

FWA, Wireless MAN, WiMax

O čem přednáška je?

2

- **FWA**, *Fixed Wireless Access*, **WLL**, *Wireless Local Loop*
- Optické bezdrátové (laserové) spoje
- koncept sítí WMAN typu **WiMAX/802.16**
 - ✓ Worldwide Interoperability for Microwave Access
 - ✓ řešení fyzické vrstvy WiMAX/802.16
 - ✓ řešení MAC vrstvy WiMAX/802.16

- Bezdrátové technologie pro přenos hlasu, dat, videa ...
integrované do infrastruktur podniků a podnikových
procesů jako jedno možné řešení
přenosových, přístupových a páteřních sítí

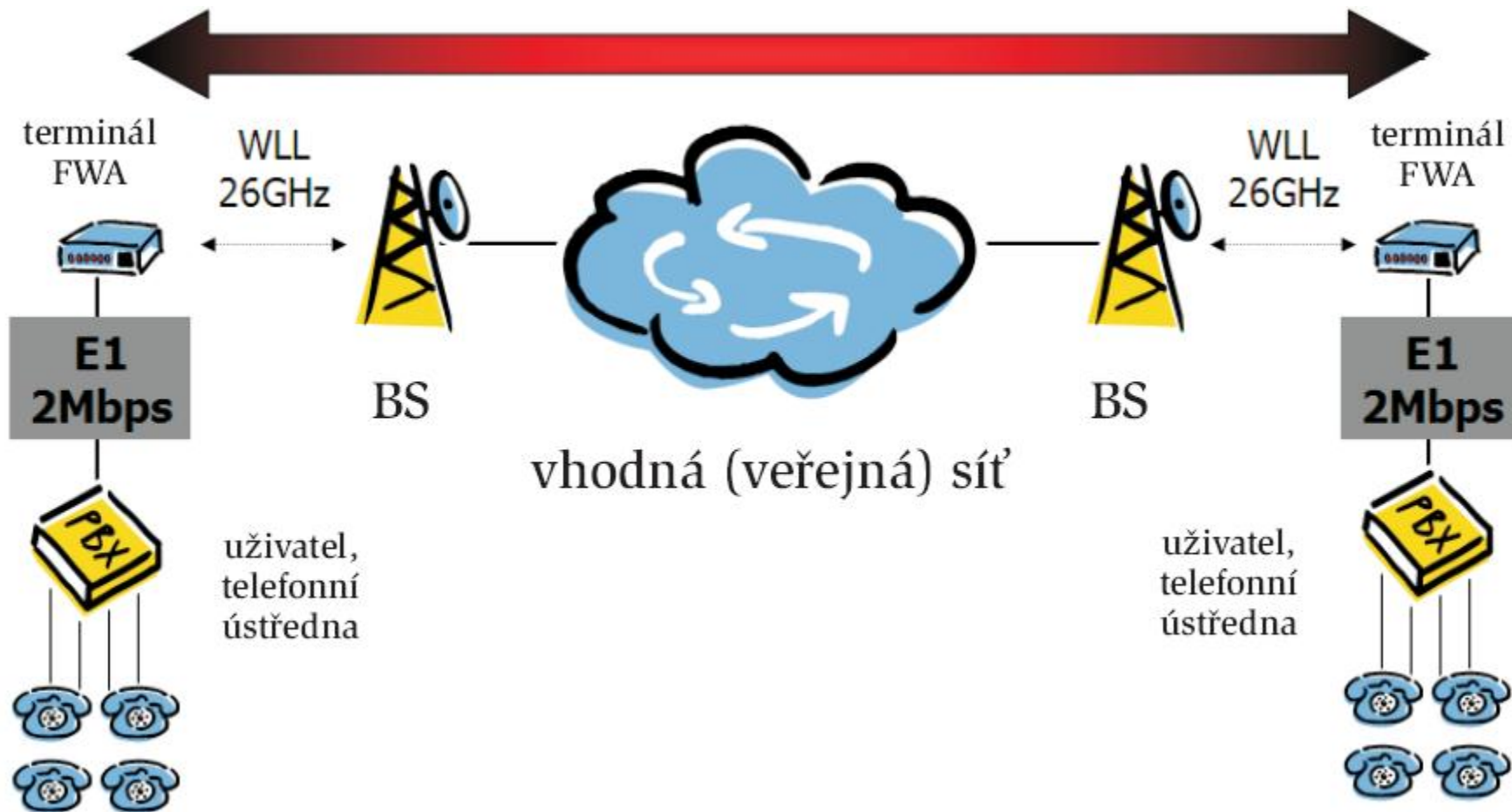
FWA, WLL

3

- **místní smyčka** – spojení účastníka s ústřednou
 - ✓ generický pojem FWA/WLL – bezdrátové napojení účastníka na ústřednu v kvalitě přenosů srovnatelné s pevnou linkou
 - ✓ operování v oblasti nazývané *last mile / first mile*
 - **kabelové technologie**:
telefon (ADSL), LAN, CATV, optické vlákno
 - **bezdrátové technologie**:
radiové frekvence (cm, mm vlny), laserové spoje
- **FWA** označuje bezdrátové technologie přístupových sítí pracující na frekvencích od 2 GHz výše v Evropě
- Synonymum v USA – **WLL**, *Wireless Local Loop*

FWA-WLL, příklad end-to-end řešení

4



Generace FWA, systémy LMDS a MMDS

5

1. generace FWA – devadesátá léta min. století

- **MMDS**, *Multi-channel Multi-point Distribution Services*
 - ✓ konec 80. a počátek 90. let min. století
 - ✓ licenční i bezlicenční provoz v pásmu 3,5 GHz, cm vlny pronikají vegetací, nevadí déšť, ...
 - ✓ všesměrové bezdrátové vysílání, síťování
 - ✓ do 30 až 50 km, stovky kb/s a jednotky Mb/s, levné, odolné rušení
 - ✓ napojení domácností, malých podniků, alternativa ke kabelové TV
cílová aplikace – MAN (Metropolitan Area Network)

