



ČESKÉ
VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V PRAZE

**FAKULTA
ELEKTROTECHNICKÁ**
KATEDRA TELEKOMUNIKAČNÍ TECHNIKY



Úvod do bezdrátových sítí

Zbyněk Kocur
zbynek.kocur@fel.cvut.cz
2. 11. 2017

Standardizace



Standard	Name/Description
802.1	Bridging & network managem.
802.2	Logical Link Control (LLC)
802.3	Ethernet
802.4	Token bus
802.5	Token ring
802.6	Metropolitan Area Networks
802.7	Broadband LAN using Coaxial Cable
802.8	Fiber Optic TAG*
802.9	Integrated Services LAN
802.10	Interoperable LAN Security

Standard	Name/Description
802.11	Wireless LAN & Mesh
802.12	100VG AnyLAN (demand priority access method)
802.13	Cat 6 - 10Gb lan
802.14	Cables modem
802.15	Wireless Personal Area Network (WPAN)
802.16	Broadband Wireless Access
802.17	Resilient Packet Ring Working Group (RPRWG)
802.18	Radio Regulatory TAG
802.19	Coexistence TAG
802.20	Mobile Broadband Wireless Access (MBWA)
802.21	Media Independent Handoff
802.22	Wireless Regional Area Network (WRAN)

 disbanded

*TAG: Technical Advisory Group

Standardizace



802.11 WG
Wireless Local Area
Network & Mesh

802.11a ... 802.11ad

802.15 WG
Wireless Personal Area
Network

802.15.1 ... 802.15.5

802.16 WG
Broadband Wireless
Access

802.16a ... 802.16e

802.20 WG
Mobile Broadband
Wireless
Access

802.22 WG
Wireless Regional Area
Network

*IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

Standardizace



- sítě označovány WLAN, standard IEEE 802.11
- náhrada klasických přepínaných sítí
- **WiFi aliance**
 - Sdružuje výrobce WiFi zařízení
 - Uděluje certifikát o kompatibilitě s ostatními zařízeními tohoto standardu

Zařízení, která byla schválená WiFi aliancí jsou opatřeny následujícími symboly:





WiFi hardware

(přehled)

WiFi hardware



Dělení:

- **přístupové body**
- **klientské stanice (adaptéry)**
- **antény**
- **doplňkový hardware**

WiFi hardware



Přístupové body:

- klasické přístupové body (AP – Access Point)
- kombinované přístupové body tzv. **domácí brány**
(AP + switch, adsl, isdn, cdma, router)
- speciální přístupové body (video server, souborový server, miniPC, atd ...)

WiFi hardware



Klasické přístupové body - provedení



WiFi hardware

Klasické přístupové body - provedení



WiFi hardware



Kombinované přístupové body - provedení



AP + switch + WAN router



AP + switch + DSL router

WiFi hardware



Speciální přístupové body - provedení



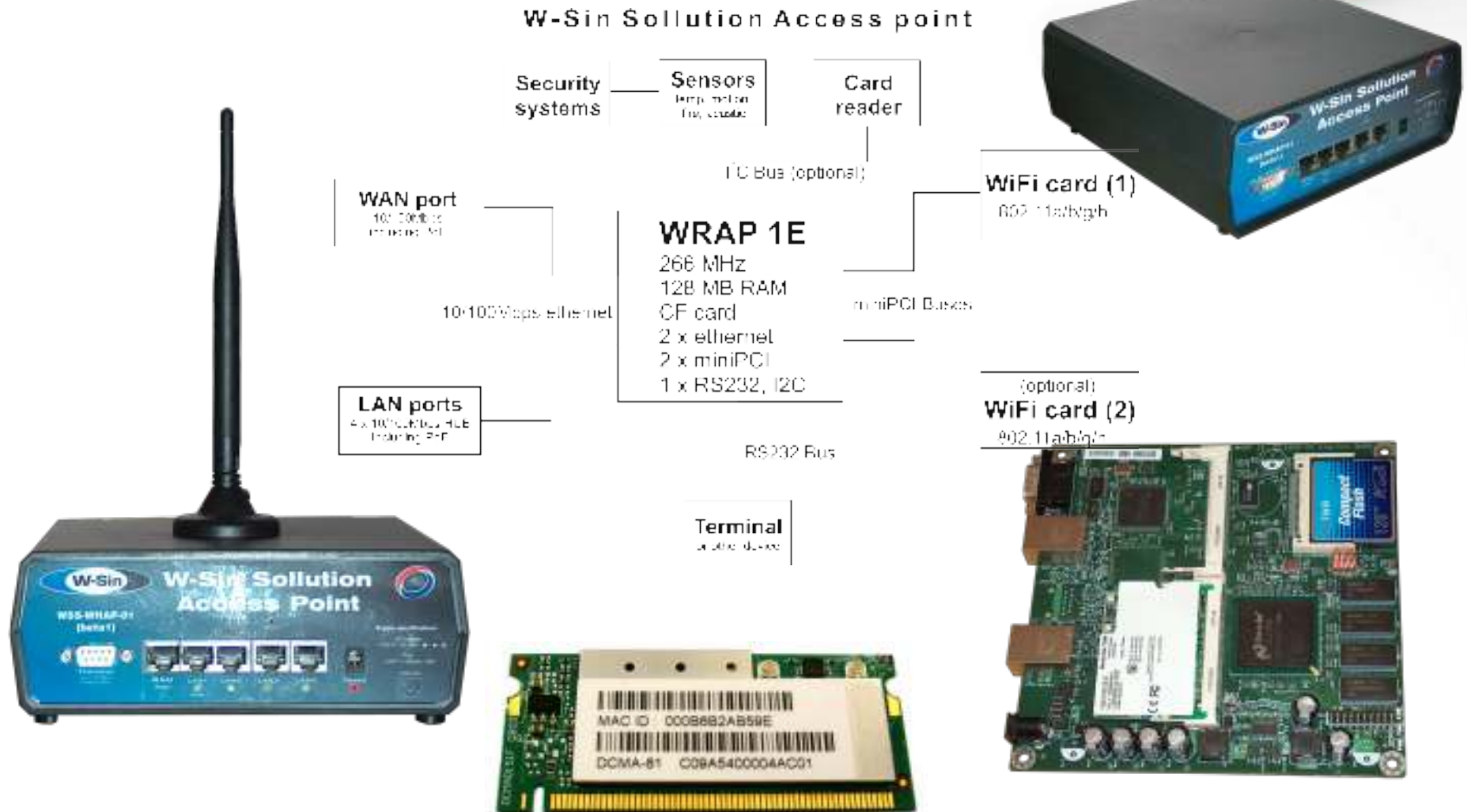
WiFi kamera



WiFi pevný disk

WiFi hardware

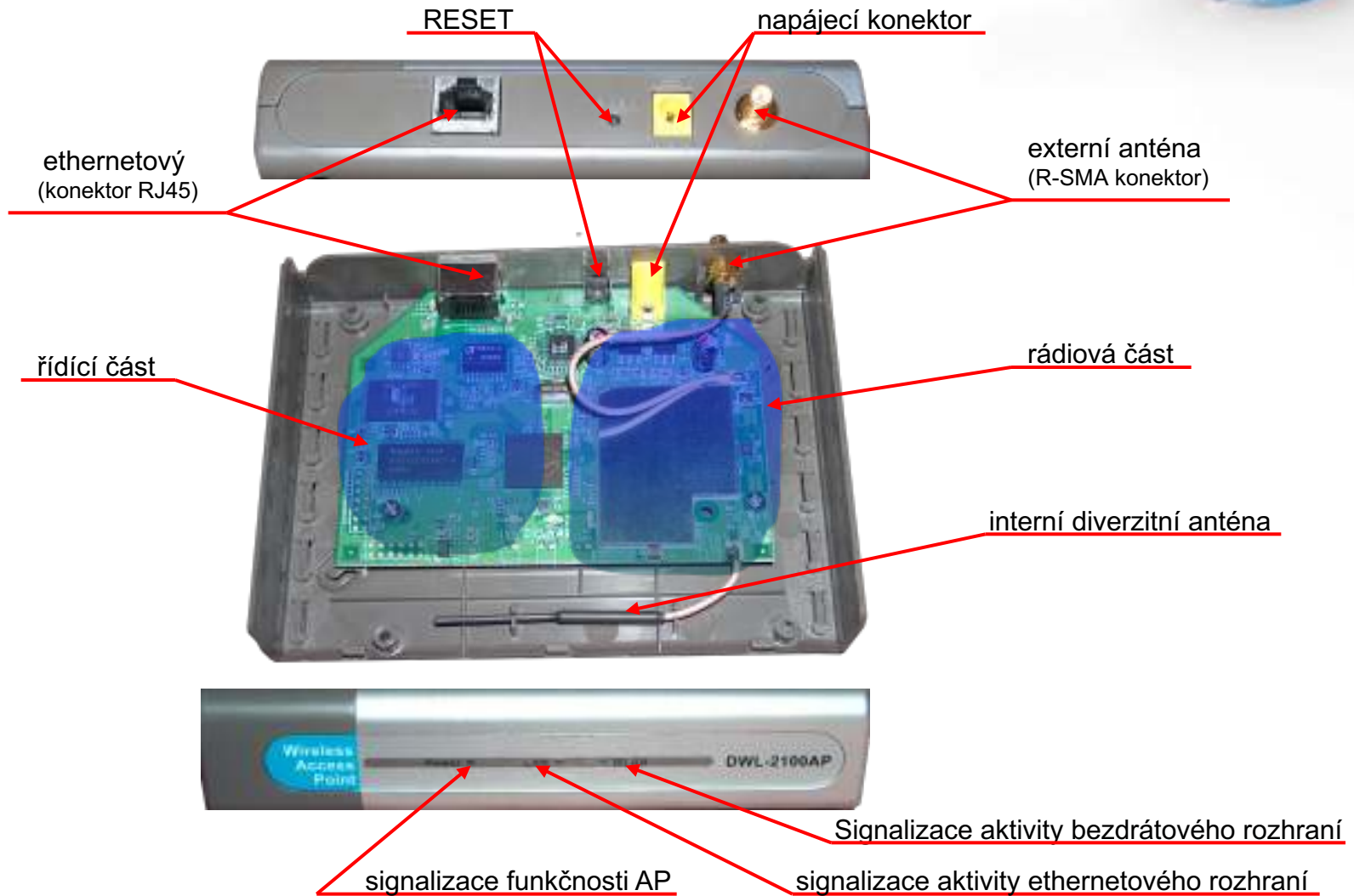
Speciální přístupové body - provedení



WiFi hardware



Přístupový bod D-link DWL-2100AP (IEEE 802.11 g)



WiFi hardware



Parametry:

Podporované standardy: IEEE 802.11b/g, IEEE 802.3, IEEE 802.3u

Ovládání: WEB, SNMP v3, CLI - Telnet

Podporované režimy: AP, Client, PtP Bridge, PtMP Bridge, Repeater, WDS

Podporovaná zabezpečení: WEP, WPA, 802.1X, MAC

Metoda přístupu k médiu: CSMA/CA (RTS/CTS)

Frekvenční rozsah: 2,4 GHz – 2,4835 GHz

Výstupní výkon: 15dBm (32mW) \pm 2dB, výkon možno regulovat (min, 25%, 50%, full, 125%)

Přijímací citlivost:

54Mbps OFDM, 10% PER, -66dBm

48Mbps OFDM, 10% PER, -71dBm

36Mbps OFDM, 10% PER, -76dBm

24Mbps OFDM, 10% PER, -80dBm

18Mbps OFDM, 10% PER, -83dBm

12Mbps OFDM, 10% PER, -85dBm

11Mbps CCK, 8% PER, -83dBm

9Mbps OFDM, 10% PER, -86dBm

6Mbps OFDM, 10% PER, -87dBm

2Mbps QPSK, 8% PER, -89dBm

WiFi hardware



SNMP v3 utilita

Nalezení všech konfigurovatelných HwAP

Konfigurační menu vybraného HwAP

Nastavení IP adresy

Model Name	Mac Address	IP Address	Release	F/W Version	Device Name	Action	Status
DWL-2000P	00:0C:29:00:00:00	192.168.10.2	200.255.255	v1.0.0.0	test	Reset Config	OK
DWL-2500AP	00:0C:29:00:00:00	192.168.10.2	200.255.255	v1.0.0.0	test	Reset Config	OK

Device Configure

General Wireless Security Filters AP Mode DHCP Server

IEEE802.11g

AP mode bridge

Recreate AP Mac Address

00:00:00:00:00:00

00:00:3d:8f:0d:8f

Device Configure

General Wireless Security Filters AP Mode DHCP Server

Device Name Nero

LAN

IP Address: 192.168.10.3 Gateway: 192.168.10.1

IP Netmask: 255.255.255.0 DHCP client: disable

Telnet

Telnet Support: enable

Telnet Timeout: never minute(s)

Device Configure

General Wireless Security Filters AP Mode DHCP Server

IEEE802.11g

Wireless setting

SSID: W_Sin_Bridge_2 Data Rate: auto

Channel: 6 Beacon Interval (20*1000): 100

SSID Broadcast: disable DTIM (1~255): 1

11g only: enable Fragment Length (256~2346): 2346

Super G: super G with dynamic turbo RTS Length (256~2346): 2346

Radio Wave: enable Tx Power: high

WiFi hardware



**WEB
rozhraní**

D-Link Building Networks for People
AirPlus Xtreme G High-Speed 2.4GHz Wireless Access Point

Home | Advanced | Tools | Status | Help

LAN Settings

SSID Name	Static (Default)
SSID Prefix	DL_999_102
SSID Suffix	DL_200_200_0
Default Gateway	192.168.0.1

Apply Cancel Help

D-Link Building Networks for People
AirPlus Xtreme G High-Speed 2.4GHz Wireless Access Point

Home | Advanced | Tools | Status | Help

Wireless Settings

Wireless Mode	11b/g/n
Channel	6
Data Rate	Auto
Channel Interval (20 - 40K)	20
TX Power (dBm)	20
Fragment Length (255 - 2346)	2346
RTS Length (255 - 2346)	2346
Transmit Power	11
Super G Mode	Disabled
802.11g Only	Disabled
Auto Mode	On
Auto Channel Scan	Enabled

Apply Cancel Help

D-Link Building Networks for People
AirPlus Xtreme G High-Speed 2.4GHz Wireless Access Point

Home | Advanced | Tools | Status | Help

Wireless Settings

The DWL-2100AP has Wireless Access Point. The setup wizard will guide you through the configuration of the DWL-2100AP. The DWL-2100AP Setup wizard will allow you to view wireless access point settings. Please follow the setup wizard step by step to configure the DWL-2100AP.

Next >

D-Link DWL-2100AP Setup Wizard

Welcome to the DWL-2100AP Setup Wizard. This wizard will guide you through the configuration of the DWL-2100AP.

Step 1: Select the wireless mode.

Step 2: Select the channel.

Step 3: Select the data rate.

Step 4: Select the transmit power.

Step 5: Select the fragment length.

Step 6: Select the RTS length.

Step 7: Select the auto mode.

Step 8: Select the auto channel scan.

Step 9: Select the auto channel scan interval.

Step 10: Select the auto channel scan timeout.

Step 11: Select the auto channel scan retry interval.

Step 12: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 13: Select the auto channel scan retry count.

Step 14: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 15: Select the auto channel scan retry count.

Step 16: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 17: Select the auto channel scan retry count.

Step 18: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 19: Select the auto channel scan retry count.

Step 20: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 21: Select the auto channel scan retry count.

Step 22: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 23: Select the auto channel scan retry count.

Step 24: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 25: Select the auto channel scan retry count.

Step 26: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 27: Select the auto channel scan retry count.

Step 28: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 29: Select the auto channel scan retry count.

Step 30: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 31: Select the auto channel scan retry count.

Step 32: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 33: Select the auto channel scan retry count.

Step 34: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 35: Select the auto channel scan retry count.

Step 36: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 37: Select the auto channel scan retry count.

Step 38: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 39: Select the auto channel scan retry count.

Step 40: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 41: Select the auto channel scan retry count.

Step 42: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 43: Select the auto channel scan retry count.

Step 44: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 45: Select the auto channel scan retry count.

Step 46: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 47: Select the auto channel scan retry count.

Step 48: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 49: Select the auto channel scan retry count.

Step 50: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 51: Select the auto channel scan retry count.

Step 52: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 53: Select the auto channel scan retry count.

Step 54: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 55: Select the auto channel scan retry count.

Step 56: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 57: Select the auto channel scan retry count.

Step 58: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 59: Select the auto channel scan retry count.

Step 60: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 61: Select the auto channel scan retry count.

