

# Bezdrátová komunikace

- Přenos může probíhat
  - elektromagnetickým vlněním
  - mechanickým (zvukovým) vlněním

# Bezdrátová komunikace, založená na EMG vlnění

Informace je šířena elektromagnetickým polem, vzniklým vzájemným působením dvou polí – elektrického a magnetického.

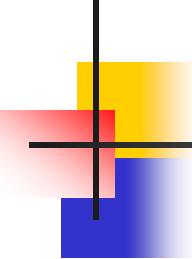
Šíření elektromagnetického pole můžeme popsat 4 Maxwellovými rovnicemi.

Pro přenos informací EMG vlněním můžeme použít široké spektrum frekvencí, které můžeme rozdělit na 3 skupiny:

- radiový signál, za který je možné uvažovat elektromagnetické vlnění o vlnové délce větší než 1mm,
- světelný signál s vlnovou délkou menší než 1mm, který dále dělíme na
  - infračervené záření – s vlnovou délkou 760 nm až 1 mm, pro telekomunikační účely je využíváno „blízké“ IR pásmo (malý útlum v optických vláknech)
    - O (*Original*) -pásma 1260–1360 nm,  $f = 238\text{--}220 \text{ THz}$
    - E (*Extended*) -pásma 1360–1460 nm,  $f = 220\text{--}206 \text{ THz}$
    - S (*Short wavelength*) -pásma 1460–1530 nm,  $f = 206\text{--}196 \text{ THz}$
    - C (*Conventional*) -pásma 1530–1565 nm,  $f = 196\text{--}191 \text{ THz}$
    - L (*Long wavelength*) -pásma 1565–1625 nm,  $f = 191\text{--}185 \text{ THz}$
    - U (*Ultra*) -pásma 1625–1675 nm,  $f = 185\text{--}179 \text{ THz}$
    - iRDA 850-900 nm/cca 350 THz
  - viditelné světlo 400 nm až 800 nm (750 THz až 375 THz)
  - ultrafialové záření
    - UVA pro vlnové délky 400 – 315 nm
    - UVB pro vlnové délky 315 – 280 nm
    - UVC pro vlnové délky 280nm a méně.
- rentgenové záření v rozmezí 10 nm až 100 pm (odpovídající frekvencím 30 PHz až 60 EHHz).

# Předpony soustavy SI

$10^n$	Předpona	Znak	Název	Násobek
$10^{24}$	yotta	Y	kvadrilion	1 000 000 000 000 000 000 000 000
$10^{21}$	zetta	Z	triliarda	1 000 000 000 000 000 000 000 000
$10^{18}$	exa	E	trilion	1 000 000 000 000 000 000 000 000
$10^{15}$	peta	P	biliarda	1 000 000 000 000 000 000 000
$10^{12}$	tera	T	bilion	1 000 000 000 000
$10^9$	giga	G	miliarda	1 000 000 000
$10^6$	mega	M	milion	1 000 000
$10^3$	kilo	k	tisíc	1 000
$10^2$	hekto	h	sto	100
$10^1$	deka	da	deset	10
$10^{-1}$	deci	d	desetina	0,1
$10^{-2}$	centi	c	setina	0,01
$10^{-3}$	mili	m	tisícina	0,001
$10^{-6}$	mikro	μ	miliontina	0,000 001
$10^{-9}$	nano	n	miliardtina	0,000 000 001
$10^{-12}$	piko	p	biliontina	0,000 000 000 001
$10^{-15}$	femto	f	biliardtina	0,000 000 000 000 001
$10^{-18}$	atto	a	triliontina	0,000 000 000 000 000 001
$10^{-21}$	zepto	z	triliardtina	0,000 000 000 000 000 000 001
$10^{-24}$	yokto	y	kvadriliontina	0,000 000 000 000 000 000 000 001



# Přepočet frekvence-vlnová délka

$$\lambda = \frac{c}{f} \left[ m, ms^{-1}, s^{-1} \right]$$

$\lambda$  - představuje vlnovou délku signálu,

$c$  - rychlosť šíření EMG vlnění (pro zjednodušené výpočty uvažujeme  $c = 3 \cdot 10^8 ms^{-1}$ ,

skutečná rychlosť světla ve vakuu je  $c = 299\ 792\ 458 ms^{-1}$ ),

$f$  - frekvence EMG vlnění.

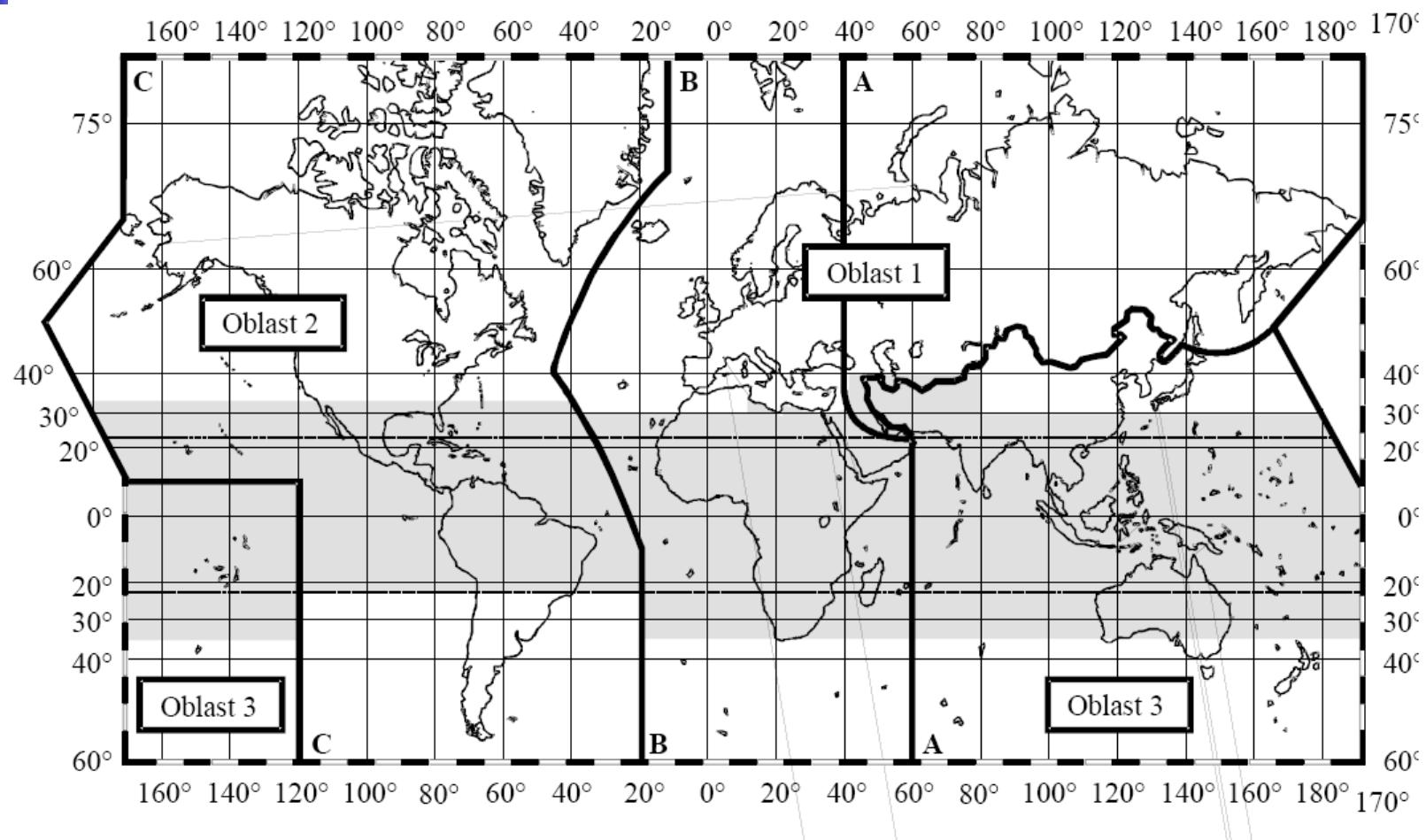
# Ochrana a regulace kmitočt.spektra

## Kmitočtové spektrum EMG:

- Radiovým spektrem se dle zákona rozumí elektromagnetické vlny o kmitočtu od 9 kHz do 3 000 GHz, šířené prostorem bez zvláštního vedení.
- přírodní bohatství lidstva, jehož použití je nutné regulovat. Radiové spektrum je vzácný statek, součást národního bohatství. Není to ropa ani zlato, na elektromagnetické vlny si nelze sáhnout, ale jsou všude kolem nás. Přenos dat z vysílače do mobilu využívá fyzikální jev a na rozdíl od nerostného bohatství se radiové spektrum nespotřebovává.
- použití jednotlivé vlády regulují telekomunikačními úřady
  - ČR - Český telekomunikační úřad ([www.ctu.cz](http://www.ctu.cz))
  - SRN Bundesnetzagentur (<http://www.bundesnetzagentur.de>)
  - USA Federal Communications Commission – FCC (<http://www.fcc.gov>)
- **Mezinárodní telekomunikační unie (International Telecommunication Union – ITU, <http://www.itu.int>)**
  - sdružuje jednotlivé národní úřady členů OSN
  - sídlí v Ženevě
  - Nástupce International Telegraph Union, založené v Paříži 17.května 1865 20 zakladajícími členy
  - reguluje radiové frekvence v rozsahu přibližně 10 kHz až 3000 GHz, tedy vlnové délky 30 km až 0,1 mm
  - hlavním cílem v oblasti EMG je koordinace aktivit
    - aby nedocházelo ke konfliktním stavům (rušení, interference apod.) v příhraničních oblastech
    - definice využití kmitočtových pásem pro jednotlivé služby bezdrátového přenosu informací.



# Rozdělení povrchu planety



# Kmitočtová pásmá

Číslo pásma <i>N</i>	Kmitočet (dolní mez mimo, horní mez v pásmu)	Délka vlny (dolní mez mimo, horní mez v pásmu)	Název pásmá	Metrické zkratky	Symboly	Český název
4	3 - 30 kHz	100 - 10 km	myriametrické	Mam	VLF	velmi dlouhé
5	30 - 300 kHz	10 - 1 km	kilometrické	km	LF	dlouhé
6	300 - 3000 kHz	1000 - 100 m	hektometrické	hm	MF	střední
7	3 - 30 MHz	100 - 10 m	dekametrické	dam	HF	krátké
8	30 - 300 MHz	10 - 1 m	metrické	m	VHF	velmi krátké
9	300 - 3000 MHz	10 - 1 dm	decimetrické	dm	UHF	ultra krátké
10	3 - 30 GHz	10 - 1 cm	centimetrické	cm	SHF	centimetrové
11	30 - 300 GHz	10 - 1 mm	milimetrické	mm	EHF	milimetrové
12	300 - 3000 GHz	1 - 0,1 mm	decimilimetrické	dmm	-	-

# Šíření signálu

## ■ Myriametrické a kilometrické vlny

- Velmi dlouhé vlny (VLF) – 3-30 kHz/100-10 km
- Dlouhé vlny (LF) – 30-300 kHz/10-1 km
- Vlastnosti a použití:
  - malý útlum
  - na velké vzdálenosti
  - s malým výkonem pokrytí velkých ploch
  - málo kanálů
  - rozměrné kanály
  - rušení
  - námořní a navigační služby

# Šíření signálu

## ■ Hektometrické vlny

- Střední (MF) – 300 kHz-3 MHz/1000-100 m
- Vlastnosti a použití:
  - Šíří se povrchovou a prostorovou vlnou
    - Povrchová – ve výšce srovnatelné s délkou
      - Tlumena povrchem
      - Do 100 km – nepřímo úměrné frekvenci, přímo úměrné mocnině výkonu
    - Prostorová – odráží se od ionosféry (cca 60-1000 km)
      - Pouze v noci, přes den spodní vrstva ionosféry zmizí
  - Sčítání vln – únik
  - Rozhlasové vysílání s AM

# Šíření signálu

## ■ Dekametrické vlny

- Krátké (HF) – 3-30 MHz/100-10 m
- Vlastnosti a použití:
  - Šíří se odrazy od povrchu a ionosféry
    - Ionosféra dlouhé vlny tlumí, krátké propouští do vesmíru
    - Závisí na stavu ionosféry – denní a roční doba, stav Slunečního cyklu
    - Rel.úzké pásmo se odráží a dovoluje spojení prakticky na libovolné vzdálenosti
  - Spojení na velké vzdálenosti – lodě, kontinenty

# Šíření signálu

## ■ Metrické vlny

- Velmi krátké (VHF) – 30-300 MHz/10-1 m
- Vlastnosti a použití:
  - Šíří se přímou vlnou
    - V rádiovém horizontu (částečný ohyb)
    - Dle teploty se ohýbá nahoru a dolů, částečně i odráží od terénních překážek
  - Televizní a rozhlasové vysílání FM

# Šíření signálu

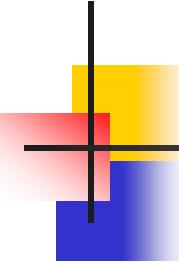
## ■ Decimetrické vlny

- Ultra krátké (UHF) – 300-3000 MHz/10-1 dm
- Vlastnosti a použití:
  - Šíří se přímou vlnou
    - V rádiovém horizontu (částečný ohyb)
    - Výrazné ovlivnění odrazy
  - Televizní vysílání, letecké, družicové námořní, mobilní

# Šíření signálu

## ■ Centimetrické a milimertické vlny

- Centimetrové (SHF) – 3-30 GHz/10-1 cm
- Milimetrové (EHF) – 30-300 GHz/10-1 mm
- Vlastnosti a použití:
  - Šíří se podobně jako světlo
    - Ostré stíny
    - Na útlum má vliv i počasí, listí apod.
  - Družicové systémy, radioreléové spoje



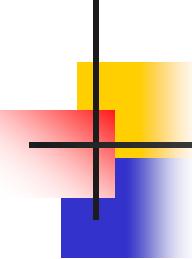
# Kmitočtové tabulky

Definujících služby, které je možné na konkrétních frekvencích používat.

