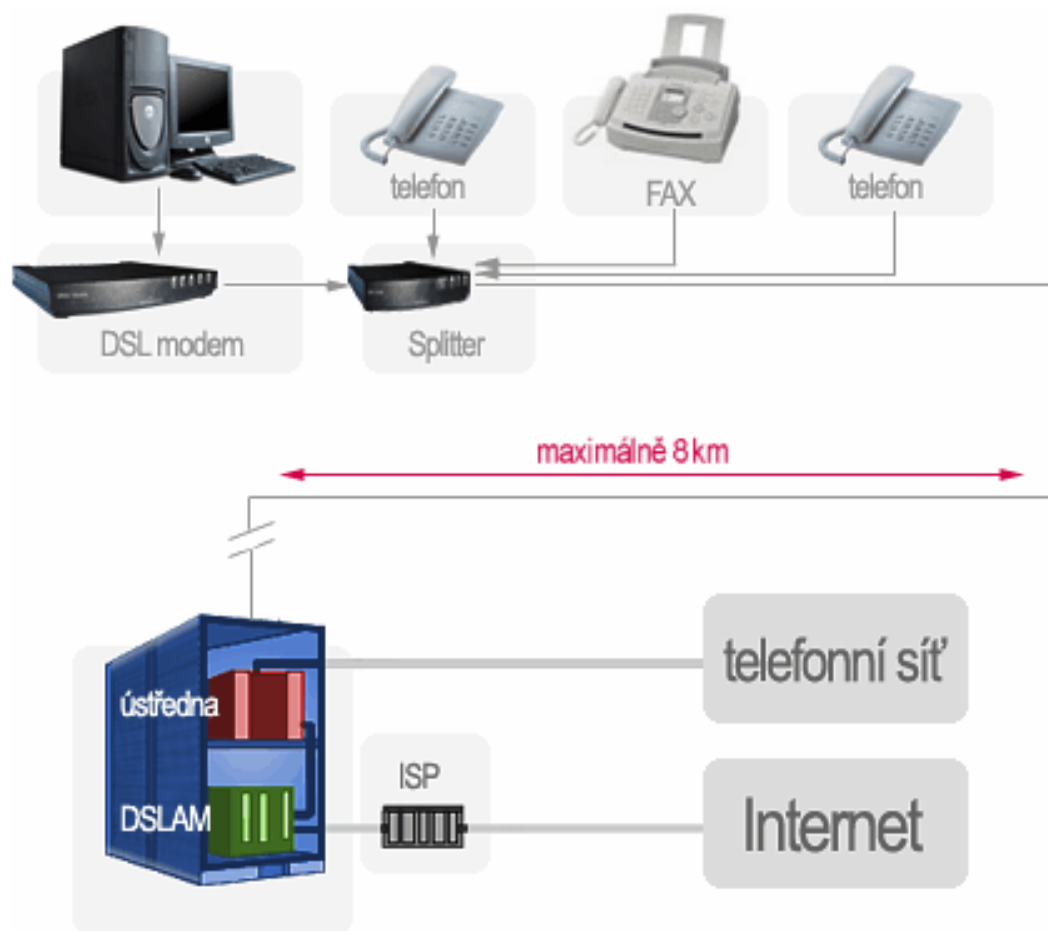
# ADSL

## Asymmetric Digital Subscriber Line

Přenosové kapacity jednotlivých xDSL a ADSL verzí



# Zapojení v xDSL

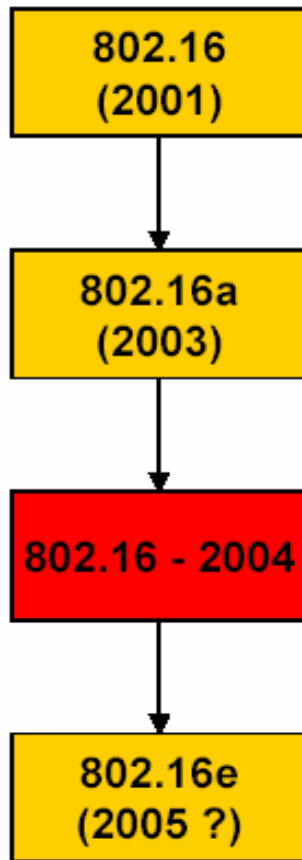


# Bezdrátové přístupové sítě

Uvedeme typické představitele celého spektra dostupných řešení:

- **WiMAX**
- **WiFi**
- **Bluetooth**
- **UWB**
- **ZigBee**
- **MBWA**
- **GSM (samostatná přednáška)**

# WiMAX – IEEE 802.16



Pracovní skupina založena v r. 1999

- 10 až 66 GHz, pouze přímá viditelnost (LOS)
- Přenosová rychlost až 134 Mbit/s
- 2 až 11 GHz, NLOS
- Přenosová rychlost až 75 Mbit/s
- Revize 802.16 (3,5 GHz FDD, TDD)
- Sjednocení předchozích 802.16 standardů
- Mobilní verze WiMAXu
- Podporující zařízení do rychlosti 150 km/h