Step 62: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 63: Select the auto channel scan retry count.

Step 64: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 65: Select the auto channel scan retry count.

Step 66: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 67: Select the auto channel scan retry count.

Step 68: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 69: Select the auto channel scan retry count.

Step 70: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 71: Select the auto channel scan retry count.

Step 72: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 73: Select the auto channel scan retry count.

Step 74: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 75: Select the auto channel scan retry count.

Step 76: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 77: Select the auto channel scan retry count.

Step 78: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 79: Select the auto channel scan retry count.

Step 80: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 81: Select the auto channel scan retry count.

Step 82: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 83: Select the auto channel scan retry count.

Step 84: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 85: Select the auto channel scan retry count.

Step 86: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 87: Select the auto channel scan retry count.

Step 88: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 89: Select the auto channel scan retry count.

Step 90: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 91: Select the auto channel scan retry count.

Step 92: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 93: Select the auto channel scan retry count.

Step 94: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 95: Select the auto channel scan retry count.

Step 96: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 97: Select the auto channel scan retry count.

Step 98: Select the auto channel scan retry timeout.

Step 99: Select the auto channel scan retry count.

Step 100: Select the auto channel scan retry timeout.

Next >

D-Link Building Networks for People
AirPlus Xtreme G High-Speed 2.4GHz Wireless Access Point

Home | Advanced | Tools | Status | Help

Advanced Wireless Settings

Wireless Mode	11b/g/n
Frequency	2.437 GHz
Channel	6
Data Rate	Auto
Channel Interval (20 - 40K)	20
TX Power (dBm)	20
Fragment Length (255 - 2346)	2346
RTS Length (255 - 2346)	2346
Transmit Power	11
Super G Mode	Disabled
802.11g Only	Disabled
Auto Mode	On
Auto Channel Scan	Enabled

Apply Cancel Help

WiFi hardware



CLI -Telnet

```
192.168.1.1 - PuTTY
cosmius root # telnet 192.168.10.3
Trying 192.168.10.3...
Connected to 192.168.10.3.
Escape character is '^]'.

Nero login: w-sin
Password: *****

Atheros Access Point Rev 3.0.0.43A
Nero wlan1 -> █
```

```
192.168.1.1 - PuTTY
cosmius root # telnet 192.168.10.3
Trying 192.168.10.3...
Connected to 192.168.10.3.
Escape character is '^]'.

Nero login: w-sin
Password: *****

Atheros Access Point Rev 3.0.0.43A
Nero wlan1 -> find bss
Traffic will be disrupted during the channel scan
=> BSS'es from the selected wireless mode <=
BSS Type Channel BSSI BSSID WEP SSID
AP BSS 2.412 ( 1) 7 00:04:e2:43:3b:56 OFF babka00002j
AP BSS 2.412 ( 1) 14 00:80:c8:ad:18:69 OFF CTFres.Net.org).sz
AP BSS 2.432 ( 5) 6 00:e0:98:be:8c:28 CW SHMETKO
AP BSS 2.437 ( 6) 9 00:04:3d:9f:db:6f OFF ???????????????
AP BSS 2.472 (13) 9 00:50:8b:a7:29:c3 OFF CTFres.Net.TheryHavez2
AP BSS 2.472 (13) 7 00:02:2d:b5:2e:72 OFF babka00002z
AP: 6, Ad-Hoc: 0. Total BSS: 6
Nero wlan1 -> █
```

WiFi hardware



Klientské adaptéry:

- provedení – externí/interní
- sběrnice – USB, PCI, miniPCI, Ethernet, IoT

WiFi hardware



miniPCI



AP v režimu klient



PCMCIA



PCI



USB

WiFi hardware



Antény:

- provedení – externí/interní
- vyzařování – všesměrové / směrové (sektorové)
- smart antény
- svodový (anténní) materiál

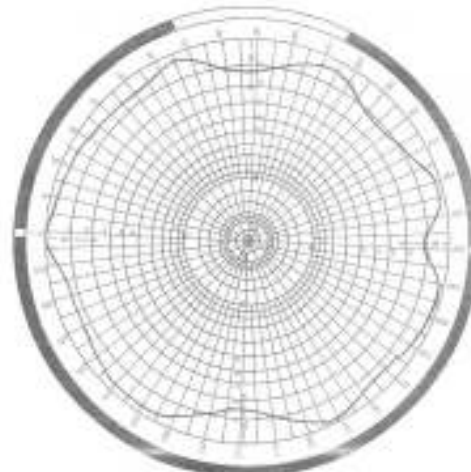
WiFi hardware



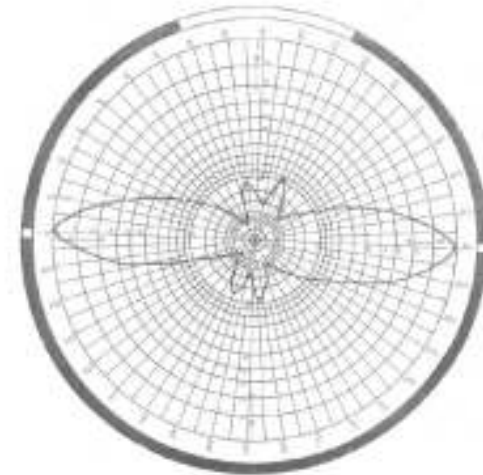
Všesměrová anténa



Antenna Plots @ 2450 MHz



H Plane - Azimuth



E Plane - Vertical

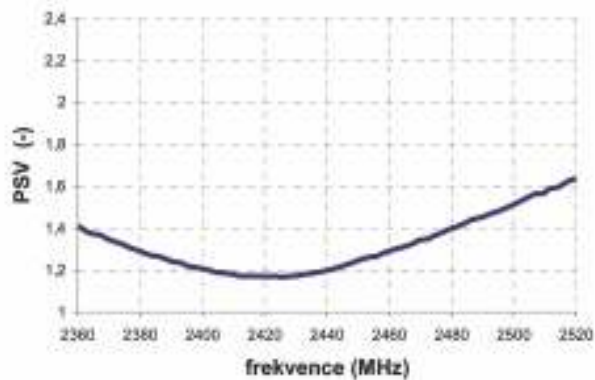
WiFi hardware



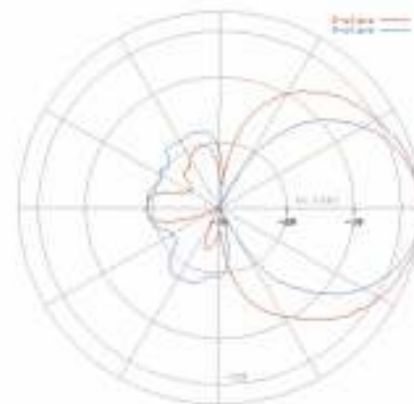
Sektorová anténa



Přizpůsobení antény



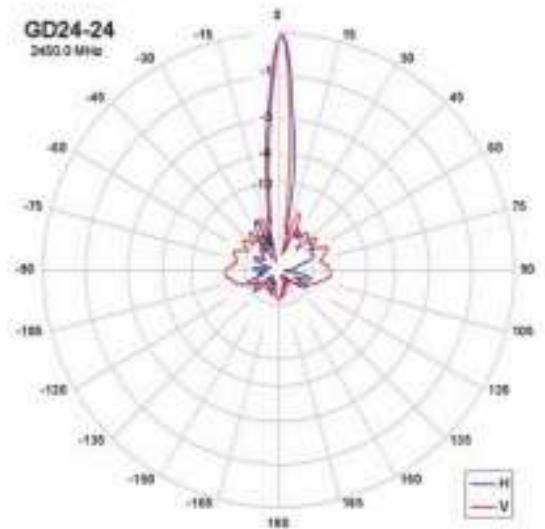
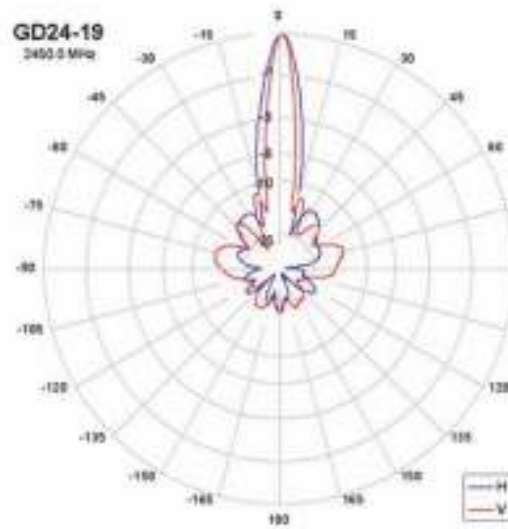
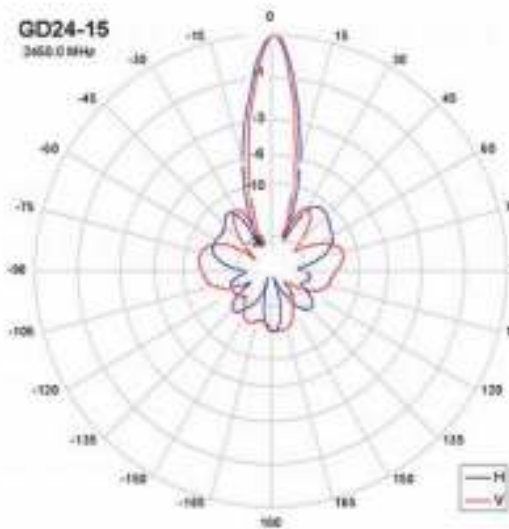
Směrové charakteristiky



WiFi hardware



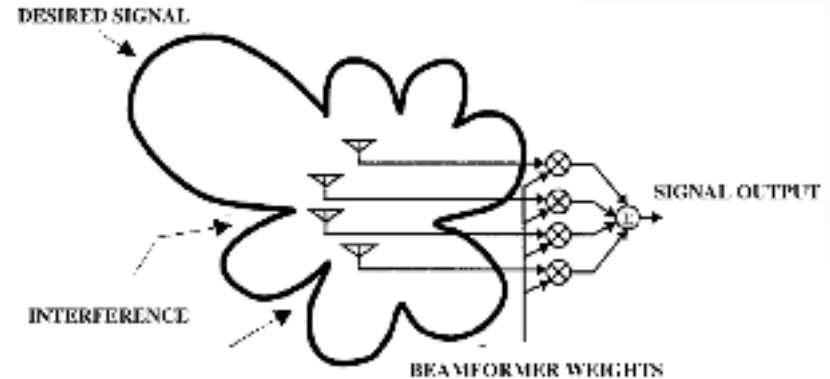
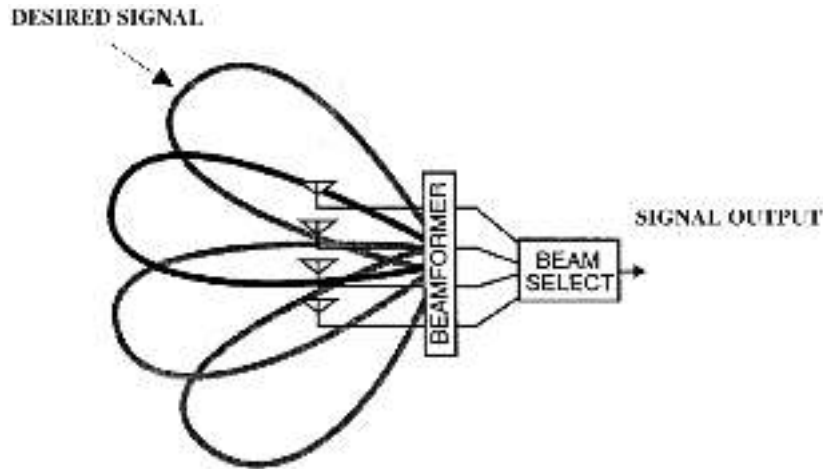
Směrová anténa



WiFi hardware



SMART antény



Multipaprsková anténa

anténa se skládá z několika fixních paprsků (laloků), které jsou směřovány do prostoru. Pro příjem je vybrán ten paprsek (lalok), který směřuje k požadovanému signálu.

Sfázovaná anténní soustava

jediný paprsek (lalok), který je tvořen přizpůsobením fáze, je směřován do požadovaného směru k přijímanému signálu

WiFi hardware



Svodový materiál (kabel):

- pro anténní svod je nutné použít koaxiální kabel s malým útlumem. Je důležité, aby výkonové ztráty byly s délkou kabelu co nejmenší
- jako dielektrikum se používá vzduch, nebo pěna
- platí – čím větší průměr kabelu, tím nižší útlum!
- je důležité, aby byl kabel vždy co **nejkratší!!**

Belden H1000

Průměr kabelu 11 mm

Impedance 50 Ω

Pro $f = 2,4$ GHz je útlum 0,22 dB/m



Belden H155

Průměr kabelu 6 mm

Impedance 50 Ω

Pro $f = 2,4$ GHz je útlum 0,5 dB/m



WiFi hardware



Svodový materiál (konektory):

- používají se konektory N, R-SMA, R-TNC
- jmenovitý útlum na konektoru N je cca 0,5 dB, ostatní konektory mají obdobný útlum
- konektory N jsou výhradně používány pro venkovní nízkoútlumové svody (Belden H1000)
- konektory R-SMA a R-TNC jsou umístěny na bezdrátových zařízeních
- redukce mezi konektory N, R-SMA, R-TNC se nazývá „pigtail“. Útlum na redukci je cca 1,8 dB



N pro Belden H1000



N pro H155



R-TNC



R-SMA

WiFi hardware



Použitý svodový materiál (bleskojistky):

- bleskojistka je pásmová koaxiální přepětová ochrana určená pro ochranu proti průmyslovému rušení, přepětí a atmosférickým výbojům
- princip - pásmová propust s $\Lambda/4$ zkratem naladěná na střed kmitočtového pásma 2.4GHz



Provozní kmitočtové pásmo: 2.3 ~ 2.6GHz

Zátěž: 2,5kA pro vlnu 10/350 μ s

Maximální zbytkové napětí: < 10V

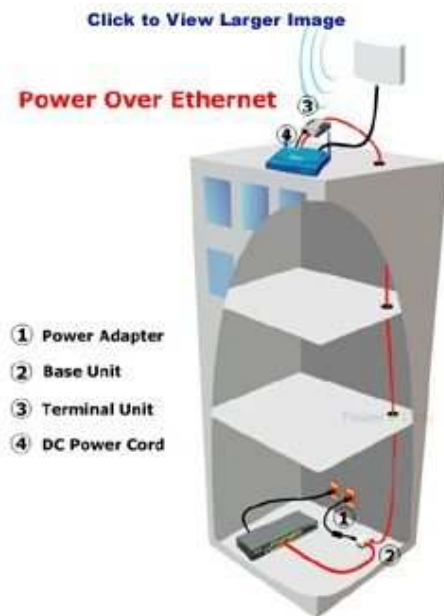
Útlum: \leq 1dB

Činitel zpětného odrazu: \leq -20dB

WiFi hardware



Doplňkový hardware



PoE – Power over Ethernet

WatchDog

Bezdrátové sítě

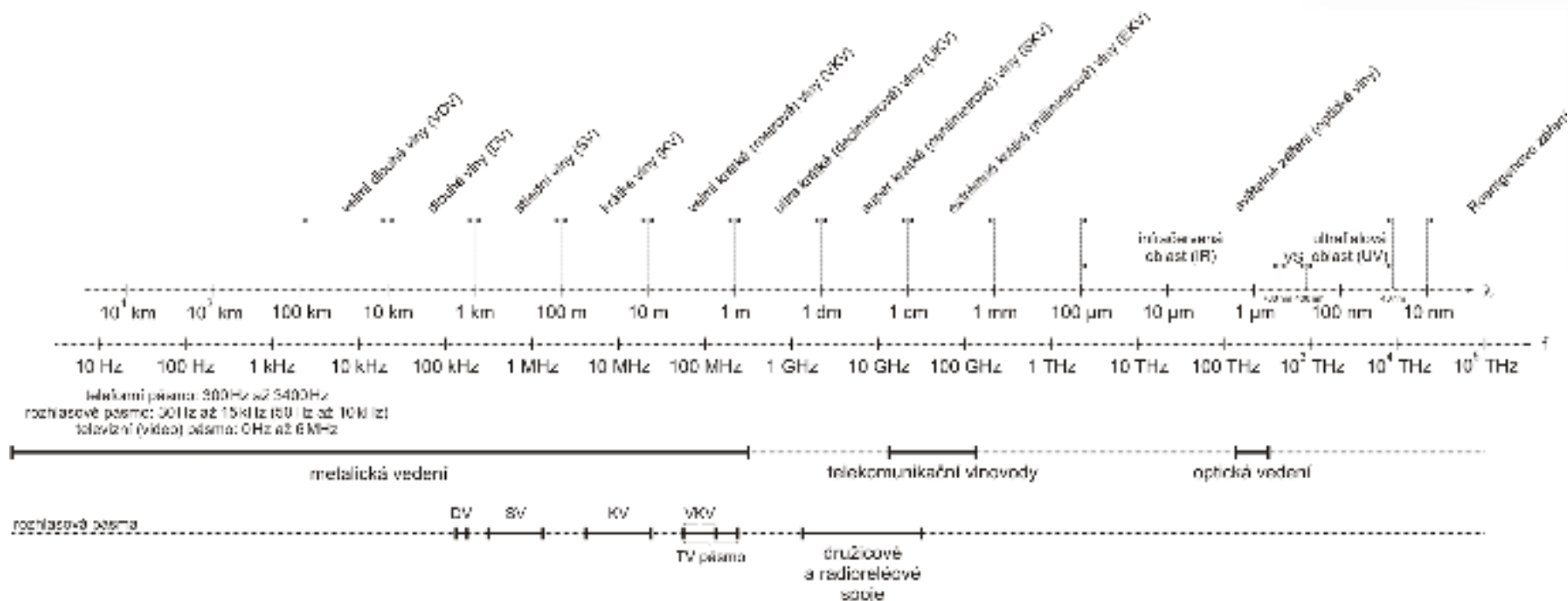


- Bezdrátový přenos informace je založen na principu šíření elektro-magnetické vlny volným prostorem.
- V současné době se pro bezdrátový přenos využívají frekvence od desítek Hz do stovek THz.
- Pásmo rádiových vln se rozkládá od nejnižších frekvencí do 102 GHz.
- Vyšší frekvence náleží do optického spektra.
- Přenášená informace musí být pro bezdrátový přenos vhodně upravena (ochranné kódování, modulace).
- Plošné pokrývání území se řeší na základě kmitočtového plánování (2F plán, xF plán, 5R model)
- Frekvenční pásma přiděluje ČESKÝ TELEKOMUNIKAČNÍ ÚŘAD.