- Kmitočtové tabulky oblastí
  - jsou synchronní zejména pro služby globálního dosahu, tedy komunikaci námořní a satelitní.
- Národní kmitočtové tabulky
  - rozlišují frekvenční pásma, ve kterých je nutné získat pro provoz licenci národního regulátora nebo kde a za jakých podmínek je možné provozovat komunikaci bez licence.

# Rozdělení bezdrátových služeb

- Amatérská služba
- Družicová amatérská služba
- Pomocná meteorologická služba
- Služba kosmického provozu
- Služba družicového průzkumu Země
- Pevná služba
- Družicová pevná služba
- Služba kmitočtových normálů a časových signálů
- Družicová služba kmitočtových normálů a časových signálů
- Mezidružicová služba
- Družicová meteorologická služba
- Radioastronomická služba
- Pohyblivá služba
  - pozemní pohyblivou
  - leteckou pohyblivou
  - námořní pohyblivou
  - pohyblivou kromě letecké pohyblivé
  - družicovou pozemní pohyblivou
  - družicovou leteckou pohyblivou
  - družicovou námořní pohyblivou
  - družicovou pohyblivou kromě letecké pohyblivé
- Rozhlasová služba
- Družicová rozhlasová služba
- Radiolokační služba
- Družicová radiolokační služba
- Radionavigační služba
- Družicová radionavigační služba
- Služba kosmického výzkumu – spojení s Marsem 7-8,5 MHz (8,4-8,5 sestupný směr, 7145–7235 vzestupný)
- Bezpečnostní služba.



Ročník 2021



# SBÍRKA ZÁKONŮ

## ČESKÁ REPUBLIKA

---

Částka 210

Rozeslána dne 14. prosince 2021

Cena Kč 244,-

---

O B S A H:

467. Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 105/2010 Sb., o plánu přidělení kmitočtových pásem (národní kmitočtová tabulka), ve znění vyhlášky č. 423/2017 Sb.

---

Domů O aplikaci Výpočty Slovník Otevřená data Kontakt

## VÝSLEDKY FILTOVÁNÍ

### FILTROVÁNÍ

Dle služby

- všechny –
- Amatérská**
- Družicová amatérská
- Rozhlasová
- Družicová rozhlasová
- Družicového průzkumu Země
- Družicová meteorologická
- Pevná
- Družicová nevná

Dle aplikace

- všechny –
- Aktivní čidla (na družicích)
- Amatérské vysílání
- Bezdrátové mikrofony profesionální
- BMIS
- Družicová TV
- Družicové amatérské vysílání
- Družicové navigační systémy
- SAP/SAR

Dle kmitočtu

od kHz do kHz

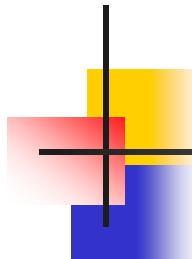
**FILTROVAT**

Zrušit filtr

dle služby  dle aplikace

Pásma	Applikace			
<a href="#">135.7 – 137,8 kHz</a>	SRD s indukční smyčkou	Amatérské vysílání	Lékařské implantáty (SRD)	
...				
<a href="#">472 – 479 kHz</a>	SRD s indukční smyčkou	Námořní komunikace	RFID (SRD)	Veterinární implantáty (SRD)
...				
<a href="#">1 715 – 1 800 kHz</a>	SRD s indukční smyčkou	Amatérské vysílání	SRD pro telematiku	Necivilní využití
...				

**SRD Short Range Devices**



## Bezdrátová komunikace, založená na mech.vlnění

- založena na principu vzájemného pohybu částic pružného prostředí.
- čím vyšší je hustota, tím vyšší je i rychlosť šíření a dosah vlnění.
- Mechanické kmitání
  - podélné - v plynech, kapalinách, tuh.látkách,
  - příčné - pouze v tuhých látkách.

# Šíření signálu

## Frekvence dána rovnicí

$$f = \frac{c}{\lambda} \left[ Hz, ms^{-1}, m \right]$$

kde:

$f$  - frekvence mechanického vlnění,

$c$  - rychlosť jeho šírení v prostredí,

$\lambda$  - vlnová délka signálu.

Rychlosť šírenia  $c$  je rozdiľná pre každý materiál a závisí i na teplote, ktorou materiál má a u plyňov i na jejich tlaku, konkrétně

$$c = \sqrt{\frac{\kappa \cdot p_0}{\rho_0}} \left( 1 + \frac{1}{2} \gamma \cdot t \right)$$

kde:

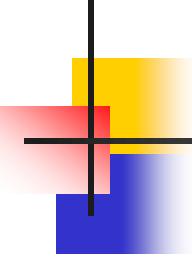
$\kappa$  - Poissonova konstanta,

$p_0$  - tlak pri teplote 0st.C,

$\rho_0$  - hustota plynu pri teplote 0st.C,

$\gamma$  - součinitel tepelné roztažnosti plynu.

$$\text{pro vzduch pri normálním atm.tlaku } c = 331,57 + 0,61 \cdot t \left[ ms^{-1}, {}^\circ C \right]$$



# Šíření kmitání vzduchem

- infrazvuk, kterým chápeme kmitání o frekvenci nižší než 16 Hz
- zvuk, který definujeme mezi frekvencemi 16 Hz-20 kHz
- ultrazvuk s frekvencemi vyššími než 20 kHz.

Přenos informace mechanickým kmitáním není regulován žádným orgánem, nepočítáme-li orgány hygienické služby...

# Dopplerův jev

$$f = \frac{c + v}{c} f_0$$

- Nutno vzít potaz při přenosu dat mezi pohybujícími se objekty
- Příklad:
  - uvažujme pro automobilovou dopravu s mezní rychlostí 250km/h - protijedoucí automobily se k sobě přibližují max. rychlostí 500km/h
    - Ultrazvuk

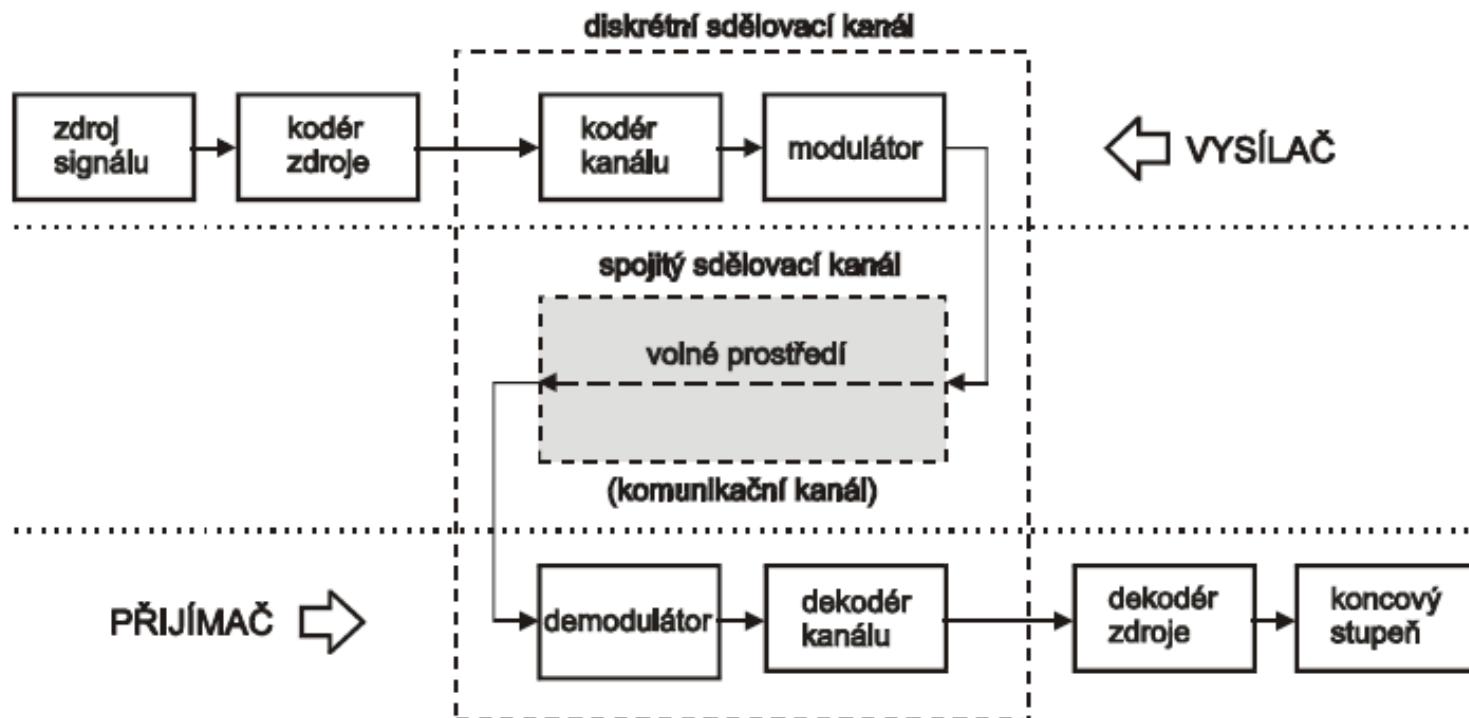
$$v = \frac{500}{3,6} = 138,8 \text{ ms}^{-1} \quad c = 331,57 + 0,61 \cdot 20 = 343,77 \text{ ms}^{-1}$$

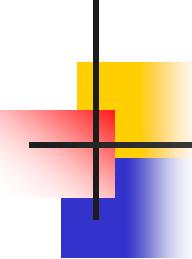
$$f = \frac{343,77 + 138,9}{343,77} f_0 = 1,404 f_0$$

- EMG

$$f = \frac{3 \cdot 10^8 + 138,9}{3 \cdot 10^8} f_0 = 1,000000463 f_0$$

# Obecné schéma radiokomunikačního systému





# Poměr signál-šum

SNR – signal-to-noise ratio

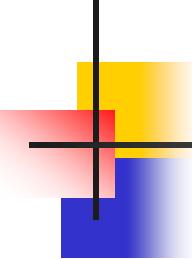
$$SNR = \frac{P_{signálu}}{P_{šumu}} = \left( \frac{A_{signálu}}{A_{šumu}} \right)^2$$

Kde A je efektivní hodnota napětí a proudu

(RMS – Root Mean Square - odmocnina průměru čtverců, kvadratický průměr)

Často se vyjadřuje v dB

$$SNR_{dB} = 10 \log \left( \frac{A_{signálu}}{A_{šumu}} \right)^2 = 20 \log \left( \frac{A_{signálu}}{A_{šumu}} \right)$$



## Informační omezení – Shannonův-Hartleyův vztah

- Při přenosu informace je nutné vzít v potaz fyzikální omezení, zejména ve vztahu k šumu a citlivosti vstupních obvodů, které jsou schopny rozlišit pouze konečné změny užit. signálu.
- Proto definujeme přenosovou kapacitu radiokomunikačního systému  $C[\text{bit/s}]$

$$C = B \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) = 2B \cdot \log_2 \left( \sqrt{1 + \frac{S}{N}} \right) \quad [\text{bit} \cdot \text{s}^{-1}, \text{Hz}, -]$$

- $C$  je maximální dosažitelná rychlosť bezchybného přenosu ideálního radiokomunikačního systému s optimálním kódováním a modulací,
- $B$  je šířka přenosového pásma radiokomunikačního systému,
- $S$  je střední hodnota výkonu signálu na vstupu přijímače,
- $N$  je střední hodnota výkonu šumu na vstupu přijímače,

# Informační omezení – příklady

- Vypočtěte teoretickou max. rychlosť telekomunikačního kanálu s těmito parametry:
  - Šířka pásma 10 kHz
  - Poměr signál/šum 2/1

$$C = B \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) = 10000 \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{2}{1} \right) = 15850 \text{ bit} \cdot \text{s}^{-1}$$

- Při zvýšení poměru výkonu na 10/1

$$C = B \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) = 10000 \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{10}{1} \right) = 34594 \text{ bit} \cdot \text{s}^{-1}$$

- Při zvýšení poměru výkonu na 100/1

$$C = B \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) = 10000 \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{100}{1} \right) = 66582 \text{ bit} \cdot \text{s}^{-1}$$