Generace FWA, systémy LMDS a MMDS

6

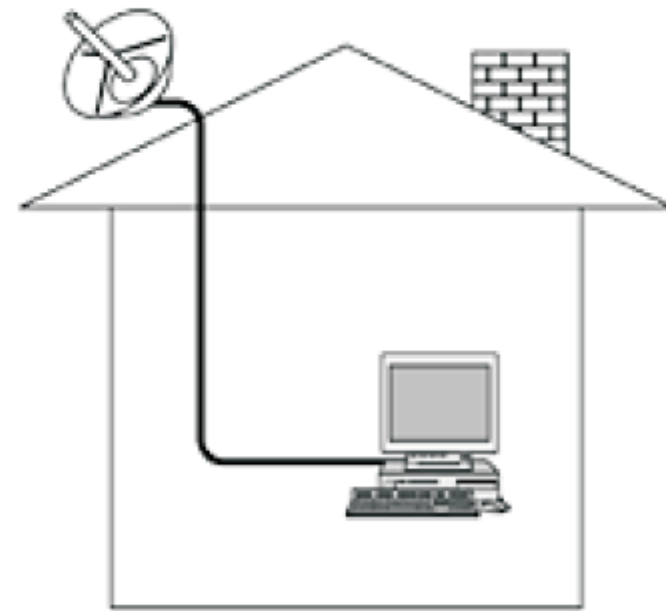
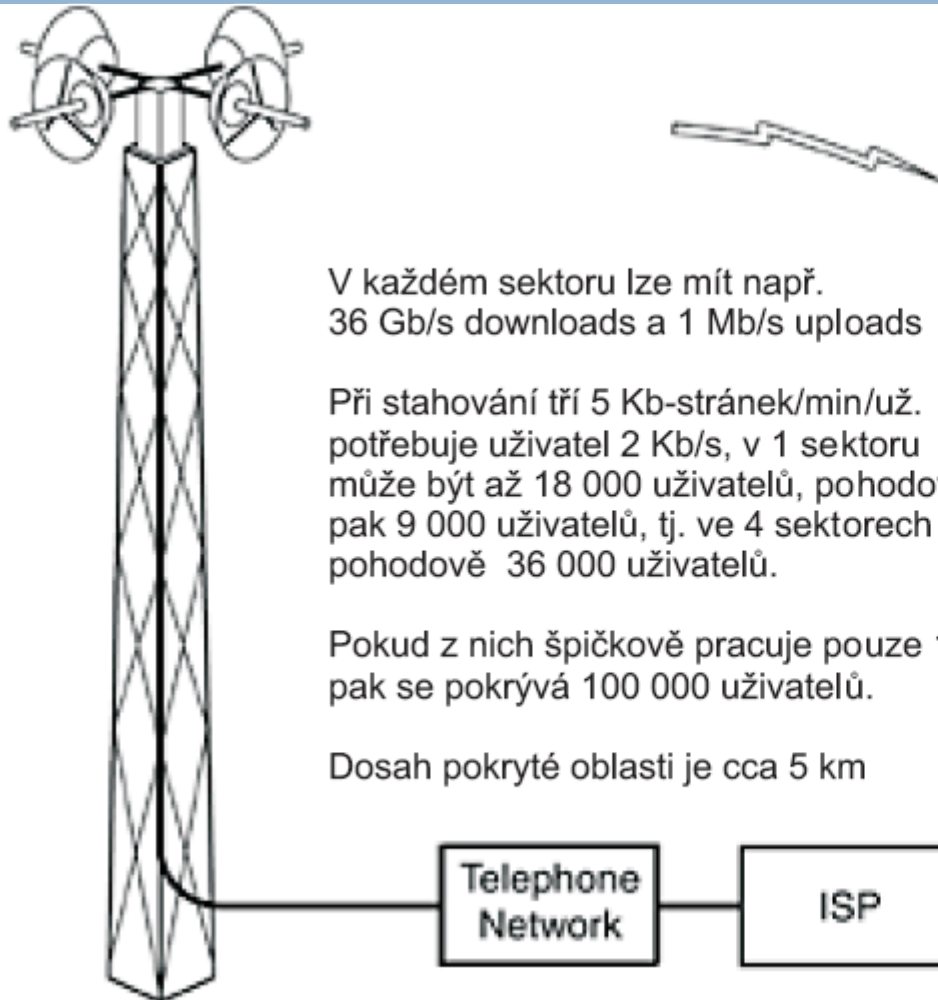
1. generace FWA – devadesátá léta min. století

□ **LMDS**, *Local Multipoint Distribution Service*

- ✓ konec 90. let min. století
- ✓ licenční provoz v pásmu 26 GHz (USA) / 40 GHz (Evropa), mm vlny
- ✓ technicky řešitelné až při dostupnosti adekvátní technologie integrovaných obvodů (gallium arsenik)
- ✓ Poin-to-Multipoint, bezdrátové řešení pro „poslední míli“
- ✓ směrové vysílání, nutná podmínka LOS
možná alternativa kabelového spojení ADSL
- ✓ do 1 až 5 km, až stovky Mb/s, drahá technologie, citlivé na rušení (vadí vegetace, vadí déšť, ...)
- ✓ typicky pro napojení větších podniků
- ✓ v současnosti vytlačí technologie WiMax (802.16)

Architektura LMDS

7



KIV/PD – Přenos dat

WiMax, Worldwide Interoperability for Microwave Access

8

- technologie bezdrátových sítí
 - založené na normě **IEEE 802.16–2004**, resp. **802.16d**
Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access System
časté alternativní názvy – *Wireless MAN* , *wireless local loop*
- jsou určeny pro:
 - ✓ digitální telefonii, televizní a rádiové vysílání, . . .
 - ✓ propojení přístupových bodů WiFi LAN
 - ✓ P2P bezdrátová spojení s vysokou kapacitou přenosu dat, bezdrátová alternativa kabelových, DSL a T1/E1 služeb pro širokopásmový přístup na poslední míli
 - ✓ P2MP bezdrátová řešení pro poslední míli všesměrovým bezdrátovým spojením
 - ✓ výstavbu rozsáhlých bezdrátových sítí pro přístup k internetu na úrovni metropolitních sítí, **MAN** (radiové kanály mohou zajišťovat rychlost např. i 120 Mb/s a více)

Proč nestačí 802.11? Proč nový 802.16?

9

- Obě sítě byly navrženy pro širokopásmové bezdrátové komunikace
- Obě sítě se ale liší
 - ✓ WiMax (802.16) poskytuje služby budovám, budovy nejsou mobilní, nemigrují mezi buňkami (to připouští až současná verze 802.16e)
 - ✓ WiFi (802.11) se silně orientuje na mobilitu stanic
 - ✓ V budově se provozuje více počítačů, koncovou stanicí WiFi je typicky notebook
 - ✓ Provozovatel budovy je schopen více investovat než vlastník notebooku,
 - WiMax může používat dokonalejší rádiová pojítka, může tudíž používat duplexní komunikace, čemuž se WiFi pro udržení láce vyhýbá
 - ✓ V buňce WiMax je typicky mnohem více uživatelů než v buňce 802.11

Proč nestačí 802.11? Proč nový 802.16?