Bezdrátové sítě



- Rozdělení frekvenčních pásem



Bezdrátové sítě



- **Základní způsoby dělení rádiových prostředků**

<i>Typ dělení</i>	Druh rádiových prostředků	
<i>Šířka pásma</i>	úzkopásmové	širokopásmové
<i>Směr přenosu</i>	distribuční - jednosměrné	s obousměrnou komunikací
<i>Topologie</i>	bod – bod	bod – mnoho bodů
<i>Mobilita účastníka</i>	pevná bezdrátová přípojka	mobilní terminál
<i>Využité prostředky</i>	pozemní	družicové
<i>Způsob obousměrného přenosu</i>	časové dělení	frekvenční dělení
<i>Metody vícenásobného přístupu</i>	TDMA	FDMA CDMA
<i>Poskytované služby</i>	telefonní	datové
<i>Kmitočtové pásmo</i>	GSM900, GSM1800, UMTS, ISM2400, ISM5500, atd..	

Bezdrátové sítě



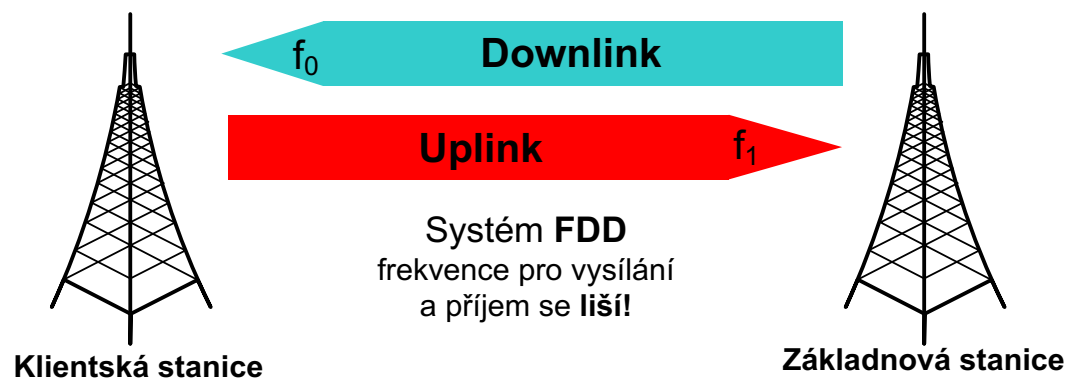
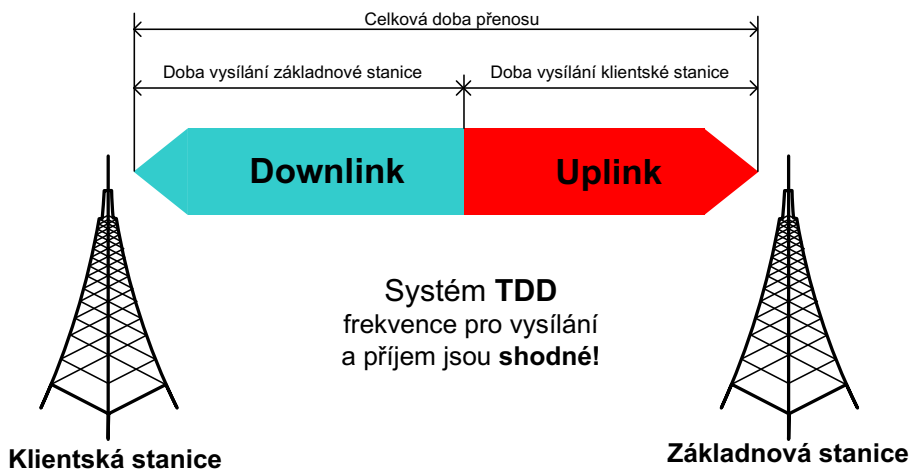
- Model RM ISO/OSI a jeho souvislost s IEEE 802.11

Výšší vrstvy	...							
Síťová vrstva	IP							
Spojová vrstva	802.11 - Logical Link Control (LLC)							
	802.11 - Medium Access Control (MAC)							
Fyziká vrstva	802.11 IR	802.11 DSSS	802.11 FHSS	802.11 OFDM	802.11 HR-DSSS	802.11 OFDM	802.11 MIMO OFDM	802.11 SU-MIMO OFDM

Bezdrátové sítě



• Metody duplexního přenosu



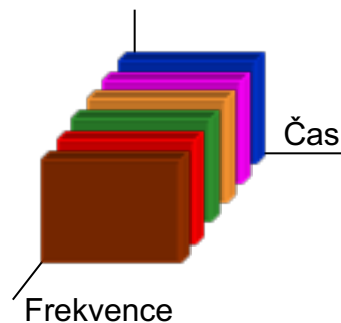
Bezdrátové sítě



- **Metody vícenásobného přístupu**

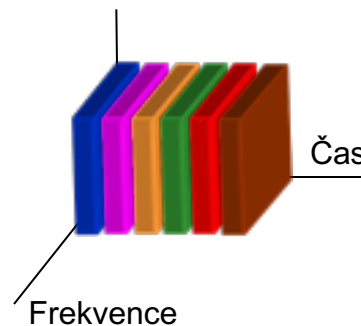
FDMA (Frequency Division Multiple Access)

1 účastník = 1 frekvence



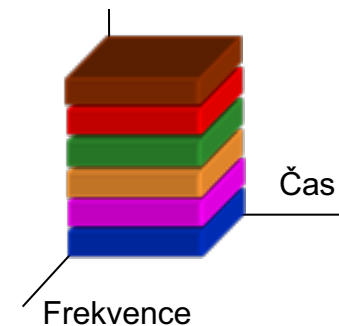
TDMA (Time Division Multiple Access)

1 účastník = 1 časový interval



CDMA (Code Division Multiple Access)

1 účastník = 1 kód

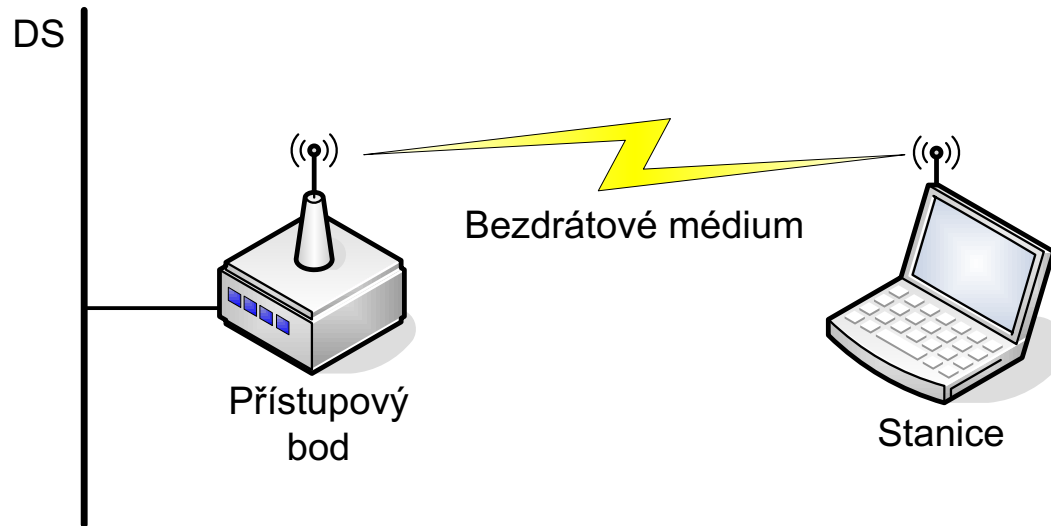


Topologie



• Prvky bezdrátové sítě

- distribuční systém (většinou ethernet)
- přístupový bod (AP – Access Point)
- bezdrátové médium (vzduch)
- stanice (Station)



Topologie

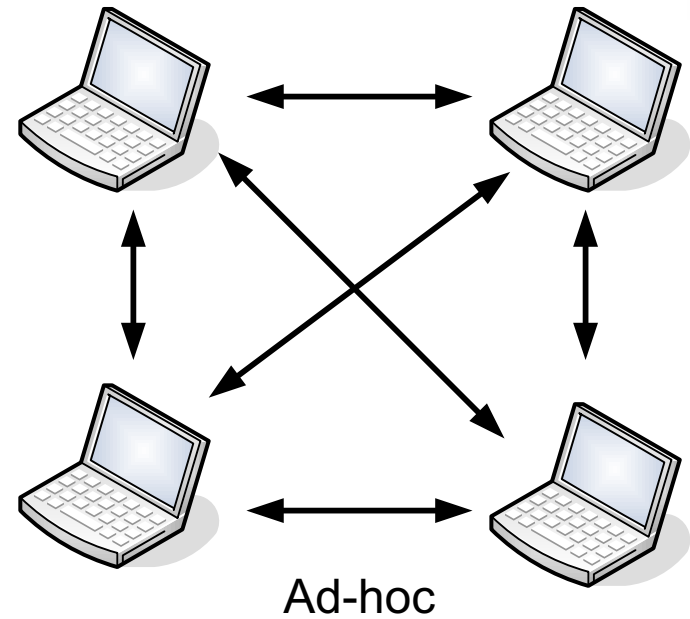


- **Topologie bezdrátových sítí**
 - Ad-hoc
 - infrastrukturní
 - kruhová
 - mesh

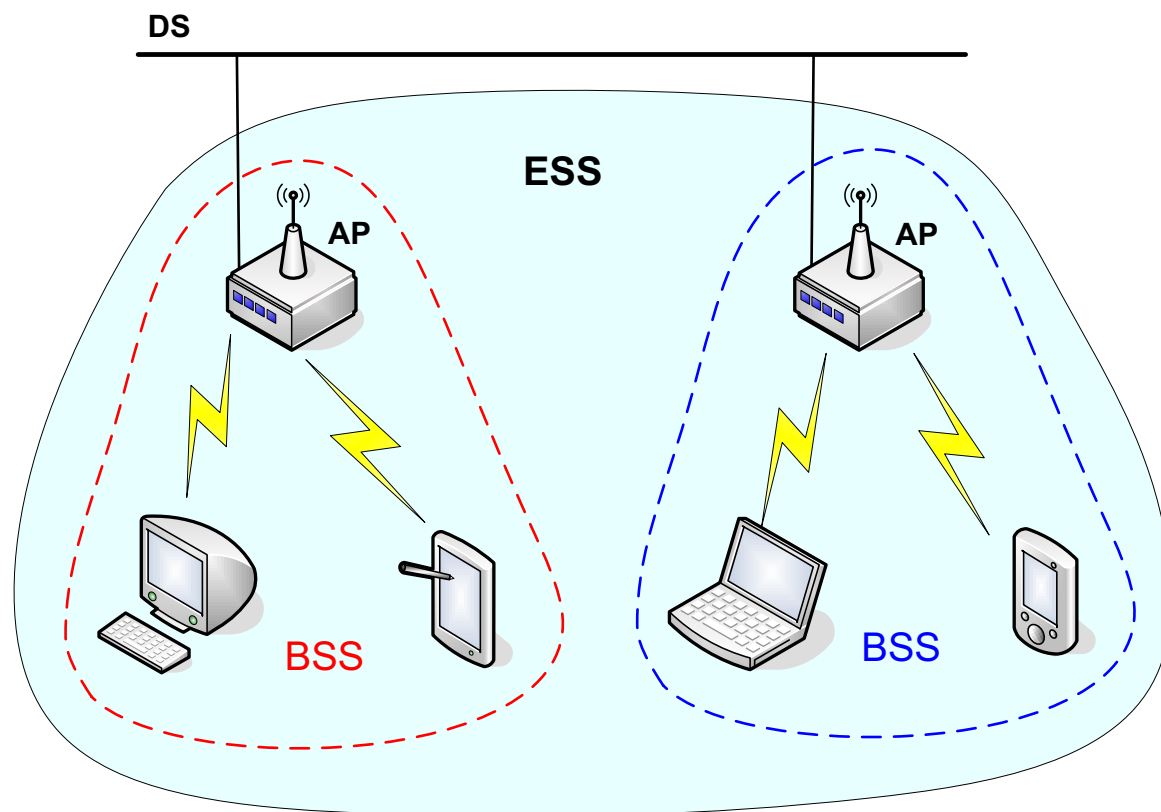
Ad-hoc sítě



- síť nemá centralizované řízení
- všichni klienti jsou si rovni
- každý komunikuje s každým



Infrastrukturní síť



DS – distribuční systém

AP – přístupový bod

BSS – buňka

ESS – sdružení několika buněk

DS – Distribution System

AP – Access Point

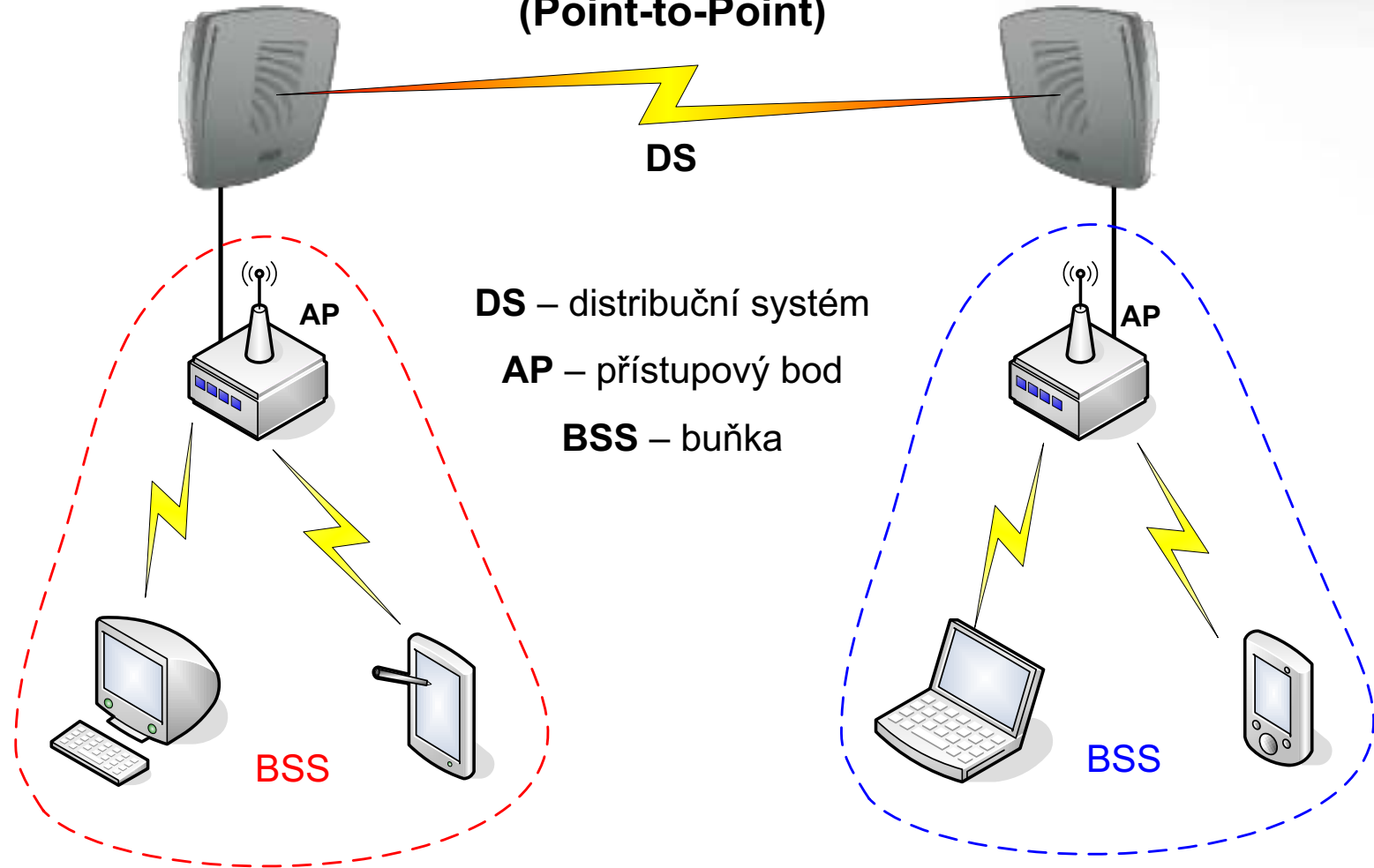
BSS – Base Station Set

ESS – Extended Station Set

Infrastrukturní síť (speciální případy)