# WiMAX – IEEE 802.16

## 802.16a

- 2 až 11 GHz licencované
- NLOS
- Podpora MESH architektury

## 802.16b

- Nelicencovaná pásma
- Přináší QoS pro real-time aplikace

## 802.16c

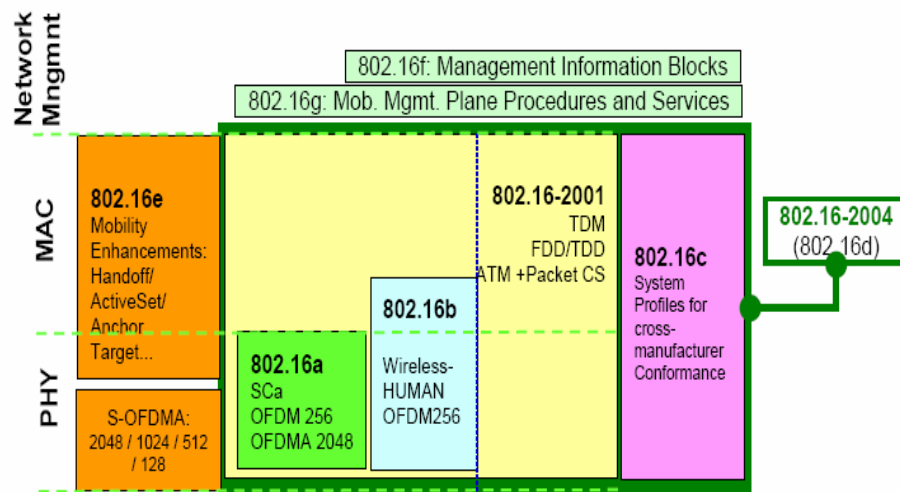
- 10 až 66 GHz

## 802.16d

- Revize 802.16a a sjednocení standardů

## 802.16e

- Mobilní doplněk
- Vysokorychlostní předávání (handover) spojení zařízení



# WiMAX – IEEE 802.16

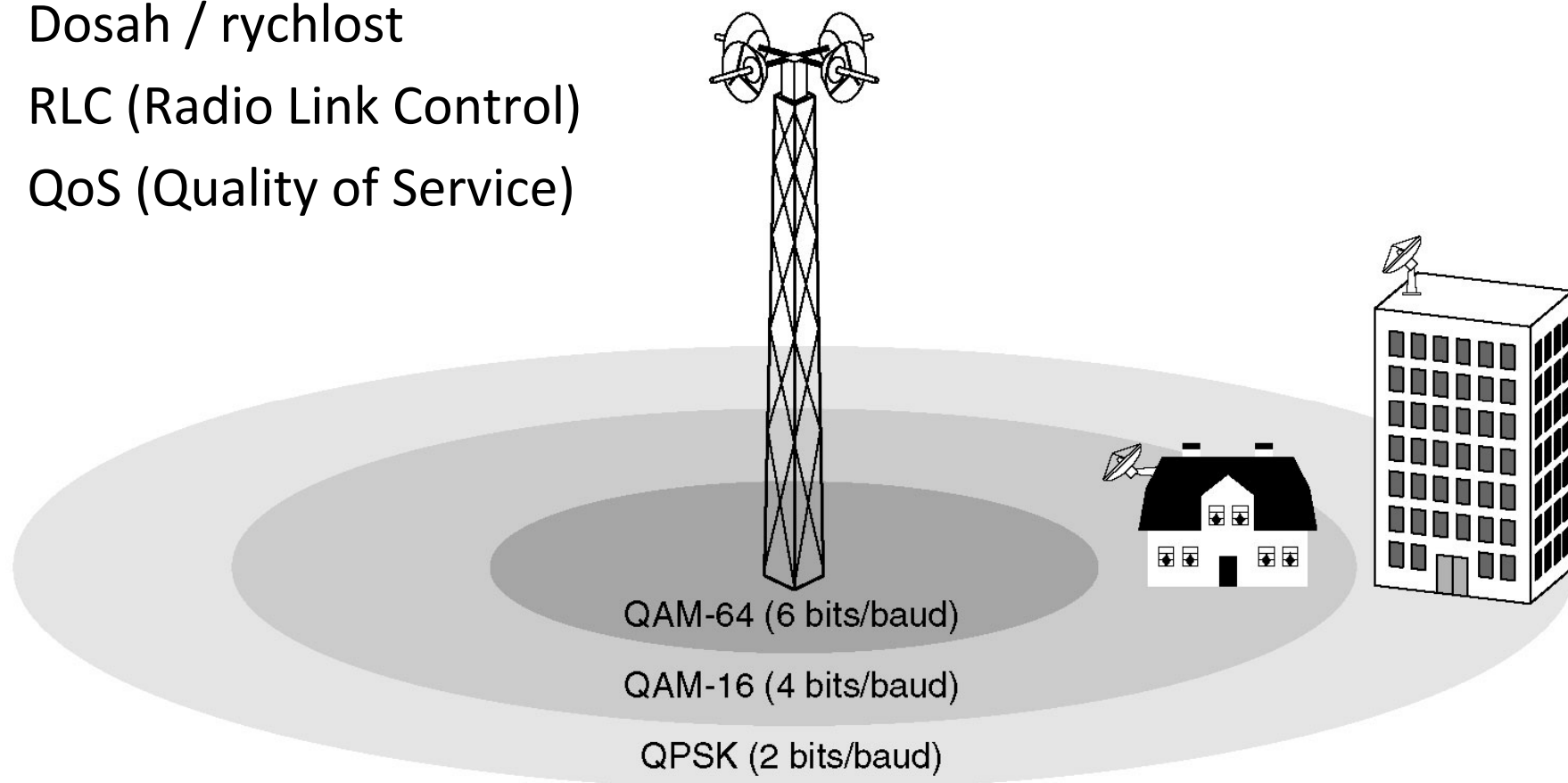
|              | 802.16d                                   | 802.16e                                 |
|--------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Schváleno    | 802.16a: 2003<br>802.16d: Q3 2004         | 7.12.2005                               |
| Spektrum     | 2 - 11 GHz (3,5 GHz)                      | 2 - 6 GHz (3,5 GHz)                     |
| Viditelnost  | NLOS (Non Line Of Sight)                  | NLOS (Non Line Of Sight)                |
| Dosah        | 50 km v terénu, 10 km v zástavbě          | 50 km v terénu, 10 km v zástavbě        |
| Rychlost     | Až 75 Mbps s kanálem 20MHz                | Až 15 Mbps s kanálem 5MHz               |
| Modulace     | OFDM 256 subnosných<br>QPSK, 16QAM, 64QAM | S-OFDMA 128 až 2048 subnosných          |
| Mobilita     | Stacionární<br>Nomádní                    | Plně mobilní<br>Garantováno do 150 km/h |
| Šířka kanálů | Volitelné od 1,25 do 20 MHz               | Jako u 802.16d s sub-kanály             |

# WiMAX – Radiové parametry

Dosah / rychlost

RLC (Radio Link Control)

QoS (Quality of Service)



# WiMAX– Teoretická rychlost v Mbps

| Modulation / Code rate | QPSK 1/2 | QPSK 3/4 | 16 QAM 1/2 | 16 QAM 3/4 | 64 QAM 2/3 | 64 QAM 3/4 |
|------------------------|----------|----------|------------|------------|------------|------------|
| 1,75 MHz               | 1.45     | 2.18     | 2.91       | 4.36       | 5.82       | 6.55       |
| 3,5 MHz                | 2.91     | 4.36     | 5.82       | 8.73       | 11.64      | 13.09      |
| 7,0 MHz                | 5.82     | 8.73     | 11.64      | 17.45      | 23.27      | 26.18      |
| 14,0 MHz               | 11.64    | 17.45    | 23.27      | 34.91      | 46.55      | 52.36      |
| 20,0 MHz               | 16.26    | 24.40    | 32.53      | 48.79      | 65.05      | 73.19      |

Při OFDM 256 sub-nosných včetně režie MAC a dalších vrstev.

# WiMAX – Teoretické pokrytí v km

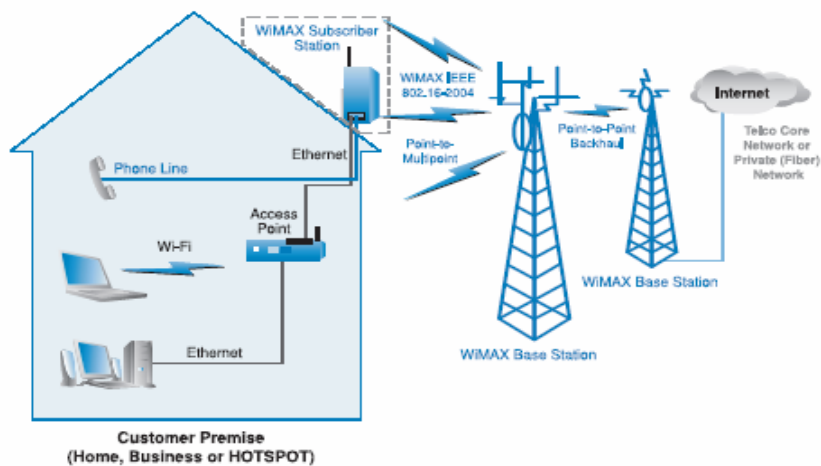
| Typ oblasti | Střešní anténa   | Okenní/Fixní anténa | Vnitřní/Přenosná anténa |
|-------------|------------------|---------------------|-------------------------|
| Venkovská   | <20 Km při NLOS* | <8 Km               | <4 Km                   |
| Maloměstská | N/A              | <4 Km               | <2 Km                   |
| Městská     | N/A              | <2 Km               | <1 Km                   |