10

- Obě sítě se ale liší (pokrač.)
 - ✓ Uživatelé WiMax požadují větší šířku pásma než uživatelé 802.11, přenášejí větší objemy dat
 - ✓ Pásmo ISM (pásmo 802.11) neposkytuje dostatečnou přenosovou kapacitu, WiMax musí operovat ve vyšších frekvenčních pásmech (10–66 GHz)
 - ✓ Tím se dostává WiMaX do pásma mm vln, WiFi používá delší vlny, fyzická vrstva musí být jiná
 - ✓ mm vlny ničí vlhkost (déšť, sníh, kroupy, mlha) – chybové řízení musí být dokonalejší než v budově
 - ✓ 802.11 vysílá všesměrově, mm vlny lze směřovat do paprsků
 - ✓ 802.11 nebyla navržena pro telefonii a silný multimediální provoz, 802.16 tyto aplikace podporuje
 - ✓ 802.11 je „mobilní Ethernet“, 802.16 je „bezdrátová kabelová TV“

WiMax, Worldwide Interoperability for Microwave Access

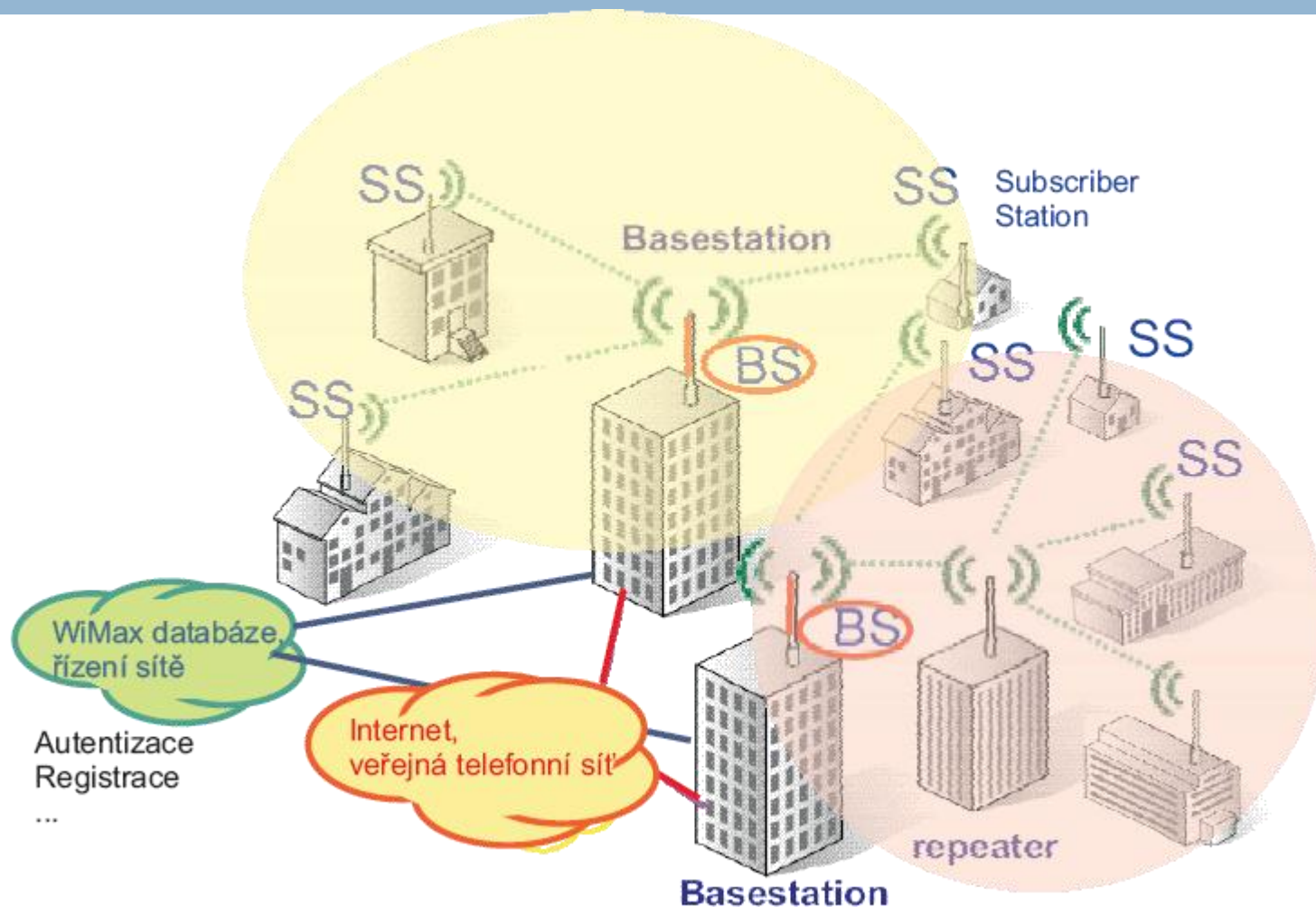
11

□ Charakteristiky

- ✓ přenos hlasu i videa a poskytování s tím souvisejících služeb zejména citlivých na časovou prodlevu, jako je
 - přenos hlasu pomocí přepojování okruhů,
 - přenos videa,
 - IP telefonie (**VoIP**) a
 - přenos dat s určenou prioritou, . . .
- ✓ poskytování vysokorychlostních mobilních datových a hlasových služeb bez nutnosti přímé viditelnosti základny
- ✓ obsluhování stovek až tisíců zákazníků jednou základnou
- ✓ může používat i stejné ISM pásmo jako ve WiFi
- ✓ jedná se o dražší technologii s výrazným důrazem na QoS (na rozdíl od WiFi)