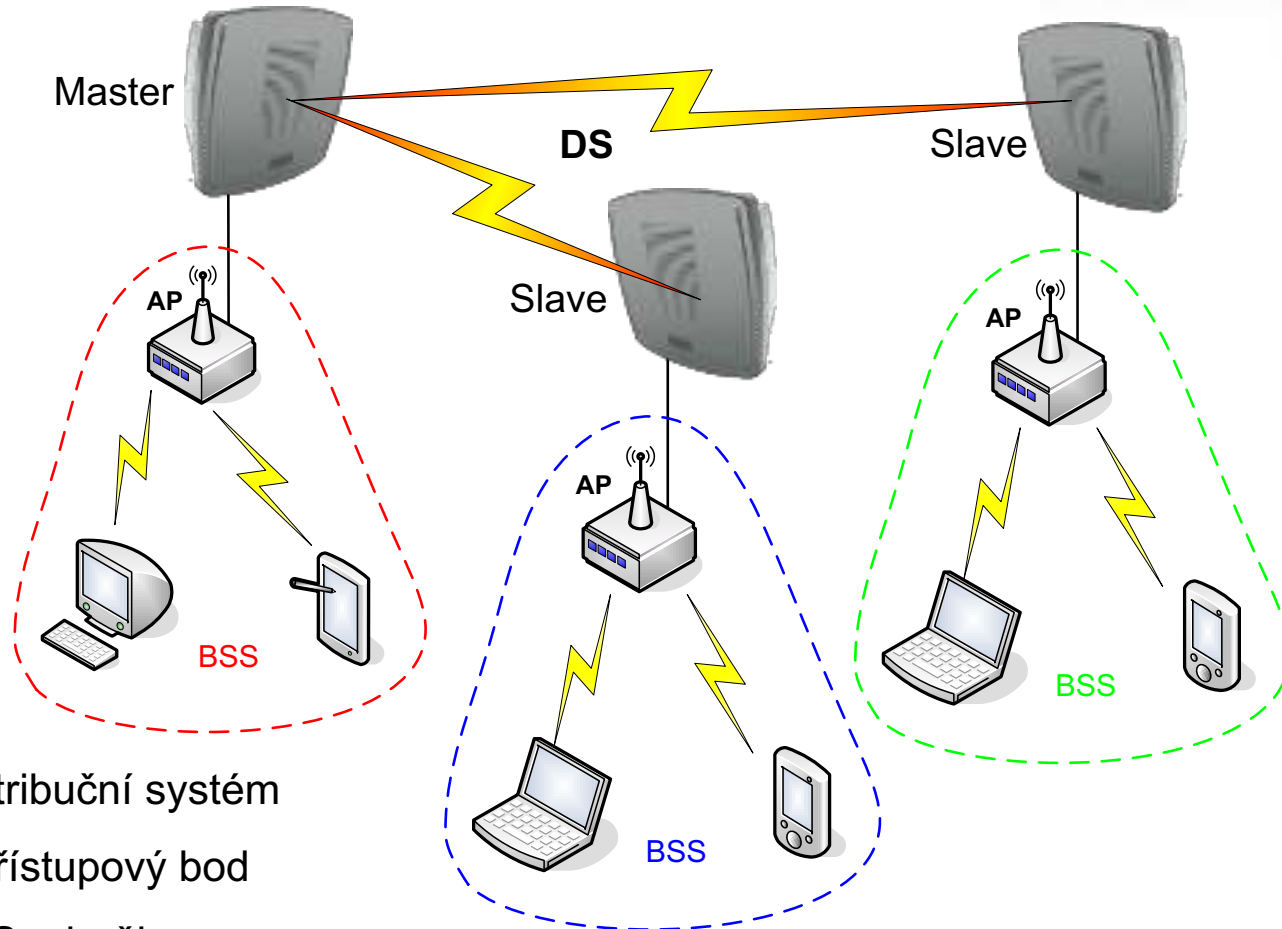
Spojení bod-bod (Point-to-Point)



Infrastrukturní síť (speciální případy)



Spojení bod-mnoho bodů (Point-to-Multipoint)



DS – distribuční systém

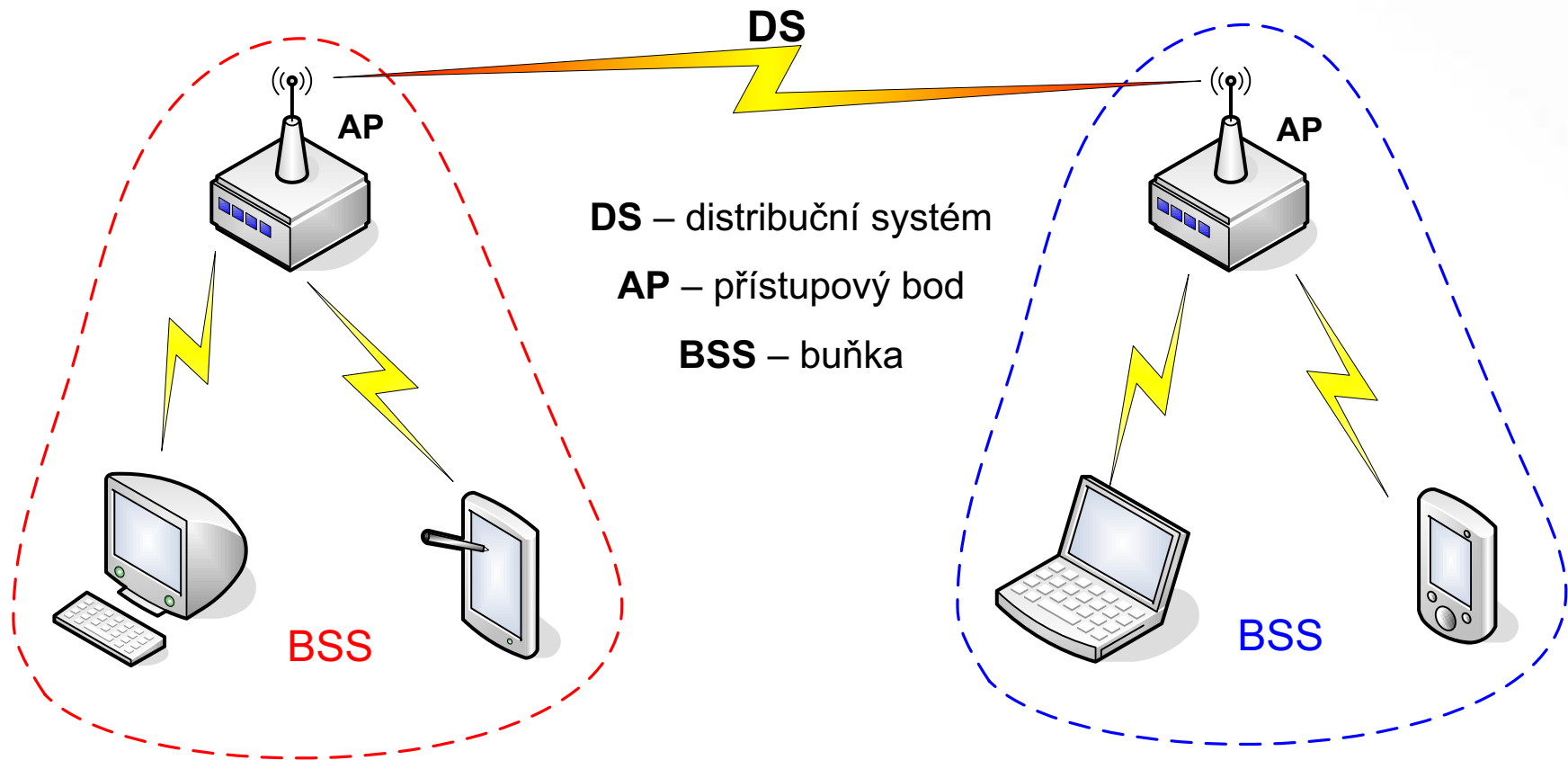
AP – přístupový bod

BSS – buňka

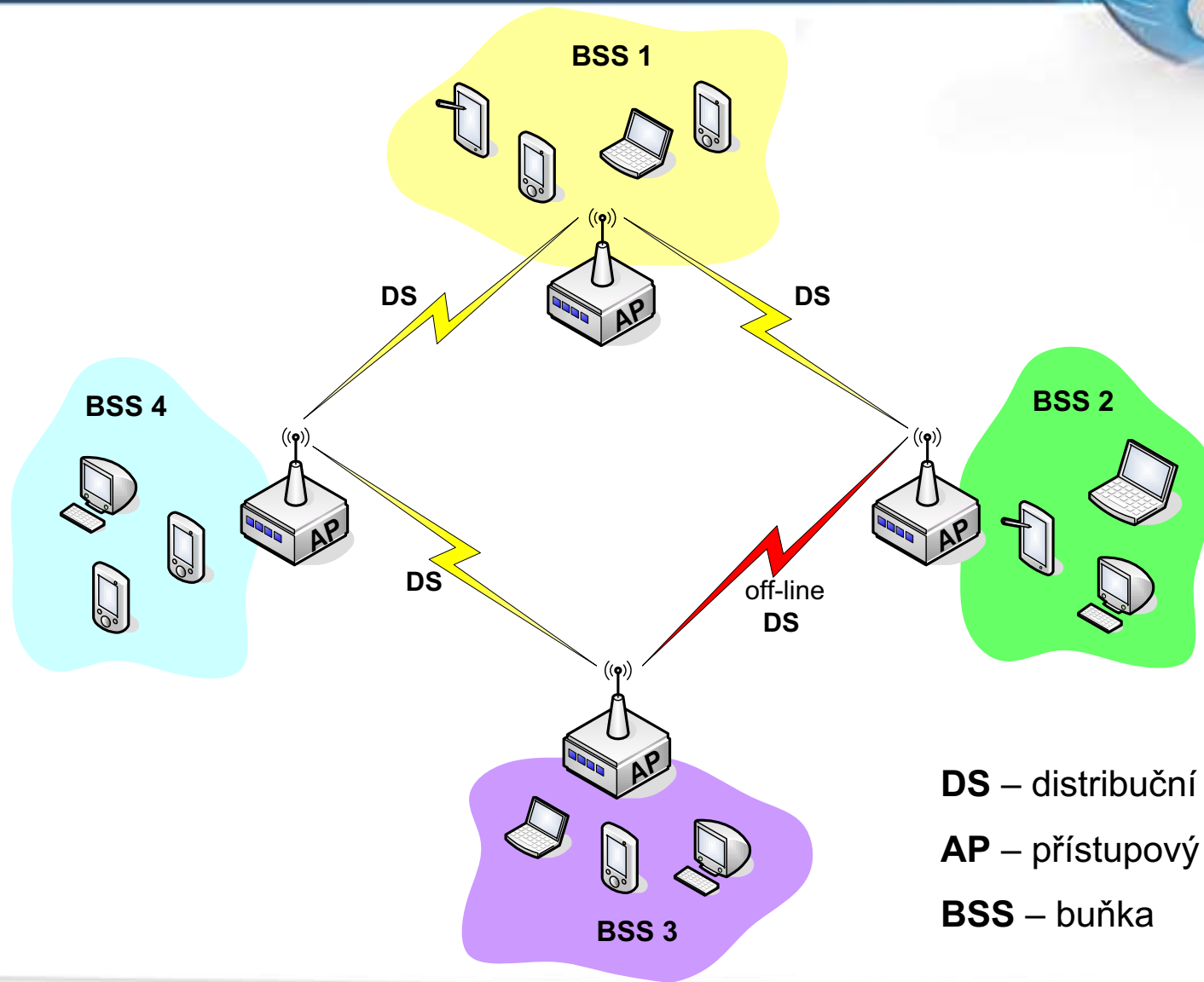
Infrastrukturní síť (speciální případy)



Bezdrátový distribuční systém (Wireless Distribution System)