## Informační omezení – příklady

- Vypočtěte teoretický minimální odstup signál/šum telekomunikačního kanálu s těmito parametry:
  - Šířka pásma 1 MHz
  - Přenosová rychlosť 66582 bitů/s

$$C = B \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \rightarrow 2^C = 2^B \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \rightarrow \frac{S}{N} = 2^{\frac{C}{B}} - 1$$

$$\frac{S}{N} = 2^{\frac{66582}{1 \cdot 10^6}} - 1 = 0,0472 = -26,5 dB$$

# Teoretické maximum přen.kapacity

budeme - li uvažovat výkonovou spektrální hustotu šumu  $\eta$   
konstantní , muzeme vyjádrit  $N = \eta B$  a pro  $B \rightarrow \infty$ :

$$C = B \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) = B \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S}{\eta B} \right) = \frac{S}{\eta} \log_2 \left( 1 + \frac{S}{\eta B} \right)^{\frac{\eta B}{S}}$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} (1+x)^{\frac{1}{x}} = e, \text{ takže}$$

$$C_{\infty} = \lim_{B \rightarrow \infty} C = \frac{S}{\eta} \log_2 e = 1,442695 \frac{S}{\eta}$$

# Teoretické maximum přen.kapacity

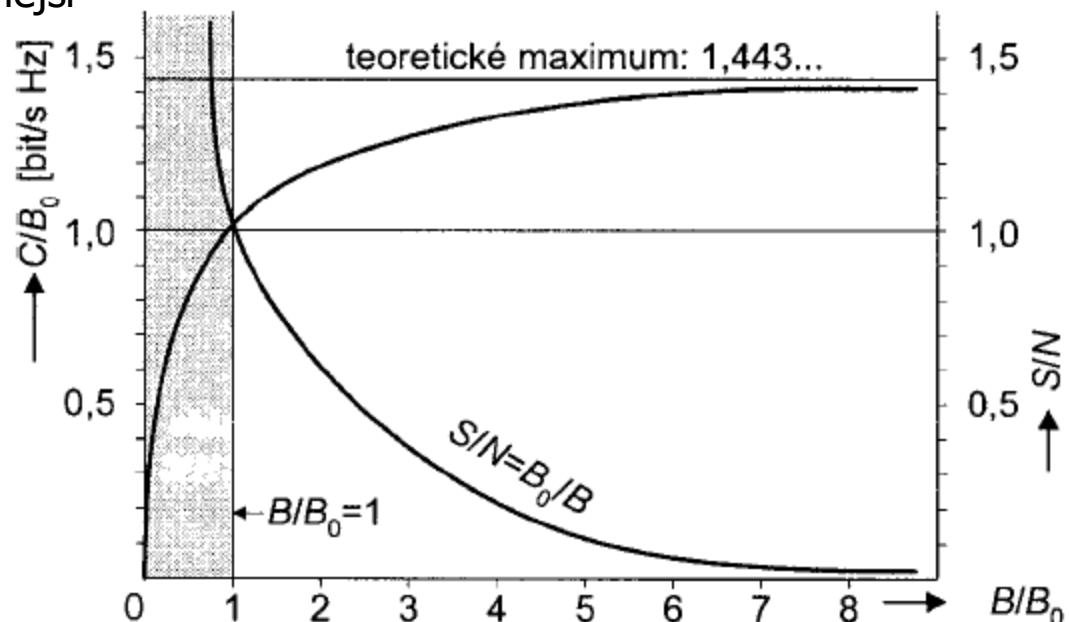
Přenosové systémy dělíme na:

Úzkopásmové – šířka pásma je menší nebo rovna šířce pásma při poměru S/N=1

- jednodušší konstrukce
- zdaleka nedosahují teoretické kapacity spojení
- vzájemně se mohou ovlivňovat – nutné vymezení a odstup
- vysílací výkon soustředěn do úzkého frekv.rozsahu

Širokopásmové – šířka pásma větší

- konstrukčně výrazně náročnější
- blíží se teor.maximu
- špatně se identifikují
- špatně se ruší
- mohou pracovat paralelně
- vysílací výkon rozprostřen



# Telekomunikační rovnice

$$P_{vysíl} G_{vysíl} \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 L_\phi L_p \frac{G_{přij}}{N_0} = \frac{P_{přij}}{N_0}$$

Kde:

$P$  - celkový střední vysílací/přijímací výkon na výstupu/vstupu,

$G$  - zisk přijímací/vysílací antény,

$\lambda$  - vlnová délka,

$d$  - vzdálenost mezi přijímačem a vysílačem,

$L_\phi$  - ztráty způsobené nepřesným zaměřením antén – problém zejména u vysocesměrových anténních systémů,

$L_p$  - polarizační ztráty u anténních systémů, kde mají vysílací a přijímací anténa odlišnou polarizaci,

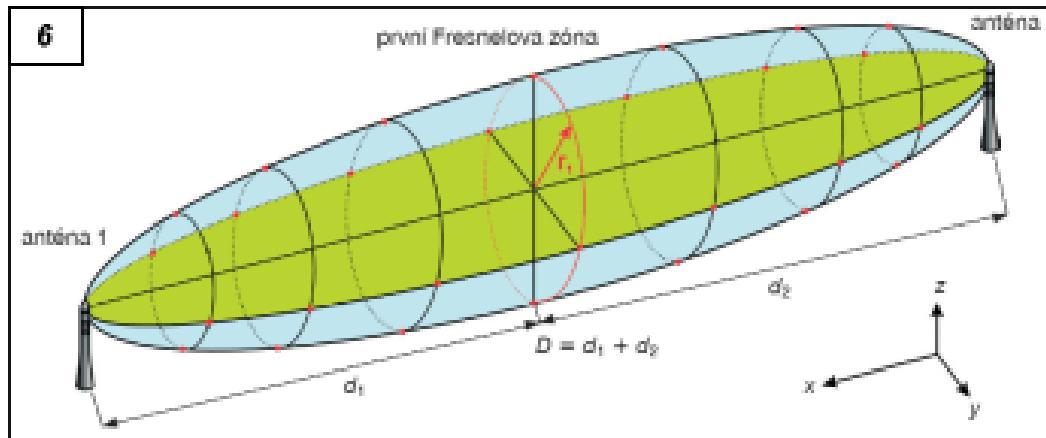
$N_0$  - spektrální výkonová hustota šumu na vstupu přijímače, daná zejména celkovou šumovou teplotou přijímače (zesilovač, antény, napáječe, vliv atmosféry, povrchu země atd.).

Ze známých nebo daných vlastností přenosového systému pak z radiokomunikační rovnice vyplynou požadavky nebo omezení na zbývající parametry.

efektivní izotropický  
vyzařovaný výkon  
EIRP (Effective  
Isotropic Radiated  
Power)

# Fresnelovy zóny

$$F_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} = 17315 \sqrt{\frac{nd_1 d_2}{f(d_1 + d_2)}}$$



$F_n$  - n-tá Fresnelova zóna [m]

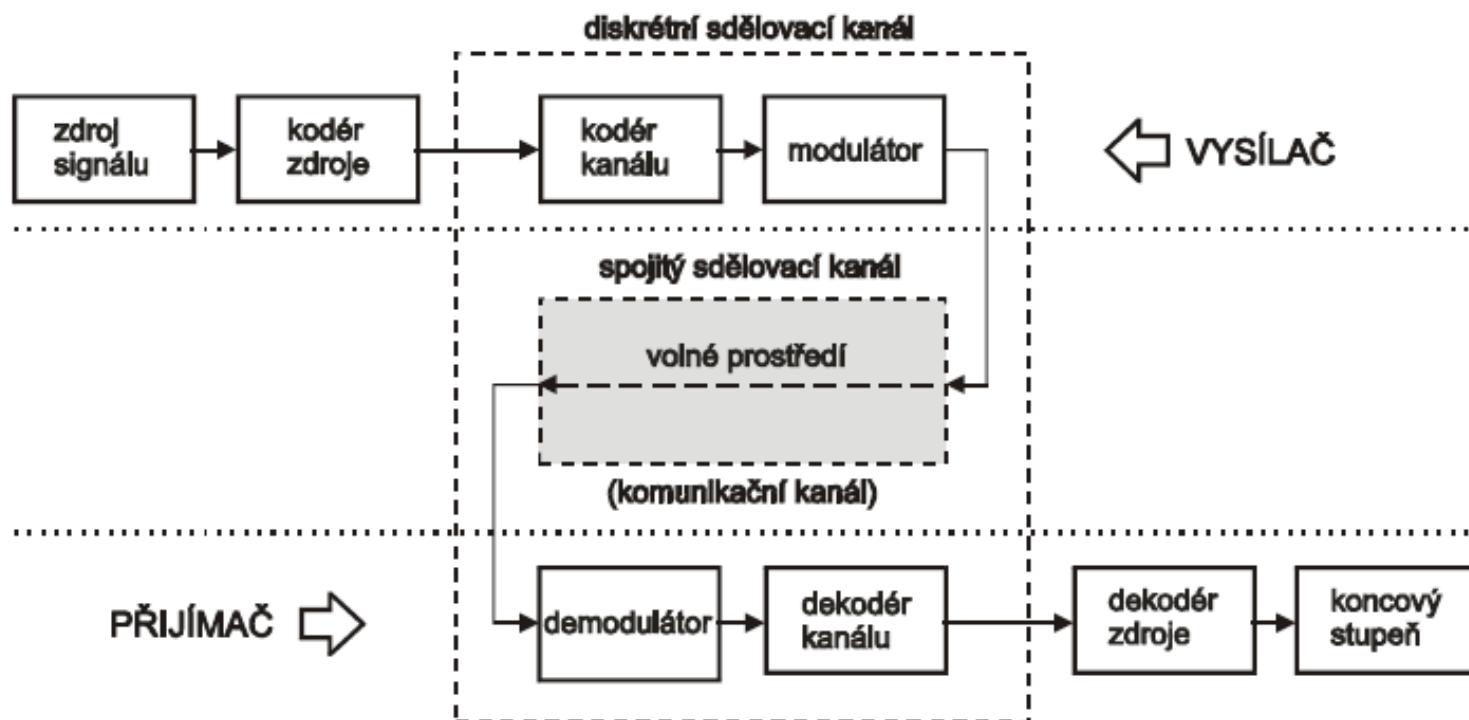
$d_1$  - vzdálenost od vysílací antény [m]

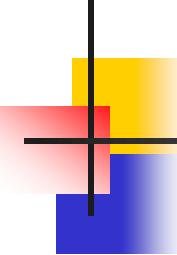
$d_2$  - vzdálenost od přijímací antény [m]

$\lambda$  - vlnová délka [m]

$f$  - frekvence [Hz]

# Obecné schéma radiokomunikačního systému



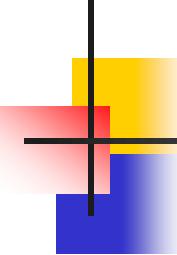


# Kódování zdroje signálu

- Hlavním cílem je minimalizovat nebo zcela odstranit redundantní (vratný proces) a irelevantní informace (nevratný proces)
- Úspěšnost dána kompresním poměrem CR (Compress Ratio):

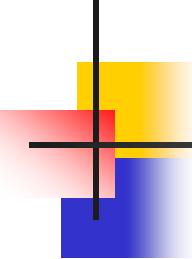
$$CR = \frac{V_{vst}}{V_{výst}} [-]$$

Kde V jsou přenosové rychlosti [bit/s]



# Hovorové signály

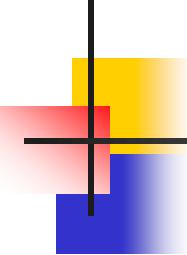
- Signály do 4kHz
- Rozdělení
  - Kodéry tvarového průběhu
  - Kodéry parametrické
  - Kodéry hybridní



# Akustické signály

---

- Přenos frekvencí 10 Hz – 20 kHz
- Rozdělení
  - Prediktivní kódování
  - Transformační kódování



# Obrazové signály

- Prostorová redundance
  - Vyhledává korelaci mezi sousedními body obrazu – u statických i pohyblivých obrazů
- Časová redundance
  - Vyhledává korelaci mezi předchozími a následujícími snímky u pohyblivých obrazů

# Zdrojové kódovaní tvaru vlny

## **PCM** (Pulse Code modulation)

pro 300-3400Hz podle Shanonova teorému stačí vzorkování 8kHz, PCM používá  $2^8 = 256$  kvantovacích úrovní, přenosová rychlosť  $8 \times 8000 = 64\text{kbit/s}$

## **DPCM** (Differential Pulse Code Modulation)

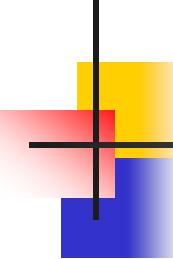
- přenáší se pouze rozdíl mezi skutečnou a predikovanou hodnotou, stanovenou z posledního nebo několika posledních vzorků
- predikovaná hodnota se nepřenáší, dekodér si ji vytváří sám
- na vyjádření diference stačí méně bitů

## **LDM** (Linear Delta Modulation)

- de facto DPCM s přenosem 1bitu o konstantním kvantizačním kroku
- špatně rekonstruuje strmost a signál s konst.úrovní
- granulační šum – osciluje kolem skutečného průběhu

## **ADM** (Adaptive Delta Modulation)

- varianta s proměnným kvantizačním krokem
- při velké změně se zvětší krok, při malé zmenší



# Zdrojové kódování tvaru vlny

**ADPCM** (Adaptive Differential Pulse Code modulation)

používá adaptivní kvantování a adaptivní predikci,  
přenosová rychlosť 32kbit/s, kodeky G.721 a G.726

# Parametrické zdrojové kódování

Vychází ze znalosti lidské fyziologie:

- znělé hlásky – kvaziperiodický průběh
- neznělé hlásky – pseudostochastický průběh