WiMax architektura

12



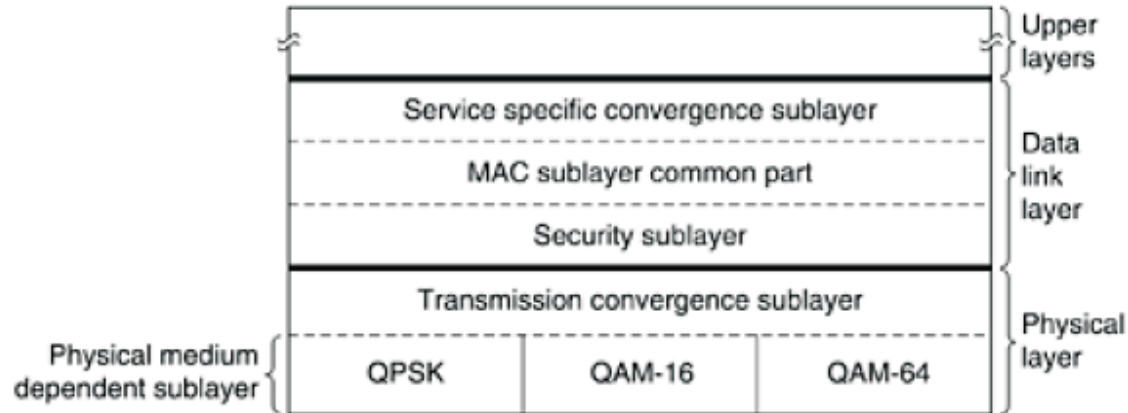
WiMax, komponenty

13

- WiMax je bezdrátová MAN nikoli bezdrátová LAN
- **základna**, *Base Stations (BS)* může ovládat tisíce **klientských stanic**, *Subscriber Station (SS)*
 - ✓ BS a SS jsou stacionární
 - ✓ BS je obvykle zapojena do veřejných sítí (Internet, PSTN, IPTV)
 - ✓ SS obvykle obsluhuje budovu (buňku) a pokrývá funkcionalitu „poslední míle“ z hlediska přístupu do veřejných sítí z koncových stanic (účastníků) obsluhovaných v buňce
- **databáze** (info o účastnících, konfigurace, info o službách, . . .)
- propojení mezi více BS a napojení BS na jiné systémy (PSTN, Internet, . . .)

WiMax, referenční model

14



□ podvrstva **Service-specific convergence**

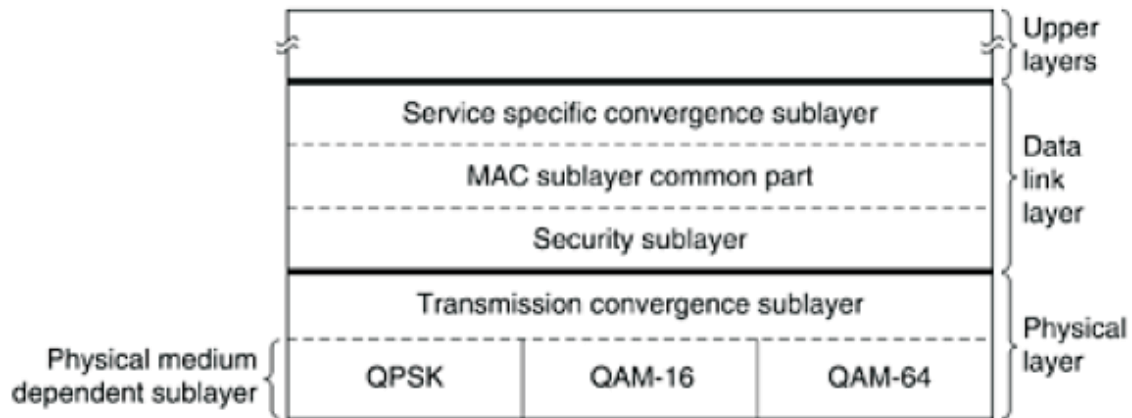
- ✓ rozhraní např. na síťovou vrstvu (IP v Intenetu)
- ✓ rozhraní na ATM síť

□ podvrstva **MAC**

- ✓ původní návrh byl P2MP, veškerý provoz řídí základna, (BS-SS)
- ✓ provozují se spojovaná spojení (*connection oriented*)
- ✓ později (802.16a,d) standard povoluje i *mesh* (SS-SS)

WiMax, referenční model

15



□ podvrstva **Security**

- ✓ kryptografie (soukromí), správa klíčů (v PV169 nestudujeme)

□ **Fyzická vrstva**

- ✓ základem je více signálový přenos typu OFDM,
- ✓ dílčí nosné složky jsou modulované podle zamýšleného dosahu alternativně modulacemi QPSK, 16-QAM a 64-QAM

WiMax, vlastnosti

16

- Síť třídy IEEE 802 – vyhovuje pravidlům chování vrstvy datového spoje podle standardů IEEE 802
 - ✓ dvouvrstvá architektura, fyzická vrstva, MAC vrstva
 - ✓ Základna v pokryté oblasti plní roli mostu LAN
 - ✓ Adresování stanic se děje na principu MAC adres
- vrstva datového spoje má více podvrstev
 - ✓ service-specific sublayer, podvrstva konvergenčí na služby: přizpůsobení paketům ATM, Ethernet a IP
 - ✓ MAC sublayer: spojovaná služba se zaručenou úrovní kvality, funkce poskytující služby klientům, vysílání dat v rámcích, řízení přístupu ke sdílenému médiu, jak může základna nebo klientská stanice zahájit přenos kanálem, jak zajistit potřebnou kapacitu, . . .

WiMax, vlastnosti

17

□ MAC podvrstva (pokrač.)

- ✓ Standard 802.16 specifikuje **rozhraní** (vč. podvrstvy MAC a fyzické vrstvy) **pevných p2mp** širokopásmových bezdrátových přístupových systémů poskytujícího **služby**
- ✓ souběžně je provozovatelných více služeb s různou prioritou QoS
- ✓ **podvrstva MAC** je funkční nad několika specifikacemi fyzické vrstvy optimalizovaných pro pásma frekvencí konkrétních aplikací, souběžně podporuje více specifikací fyzické vrstvy (PHY)
- ✓ **podvrstva MAC** vylučuje kolize, základna dynamicky, na žádost, přiděluje uplink/dowstream kapacitu jednotlivým klientským stanicím
- ✓ plánovací algoritmus MAC podvrstvy:
 - SS soupeří s ostatními SS o plánování pouze při 1. vstupu do sítě
 - po vstupu BS přidělí SS komunikační prostor/kapacitu výlučně
- ✓ Komunikace mezi dvěma SS typicky probíhá vždy přes BS
- ✓ Existuje ale i podpora „mesh“ sítě s přímou komunikací mezi SS