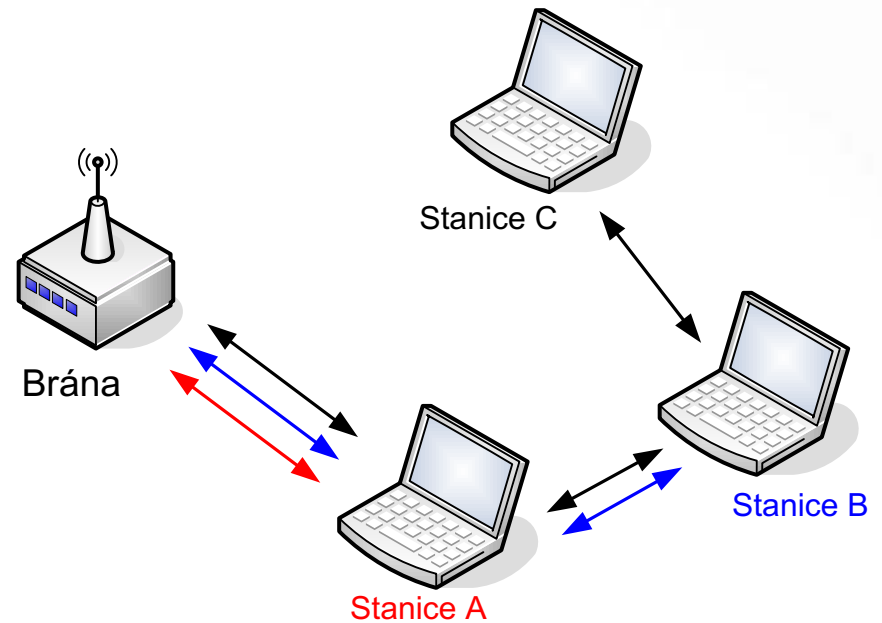
Kruhové síť



MESH síť

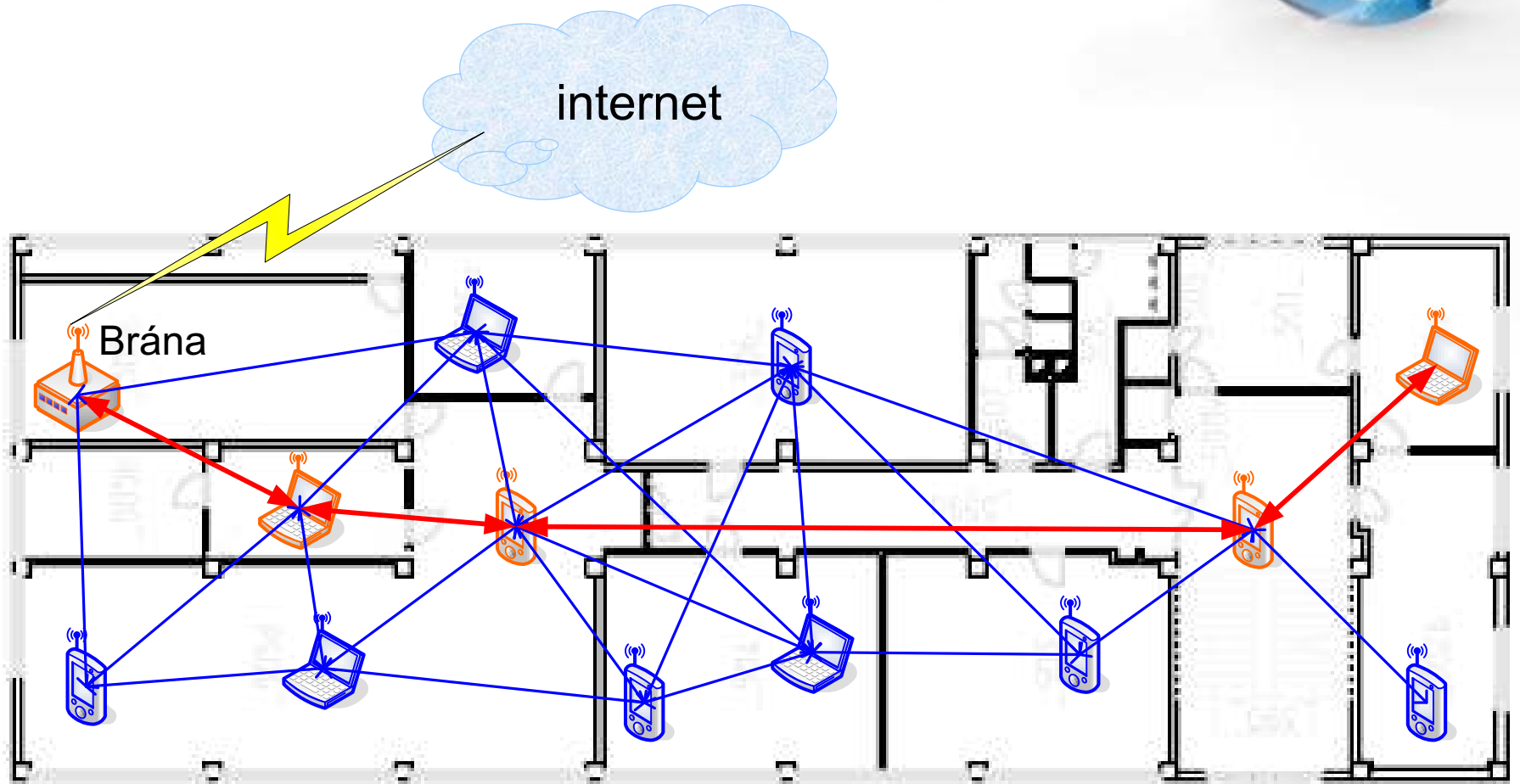


- stanice jsou si rovny (Peer-to-Peer)
- všechny stanice jsou navzájem zastupitelné a nahraditelné
- stanice jsou klienty a zároveň přístupovými body
- zvýšení dosahu sítě
- automatické vytváření cest
- automatické vyvažování zatížení
- úspora šířky pásma
- nízké náklady na výstavbu a údržbu sítě
- na jednu stanici připadá více různých cest propojení



Princip Mesh sítí

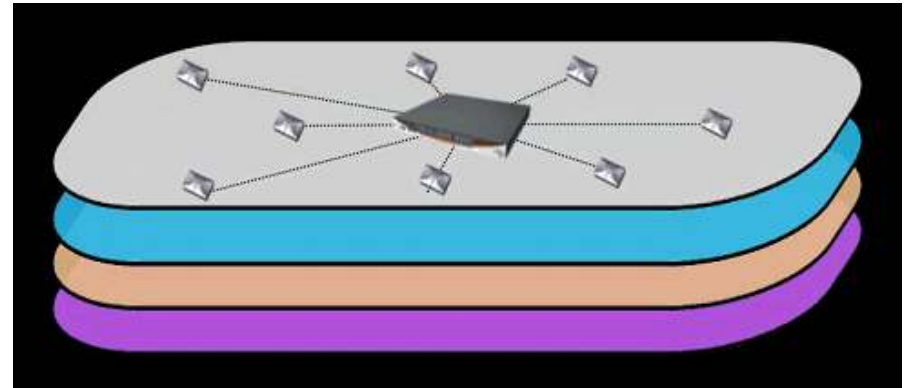
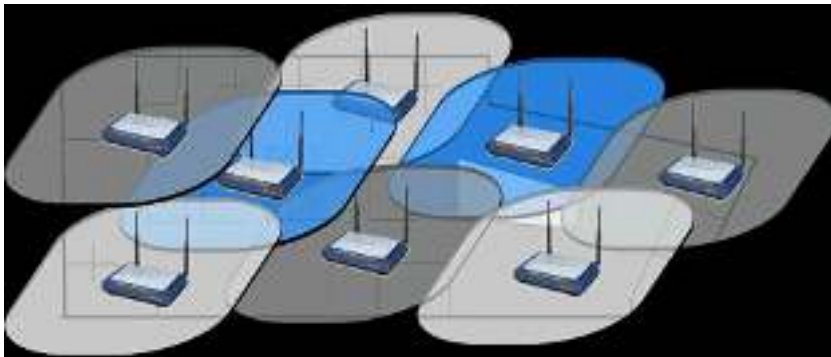
MESH síť



Monofrekvenční síť



- Často označované jako tzv. „Blanket networks“
- Síť provozovaná na jediné frekvenci
- Neexistuje roaming a předávání uživatelů



Sít'ový model



- **IEEE 802.11** definuje fyzickou a spojovou vrstvu modelu ISO/OSI

- **Fyzická vrstva**

- datové přenosy v pásmu 2,4 GHz a 5 GHz

- použité modulace:

- IR – Infra-Red

- DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum

- FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum

- HR-DSSS – High Rate DSSS

- OFDM – Ortogonal Frequency Division Multiplexing

- MIMO OFDM – Multiple Input Multiple Output OFDM

- SU-MIMO OFDM – Multi-user MIMO OFDM

Spojová vrstva

802.11

802.11 MAC

Fyziká vrstva

802.11
IR

802.11
DSSS

802.11
FHSS

802.11
OFDM

802.11
HR-DSSS

802.11
OFDM

802.11
MIMO OFDM

802.11
SU-MIMO
OFDM

Detailní popis dostupný na: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2008050006>

Fyzická vrstva



- **přenosová rychlost je závislá na způsobu modulace ve fyzické vrstvě**
- **rychlost se dynamicky mění podle kvality přijímaného signálu**
(horší signál = nižší rychlost)
- **díky silnému ochrannému kódování je skutečná přenosová rychlost zhruba poloviční**

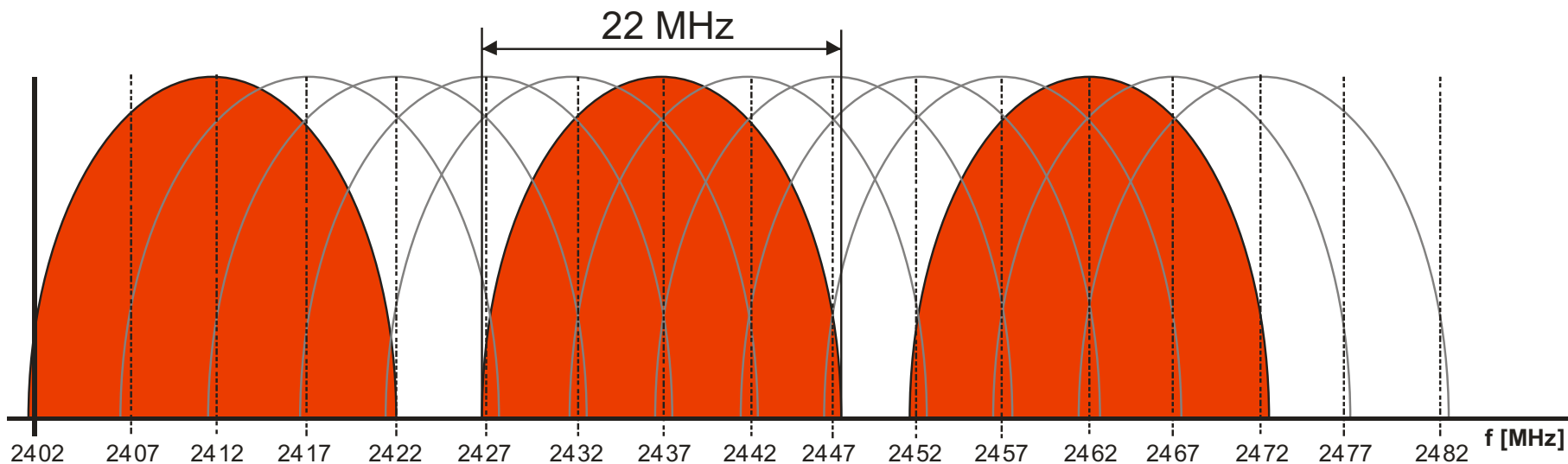
Standard	Kódovací schéma	Šířka kanálu	Počet antén	Pásmo	Podporované přenosové rychlosti
802.11	FHSS, DSSS	20 MHz	1 (2)	2,4 GHz, DFIR	do 2 Mbit/s
802.11b	HR-DSSS	20 MHz	1 (2)	2,4 GHz	do 11 Mbit/s
802.11g	OFDM	20 MHz	1 (2)	2,4 GHz	do 54 Mbit/s
802.11/h	OFDM	20 MHz	1 (2)	5 GHz	do 54 Mbit/s
802.11n	MIMO OFDM	20, 40 MHz	NxN	2,4 GHz, 5 GHz	do 600 Mbit/s
802.11ac	MU-MIMO OFDM	20, 40, 80 a 160 MHz	NxN	2,4 GHz, 5 GHz	do 1000 Mbit/s

Fyzická vrstva



- **Pásmo 2,4 GHz (IEEE 802.11b/g)**

- pro ČR celkem 13 kanálů (2,412 GHz – 2,472 GHz)
- kanály jsou sdílené
- pouze 3 kanály bez překryvu
- šířka kanálu 22 MHz
- vzdálenost mezi kanály 5 MHz
- EIRP = 100 mW (20 dBm)



Fyzická vrstva



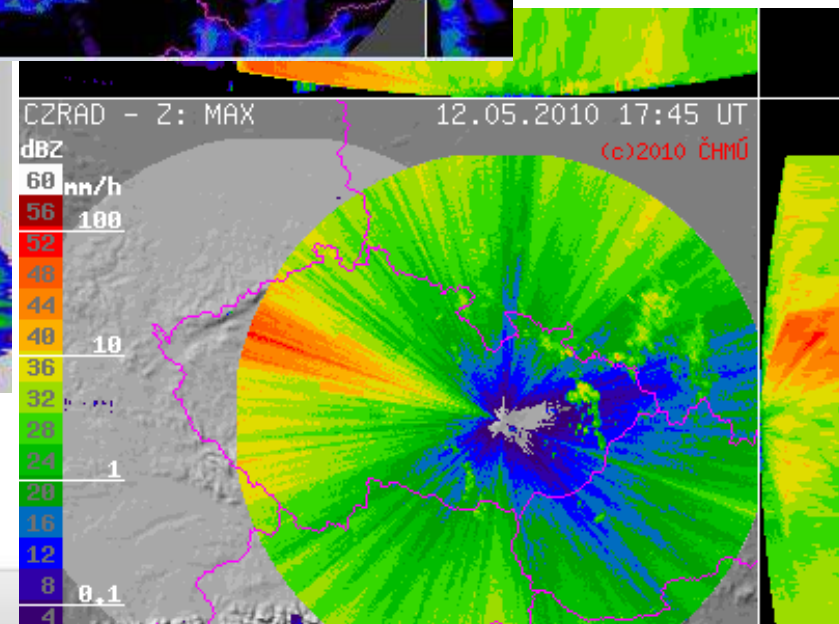
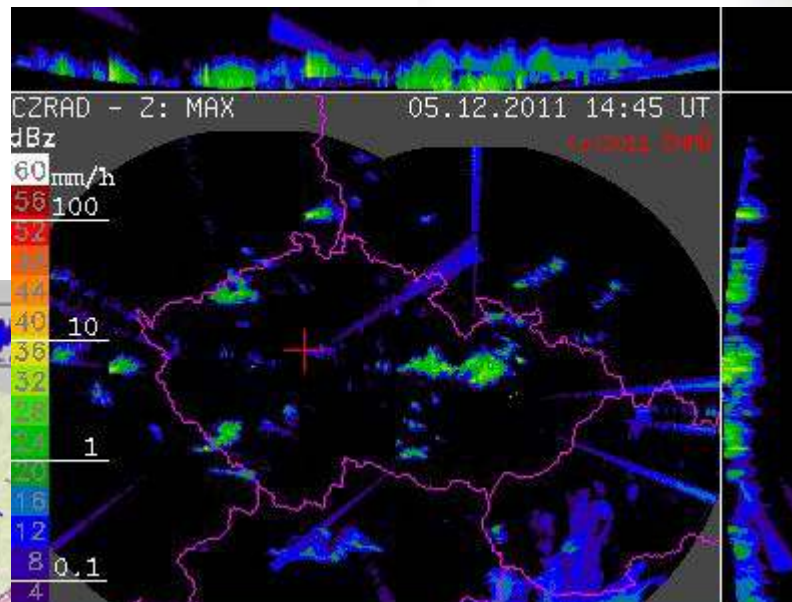
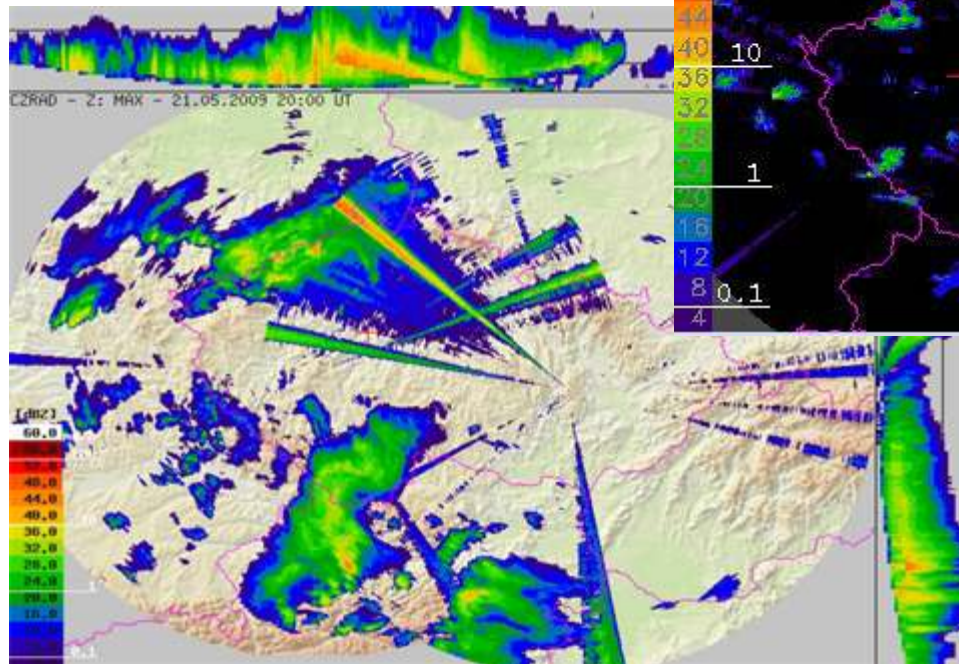
- **Pásmo 5 GHz - IEEE 802.11h(a)**

- pásmo je rozděleno do **3 subpásem**
- šířka kanálu 20 MHz
 - **1. subpásmo** (5150 – 5250 MHz)
 - použití uvnitř budov
 - EIRP = 200 mW (23 dBm)
 - **2. subpásmo** (5250 – 5350 MHz)
 - 4 nezávislé kanály
 - použití uvnitř budov
 - EIRP = 200 mW (23 dBm)
 - zařízení MUSÍ být vybavena automatickou regulací výkonu
 - při vypnuté regulaci výkonu je maximální EIRP = 100 mW (20 dBm)
 - **3. subpásmo** (5470 – 5725 MHz)
 - celkem 11 nezávislých kanálů
 - použití uvnitř i vně budov
 - EIRP = 1 W (30 dBm)
 - zařízení MUSÍ být vybavena automatickou regulací výkonu
 - při vypnuté regulaci výkonu je maximální EIRP = 0,5 W (27 dBm)