Přibližné vzdálenosti, velmi záleží na charakteru oblasti

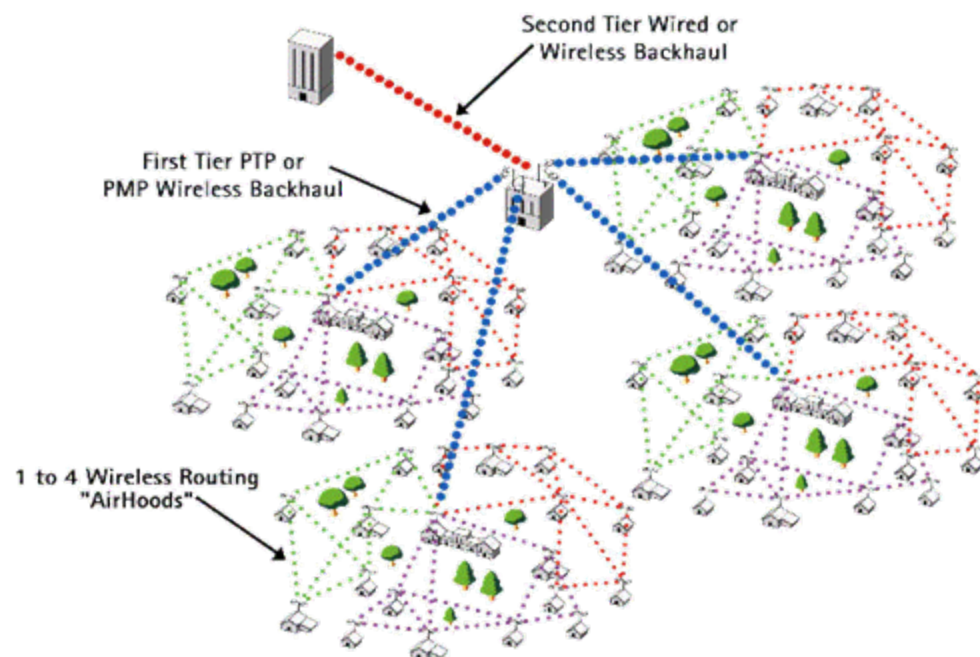
\*<50 Km je teoretické maximum pro přímou viditelnost.

# WiMAX – architektura

## P2MP (Point-to-MultiPoint)

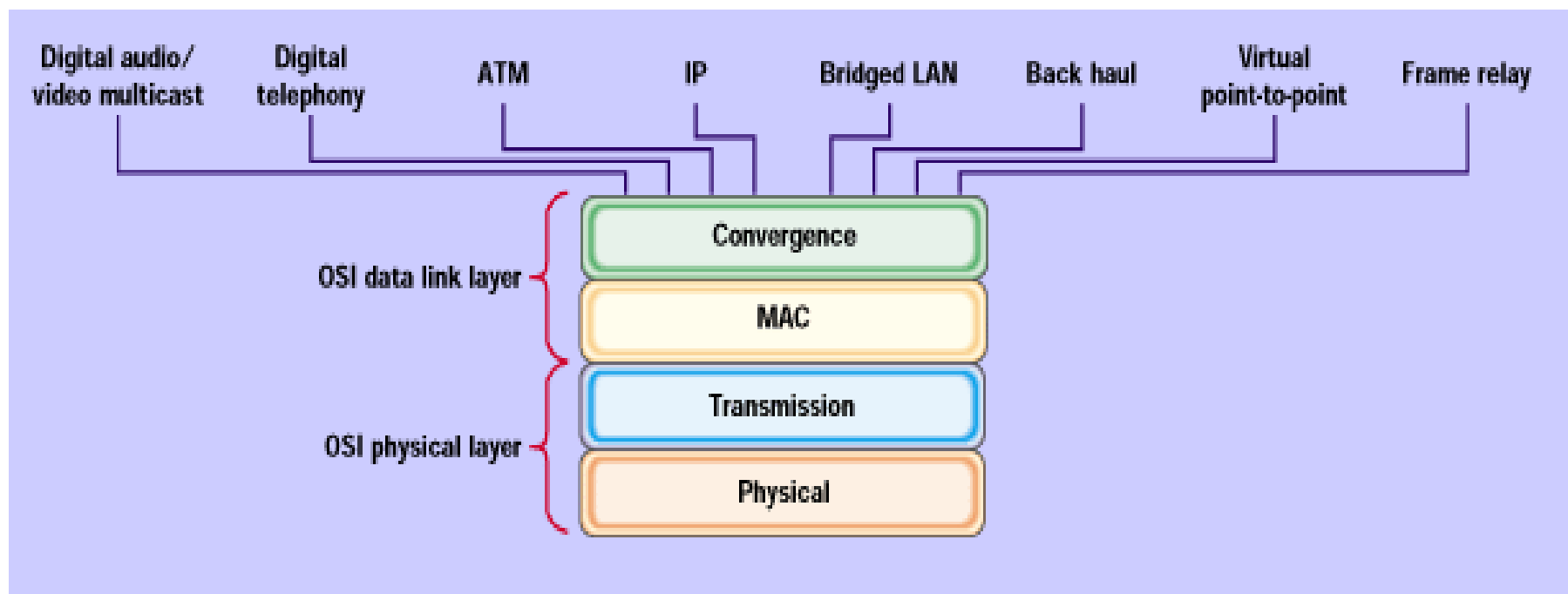


## MESH topologie



# WiMAX – architektura

4 vrstvy ~ odpovídající dvou nejnižším OSI vrstvám



# WiMAX – fyzická vrstva

## **Nastavení modulace pomocí adaptivních profilů**

Parametry je možno měnit pro každý rámec

Profily jsou identifikovány „Interval Usage Code“ (DIUC a UIUC)

## **Umožňuje používání SMART antén, směrových antén – zvyšuje dosah**

## **Umožňuje používat dvě různá duplexní schémata**

**FDD** (Frequency Division Duplexing)

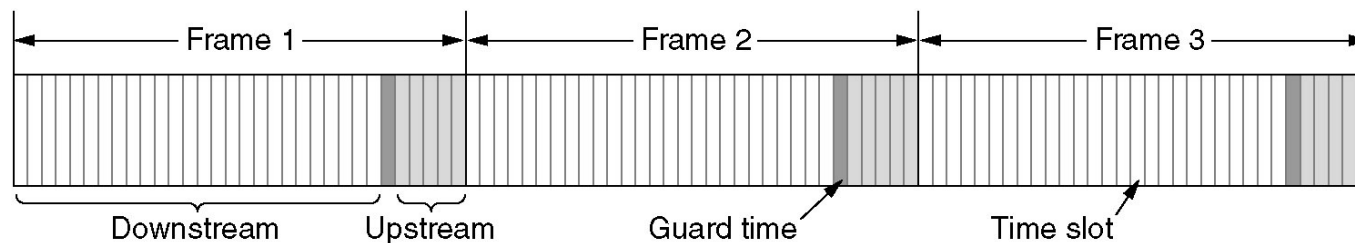
**TDD** (Time Division Duplexing)