Perioda (kmitočet) základního tónu

50-400Hz – každý člověk jiný, mění se i v průběhu hovoru

## Lineární prediktivní kódování **LPC**

Modeluje vlastnosti hlasového traktu se znalostí periody základního tónu:

- Digitalizace až 13 bitů
- rozdělení na úseky 10-30 ms
- analýza znělých a neznělých hlásek
- stanovení parametrů filtrů
- data přenášena k syntetizátoru na přijímací straně, kde se znělé rekonstruuují generátorem pulzů, neznělé generátorem šumu
- rychlosť menší než 4 kbity/s, nepřirozený hlas, protože

**se nepřenáší se hlas jako takový, ale pouze jeho parametry a na přijímací straně se rekonstruuje!**

# Hybridní zdrojové kódování

Kombinuje zdrojové a parametrické kódování

Generují se úzké pulzy v krátkém časovém intervalu velikostí a polohou co nejvíce přibližující skutečný průběh signálu

Rekonstrukce se provádí již na straně vysílací a porovnává se se zdrojem - rozdíl se přenáší k přijímači a současně slouží k doladění kodéru pomocí 2 predikčních filtrů – krátkodobého korelačního (8-16 předchozích vzorků) a dlouhodobého *Long Term Prediction*

Základní principy:

**MPE** (Multi Pulse Excitation)

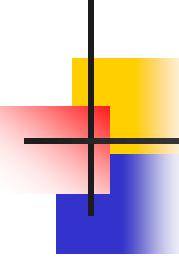
poloha a velikost bud.pulzů se určují po jednom, rychlosť 8-16kbit/s

**RPE** (Regular Pulse Excitation)

vzájemná poloha pulzů přesně definována, přenáší se pouze poloha 1.pulsu a velikost ostatních pulzů, 8-16kbit/s

**CELP** (Code Excited Linear Prediction)

posloupnosti budících pulzů uloženy na obou stranách v kódové knize, přenáší se jen adresa posloupnosti, rychlosť <=4kbit/s



# Přenos hlasu v IP sítích

- H.323
  - doporučení ITU definující protokoly pro audio-vizuální spojení v libovolné paketové síti
  - obecné a příliš složité, ale vysoce kompatibilní
- SIP (Session Initiation Protocol)
  - reakce na H.323, popsán v RFC3261,
  - standardně využívá UDP/5060, příp.TCP/5060
- Proprietární protokoly
  - HFA (Hipath Feature Access) – Siemens
  - SKINNY – Cisco
  - SKYPE
  - IAX2 – využívají open source SW PBX ústředny Asterisk

# Kodeky H.323 v IP telefonii

- G.711 ( $\mu$ -law, A-law)
  - lineární nebo logaritmická PCM, 64kb/s
- G.723.1
  - A) MP-MLQ (Multipulse Maximum Likelihood Quantization), bloky 30ms ve 24B rámcích, 6.3kb/s
  - B) ACELP (Algebraic Code-Excited Linear Prediction), bloky 30ms ve 20B rámcích, 5.3kb/s
- G.726
  - ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation) pro 2b (16kb/s), 3b (24kb/s), **4b (32kb/s)** nebo 5b (40kb/s)
- G.728
  - LD-CELP (Low-Delay Code Excited Linear Prediction), bloky 0.625ms s 10b vzorky, 16kb/s
- G.729
  - CS-ACELP (Conjugate-Structure Algebraic-Code-Excited Linear Prediction), bloky 10 ms do 10B rámců (8kb/s) nebo 2B rámců, přenášejících hluk
- GSM 06.10
  - RPE-LP (Regular Pulse Excitation - Linear Prediction)
    - FR – Full Rate 13 kb/s
    - HR – Half Rate 6,5 kb/s – nutné výkonné signálové procesory

# Srovnání kodeků H.323 v IP telefonii

Standard	Algoritmus	MIPS	Zpoždění (ms)	CBR (Kbps)	NEB (Kbps)	MOS	Data (kB/min)
G.711	PCM	0	0,125	64,0	87,2	4,10	480
G.723.1	MP-MLQ	16	37,5	6,3	21,9	3,90	47
G.723.1	ACELP	20	37,5	5,3	20,8	3,65	40
G.726	ADPCM	1	0,125	32,0	55,2	3,85	240
G.728	LD-CELP	30	0,625	16,0	31,5	3,61	120
G.729	CS-CELP	20	15	8,0	31,2	3,92	60
G.729A	CS-CELP	11	15	8,0		3,70	60
GSM 06.10	RPE-LP	10		13,0		3,50	98

■ **MIPS** (Milion Instructions per Second) – potřebný výkon procesoru

■ **CBR** (Codec Bit Rate) - přenosová rychlosť kodeku (bit/s)

■ **NEB** (Nominal Ethernet Bandwidth) - nominální Ethernetová šířka pásma (bit/s)

■ **MOS** (Mean Opinion Score) – subjektivní poslechové kritérium kvality přenosu hlasu vybraným vzorkem populace

MOS	Kvalita přijímaného hovorového signálu	Hodnocení
1	Degradace je velmi rušivá	nevyhovující
2	Degradace je rušivá	nízká
3	Degradace příliš neruší	střední
4	Degradace je slyšitelná, ale neruší	dobrá
5	Degradace je nepostřehnutelná	vysoká

■ **Data** – orientační množství přenesených dat za minutu hovoru

# Kvalita přenosu v IP sítích

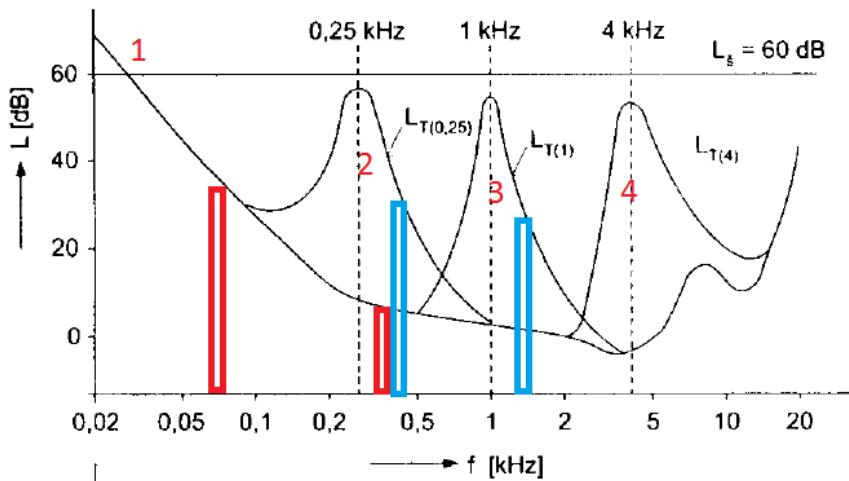
- Vzhledem k principu funkce těchto sítí není možný kontinuální přenos hlasu
- Kvalita služby (Quality of Service - QoS) sleduje základní parametry přenosu
  - Latency – zpoždění signálu, způsobené kódováním, přenosem a dekódováním,
  - Jitter - kolísání velikosti zpoždění paketů při průchodu sítí,
  - packet loss – ztráta paketů během přenosu,
  - Echo – ozvěna.

Kvalita služby	Dobrá	Vyhovující	Newyhovující
Latence [ms]	<150	150-300	>300
Jitter [ms]	<20	20-50	>50
Ztrátovost [%]	<0,5	0,5-1,5	>1,5

# Zdrojové kódování akustických signálů - ztrátové

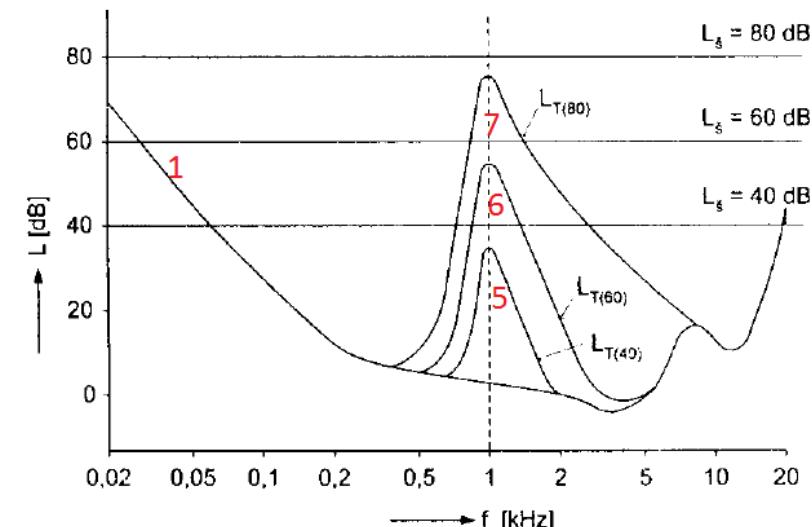
## Využívá maskovacího efektu lidského ucha: efekt simultánní

- je-li zvuk delší než 200ms, může jeden signál potlačovat slyšitelnost jiného s jiným kmitočtem



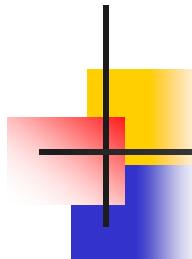
1 – standardní průběh schopnosti ucha vnímat zvuk  
nižší hodnota = vyšší citlivost ;-)

2 – snížení citlivosti při šumu 60 dB v pásmu 250 Hz  
3 – snížení citlivosti při šumu 60 dB v pásmu 1 kHz  
4 – snížení citlivosti při šumu 60 dB v pásmu 4 kHz



5 – snížení citlivosti při šumu 40 dB v pásmu 1 kHz  
6 – snížení citlivosti při šumu 60 dB v pásmu 1 kHz  
7 – snížení citlivosti při šumu 80 dB v pásmu 1 kHz

Červená – přirozeně neslyšitelný signál  
Modrá – díky maskování neslyšitelný signál



## Zdrojové kódování akustických signálů - ztrátové

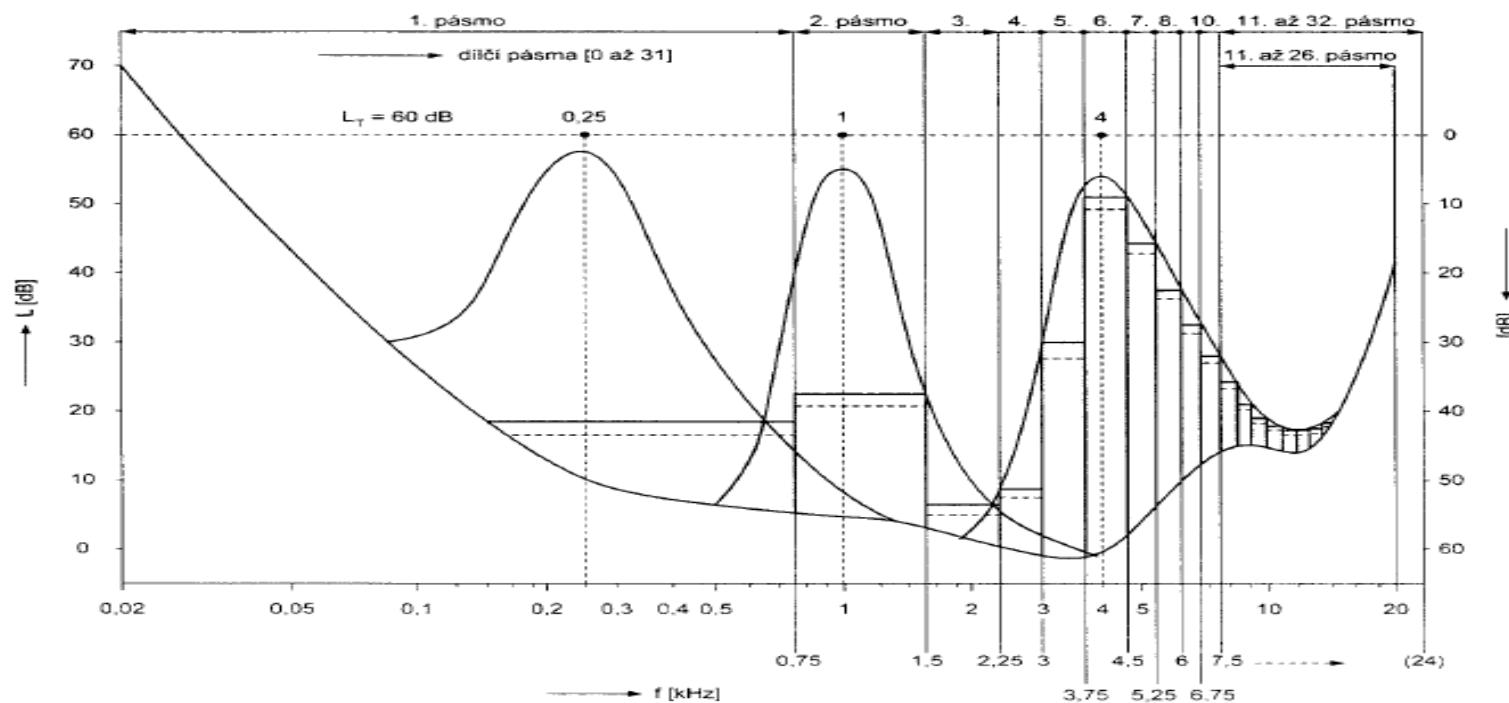
Využívá maskovacího efektu lidského ucha:  
efekt nesimultánní