Fyzická vrstva



- Pásmo 5 GHz - IEEE 802.11h
 - DFS
 - TPC



Fyzická vrstva



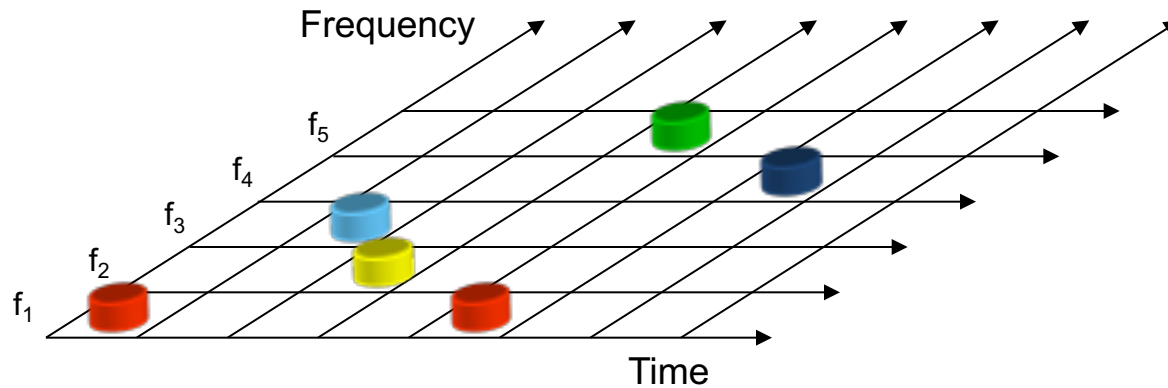
Frekvenční přeskoky (Frequency hopping – FH, FHSS)

- pásmo je rozděleno do 79 kanálů (šířka 83,5 MHz)
- šířka kanálu 1 MHz
- během 30 s se pseudonáhodně vystřídá minimálně 75 kanálů, na každém se vysílá 400ms
- ve stejném pásmu může být provozováno maximálně 20 přístupových bodů
- velká odolnost vůči rušení, ale malé reálné přenosové rychlosti

Fyzická vrstva



Frekvenční přeskoky (Frequency hopping – FH, FHSS)



Fyzická vrstva



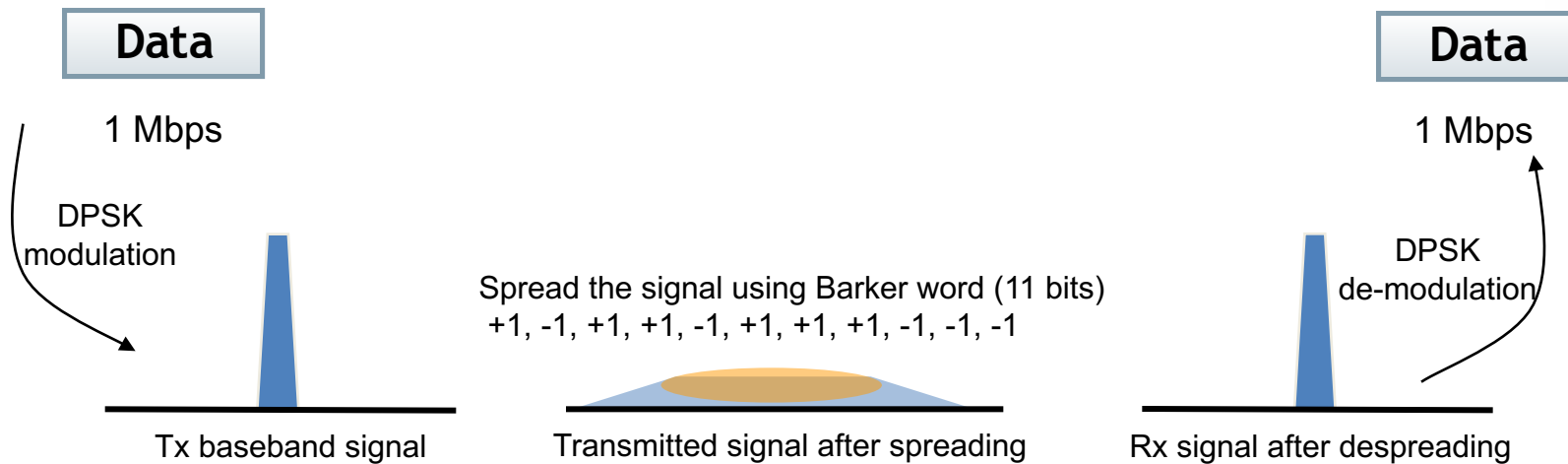
Přímá sekvence (DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum)

- tok dat je ve vysílači DSSS přeměněn na tok symbolů
- každý symbol reprezentuje skupinu jednoho, nebo více bitů
- modulačními technikami je každý symbol násoben pseudonáhodnou šumovou sekvencí
- tímto způsobem je uměle zvětšena šířka pásma v závislosti na délce sekvence až na 22 MHz
- DSSS rozděluje pásmo na 14 částečně se překrývajících 22 MHz kanálů
- DSSS – 1, 2 Mbit/s (IEEE 802.11)
- HR-DSSS – 1, 2, 5.5, 11 Mbit/s (IEEE 802.11b)

Fyzická vrstva



Přímá sekvence (DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum)

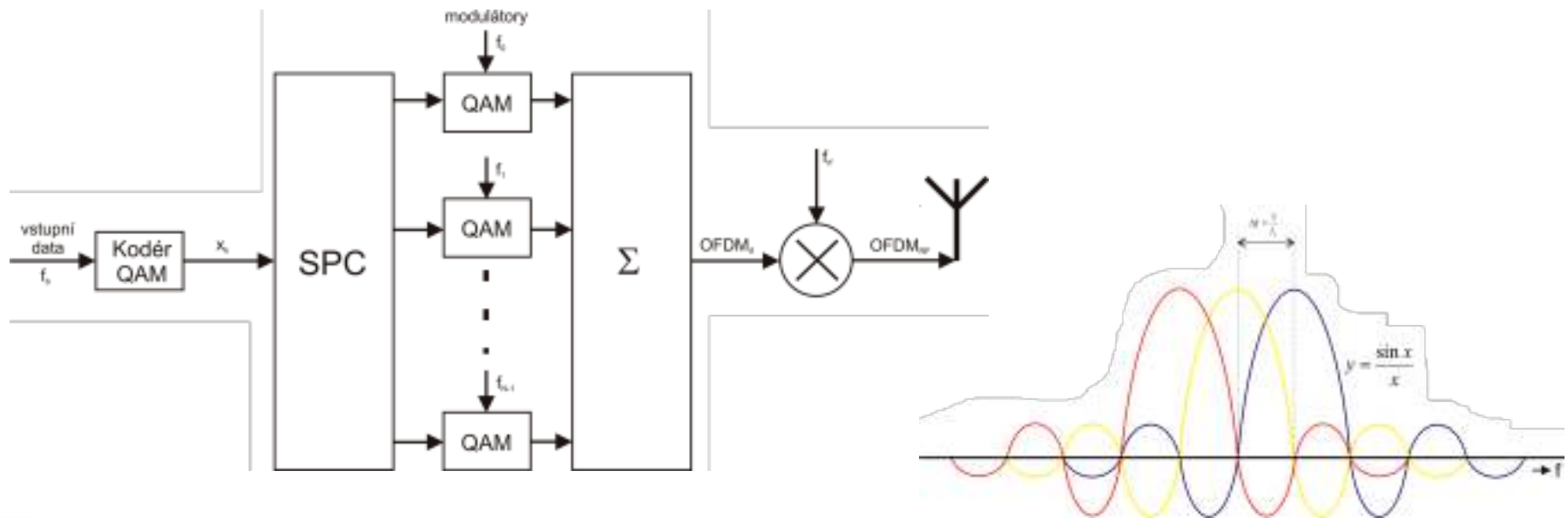


Fyzická vrstva



Ortogonalní frekvenční multiplex (OFDM)

- anglicky Orthogonal Frequency Division Multiplexing
- signál je vysílán na více vzájemně ortogonálních frekvencích
- principiálně je možné využít stovky až tisíce subnosných
- do datového toku jednotlivých subnosných se vkládají ochranné intervaly (GI), které zlepšují příjem signálů přijatých z více směrů s různým zpožděním

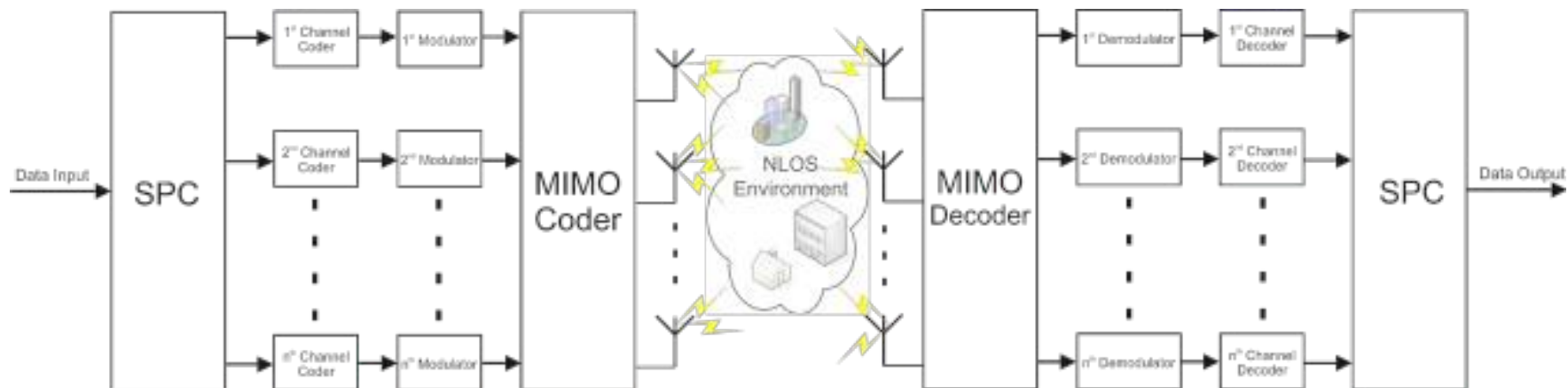


Fyzická vrstva



Multiple Input Multiple Output

- oddělení jednotlivých jednotlivých kanálů - prostorový multiplex
- $A \times B : C$ (počet antén vysílače x počet antén přijímače : počet datových kanálů)

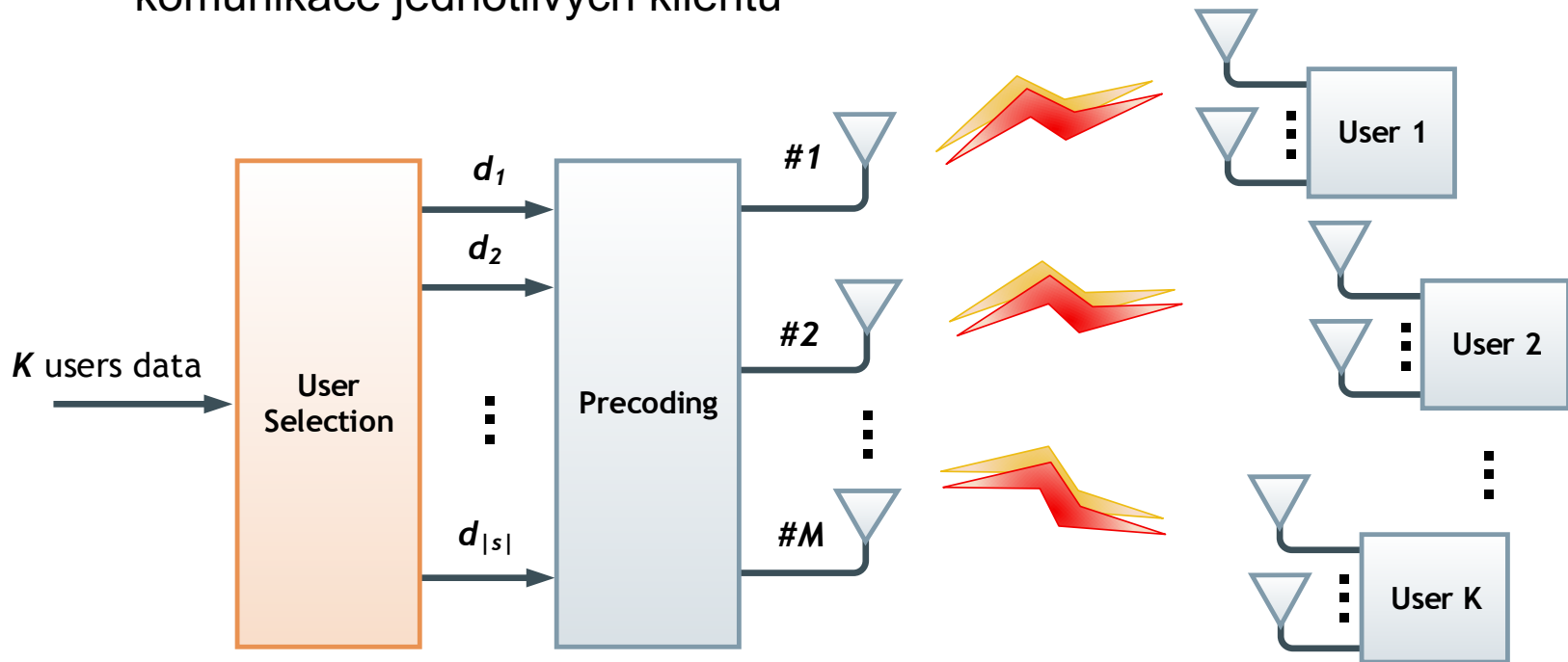


Fyzická vrstva



Multi-user Multiple Input Multiple Output

- provoz souběžných datových spojení
- prostorové oddělení jednotlivých přenosových kanálů = nezávislá komunikace jednotlivých klientů



Fyzická vrstva



IEEE 802.11 a/g

- kanál o šířce 20 MHz obsahuje 52 subkanálů
- 4 subkanály jsou řídicí
- 48 kanálů je datových
- Celková přenosová rychlost je dána součtem rychlostí všech 48 datových kanálů

Přenosová rychlost [Mbit/s]	Použitá modulace	Zabezpečovací poměr zabezpečení /data	Doba přenosu 1472 bytů [μs]
6	BPSK	1/2	2012
9	BPSK	3/4	1344
12	4-QAM	1/2	1008
18	4-QAM	3/4	672
24	16-QAM	1/2	504
36	16-QAM	3/4	336
48	64-QAM	1/2	252
54	64-QAM	3/4	224

Fyzická vrstva



IEEE 802.11n

- použití MIMO OFDM
- maximální rychlost až 600 Mbit/s pro konfiguraci 4x4:4
- šířka kanálu 20 a 40 MHz
- plně implementovaná podpora formování signálů (Beamforming)

Teoretická propustnost jednoho prostorového kanálu (Mbit/s)						
MCS	Modulace	Kódování	20 MHz kanály		40 MHz kanály	
			800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI
0	BPSK	1/2	6.5	7.2	13.5	15
1	QPSK	1/2	13	14.4	27	30
2	QPSK	3/4	19.5	21.7	40.5	45
3	16-QAM	1/2	26	28.9	54	60
4	16-QAM	3/4	39	43.3	81	90
5	64-QAM	2/3	52	57.8	108	120
6	64-QAM	3/4	58.5	65	121.5	135
7	64-QAM	5/6	65	72.2	135	150

Fyzická vrstva



IEEE 802.11ac

- použití MU-MIMO OFDM
- kanály o šířce 80 a 160 MHz
- provoz v pásmu 5 GHz
- souběžný provoz se staršími standardy IEEE 802.11
- plně implementovaná podpora formování signálů (Beamforming)

Teoretická propustnost jednoho prostorového kanálu (Mbit/s)

MCS	Modulace	Kódování	20 MHz kanály		40 MHz kanály		80 MHz kanály		160 MHz kanály	
			800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI
0	BPSK	1/2	6.5	7.2	13.5	15	29.3	32.5	58.5	65
1	QPSK	1/2	13	14.4	27	30	58.5	65	117	130
2	QPSK	3/4	19.5	21.7	40.5	45	87.8	97.5	175.5	195
3	16-QAM	1/2	26	28.9	54	60	117	130	234	260
4	16-QAM	3/4	39	43.3	81	90	175.5	195	351	390
5	64-QAM	2/3	52	57.8	108	120	234	260	468	520
6	64-QAM	3/4	58.5	65	121.5	135	263.3	292.5	526.5	585
7	64-QAM	5/6	65	72.2	135	150	292.5	325	585	650
8	256-QAM	3/4	78	86.7	162	180	351	390	702	780
9	256-QAM	5/6	N/A	N/A	180	200	390	433.3	780	866.7

Fyzická vrstva



IEEE 802.11ad (WiGig)