WiMax, vlastnosti

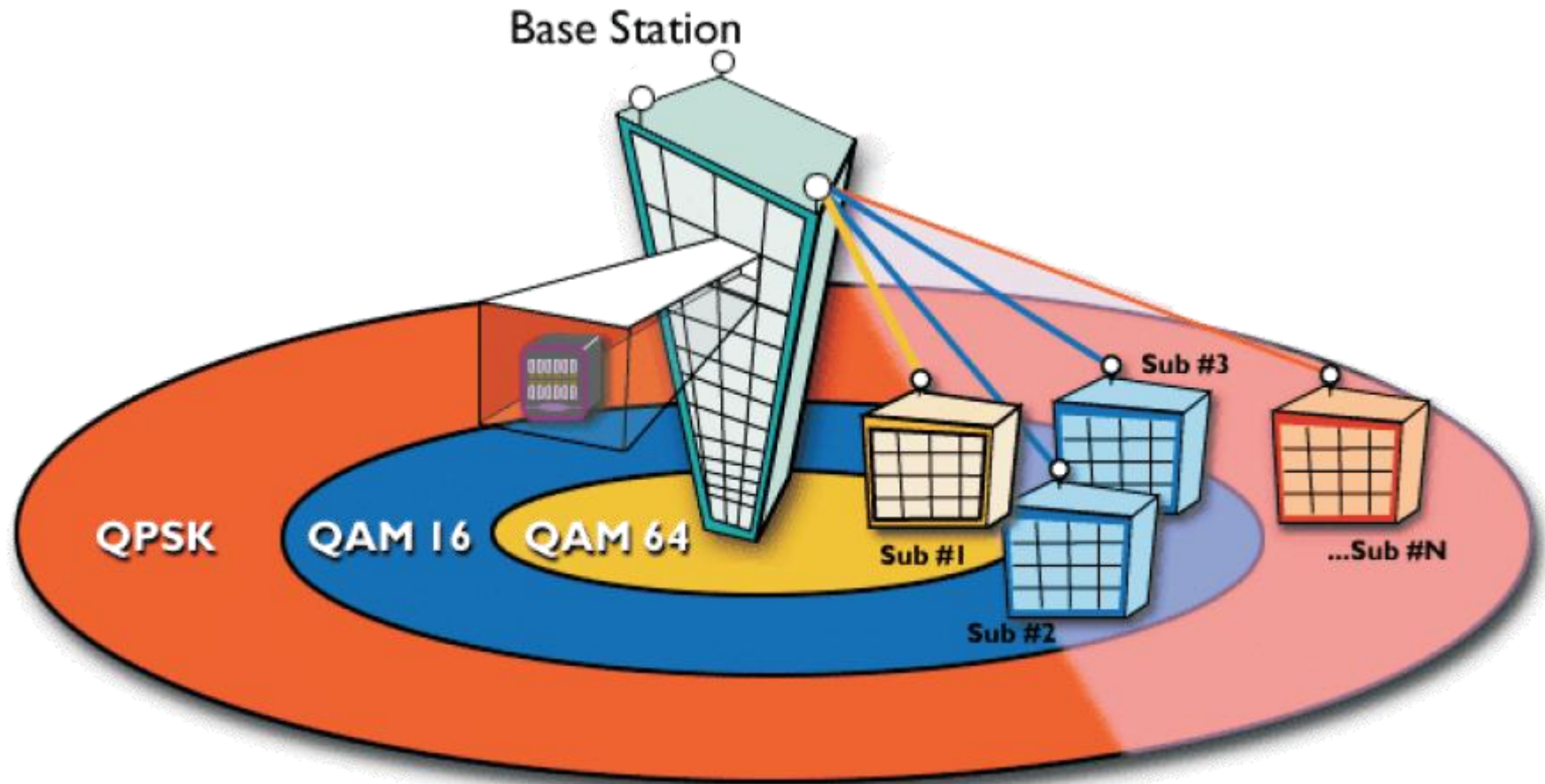
18

□ Fyzická vrstva, PHY

- ✓ specifikace **fyzické vrstvy** jsou bezproblémově aplikovatelné v systémech operujícími v pásmu frekvencí stanovených standardem – definice frekv. pásem, modulačních schémat, chybového řízení, synchronizace vysílač/přijímač, rychlost dat, struktura TDM/FDM
- ✓ provozovatelnost v pásmech kmitočtů
 - **10 GHz – 66 MHz**: nepodléhá licenčním řízením a
 - **2 GHz – 11 GHz (802.16a)**: pouze v licencovaných pásmech, v ČR je přidělené frekvenční pásmo 3,5 GHz
- ✓ dosah základnové stanice v otevřeném terénu při zachování přímé viditelnosti až 70 km
reálné využívání do 20 km při zachování přímé viditelnosti
- ✓ dosah v metropolitní oblasti bez zachování přímé viditelnosti 3 až 5 km
- ✓ kapacita přenosu na fyzické vrstvě je 255 Mb/s
reálná propustnost aplikačních dat je až 70 Mb/s
v praxi běžně nabízené rychlosti na uživatele 0,5 Mb/s až 2Mb/s

Vztah dosahů a způsobů dosahování rychlosti

19



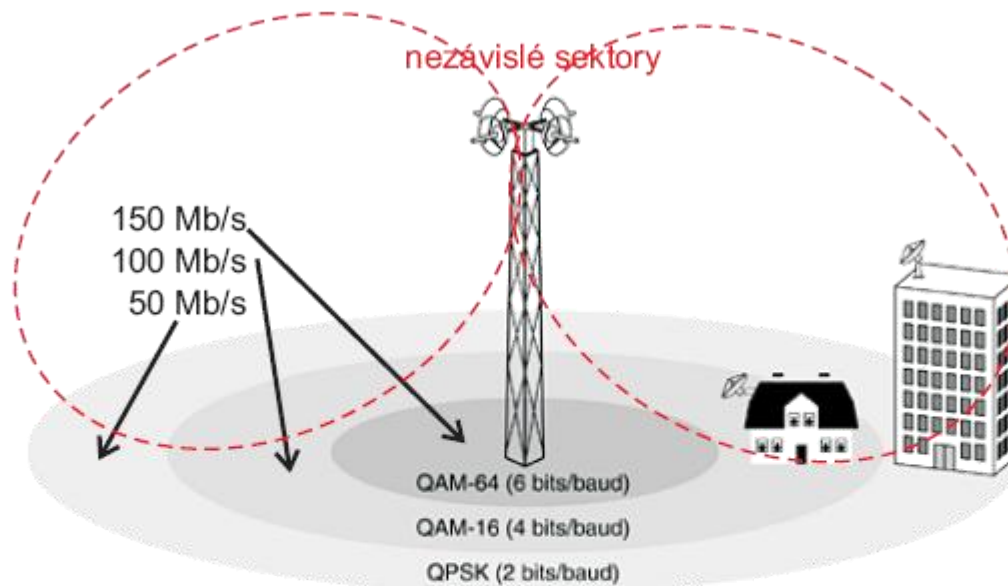
PHY, fyzická vrstva WiMax

20

- první verze standardu 802.16 definovala operační prostředí **LOS** v pásmech frekvencí **10–66 GHz**
- doplněk 802.16a definuje i **nonLOS** operační prostředí v pásmech frekvencí **2–11 GHz**
- Plánování spojení se uskutečňuje v časové, frekvenční i prostorové doméně
 - ✓ Konkrétní chování PHY se odvozuje z řízení uplatněného v MAC vrstvě
 - ✓ pro sdílení *uplink* a *downlink* spojů, se používá jak *time division duplex* (**TDD**), tak i *frequency division duplex* (**FDD**)
 - ✓ **orientované antény** omezují své paprsky na konkrétní koncový bod, používá se prostorové dělení vč. multianténních technik (**MIMO**)
mm vlny se šíří paprskem (jako světlo), nikoli všesměrově (jako zvuk)