- Následuje-li signál bezprostředně za jiným silným signálem
  - do 10 ms – zaniká zcela
  - mezi 10 – 200 ms efekt potlačení postupně slábne
- Předchází-li signál max.5ms před maskujícím signálem

# Zdrojové kódování akustických signálů - ztrátové

## Využití

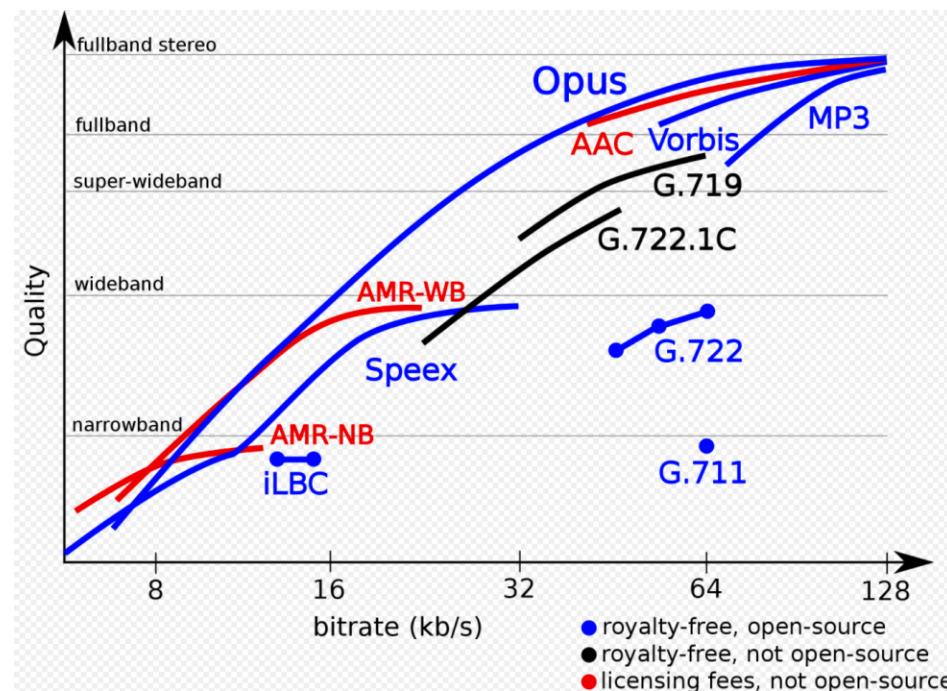
- Při zdrojovém kódování zvuků jsou vyhledávány prahy maskování a vyřazovány „neslyšitelné“ úseky
- Vzhledem k citlivosti ucha na různé frekvence se používá subpásmové kódování SBC (subband coding)



# Zdrojové kódování akustických signálů - ztrátové

Využíváno v kodecích MPEG1/MPEG2/MPEG4/MKV

- MP3
- AAC (Advanced Audio Coding)
- AMR (Adaptive Multi-Rate compression)
- WMA (Windows Media Audio)
- OPUS



# Zdrojové kódování akustických signálů - bezztrátové

Nevypouští žádnou informaci o signálu

Komprese zpravidla využívá principů komprese známých z ZIP/RAR

Použití u master nahrávek a HiFi

Průměrná komprese 50-60 % původní velikosti dat

Formáty:

- FLAC (Free Lossless Audio Codec) – otevřený
- WMA (Windows Media Audio) – od verze 9 je kromě ztrátové i bezztrátová varianta SPL (Series Professional Lossless)
- ALAC (Apple Lossless Audio Codec) – v kontejneru MP4
- Monkey's Audio
- MPEG-4 SLC (Scalable Lossless Coding)

# Zdrojové kódování obraz.signálu

## Klasický televizní signál

analogový jasový 0-6MHz a 2 chrominační 0-1,6MHz –  
digitalizace PCM 13,5MHz+6,75MHz 8 bitů ->  
 $108+54+54=216\text{Mbit/s}$  -> potřeba redukce

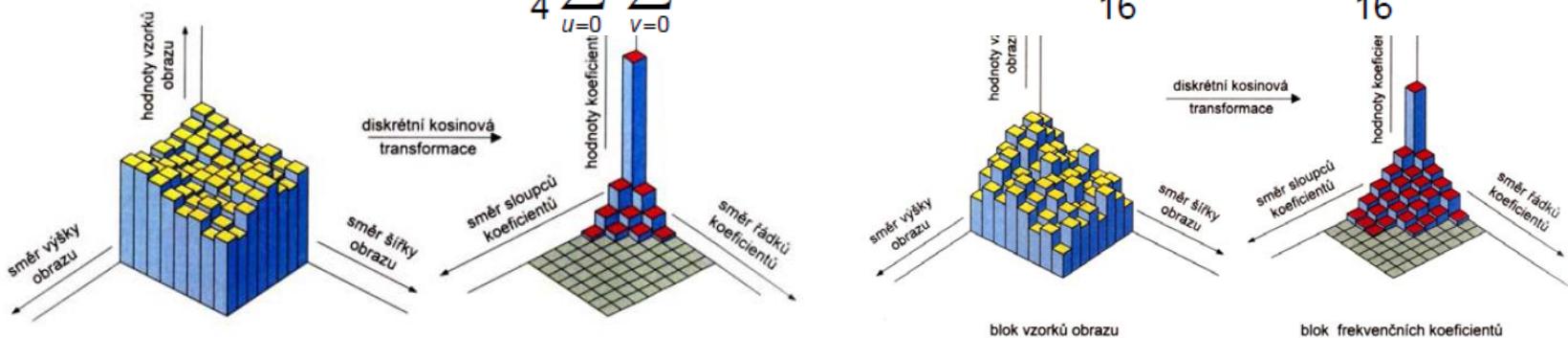
### DCT (Discrete Cosine Transform)

odvozena z diskrétní Fourierovy transformace

zpravidla pro bloky 8x8 pixelů (jasová složka 720x576, chrominační

$$G(u,v) = \frac{1}{4} C(u).C(v) \cdot \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 g(x,y) \cdot \cos \frac{(2x+1).u.\pi}{16} \cdot \cos \frac{(2y+1).v.\pi}{16}$$

$$g(x,y) = \frac{1}{4} \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 C(u).C(v).G(u,v) \cdot \cos \frac{(2x+1).u.\pi}{16} \cdot \cos \frac{(2y+1).v.\pi}{16}$$



# Přenos obr.signálu

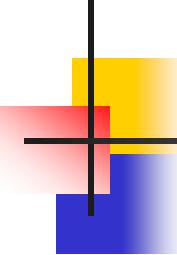
## GOP (Group of Pictures)

12 snímků (cca 0,5s)

- I (Intra frame) – úvodní snímek
- P (Predict frame) – vytvořený rozdílem z předchozího I nebo P – úspora cca 2x
- B (Bidirectional frame) – vytvořený průměrem ze snímků předchozího (I nebo P) a následujícího (I nebo P) – úspora až 8x

## Vektory pohybu

v obrazu vyhledávány sekvence, které se pohybují a P či B snímky přenáší vektor pohybu



# Kanálové kódování

Cílem je zabezpečit přenášená data proti chybám během přenosu

Principem mírné zvýšení redundance přidáním kontrolních dat

Chybovost vyjádřena BER (Bit Error Rate)

- hovor  $\text{BER} < 10^{-3} - 10^{-4}$
- HDTV  $\text{BER} < 10^{-10}$

# Rozdělení kan.kódování

## ■ Detekční kódy

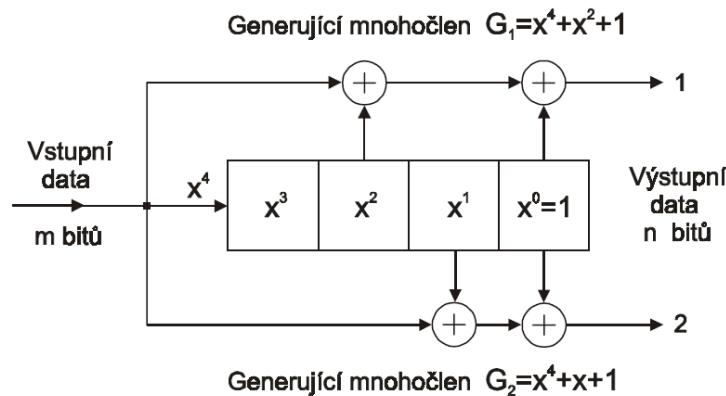
pouze indikují chybný přenos, nutné ošetřit zpětným hlášením a žádostí o opakování

## ■ Paritní bity

nejjednodušší verze přidáním paritních bitů na začátek nebo konec

## ■ Konvoluční kódy

Provádí matematické operace nad přímým a zpožděným datovým tokem – přidaná data jsou výsledkem těchto operací, zvyšují kódovou rychlosť zpravidla v poměru 1/2, 2/3, **3/4**, 5/6, 7/8



# Rozdělení kan.kódování

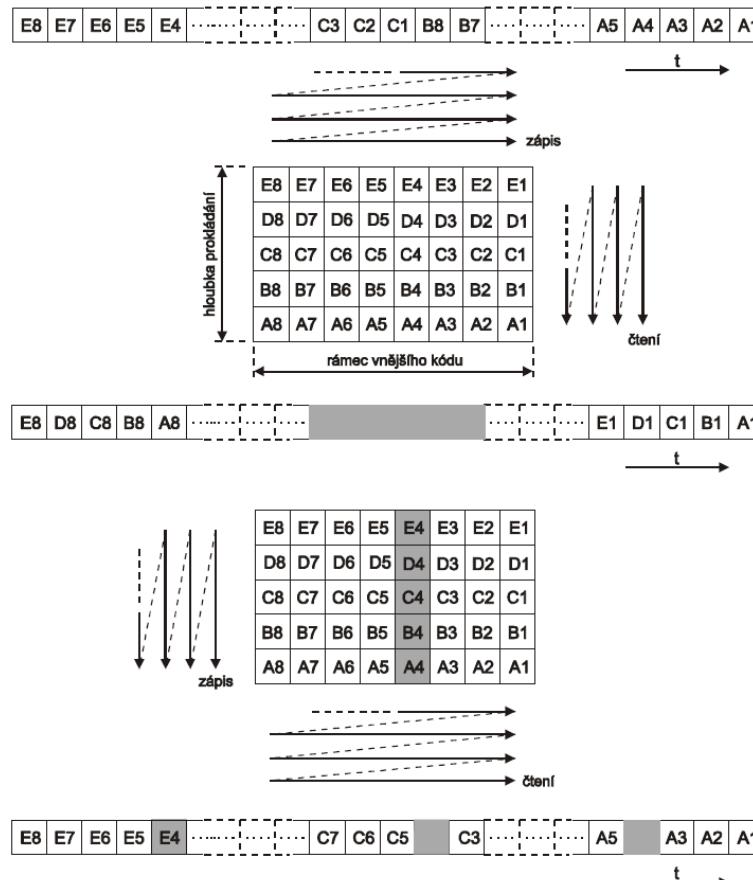
## Korekční kódy

umí i poškozená data opravit->dopředná korekce chyb (Forward Error Correction)

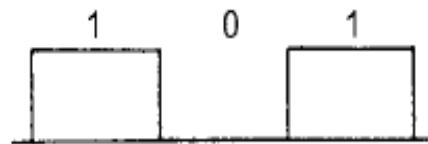
- konvoluční kódy – ke kódu se přikládá přídavná redundance pomocí generujícího mnohočlenu – kódová rychlosť udává poměr užit/přen.dat
  - turbo kódy – používají 2 konvoluční kodéry – jeden přímo, druhý přes prokládací stupeň a na závěr jsou multiplexovány s původním signálem
- blokové kódy – na konec určitého bloku dat je přidán určitý počet paritních bitů
  - Fireho kódy – paritní byty se vytváří XORem nad datovým tokem – ochrana signalizace v GSM
  - Hammingovy kódy – teletext
  - Cyklické kódy – dokáží ošetřit shluky chyb kratší než je počet paritních bitů,
  - BCH kódy
  - Reedovy – Solomonovy kódy – výhodnější pro shluky chyb

# Prokládání (interleaving)

- Doplňek kanálového kódování – bitový tok je ve vysílací části ukládán po řádcích a vysílán po sloupcích, na přijímací straně obráceně.
- Pokud je signál napaden skupinovou chybou, rozprostře se mezi delší dobu a kratší úseky.