- přenosová rychlost až 7 Gbit/s
- provoz v ISM pásmu 60 GHz
- dosah 1 až 10 metrů
- plně implementovaná podpora formování signálů (Beamforming)
- zpětná kompatibilita s IEEE 802.11 na úrovni MAC
- přenosové režimy:
 - Single carrier (max. 5 Gbit/s)
 - OFDM (max. 7 Gbit/s)
 - Low power single carrier (max. 2.5 Gbit/s)



Sít'ový model



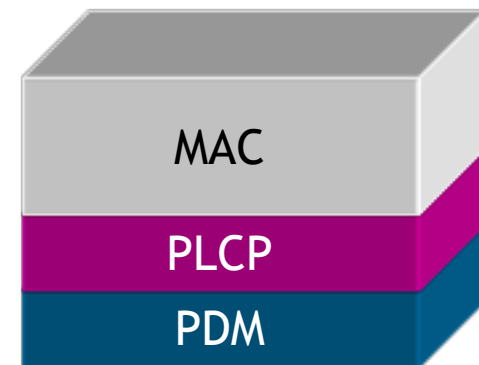
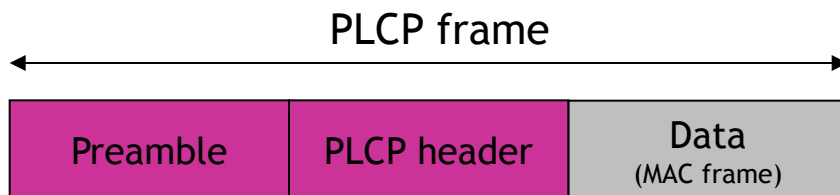
- **IEEE 802.11** definuje fyzickou a spojovou vrstvu ISO/OSI modelu
- **Fyzická vrstva**
 - datové přenosy v pásmu 2,4 GHz a 5 GHz
 - různé druhy modulací
- **Spojová vrstva**
 - jsou definovány dvě přístupové metody k médiu
 - **DCF** (Distributed Coordination Function)
 - **PCF** (Point Coordination Function)
 - + **IEEE 802.11e** (DCF → EDCAF, PCF → HCF)

Vyšší vrstvy	...							
Sít'ová vrstva	IP							
Spojová vrstva	802.11 - Logical Link Control (LLC)							
	802.11 MAC							
Fyzická vrstva	802.11 IR	802.11 DSSS	802.11 FHSS	802.11 OFDM	802.11 HR-DSSS	802.11 OFDM	802.11 MIMO OFDM	802.11 SU-MIMO OFDM

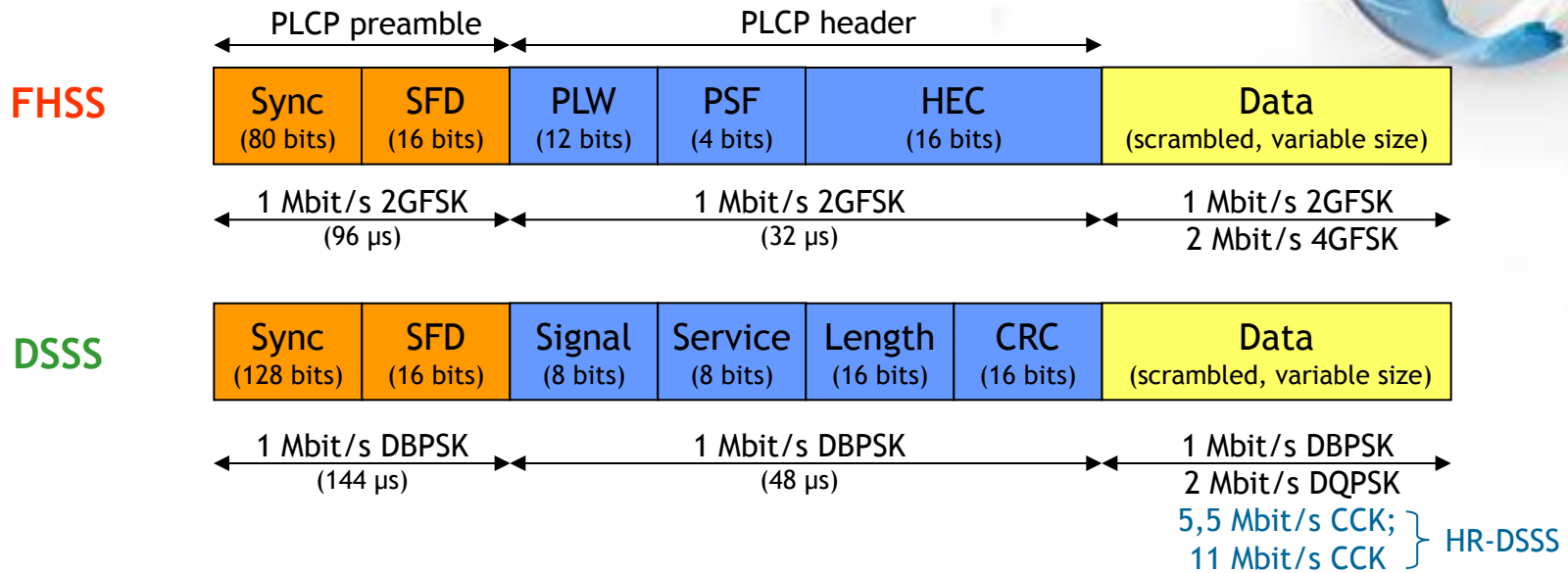
IEEE 802.11b



- **Physical Layer Convergence Protocol (PLCP)**
 - Mapuje přenosové rámce vyšších vrstev na fyzické médium
 - Zajišťuje synchronizace vysílače a přijímače
 - Detekce obsazení média
- **Physical Medium Dependent (PMD)**
 - Data na fyzické vrstvě - kódování v bezdrátovém prostředí

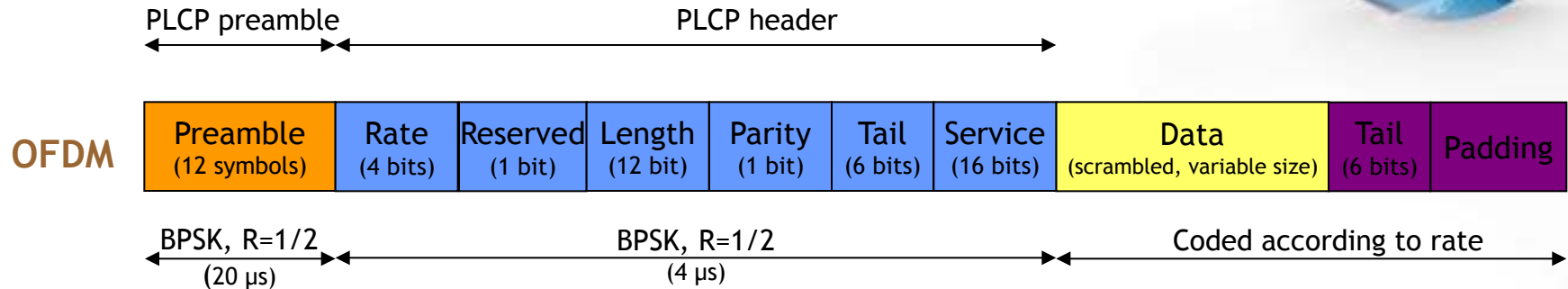


IEEE 802.11/b



- Sync (Synchronizace)
 - 0101...01
- SFD (Start Frame Delimiter)
 - Označuje konec preamble a začátek servisní části
- PLW (PSDU Length Word)
 - Velikost MAC rámce (až 4095 B)
- PSF (PLCP Signaling)
 - Označuje modulaci MAC rámce
- HEC (Header Error Check)
 - Zabezpečení PLCP hlavičky proti chybám
- Sync
 - 111...11, rámec je před přenosem skramblován
- Signal
 - Označuje modulaci MAC rámce
- Service
 - Je využito v případě přenosu HS/DSSS
- Length
 - Počet μs potřebných pro přenos rámce (až 4095 B)
- CRC (Header Error Check)
 - Zabezpečení PLCP hlavičky proti chybám

IEEE 802.11a



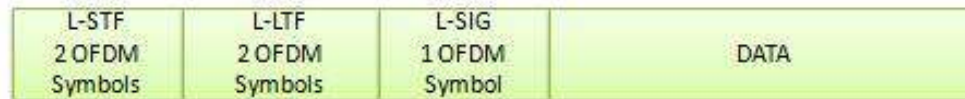
- Rate
 - Indikace použité přenosové rychlosti (6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54)
- Length
 - Velikost MAC rámce (až 4095 B)
- Tail
 - 000000, aktivace konvolučního kodéru
- Service
 - 0000..00, prvních 6 bitů aktivuje skrambler
- Padding HEC (Header Error Check)
 - Datové pole je ořezáno takovým způsobem, že jeho délka je celočíselným násobkem velikosti bloku. Velikost bloku závisí na modulaci a kódování dané přenosové rychlosti.

IEEE 802.11n



- Zpětná kompatibilita s IEEE 802.11a
- Tři režimy přenosu
 - režimy: legacy, mixed a green field

Legacy Mode



Service field + User Data [PSDU]
+ Pad Bits + Tail

Mixed Mode



Service field + User Data [PSDU]
+ Pad Bits + Tail

Green Field Mode

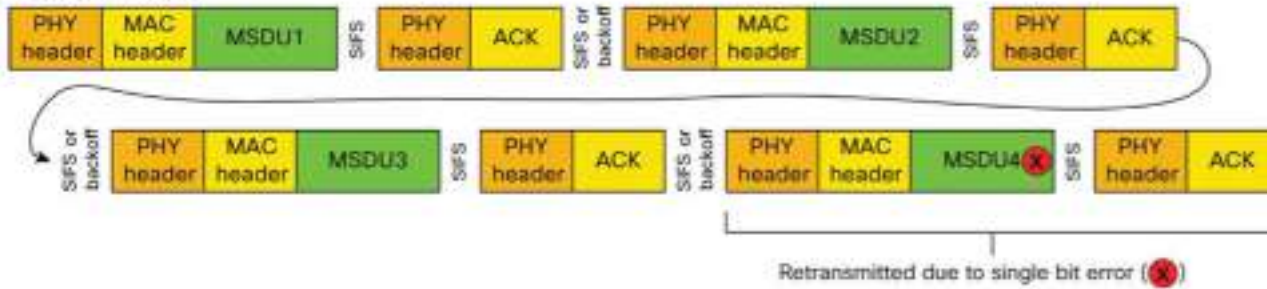


Service field + User Data [PSDU]
+ Pad Bits + Tail

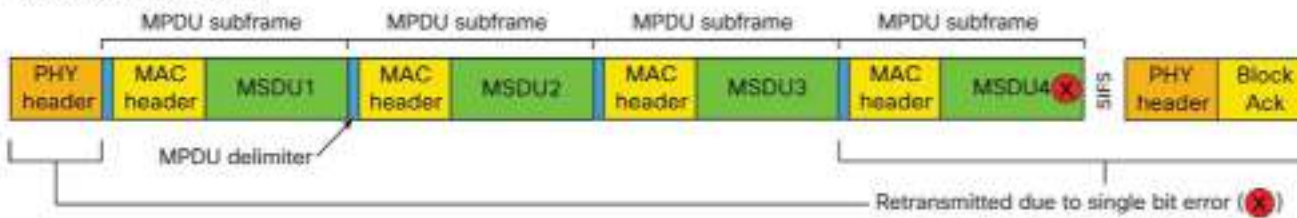
IEEE 802.11ac



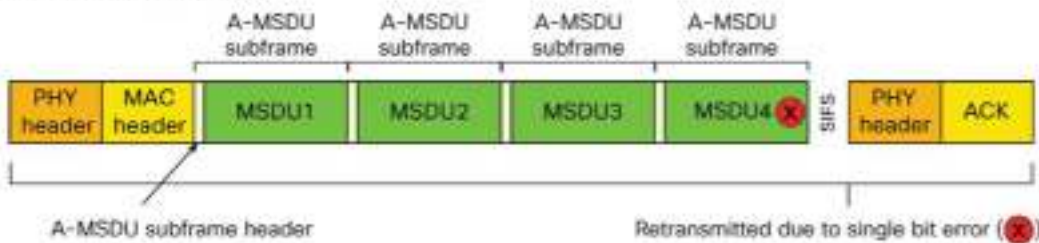
(a) No Aggregation



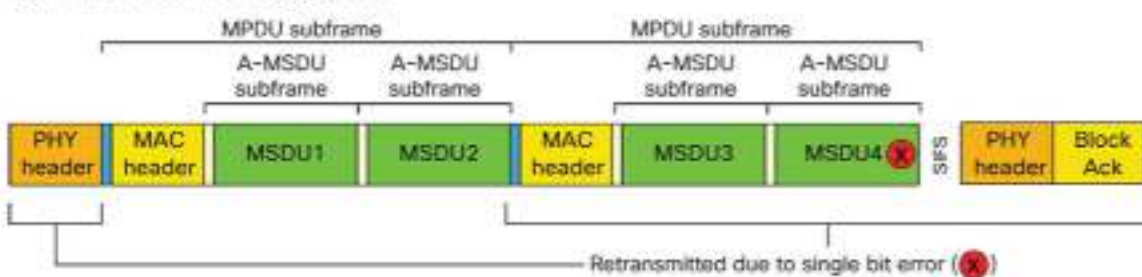
(b) A-MPDU Aggregation



(c) A-MSDU Aggregation



(d) A-MPDU of A-MSDU Aggregation

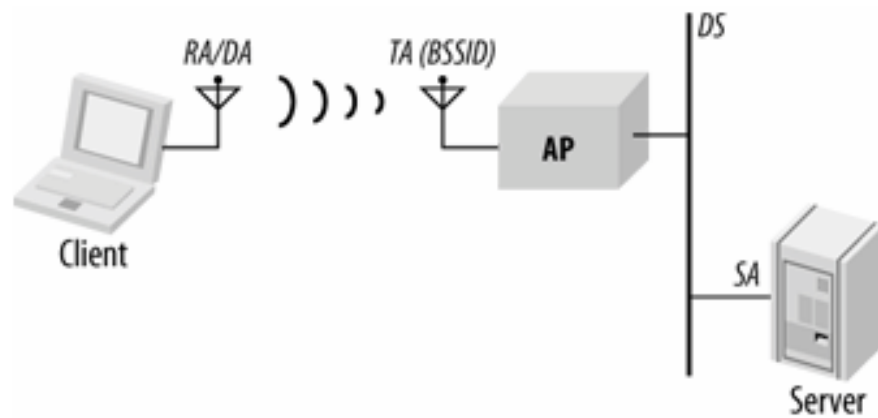
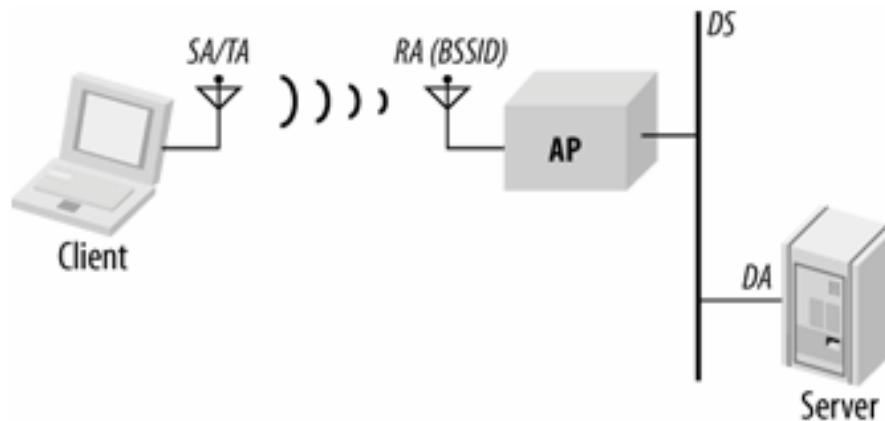


Přístupové metody



- **CSMA/CA** (Carrier Sense Multiple Access – Collision Avoidance)
 - Stav pásma:
 - Detekováno vysílání → **nelze vysílat**
 - Není detekováno vysílání → **lze vysílat**
 - Problém skrytého uzlu, který vzniká v prostředí, kde se všechny stanice neslyší.
 - Řešením je použití metody: CTS/RTS
 - Typické použití: bezdrátové sítě WLAN
- **CSMA/CD** (Carrier Sense Multiple Access – Collision Detection)
 - Všechny stanice se musejí slyšet – fyzické přenosové médium
 - Typické použití: Ethernet