PHY, fyzická vrstva WiMax

21



- signál v mm pásmu rychle slábne, je tlumený ovzduším, . . .
- podle vzdálenosti BS-SS se používají různá modulační schémata (rychlosti)

PHY, fyzická vrstva WiMax

22

- existuje více specifikací vrstvy PHY
 - ✓ Single Carrier PHY
 - ✓ 256 point FFT OFDM PHY
 - ✓ 2048 point FFT OFDM PHY

- přednosti OFDM proti CDMA
 - ✓ OFDM podporuje nonLOS komunikace s menšími nároky na přenosový výkon
 - ✓ CDMA požaduje mnohem větší šířku pásma pro přenos než kterou vyžaduje objem přenášených dat, což je pro bezdrátové vysílání pod 11 GHz nepraktické

Vlastnosti vrstvy PHY

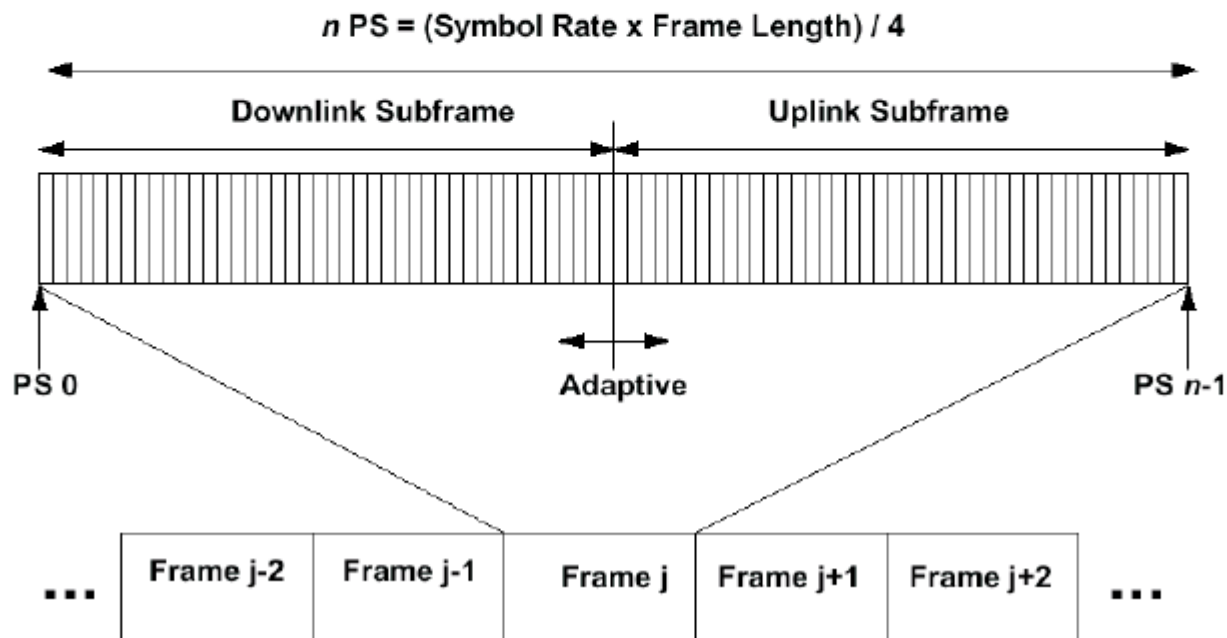
23

- širokopásmové kanály
 - ✓ (20, 25 nebo 28 MHz)
 - ✓ velká přenosová kapacita
 - jak pro downlink (BS→SS) tak i pro uplink (SS→BS)
- násobnost přístupu – TDM/TDMA i FDM/FDMA
- adaptivnost profilů na spojích downlink i uplink
 - profil = modulace, FEC (Hammingovy kódy)

Vlastnosti vrstvy PHY

24

- pro multiplexing a duplexní provoz se využívá jednak TDD
 - ✓ downlink i uplink sdílí stejný RF kanál
 - ✓ dynamická asymetrie
 - ✓ levné SS nevysílají současně s příjmem
 - ✓ TDD frame:



Vlastnosti vrstvy PHY

25

- pro multiplexing a duplexní provoz se využívá rovněž FDD
 - ✓ downlink i uplink používají separátní RF kanál
 - ✓ statická asymetrie
 - ✓ podporují se SS s polovičně-duplexním režimem (levné SS nevysílají současně s příjmem)
- Využívání časových dílů *downlink* spoje plně řídí základna v podvrstvě MAC
- Využívání časových dílů *uplink* spoje je složitější
 - ✓ iniciálně se uplatňuje soupeření podporované funkcionalitou podvrstvy MAC
 - ✓ výklad MAC podvrstvy, viz dále

MAC – multiplexing DAMA-TDMA

26

- *Demand Assignment Multiple Access-Time Division Multiple Access*
(**DAMA-TDMA**)
- TDMA
 - ✓ čas se v kanálu dělí na úseky – **TDMA rámce** (*TDMA frames*)
 - ✓ každý TDMA rámec sestává z určitého počtu **časových dílů** (*slots*)
 - ✓ 1 nebo několik časových dílů v TDMA rámci lze seskupovat do **logického kanálu**
- DAMA
 - ✓ přidělování časových dílů v TDMA rámcích řídí BS dynamicky
 - ✓ o přidělení přenosové kapacity požádá SS při svém prvním přihlášení
 - ✓ první přihlášení = soupeření stanic o jistý uplink časový díl –
 - vyžaduje se komunikační šířka pásma,
 - kolize při soupeření se řeší „exponenciálním back-off algoritmem“

MAC – uplink a downlink kanály

27

- přenos $SS \rightarrow BS$, *uplink*
 - ✓ multipoint-to-point, silné soupeření o přístup k médiu
 - ✓ uplatňuje se multiplexing DAMA-TDMA, požadavek byl zadán při zahájení činnosti
 - ✓ po prvé přidělený (získaný) časový díl je spojení přidělený až do ukončení spojení
 - ✓ používají se opravné kódy
 - ✓ modulační techniky vycházejí ze schémat QPSK

MAC – uplink a downlink kanály

28

- přenos $BS \rightarrow SS$, *downlink*
 - ✓ point-to-multipoint,
 - ✓ 2 TDM režimy přenosu $BS \rightarrow SS$
 - režim A: podpora souvislého toku – audio, video, ...
 - režim B: podpora dávkovaného toku – IP data, ...
 - ✓ obvykle je žádaná větší kapacita pro jednotlivé SS než pro *uplink* (stahování WWW, ...),
 - ✓ žádné soupeření o přístup k médiu, jednoduché řízení základnou
 - ✓ režim A: podpora souvislého toku – audio, video, ...
 - prostý TDM, informace pro každou SS se vysílá najednou jako jeden proud dat a obdrží ji každá SS v daném sektoru
 - multiplexing s *uplink* tokem pomocí multiplexování FDD
 - ✓ režim B: podpora dávkovaného toku – IP data, ...
 - uplatňuje se multiplexing DAMA-TDMA
 - multiplexing s *uplink* tokem pomocí multiplexování FDD nebo pomocí TDD – část TDMA rámce se použije pro tok *uplink* a část TDMA rámce se použije pro tok *downlink*