## **Podpora pro Full Duplex i Half Duplex zařízení**

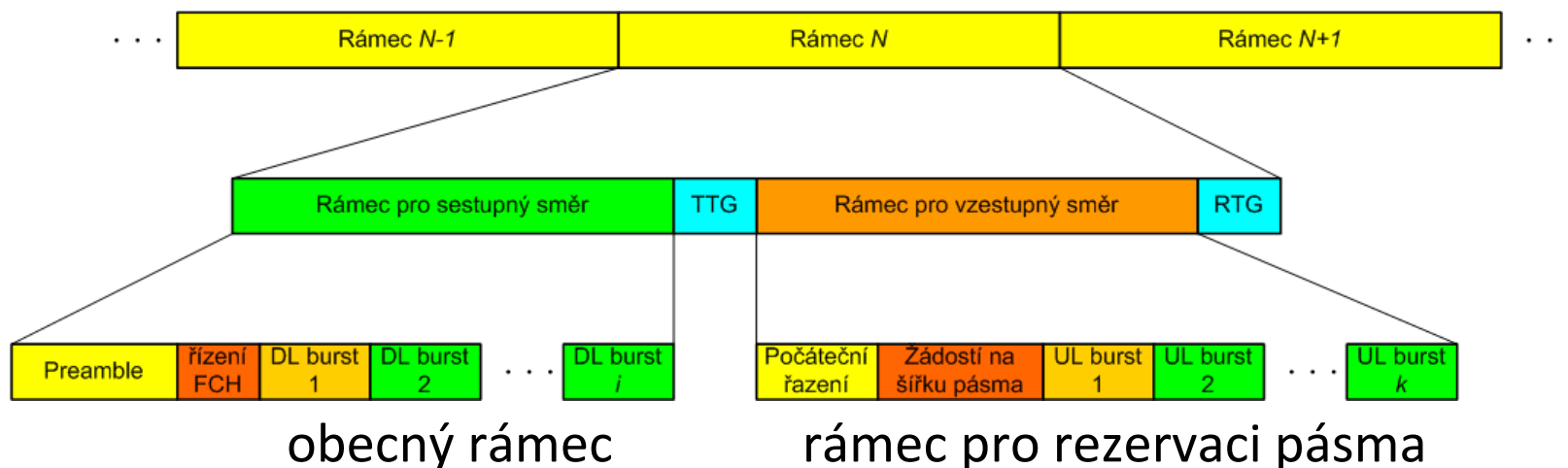


# WiMAX – fyzická vrstva

Rámce a časové úseky pro duplexní přenosy časovým dělením



Struktura rámců

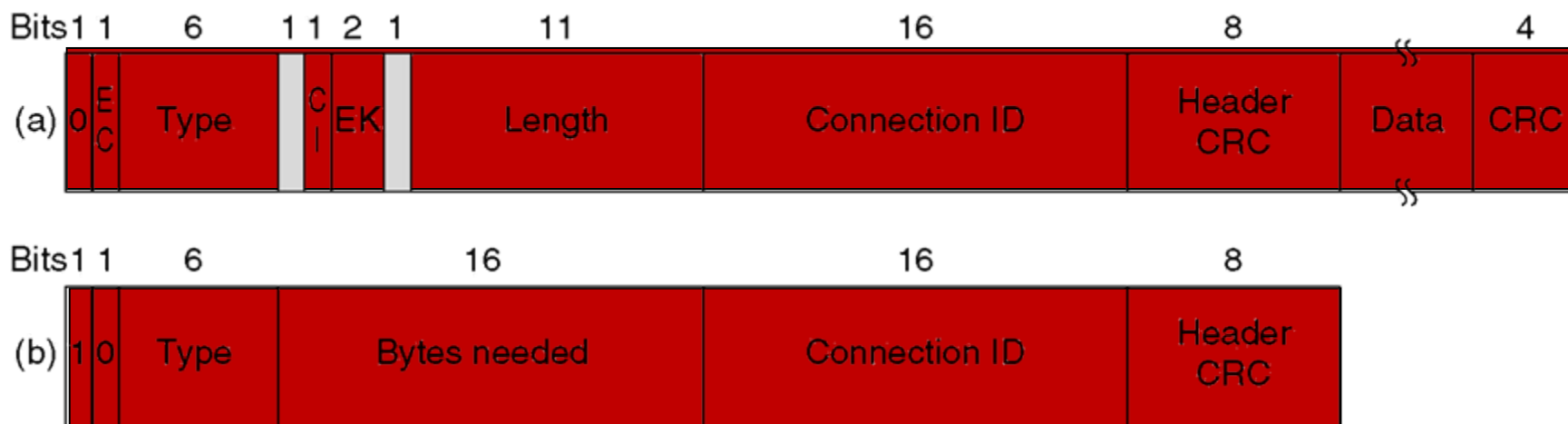


# WiMAX – fyzická vrstva

## Struktura rámců

(a) obecný rámec

(b) rámec pro rezervaci pásma

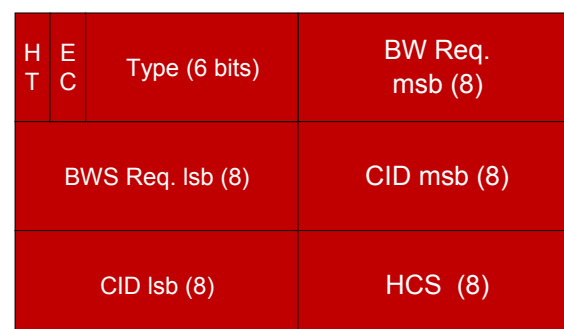
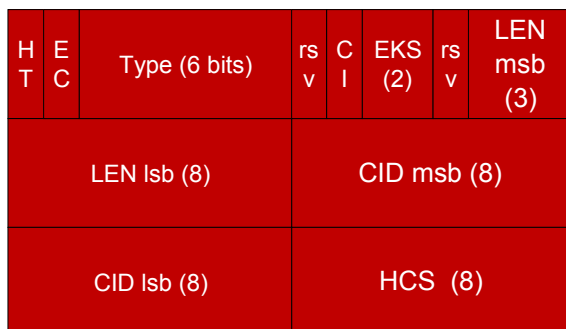
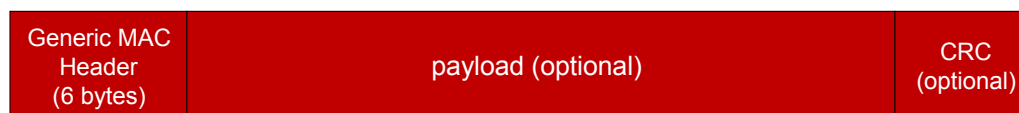


# WiMAX – fyzická vrstva

Downstream (k uživateli) – TDM (Time Division Multiplex)

Upstream (od uživatele) – TDMA (Time-Divison Multiple Access)

Centralizovaný plánovač – efektivní a přednostní dělení šířky pásma



# WiMAX – třídy služeb

- **Konstantní přenosová rychlost (CBR)**  
pro aplikace se striktními požadavky na přenosovou rychlost a zpoždění
- **Proměnná přenosová rychlost v reálném čase (rt-VBR)**  
určená pro data citlivá na zpoždění, ale kterým stačí menší šířka pásma než při CBR
- **Proměnná přenosová rychlost mimo reálný čas (nrt-VBR)**  
negarantuje zpoždění, striktní požadavek je jen na hodnotu zpoždění při přenosu buňky. Příkladem jsou datové přenosy, citlivé na dobu odezvy.
- **Best efforts service**  
Zaručuje přenos dat „s maximálním úsilím“



# WiFi – IEEE 802.11

## Wireless Fidelity – Bezdrátová věrnost

- První verze přijata v r. 1997
- Dosah až několik kilometrů (směrové antény, přímá viditelnost,...)
- Konfigurace sítí:  
ad-hoc (p2p)  
infrastrukturní
- Nosné standardy 802.11 a / b / g / n / p
- Různé doplňky 802.11 f / i / r / ...