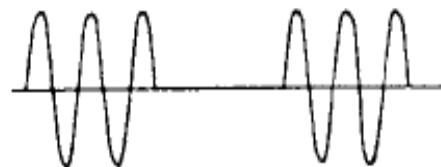


# Digitální modulace



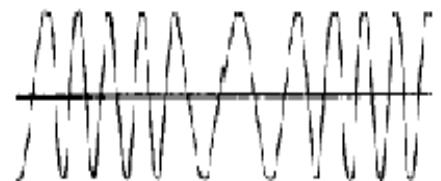
- **Amplitude Shift Keying (ASK)**

klíčování amplitudovou modulací



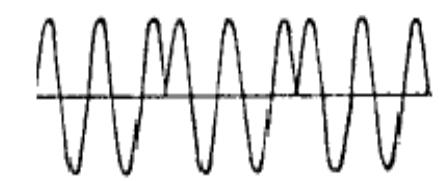
- **Frequency Shift Keying (FSK)**

klíčování frekvenční modulací



- **Phase Shift Keying (PSK)**

klíčování fázovou modulací



- Dvoustavová modulace – každému bitu je přidělen jeden stav – viz obr.
- Vícestavová modulace – stav vyjadřuje určitou kombinaci více bitů – stavů je  $2^n$
- Přenosová rychlosť – počet bitů za jednotku času
- Symbolová rychlosť – počet změn signálu za jednotku času

$$f_s = \frac{f_B}{n} = \frac{f_B}{\log_2 M} \text{ [baud]}$$

n – počet současně klíčovaných bitů

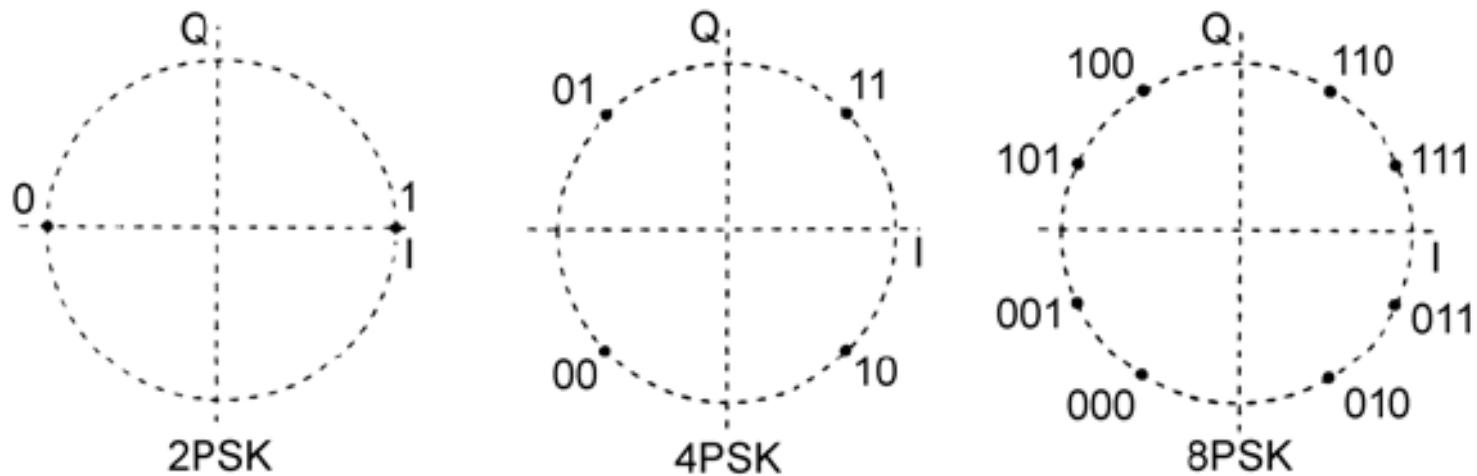
M – počet stavů modulace

# Vícestavová modulace

Konstelační diagramy:

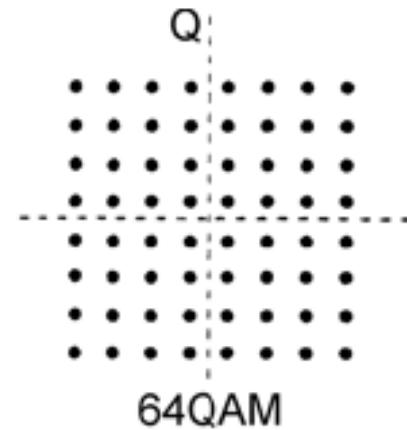
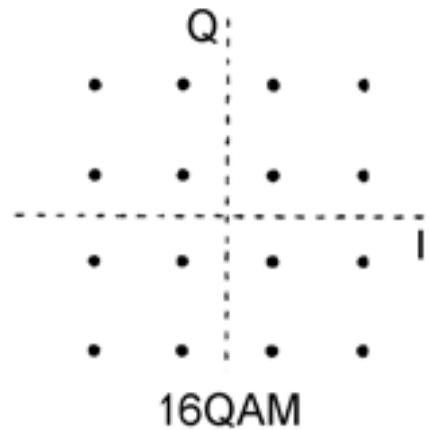
Vyjadřují možné stavy nosné vlny

- Fázová modulace (PSK)

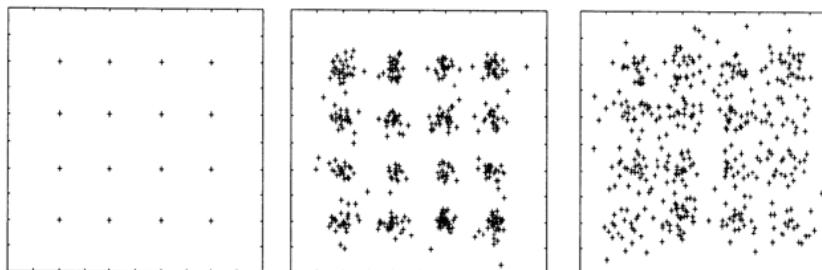


# Vícestavová modulace

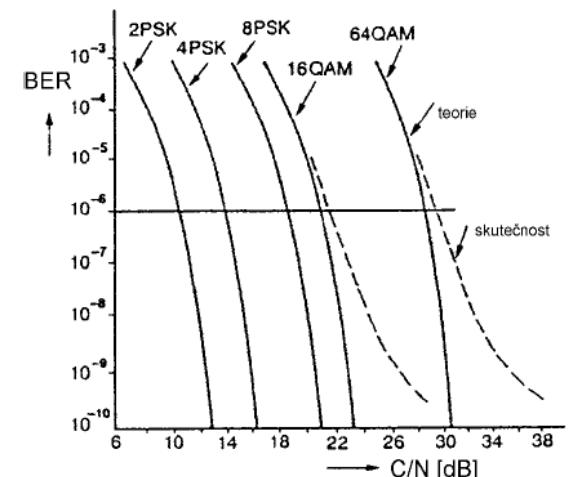
- Kvadraturní amplitudová modulace (Quadrature Amplitude Modulation - QAM) kombinace fázové PSK a amplitudové modulace ASK – dosahují přibližně rovnoměrného rozložení stavů signálu – používá se například 16QAM (4bity), 64QAM (6b) a 256QAM (8b)



Problémem může být správné rozlišení stavů na přijímači:



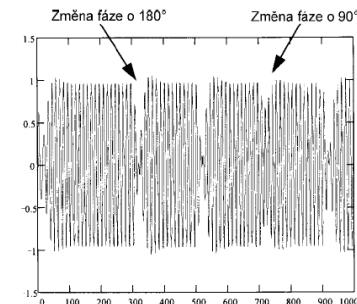
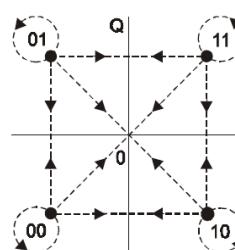
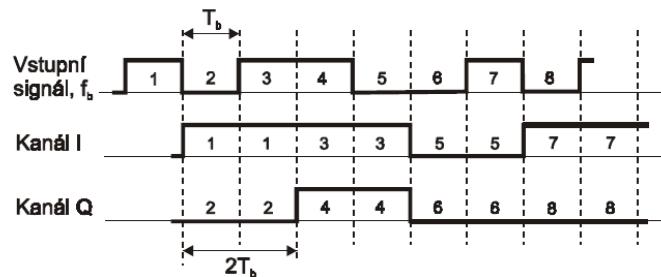
Chybovost v závislosti na vysílacím výkonu:



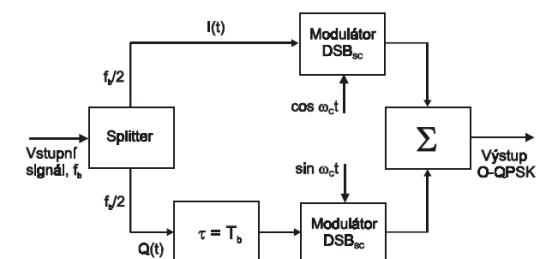
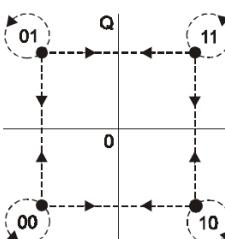
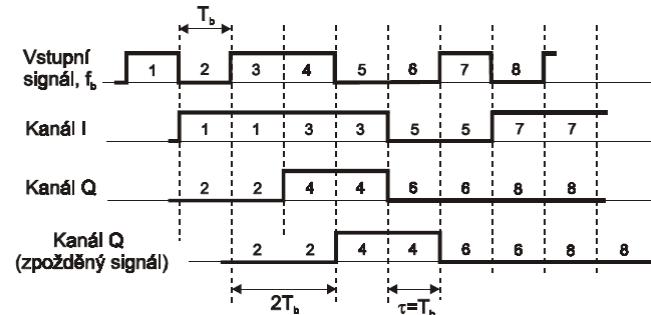
# Vícestavová modulace

## Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) – 4PSK

Považována za dobrý kompromis mezi spektrální (poměr mezi přenos. rychlostí a potřebnou šířkou spektra) a energetickou účinností (jakým je k dosažení požadovaného BER nutno vysílat výkonem), problémem je přechod stavů o  $180^\circ$  – 00-11 a 01-10 (vysílač na chvíli přestává vysílat), kdy vysílače generují parazitní spektrální složky



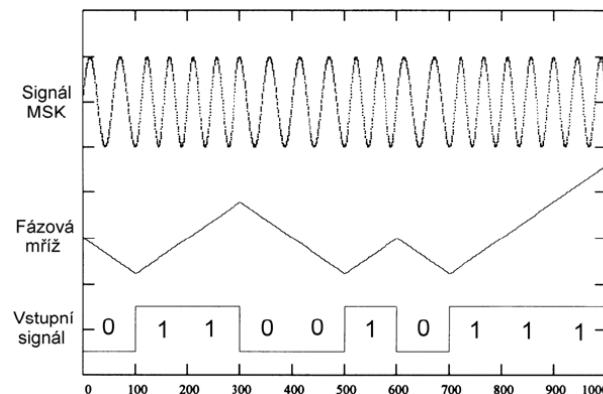
- Offset - Quadrature Phase Shift Keying (O-QPSK)  
zde nemůže k přechodům (viz.QPSK) dojít



# FSK modulace

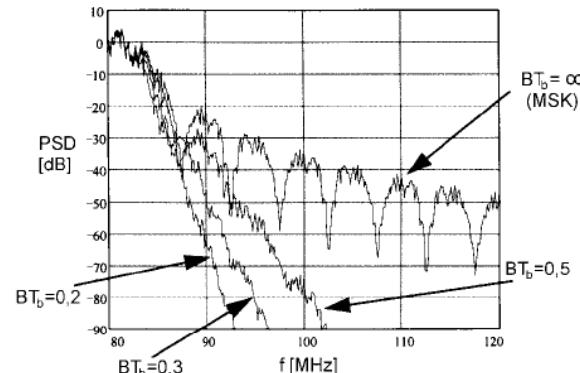
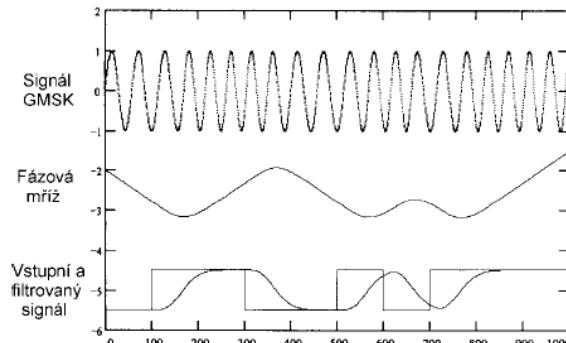
## Modulace Minimum Shift Keying (MSK)

Dvoustavové kmitočtové kódování s minimálním zdvihem – signalizační kmitočty přesně odpovídají násobku bitové rychlosti -> fáze se při vysílání mění o  $+\pi/2$  (1) a  $-\pi/2$  (0)



## Gaussian Filtered Minimum Shift Keying (GMSK)

V obvodu je zařazena tzv. Gaussovská dolní propust, která potlačí postranní laloky kmitočtového spektra



# Radiokomunikační systémy

## Způsoby přenosu

- Simplexní přenos
  - komunikace mezi účastníky je uskutečněna pouze v jednom směru na jednom kanále – TV/R, paging
- Poloduplexní přenos
  - jeden kanál je využit pro komunikaci oběma směry s přepínáním - policie, taxi, ap.
- Plněduplexní přenos
  - komunikace probíhá současně oběma směry
    - a) Kmitočtový duplex FDD (Frequency Division Duplex)
      - každý směr přenosu má svůj kanál (duplexní pár)
      - vysílač a přijímač sdílí anténu přes duplexer
      - U MT zákl.stanice->účastník=downlink (vyšší fr.), účastník->zákl.stanice=uplink (nižší frekv.)
    - b) Časový duplex TDD (Time Division Duplex)
      - oddělení směrů realizováno střídáním timeslotů

# Radiokomunikační systémy

## Multiplexování

Nutnost „rozdělit“ přenosové médium mezi jednotlivé účastníky

- Frequency Division Multiple Access (FDMA)

- mnohonásobný přístup s kmitočtovým dělením
  - nejjednodušší realizace
  - neefektivní využití média

- Time Division Multiple Access (TDMA)