WiMax, MAC

29

- **Rámce MAC podvrstvy** zabírají celistvý počet časových dílů fyzické vrstvy
- Každý rámec se dělí na pod-rámce
 - ✓ první dva jsou mapy downstream-u a upstream-u
 - ✓ sdělují co je ve kterých časových dílech a které časové díly jsou volné
 - ✓ downstream mapa obsahuje rovněž parametry informující nově připojované stanice
- **Downstream kanál** je jednoduchý, co je ve kterém podrámci určuje základna
- **Upstream kanál** je komplikovanější
 - ✓ využívají ho nově se přihlašující stanice
 - ✓ jeho alokace závisí na požadované kvalitě přenosu

WiMax, MAC – poskytované QoS

30

- **Třídy QoS** – všechny typy služeb jsou spojované služby
 - ✓ *Constant bit rate service.*
 - ✓ *Real-time variable bit rate service.*
 - ✓ *Non-real-time variable bit rate service.*
 - ✓ *Best-efforts service.*
 - ✓ Pro srovnání – WiFi podporuje nespojované služby
- **Contention free MAC**
 - ✓ základna vymezuje časové intervaly, ve kterých operuje ta která konkrétní stanice zprávou, kterou slyší všechny stanice
 - ✓ v přidělených časových intervalech nebudou ostatní zařízení vysílat
- **Contention based MAC**
 - ✓ *bázový princip – dělená ALoha*
 - ✓ *stanice musí bezkolizně zaslat žádost základně v časovém dílu sdělovaném pravidelně základnou do pokryté oblasti*
 - ✓ *zaslání žádosti – vysílání nízkým výkonem*
 - ✓ *akceptování žádosti – stanice uslyší pozitivní odpověď ⇒ může vysílat*
 - ✓ *neuslyší odpověď ⇒ kolize, před dalším pokusem náhodná, opakovaně exponenciálně prodlužovaná prodleva*

WiMax, MAC – poskytované QoS

31

- **Constant bit rate service, CBR**, (*contention free MAC*)
 - ✓ přenos nekomprimovaného hlasu, kanál typu T1
 - ✓ záruka přenosu jistého objemu dat za jistý čas
 - ✓ časové díly jsou přidělené základnou pevně, není třeba o ně žádat

- **Real-time variable bit rate service, RVBR** (*contention free MAC*)
 - ✓ přenos komprimovaných multimediálních dat apod.
 - ✓ požadovaná přenosová kapacita může kolísat
 - ✓ základna se v pravidelných intervalech dotazuje stanice jakou přenosovou kapacitu požaduje
 - ✓ časové díly pak přiděluje základna

WiMax, MAC – poskytované QoS

32

- **Non-real-time variable bit rate service, NRVBR** (*c. f. MAC*)
 - ✓ pro velkobjemový přenos dat (soubory dat) nepožadující limity v real-time
 - ✓ základna se v nepravidelných intervalech dotazuje stanice jakou přenosovou kapacitu požaduje
 - ✓ časové díly pak přiděluje základna
- **Best-efforts service, BE** (*contention based MAC*)
 - ✓ stanice musí soupeřit o přidělení časových dílů
 - ✓ časové díly pro soupeření jsou označené v upstream mapě vítěz soupeření je sdělovaný v následné downstream mapě
 - ✓ v případě kolize se žádosti opakují v následných náhodných intervalech (ezponenciálně prodlužovaných)
 - ✓ O alokaci kapacity může žádat stanice pro všechny své uživatele společně nebo o ni mohou žádat jednotliví uživatelé stanice samostatně

WiMax, MAC - plánování

33

- plánování –
určování jak a kdy budou zařízení přijímat a vysílat
- plánování ve WiMAX –
kombinace TDMA, vyzývání a soupeření
- **plánování na bázi TDMA**
 - ✓ zajišťování CBR na sdílením radiovém kanálu
 - ✓ pravidelná alokace časových dílů stanic