# IEEE 802.11 – přehled doplňků

| Doplňěk        | Rok schválení | Popis                                                  |
|----------------|---------------|--------------------------------------------------------|
| 802.11a        | 1999          | Rychlost až 54 Mbit/s v pásmu 5 GHz.                   |
| 802.11b        | 1999          | Rychlost až 11 Mbit/s v pásmu 2,4 GHz.                 |
| 802.11d        | 2001          | Pro země, kde pásmo 2,4 GHz není přístupné.            |
| 802.11c        | 2003          | Mosty (Bridge) mezi přístupovými body.                 |
| 802.11f        | 2003          | Spolupráce přístupových bodů od různých výrobců.       |
| 802.11g        | 2003          | Rychlost až 54 Mbit/s v pásmu 2,4 GHz.                 |
| 802.11h        | 2003          | Dynamický výběr kanálu a regulace výkonu.              |
| 802.11i        | 2004          | Zabezpečovací a ověřovací mechanismy na MAC vrstvě.    |
| 802.11j        | 2004          | Využití pásma 4,9 a 5 GHz v Japonsku.                  |
| 802.11e        | 2005          | Podpora pro QoS na MAC vrstvě.                         |
| 802.11m        | 2006          | Revize standardů.                                      |
| 802.11k        | 2008          | Měření rádiových prostředků.                           |
| 802.11r        | 2008          | Rychlý roaming.                                        |
| 802.11w        | 2009          | Podpora integrity, autenticity, utajení a ochrany dat. |
| 802.11n        | 11.9.2009     | Vysoká propustnost.                                    |
| <b>802.11p</b> | <b>2010?</b>  | <b>Bezdrátový přístup pro mobilní zařízení.</b>        |
| <b>802.11u</b> | <b>2010?</b>  | <b>Spolupráce s externími sítěmi.</b>                  |
| <b>802.11v</b> | <b>2010?</b>  | <b>Management bezdrátových zařízení.</b>               |
| <b>802.11s</b> | <b>2011?</b>  | <b>Multi-hopping.</b>                                  |

# IEEE 802.11a

- Schváleno v r. 1999, ČTÚ povolil k užívání 1.9.2005
- 5,470 – 5,725 GHz (255 MHz)
- 11 nepřekrývajících se kanálů s odstupem 20 MHz
- Max. rychlost 54 Mbit (54,48,36,24,18,12,9,6 Mbit/s)
- Ad-hoc (P2P), Infrastructure
- OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
- BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM

# IEEE 802.11b

- Schváleno v r. 1999, ČTÚ povolil k užívání v r. 2000
- 2,412 – 2,472 GHz (60 MHz)
- 13 kanálů s odstupem 5 MHz, kanál má šířku cca. 22 MHz
- Max. rychlost 11 Mbit (11, 5,5, 2, 1 Mbit/s)
- Ad-hoc (P2P), Infrastructure
- DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
- 30 – 40 % kapacity tvoří režie

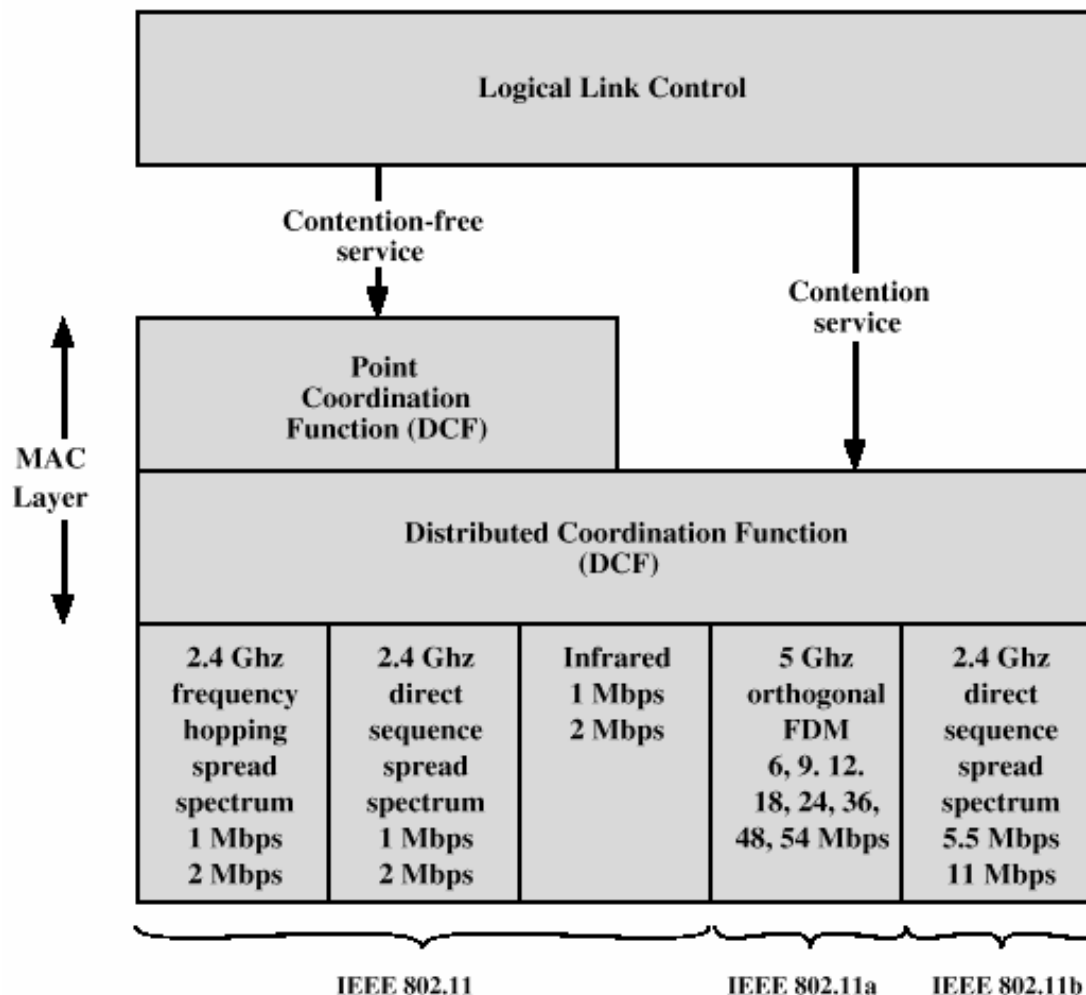
# IEEE 802.11g

- Schváleno v r. 2003, ČTÚ povolil k užívání v r. 2000
- 2,412 – 2,472 GHz (60 MHz)
- 13 kanálů s odstupem 5 MHz, kanál má šířku cca. 22 MHz
- OFDM a DSSS (pro kompatibilitu)
- Max. rychlost 54 Mbit
  - OFDM: 16-QAM (54, 48, 36, 24 Mbit/s)
  - QPSK (18, 12 Mbit/s)
  - BPSK (9, 6 Mbit/s)
  - DSSS: (11, 5,5, 2, 1 Mbit/s)

# IEEE 802.11p

- Schválení v listopadu 2010 ?
- WAVE (Wireless Access for the Vehicular Environment)
- Licencované pásmo 5,9 GHz
- Až pro rychlosti do 200 km/h
- Max. rychlost 27 Mbit/s
- Dosah v řádu km
- Kooperace s CALM, DSRC