MAC rámeček



MAC rámeček



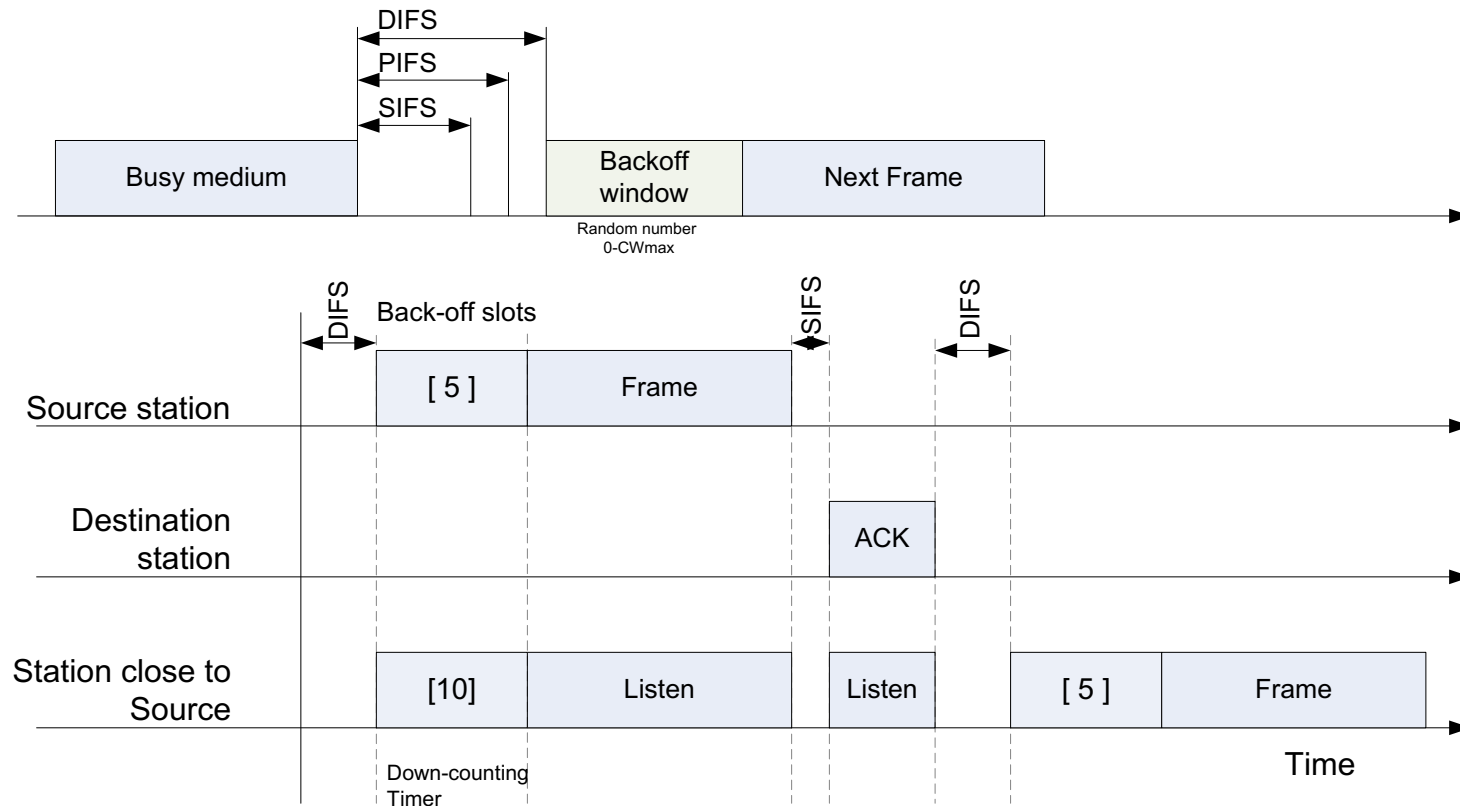
- **Protocol version**
 - Verze 802.11 MAC protokolu
- **Type, Subtype**
 - Typ rámeček (Data, Control, Management) a jeho bližší specifikace (RTS, CTS, Authentication, Ack, etc.)
- **To DS, From DS**
 - Indikace určení rámeček ve vztahu k DS
- **More fragments**
 - Indikace použití fragmentování, dalších fragmentů. Obecně není moc používáno.
- **Retry**
 - Indikace znovu odeslání rámeček, pomáhá RX potlačit duplicitní rámeček
- **Power management**
 - Indikuje, zda má TX přejít do úsporného režimu po odvysílání následující relace
- **More data**
 - Indikuje, že alespoň jeden rámeček je dostupný pro přenos k cílové stanici
- **Protected frame**
 - Indikuje zabezpečení rámeček
- **Order**
 - Indikuje požadavek na doručování dat ve směru RX v pořadí

Přístupové metody



- DCF (Distributed Coordination Function)

- základ standardního přístupového mechanismu CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)

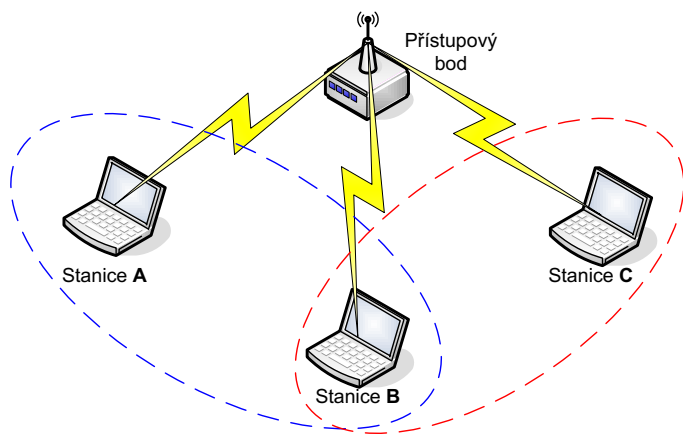


Přístupové metody

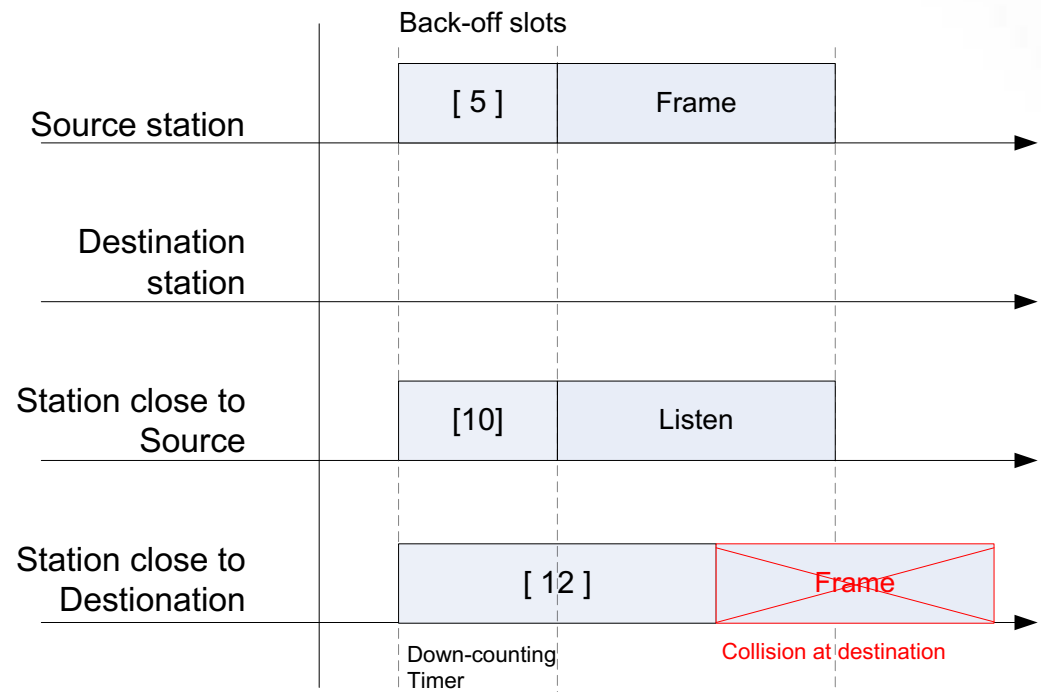


- CSMA/CA - problém skrytého uzlu

- omezení komunikace na síti o více jak 40%
- problém hlavně na velkých prostranstvích a při použití směrových antén



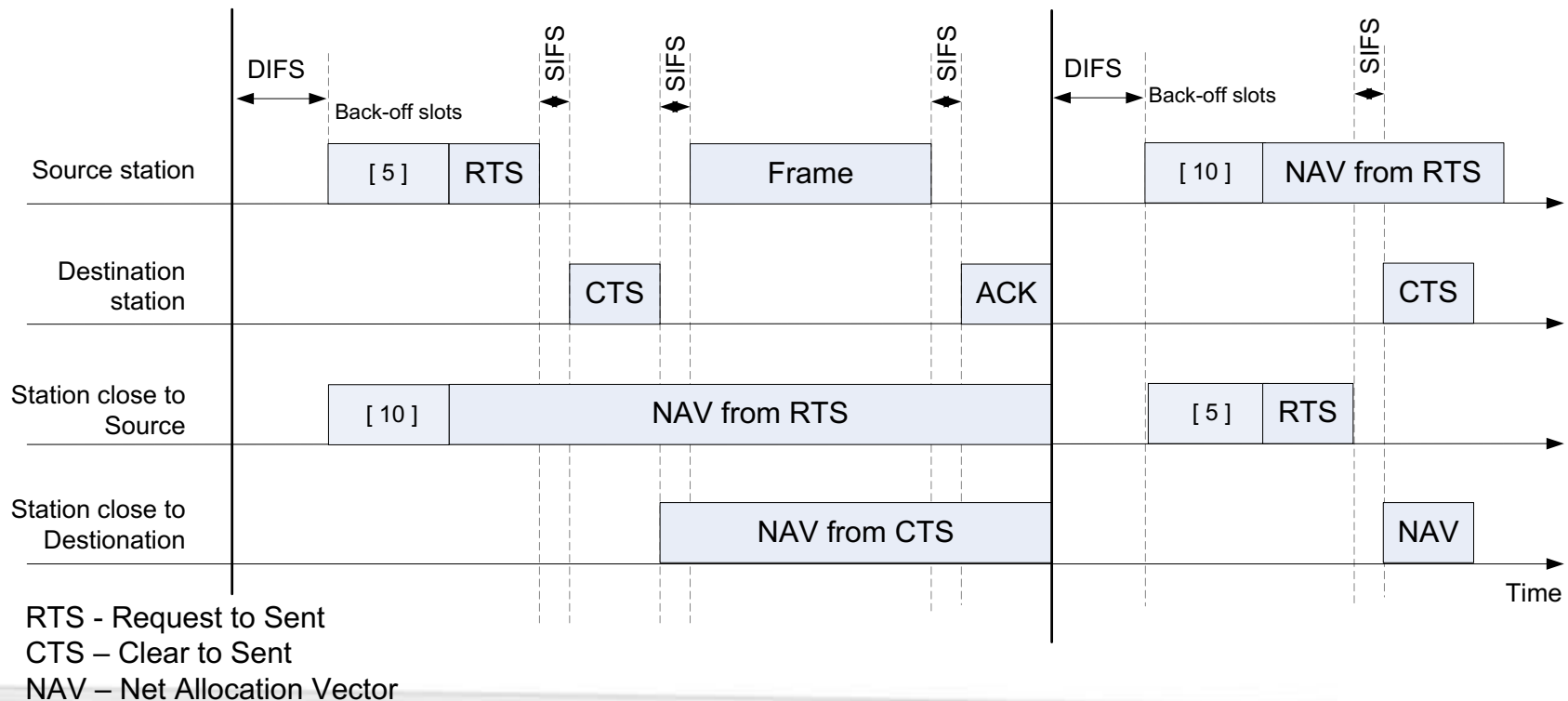
Stanice A nedokáže zaznamenat komunikaci stanice C s přístupovým bodem a naopak



Přístupové metody



- **RTS/CTS** - předcházení kolizím
 - eliminace problému skrytého uzlu
 - kolize mohou nastat pouze při distribuci RTS paketu
 - snížení celkové propustnosti sítě
 - mechanismus je efektivní pouze pro delší pakety
 - krátké pakety využívají základního mechanismu CSMA/CA
 - umožnění současného provozu IEEE 802.11b a IEEE 802.11g

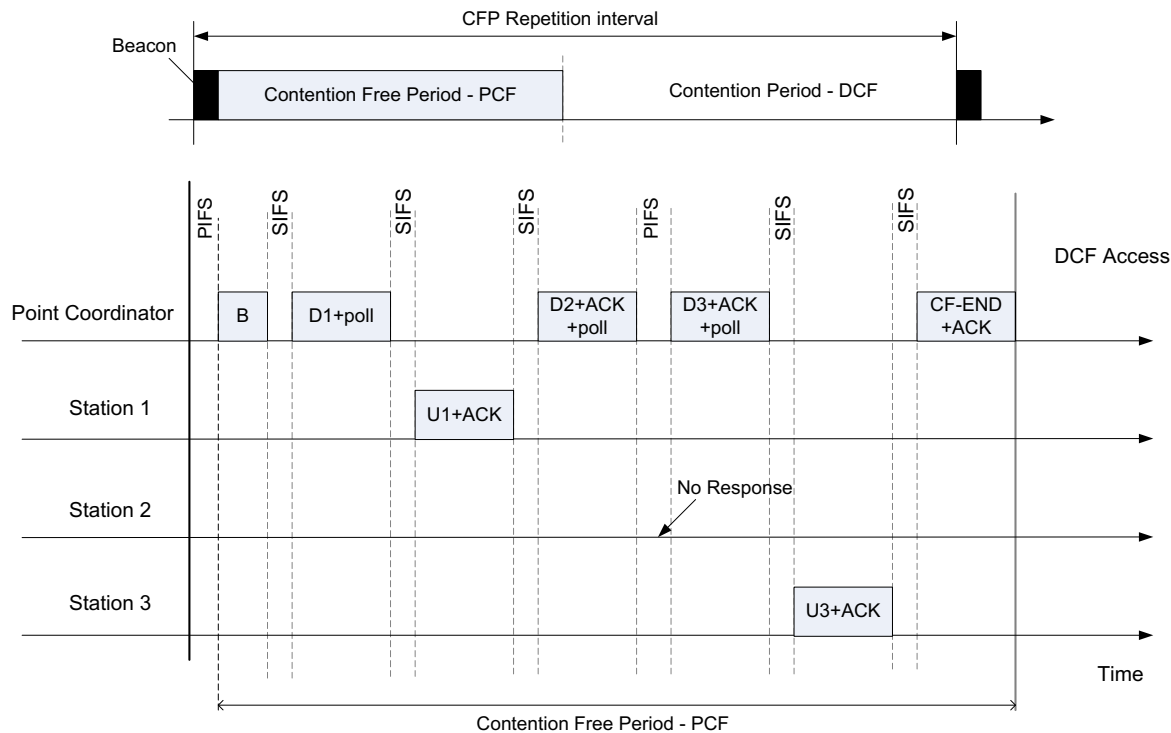


Přístupové metody



- PCF (Point Coordination Function)

- přístupová metoda je vhodná pro aplikace blízké reálnému času (přenos audia, videa) - je určena pro synchronní datové přenosy
- není rozlišován typ přenášených dat
- AP přiřazuje prioritu každé stanici pro určený přenosový rámeček



Přístupové metody



• EDCF Enhanced Distribution Coordination Function

- pravděpodobnostní prioritní mechanismus pro alokaci šířky pásma na základě kategorií provozu
- každá stanice může vysílat jakmile je médium volné, ale po intervalu čekání, který odpovídá dané kategorii provozu (AIFS – Arbitration Inteframe Space)
- stanice s vysokou prioritou provozu bude čekat kratší dobu

Priorita (0-7)	Kategorie přístupu	Typ dat
0	0	Best effort
1, 2	1	pozadí
3, 4, 5	2	video
6, 7	3	hlas

• HCF (Hybrid Coordinate Function)

- přístupový bod vyzve stanici k vysílání
- přidělí dobu zahájení vysílání a jeho trvání

Nástroje



- **Nástroje pro analýzu bezdrátových sítí**

- NetStumbler - <http://www.netstumbler.com>
- Wireshark - <https://www.wireshark.org>
- Ekahau SiteSurvey - <http://www.ekahau.com>
- AirMagnet - <http://airmagnet.cz>
- inSSIDer - <http://www.metageek.com/products/inssider/>
- SW dodaný k řešením s kontrolerem

- **Nástroje pro prolomení šifrování**

- AirSnort - <http://sourceforge.net/projects/airsnort/>
- AirCrack-ng - <http://www.aircrack-ng.org>
- Kali Linux - <https://www.kali.org>
- BackTrack Linux - <http://www.backtrack-linux.org>