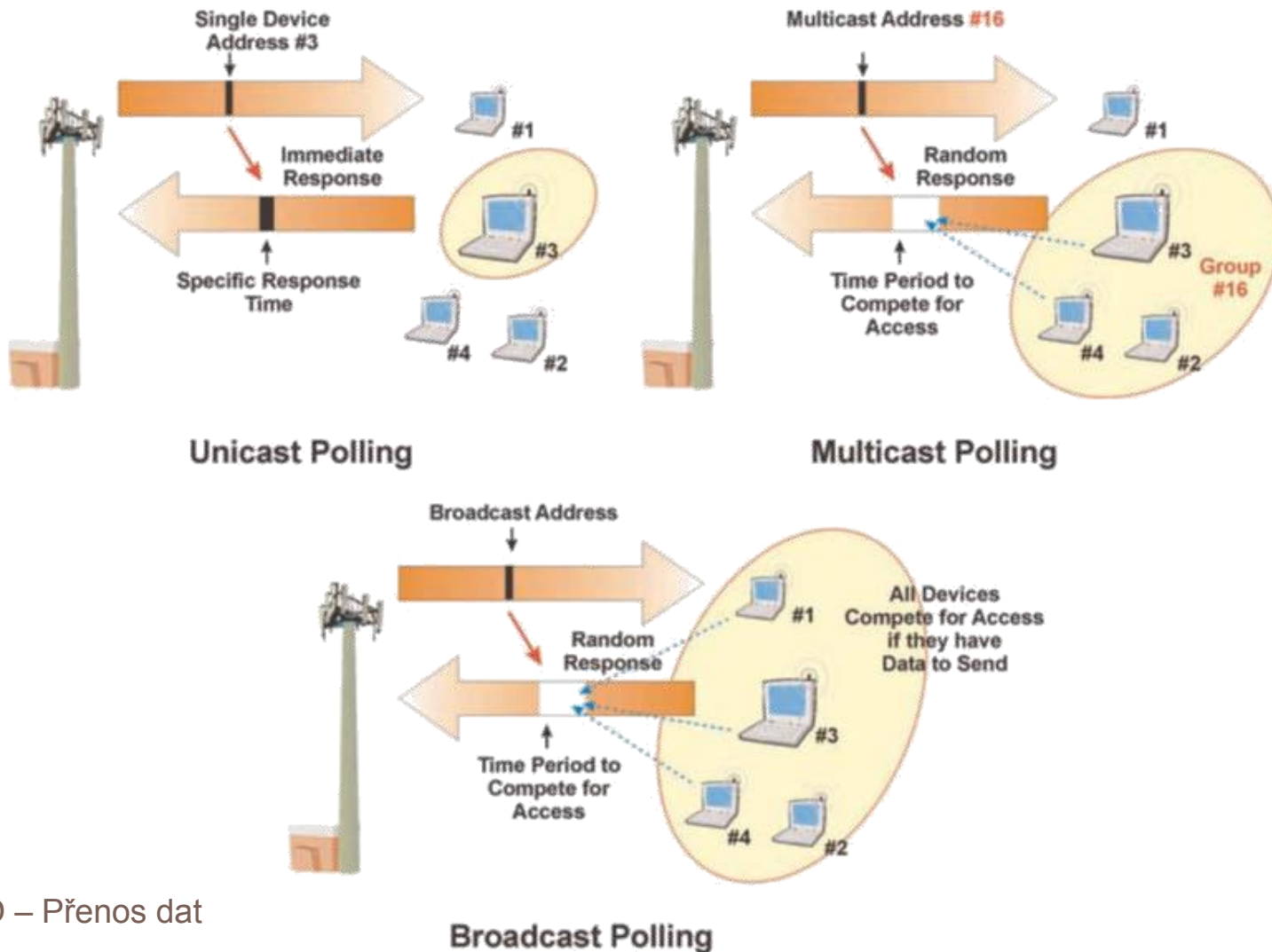
WiMax, MAC – plánování, vyzývání

34

- **Vyzývání**, *polling*
 - ✓ (periodické) vysílání vyzývací zprávy základnou po *downlink* kanálu
 - ✓ příjemce vyzvání spouští relevantní přenos v určeném časovém intervalu po *uplink* kanálu
 - ✓ vyzývat lze jednu konkrétní stanici – **unicast polling**, reaguje pouze vyzvaná stanice, ostatní mlčí
 - ✓ **multicast polling** – oslovené stanice (v oslovené skupině) budou **soupeřit**
 - ✓ **broadcast polling** – oslovuje všechny stanice

WiMax, MAC – plánování, vyzývání

35



WiMax, MAC – plánování, soupeření

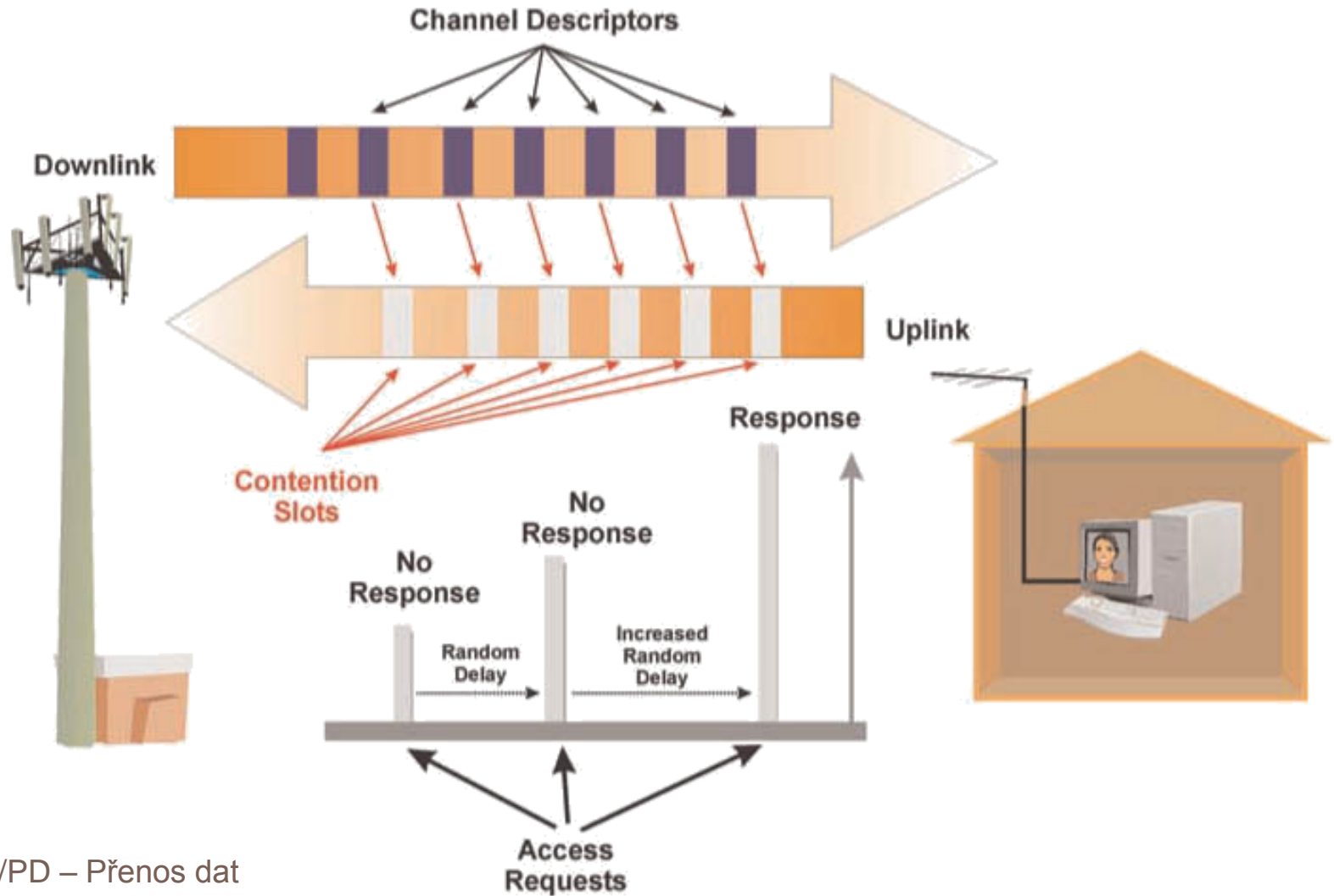
36

□ **soupeření**, *Contention*

- ✓ základna definuje časové díly, ve kterých se soupeří, zprávou rozesílanou periodicky po downlink kanálu
- ✓ soupeřící stanice vyčká na udaný časový díl a vyšle žádost
- ✓ pokud neuslyší odpověď, za náhodný, postupně prodlužovaný interval vysílá žádost opakovaně, vždy silnějším výkonem
- ✓ odpovědí se dozví přidělené časové díly uplink kanálu

WiMax, MAC – plánování, soupeření

37



MAC – plánování, mix TDMA, výzev a soupeření

38