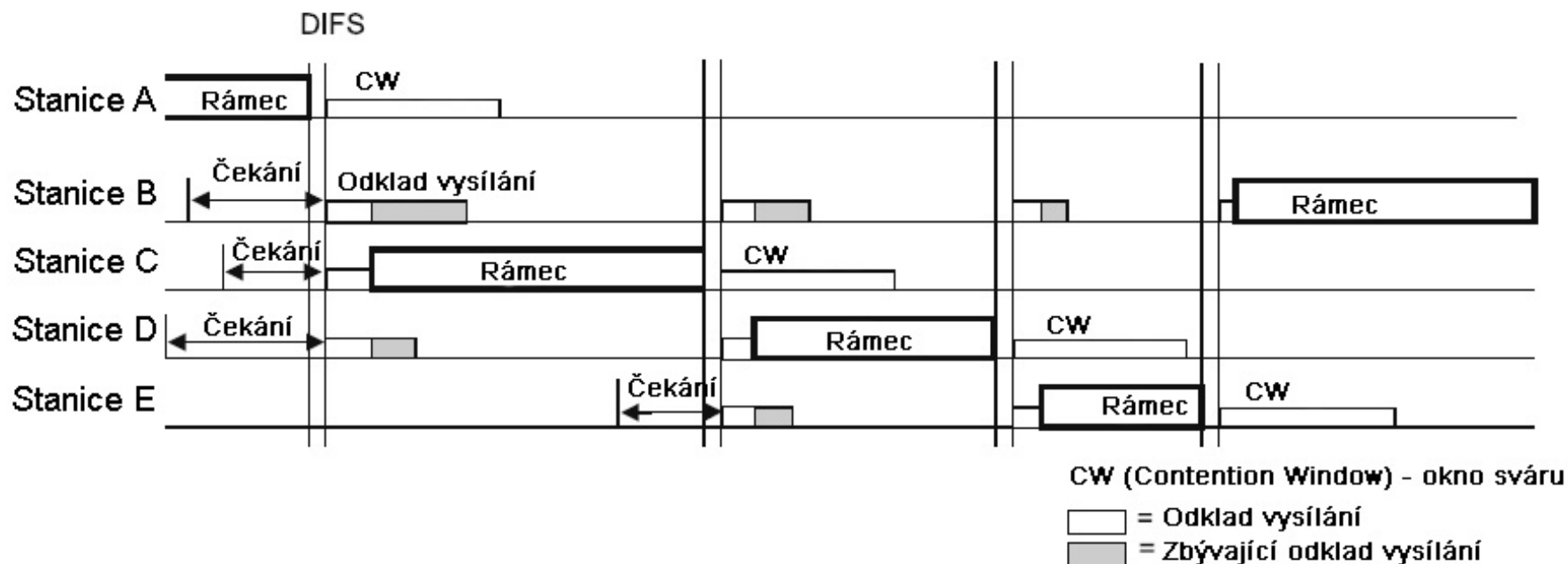
# IEEE 802.11 – architektura



# IEEE 802.11 – MAC vrstva – DCF

**CSMA/CA** (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)

**RTC/CTS** (Request To Send / Clear To Send)



# IEEE 802.11 – MAC vrstva – PCF

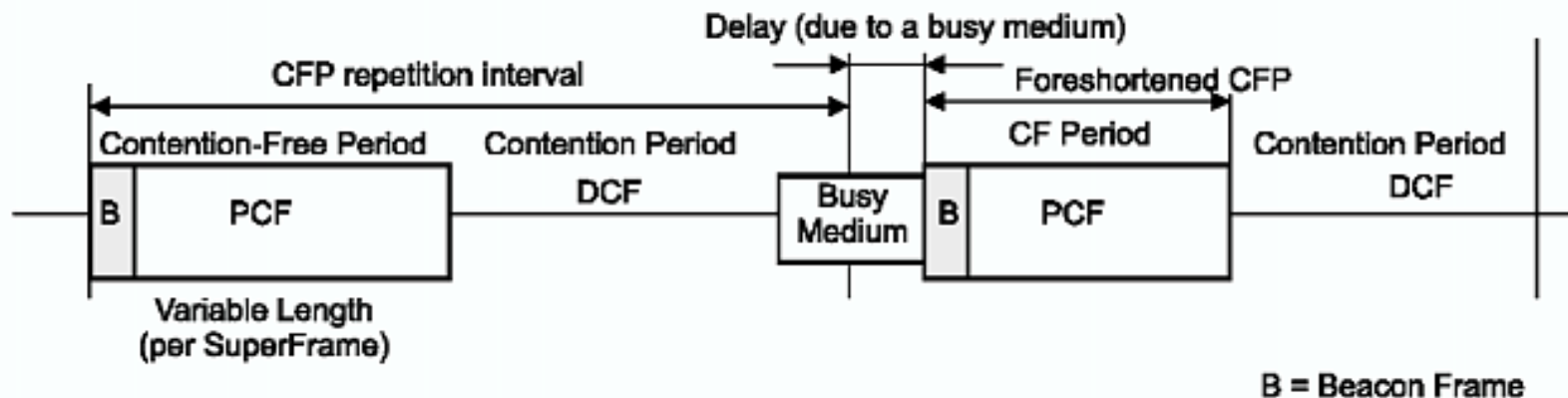
Zřídka implementováno, malá podpora, není zde volba priorit

Vysílací stanice vysílají „beacon“ rámce v pevně daných intervalech (0,1s)

**CP** (Contention Period) – DCF přístup

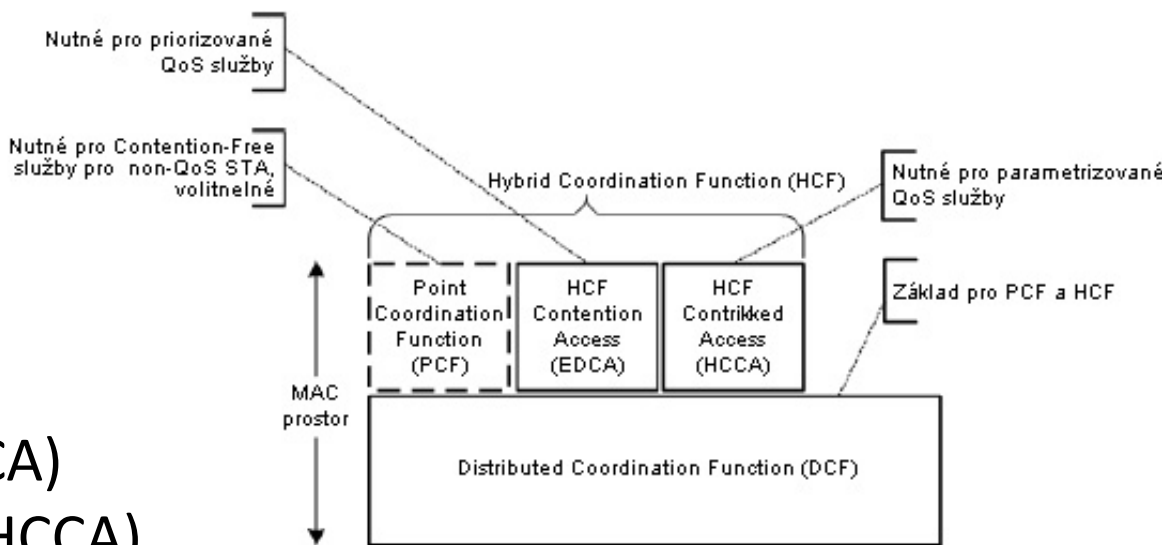
**CFP** (Contention Free Period) – PCF přístup

Je přímo určeno který klient má právo vysílat, ostatní mají vysílat zakázáno



# IEEE 802.11e – Wireless QoS

- Schválení v r. 2005
- **Přidává podporu QoS**
- Zavádí třídy provozu
- 3 fázová certifikace  
WMM – 2004 (EDCA)  
WMM-PS – 2005 (EDCA)  
WMM-SA – ? (EDCA, HCCA)
- Stále založeno na kolizním přístupu