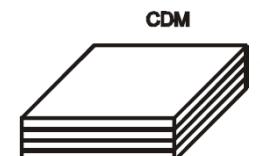
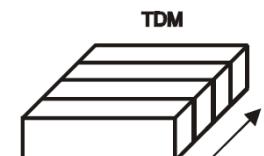
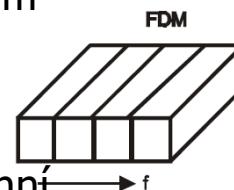
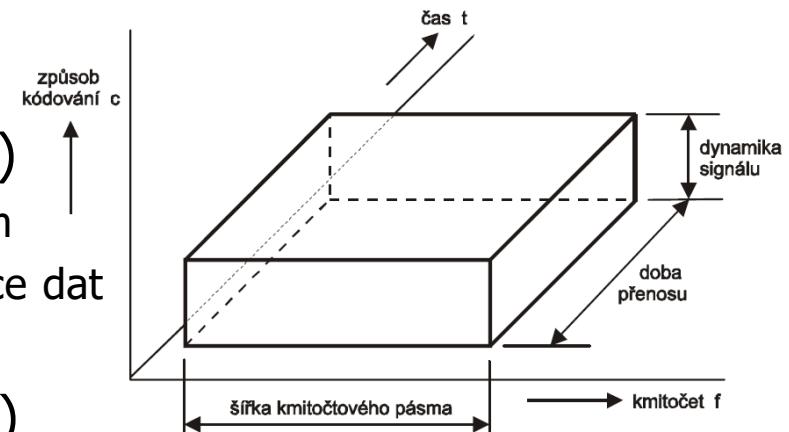
- mnohonásobný přístup s časovým dělením
  - nutná časová komprimace a dekomprimace dat
  - nutná synchronizace

- Code Division Multiple Access (CDMA)

- mnohonásobný přístup s kódovým dělením

- Stochastický přístup (ALOHA)

- bud' plně stochastický nebo pouze stochastický přístup do sítě, pak synchronní
  - nezaručuje komunikaci v reálném čase



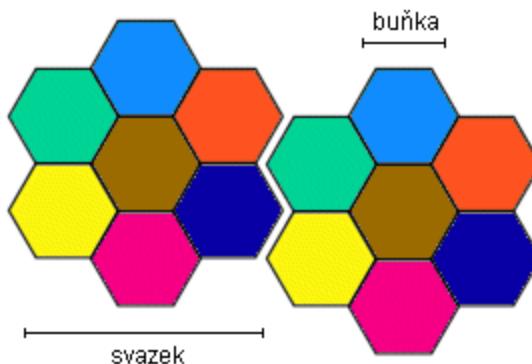
# Buňkový princip

## ■ Ostrůvkovitá koncepce

- Základnová stanice pokrývá velkou oblast
- Účastník si při změně oblasti musel přeladit
- Nehospodárné využití frekvencí – nutný velký počet

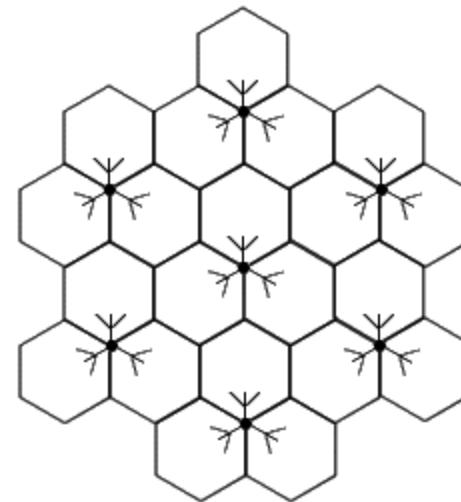
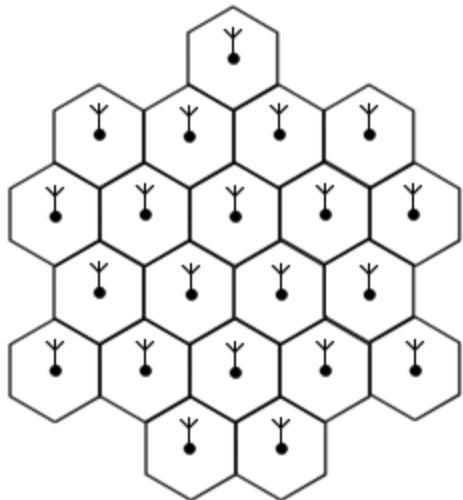
## ■ Buňkový princip

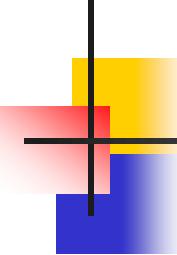
- Bellovy laboratoře 1946
- Malý dosah stanic, hospodárny ke kmitočtům



# Sektorizace

- Snaha snížit počet základových stanic

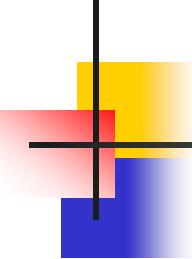




# Základnové stanice

Podle umístění a dosahu rozdělujeme

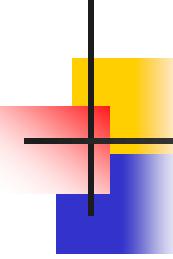
- Deštníkové buňky (umbrella cells)
  - v málo osídlených oblastech
- Makrobuňky
  - Kraje větších měst apod.
- Mikrobuňky
  - Centra měst
- Pikobuňky
  - Uvnitř objektů, pokrytí ulice apod.



# Handover

Předávání účastníka mezi jednotlivými základnovými stanicemi

- Měkký HO
  - Účastnická stanice komunikuje se všemi dostupnými buňkami, odpojování a připojování probíhá dynamicky - UMTS
- Bezešvý HO
  - Účastnická stanice při předávání hovoru komunikuje se 2 ZS, po předání hovoru se od 1.odpojí - DECT
- Tvrzdy HO
  - Předávání hovoru probíhá odpojením od 1.ZS a následným připojením k 2.ZS – cca 100ms, při synchronizaci ZS méně - GSM



# Typy handoverů

- NCHo (Network Controlled Handover) – sítí řízený HO
  - ZS provádí měření kvality signálu a v případě zhoršení vyvolá předání – starší analogové systémy
- MCHo (Mobile Controlled Handover) – stanicí řízený HO
  - Měření provádí ZS i stanice, požadavek do sítě vysílá stanice - DECT
- MAHo (Mobile Assisted Handover) – sítí řízený handover s asistencí stanice
  - Stanice neustále předává informace o sousedních ZS na ZS servisní, která rozhodne o HO - GSM

# Diverzitní příjem

- diverzitní systém s prostorovým příjemem
  - používá více antén vzdálených tak, aby relativní fáze přijímaných signálů byly odlišné.
  - Výhody: jednoduchost
  - Nevýhody: rozměrově náročné, použití většího počtu antén
- diverzitní systém s polarizačním výběrem
  - přenosové cesty tvořeny 2 různě polarizovanými anténami - signály se odlišně odrážejí od překážek
  - Výhody: antény mohou být na stejném místě
  - Nevýhody: jen dvě nezávislé přenosové cesty, větší vysílací výkon.
- diverzitní systém s kmitočtovým výběrem
  - použití více nosných se stejnou informací.
  - Výhody: libovolný počet přenosových cest.
  - Nevýhody: větší šířka pásma a větší vysílací výkon
- diverzitní systém s časovým výběrem
  - stejný signál je opakovaně přenášen v několika timeslotech.
  - Výhody: libovolný počet nezávislých cest, hardwarově jednoduché.
  - Nevýhody: dlouhá doba přenosu.
- diverzitní systém s úhlovým výběrem
  - Na různě směrované směrové přijímací antény dopadají různě zpožděné signály z různých směrů.
  - Výhody: jednoduchost
  - Nevýhody: rozměrově náročné, použití většího počtu antén
- diverzitní systém využívající vícecestné šíření
  - Nezávislé přenosové kanály jsou vytvořeny až po příjmu signálu – v přijatém signálu je několik kopí s různou intenzitou a zpožděním, jednotlivé kopie lze posčítat (viz přijímač RAKE [http://en.wikipedia.org/wiki/Rake\\_receiver](http://en.wikipedia.org/wiki/Rake_receiver)).
  - Výhody: není nutné použití dalších antén, spektra ani vyššího výkonu.
  - Nevýhody: vlastnosti zcela závisí na vlastnostech přenosového kanálu.

# Radiotelefonní systémy

Od konce 40.let snaha nahradit a doplnit klasické telefonní systémy

- 0.generace
  - Přelom 60.-70.let, analogové systémy, proprietární řešení bez možnosti roamingu a dalších služeb, handover ručně
- 1.generace
  - Začátek 80.let, analogové systémy, 1.snahy o roaming, handover automatický
- 2.generace
  - Přelom 80.-90.let, digitální systémy, roaming v rámci světových zón, možnost přenosu dat, další služby – SMS, MMS, apod.
- 3.generace
  - Po roce 2000, snaha o celosvětový roaming, rychlý přenos dat, další služby – videotelefongie apod.
- 4.generace
  - Po 2010, primární přenos dat, hlas jen jako jedna z mnoha nabízených služeb
- 5. generace
  - Po roce 2020, rychlé datové přenosy na frekvencích desítek GHz



unikační tec

# 0.generace

## 1.pokusy o radiotelefonní systémy

- MTD (Mobiltelefonisystem D - S)
  - V letech 1971-86, v r.1976 rozšířen i do Dánska a Norska, max.20000 účastníků, 450MHz
  - Nástupce MTA (1956-67, síť pro 125 účastníku ve Stockholmu, 160MHz) a MTB (1962-83, 600 účastníků v Malmo, 80MHz)
- OLT (Offentlig Landmobil Telefon - N)
  - V letech 1966-90, v roce 1976 spojen s MTD, max.30000 účastníků, 160MHz
- ARP (Autoradiopuhelin - Fi)
  - 1971-2000, v r.1986 35560 už., plné pokrytí zajištěno 140 ZS s dosahem cca 30km v 1978, 150MHz, ruční HO, poloduplex



# 0.generace

- AMR/AMRAD (Automatizovaný Městský Radiotelefon - CS)
  - 1.systém ve vých. bloku, vývoj v Tesle Pardubice od 1/2 70.let, určen pro pracovníky SPT  
-> nemožnost tarifikace, zcela bez kódování či autentizace apod.
  - Provozovány 3 sítě, přepínání šroubovákem
    - experimentální (1978-1988)- 162/167 MHz
    - celorepubliková (1983-99) - 161/165 MHz
    - oblastní (1987-1999) -152/157 MHz
  - Max. 9999 účastníků (4 čísla), pro volání bylo nutné znát akt. místo pohybu účastníka
  - Reálná kapacita stovky účastníků, restrikce na délku hovorů (málo frekvencí)
  - Max.63 ZS, dosah 15-25km, účastníci mohli komunikovat mezi sebou přímo
  - Každá stanice musela mít vlastní povolení, telefonista Průkaz radiotelefonního operátora
  - Později zahájen vývoj „kopie“ NMT na frekvenci RVHP (300 MHz)
  - [https://www.idnes.cz/mobil/tech-trendy/mobily-za-totality-nesly-znacku-tesla-by-ly-jen-pro-vyvolene.A060911\\_190823\\_mob\\_tech\\_ada](https://www.idnes.cz/mobil/tech-trendy/mobily-za-totality-nesly-znacku-tesla-by-ly-jen-pro-vyvolene.A060911_190823_mob_tech_ada)
  - [https://www.idnes.cz/mobil/tech-trendy/historicke-pozadi-gsm-4-ceskoslovensko-chce-by-t-mobilni-s-amr.A020203\\_0050945\\_mob\\_tech](https://www.idnes.cz/mobil/tech-trendy/historicke-pozadi-gsm-4-ceskoslovensko-chce-by-t-mobilni-s-amr.A020203_0050945_mob_tech)



TESLA AMR



# 1.generace

- Analogové systémy
- Pouze pro přenos hlasu
- Problematické zabezpečení
- Drahé přístroje

Systém:	AMPS	TACS	C 450	NMT 450	NMT 900
Kmitočtový rozsah [MHz]	824 - 849 869 - 894	890 - 915 935 – 960	450 -455,74 460 - 465,74	453 - 457,5 463 - 467,5	890 - 915 935 - 960
Odstup rádiových kanálů [kHz]	30	25	10	25	12,5
Počet rádiových kanálů	832	1000	573	180	1999
Kmitočtový odstup FDD [MHz]	45	45	10	10	45
Využití na území	Amerika Austrálie JV Asie Afrika	Evropa Afrika JV Asie	Německo Portugalsko	Evropa Afrika JV Asie	Evropa Afrika JV Asie

## ■ NMT (Nordic Mobile Telephone)

- Varianty na 450MHz (NMT450) a 900MHz (NMT900 nebo NMT9000), v Německu C450
- Specifikace 1973, spuštění sítí:
  - 1981 Švédsko, Norsko, Saudská Arábie
  - 1982 Dánsko, Finsko
  - 1986 Island
  - 1991-2006 ČSFR/ČR
  - Dále NL, B, Lux, Chorvatsko, Polsko, Rusko, Německo atd.
- Problematická kompatibilita – různé šířky kmit.pásma – 12,5kHz (HR), 20KHz, 25kHz



## ■ Advanced Mobile Phone System

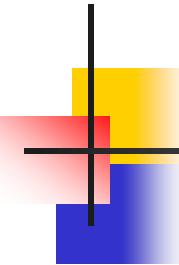
- Specifikace 70léta v Bellových laboratořích, spuštění sítí:
  - 1983 - 2008 USA
  - 1986 Izrael
  - 1987 - 2000 Austrálie
- Snadný odposlech – v USA zákonem zakázáno prodávat přijímače s frekvenčním pásmem 800 MHz
- Od roku 1990 do 2008 koexistence s D-AMPS (sít' 2G IS-54/IS-136 s 3 účastníky na kanále)