# IEEE 802.11e – Wireless QoS

## EDCA

Priority dle 802.1d  
4 kategorie provozu  
8 tříd priorit

## HCCA

Obdobné PCF

Dva úseky – CAP (CFP) a CP

CAP (Controlled Acces Phase) – iniciován kdykoliv  
přístupovým bodem

Přednosti dle priorit

Řazení do front dle priorit + předávání informací o frontách

| kategorie         | charakteristika přenosu                       | AIFS | CW     | celková doba čekání |
|-------------------|-----------------------------------------------|------|--------|---------------------|
| hlas (7,6)        | VoIP s nejvyšší kvalitou – minimální zpoždění | 2    | 0 – 3  | 2 – 5               |
| video (5,4)       | video toky (běžné i vysoké rozlišení)         | 2    | 0 – 7  | 2 – 9               |
| best effort (0,3) | interaktivní aplikace necitlivé na zpoždění   | 3    | 0 – 15 | 3 – 18              |
| pozadí (2,1)      | datové soubory                                | 7    | 0 – 15 | 7 – 22              |

# IEEE 802.11i – WPA2

## Wireless Protected Access

- Schválen v 06/2004
- Podstatně vylepšuje bezpečnost (Oproti původnímu WEP)
- Používá blokovou šifru AES
- Implementovány protokoly
  - CCMP** – poskytuje utajení, integritu a autentizaci
  - TKIP** – zajišťuje kombinování klíčů pro pakety, kontrolu integrity zprávy a mechanismu překlíčování

# IEEE 802.11n

- Schváleno 11.9.2009
- 2,4 GHz a 5 GHz s kanálem 40 MHz  
(dva sdružené 20 MHz kanály)
- Upravené OFDM – 52 dílčích datových pásem
- MIMO (Multiple Input Multiple Output)
- Dostupná max. rychlost 300 Mbit (Draft 2.0)
- Teoretická max. rychlost až 600 Mbit  
(4 nezávislé 40 MHz kanály)
- Kompatibilita s 802.11a/b/g

# IEEE 802.11r

- Rychlý roaming
- Schválen v září 2008
- Spolupráce s IEEE 802.11i
- Víceúrovňová hierarchie, WLAN controller
- Zajištění předání spojení včetně šifrování pomocí WPA2 v řádu ms
- vs. specializovaný software

# 802.11 vs. 802.16 – Rozšiřitelnost

## 802.11

- Pevná šířka kanálu 20 MHz
- MAC je navrhnutá pro podporu desítky uživatelů

## 802.16

- Šířka kanálu je pohyblivá od 1,5 MHz do 20 MHz
- Šířku pásma lze nastavit operátorem (např. pro sektorizaci)
- MAC je navrhnutá pro podporu tisíce uživatelů



# 802.11 vs. 802.16 – QoS

## 802.11

- Podpora pouze v 802.11e – WMM-PS (WMM-SA necertifikováno)
- Založeno na CSMA/CA přístupu → negarantovaný QoS

## 802.16

- QoS navrhnout pro hlas/video
- MAC založená na žádostech a jejich udělení
- Podporuje různé úrovně služeb např. E1 pro firemní zákazníky; best effort pro domácnosti
- Centrálně řízený QoS

# 802.11 vs. 802.16

## 802.11

- Optimalizováno dle standardu pro uživatele do vzdálenosti stovek metrů
- Vyšší dosah při použití směrových ziskových antén, příp. opakovačů

## 802.16

- Optimalizováno pro typickou velikost buňky 7-10km
- Dosah až 50 km
- Není problém s přímou viditelností (na kratší vzdálenosti)

# 802.11 vs. 802.16 – Přehled

|                                 | 802.11a                 | 802.11b                 | 802.11g                 | 802.16d                | 802.16e                |
|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| frekvenční pásmo                | sdílené<br>5 GHz        | sdílené<br>2,4 GHz      | sdílené<br>2,4 GHz      | licencované<br>3,5 GHz | licencované<br>3,5 GHz |
| rychlost přenosu                | do 36 Mbit/s            | do 6 Mbit/s             | do 30 Mbit/s            | do 70 Mbit/s           | do 15 Mbit/s           |
| dosah                           | až 8 km                 | až 8 km                 | až 8 km                 | až 50 km               | až 50 km               |
| modulace                        | OFDM                    | DSSS                    | DSSS, OFDM              | OFDM                   | SOFDMA                 |
| bezpečnostní nástroje           | WEP, WPA, WPA2          | WEP, WPA, WPA2          | WEP, WPA, WPA2          | DES3, (AES)            | DES3, (AES)            |
| priority paketů                 | ANO<br>(s 802.11e)      | ANO<br>(s 802.11e)      | ANO<br>(s 802.11e)      | ANO                    | ANO                    |
| IP roaming                      | ANO                     | ANO                     | ANO                     | ANO                    | ANO                    |
| dynamické předání<br>(handover) | ANO (s doplňkem)        | ANO (s doplňkem)        | ANO (s doplňkem)        | ANO                    | ANO                    |
| QoS                             | částečně<br>(s 802.11e) | částečně<br>(s 802.11e) | částečně<br>(s 802.11e) | ANO                    | ANO                    |
| tolerance pohybu                | –                       | –                       | –                       | –                      | 150 km/h               |
| dostupnost standardu            | 1999                    | 1999                    | 2003                    | 2004                   | 2005                   |

# IEEE 802.15.1 – Bluetooth

- Od r. 1998 – SIG (Special Interest Group)
- Bluetooth v1.1 byl přijat IEEE jako norma 802.15.1
- Rychlost:
  - v1.1 ~ 1 Mbit/s (720 kbit/s)
  - V2.0 EDR ~ 2,1 Mbit/s
- 2,4 GHz s FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)  
během 1s provede 1600 skoků mezi 80 frekvenci s krokem 1 MHz (79 nosných)
- Dosah 10 až 100 m (dle výkonu)

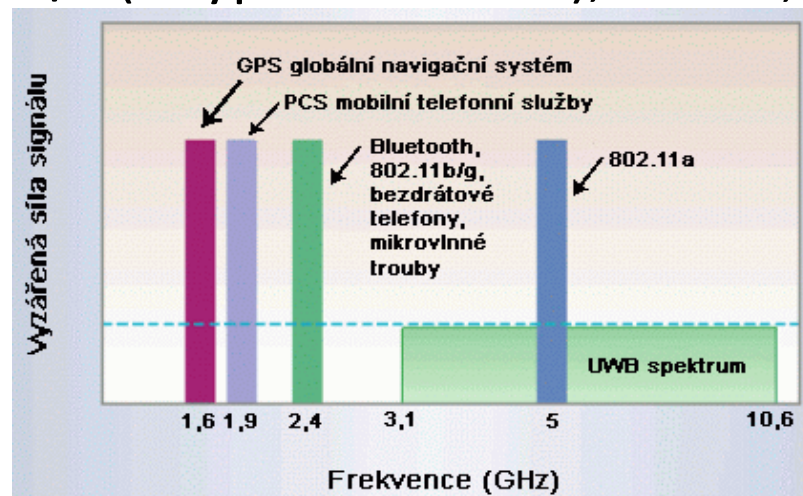
# IEEE 802.15.3 – UWB(UltraWideBand)

## IEEE 802.15.3

- Schváleno 06/2003
- Spolupráce s 802.11b/g, 802.15.1 a 802.15.4
- Malá spotřeba, rychlost až 55 Mbit/s (5 typů modulace), TDMA, QoS
- 2,4 GHz

## IEEE 802.15.3a – ZRUŠENO

- Rychlost: 110 Mbit/s do 10m
- 480 Mbit/s do 1m
- min. 500 Mhz z pásma od 3,1 GHz do 10,6 GHz
- problém v typu fyzické vrstvy – nedosažení kompromisu

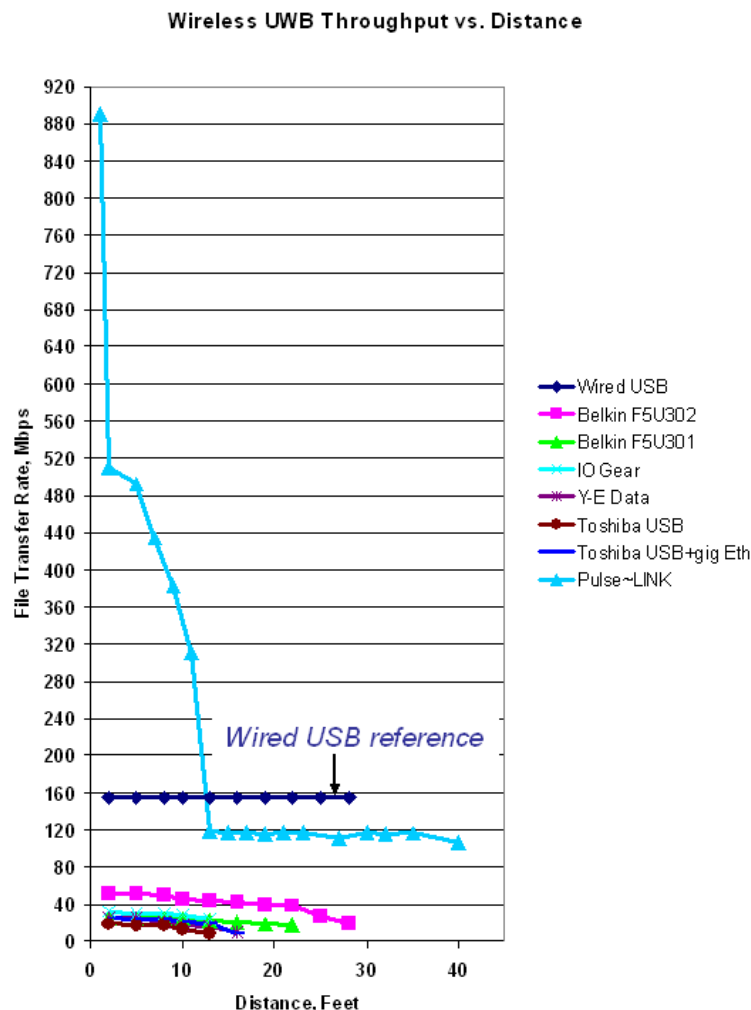


# IEEE 802.15.3a – budoucnost

WiMedia Alliance (Intel) vs.  
Freescale (Motorola)

UWB jako základ pro další vývoj:

- Wireless USB
- CableFree USB
- bezdrátový FireWire – IEEE 1394
- ECMA 368, 369 (WiMedia Alliance) (480 Mbit/s)
- Pulse~LINK CWave (890 Mbit/s, teoreticky až 1,35 Gbit/s)



# IEEE 802.15.3 – UWB(UltraWideBand)

## IEEE 802.15.3b

- Standard tvořící univerzální vrstvu přístupu k médiu (MAC) pro UWB technologie pro zachování zpětné kompatibility.

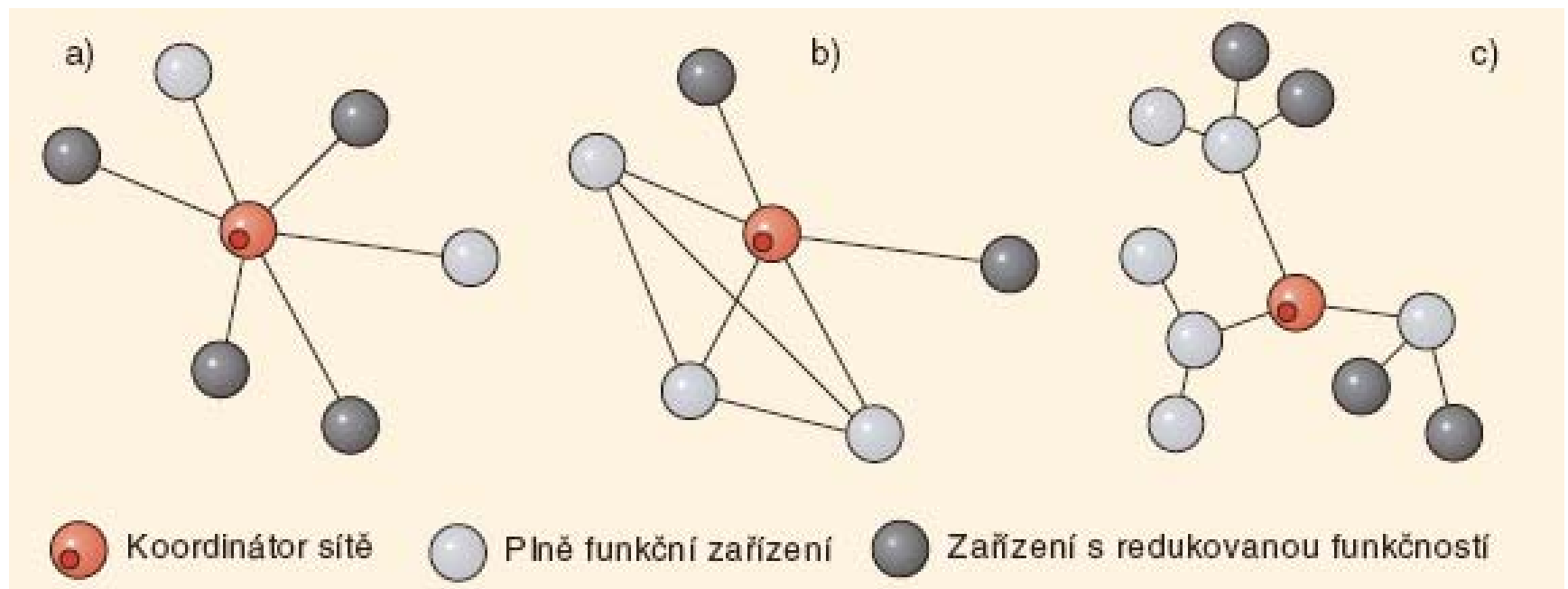
## IEEE 802.15.3c

- Wireless HD (WiHD)
- WiMedia Alliance + další
- 60 GHz
- 2 ~ 3 Gbit/s (do budoucna 25 Gbit/s)
- Smart antény – NLOS
- zabezpečení proti pirátskému kopírování

# IEEE 802.15.4 – ZigBee

- 3 bezlicenční pásma:
  - 2,4 GHz (celosvětově, 16 kanálů s odstupem 5 MHz, 240 kbit/s/kanál)
  - 868 MHz (Evropa, 1 kanál, 20 kbit/s)
  - 915 MHz (Amerika a Austrálie, 10 kanálů, 40 kbit/s/kanál)
- Dosah jednotky až desítky metrů, samokonfigurující síť s více skoky
- RFD (Reduced Functionality Device), FFD (Full Functional Device)
- Až 65 000 zařízení
- Velmi malá spotřeba energie, nízká cena

# IEEE 802.15.4 – ZigBee



# IEEE 802.20 – MBWA

## MBWA – Mobile Broadband Wireless Access

- Mobile-FI
- Očekávané schválení – ?
- Do rychlosti 250 km/h
- Licenční pásmo pod 3,5 GHz
- Průměr buňky 16 km – 4 Mbit/s download / 800 kbit/s upload
- Rychlost uživatele má být minimálně 1 Mbit/s download a 300 kbit/s upload



**Děkuji za pozornost !**