# 2.generace

- 3 regiony – Evropa (GSM), USA(IS-54, IS-95, IS-136, iDEN), Japonsko (JDS/PDC)
- Digitální, primárně pro přenos hlasu, standardy definovány v průběhu 80.let s cílem:
  - Efektivnější využití fr.pásem a z toho plynoucí vyšší provozní kapacita sítě
  - Vyšší kvalita spojení
  - Vysoká úroveň zabezpečení
  - Menší rozměry, hmotnost a energetická náročnost mobilních stanic
  - Více nabízených služeb.
  - Snadná možnost zavedení mezinárodního roamingu v rámci států používajících jednotný systém
  - Kompatibilita s fixními sítěmi ISDN i většinou ostatních perspektivních komunikačních systémů

Systém:	GSM	IS 54	IS 95	JDC
Mnohonásobný přístup	FDMA / TDMA	FDMA / TDMA	FDMA / CDMA	FDMA / TDMA
Kmitočtový rozsah [MHz]	890 - 915 935 - 960	824 - 848 869 - 894	824 – 848 869 - 894	810 - 826 940 - 956
Duplex	FDD	FDD	FDD	FDD
Odstup rádiových kanálů [kHz]	200	30	1250	25
Digitální modulace	GMSK (BT=0,3)	$\pi/4$ QPSK	QPSK, OQPSK	$\pi/4$ QPSK
Zdrojové kódování	RPE - LTP	VSELP	QCELP 9,6 4,8 2,4 1,2	VSELP
Přenosová rychlosť [kbit/s]	13	8		8
Počet účastnických kanálů v rádiovém kanálu	8	3	není fixní	3
Kanálové kódování	konvoluční 1/2	konvoluční 1/2	konvoluční 1/2, 1/3	CRC
Přenosová rychlosť [kbit/s]	270,833	48,6	1228,8	42

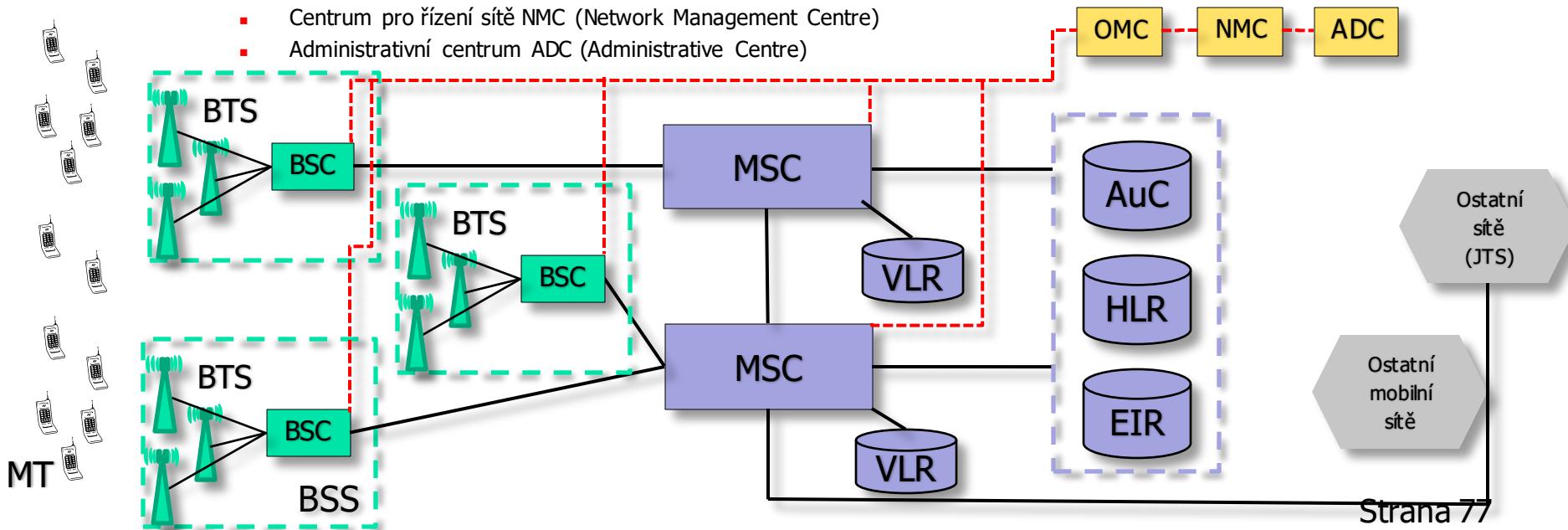


# GSM

- 1982 - založena Groupe Spécial Mobile (GSM) – výzkumná skupina CEPT (Conference of European Posts and Telegraphs), cíl panevropský dig.systém v pásmu 900MHz
- 1989 - vývoj přešel na ETSI (European Telecommunication Standard Institute)
- 1990 - dokument GSM Phase 1 - první specifikace služeb a prostředí GSM - přesměrování hovoru, hlasová schránka, blokování hovorů, přidržení a záměna hovorů atd.
  - požadavek GB na rozšíření fr.pásma o 1800MHz - Digital Cellular System (DCS 1800)
- 1991 – 1.7. první telefonát (finský předseda vlády Harri Holkeri a starosta Tampere Kaarina Suonio v síti Radiolinja, technologie Telenokia a Siemens)
- 1992 - specifikace GSM Phase 2 - rozšířené služby - identifikaci volajícího, konfereční hovory, preipad
  - 1. roamingový hovor
  - 1. SMS
- 1993 – 1.operátor mimo Evropu – Austrálie
  - první „ruční“ telefony
- 1995 – pásmo 1900 MHz (USA)
  - první komerční služby FAX, data, SMS
  - 10 milionů SIM
  - založení GSM Asociace
- 1996 – předplacené SIM
  - 1. GSM sítě v ČR – Eurotel (O2) červen a Paegas (T-Mobile) listopad
- 1998 - Projekt Partnerství 3.generace (3GPP – Third Generation Partnership Project) - původně specifikace 3G sítě, později také údržbu a vývoj GSM specifikace
  - 100 milionů uživatelů
- 2000 – první GPRS terminály
- 2001 – 500 milionů SIM
- 2002 – první MMS
  - první operátoři v pásmu 800 MHz
- 2004 – 1 miliarda SIM
- 2008 – 2 miliarda SIM
- Dnes – cca 800 sítí v 219 zemích a regionech s cca 5 miliardami telefonů

# Základní struktura GSM

- Subsystém základnových stanic - BSS (Base Station Subsystem)
  - Základnové stanice BTS (Base Transceiver Station)
  - Základnová řídící jednotka BSC (Base Station Controller)
  - Transkodér TC (Trans Coder)
- Sítový spojovací subsystém - NSS (Network Switching subsystem)
  - Mobilní radiotelefonní ústředna MSC (Mobile Switching Centre)
  - Domovský lokační registr HLR (Home Location Register)
  - Návštěvnický lokační registr VLR (Visitor Location Register)
  - Centrum autentičnosti AuC (Authentication Centre)
  - Identifikační registr mobilních stanic EIR (Equipment Identity Register)
  - Jednotka spolupráce s externími sítěmi IWF (Inter-Working Functionality)
  - SMS Centrum
- Operační a podpůrný substitut - OSS (Operational and Support Subsystem)
  - Provozní a servisní centrum OMC (Operational and Maintenance Centre)
  - Centrum pro řízení sítě NMC (Network Management Centre)
  - Administrativní centrum ADC (Administrative Centre)



# Mobilní uživatelská stanice

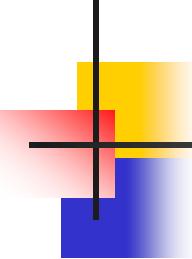
- Mobile Station (MS)

- Transceiver s řídicími obvody a I/O porty (sluchátka, mikrofon, klávesnice, displej)

Jednoznačná identifikace pomocí IMEI (International Mobile Equipment Identity)

- Subscriber Identification Module (SIM)

- MS je bez SIM nepoužitelná (s výjimkou tísňového volání 112)
  - Obsahuje
    - PIN (Personal Identification Number)
    - PUK (Personal Unblocking Key)
    - IMSI (International Mobile Subscriber Identity)
    - Autentikační klíč (Ki)
    - Šifrovací klíč (Kc)
    - TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity)
    - LAI (Location Area Identity)



# Mobilní uživatelská stanice

- Dual SIM řešení

- Adapter – mechanické „přepínání“ SIM karet, po restartu telefonu,
- Pasivní – dvě SIM karty sdílejí stejnou elektroniku, pouze u stejného operátora,
- Standby – dvě SIM karty se přepínají na jedné elektronice, při volání se zamkne druhá karta,
- Aktivní – se dvěma samostatnými transceivery,
- Hybridní – 2 SIM karty, místo druhé možná SD karta.

# Rádiové rozhraní GSM

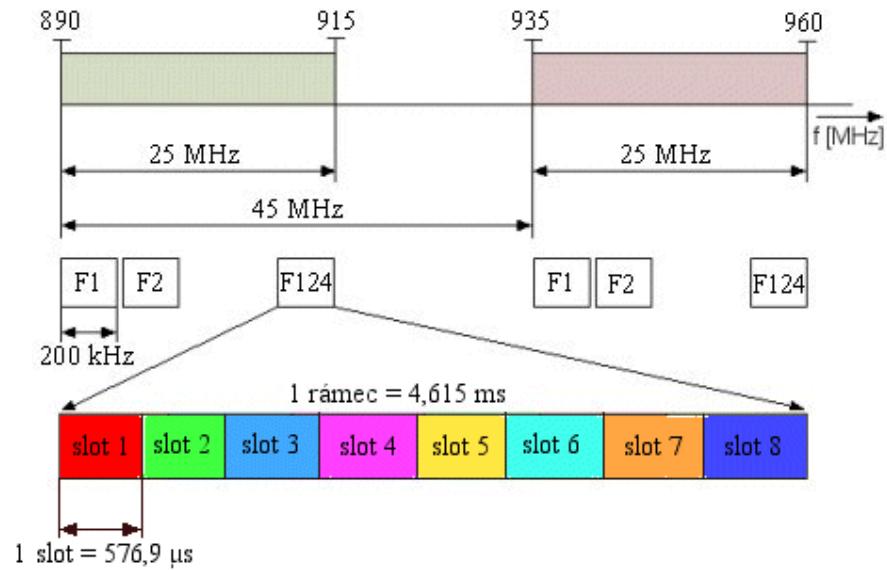
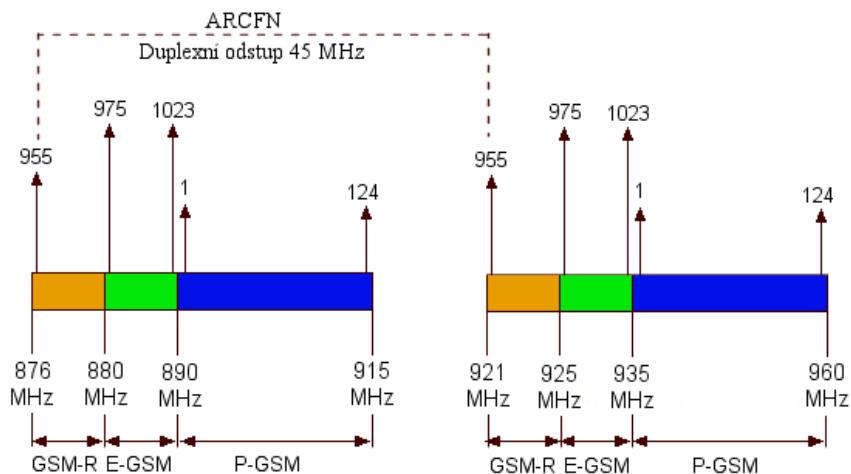
- plně duplexní provoz FDD (frekvenční duplex), duplexní odstup 45 MHz (900 MHz), 95 MHz (1800 MHz), 80 MHz (1900 MHz) nosné vlny odstup 200 kHz
- každá dvojice uplink/downlink je označena absolutním číslem rádiového frekvenčního kanálu ARFCN (Absolute Radio Frequency Channel Number)
- GSM900 (P-GSM) uplink 890-915 MHz, downlink 935-960MHz – 25MHz 124 kanálů + „oddělovací“ kanál 100 kHz na každé straně (ARCFN 1-125)
- GSM1800 (DCS1800) 1710-1785/1805-1880 – 75MHz - 374 provozních rádiových kanálů + „oddělovací“ kanál 100 kHz na každé straně (ARCFN 512-885), duplexní odstup 95 MHz
- GSM1900 (DCS1900/PCS1900) 1850-1910/1930-1990 šířka pásma 60 MHz, odstup 80 MHz, 299+1 rádiových kanálů (ARFCN 512 -810)
- E-GSM (Extended-GSM), kde je rozšířeno frekvenční pásmo standardní P-GSM (Primary-GSM) na 880-915/925-960 MHz (ARFCN jako u P-GSM a navíc 975-1023)
- GSM-R (Railway GSM)- 876-880/921-925 MHz (odpovídá ARCFN 955-974).

Výkonová třída	Maximální výkon MS	Maximální výkon BTS
1	20W (43 dBm)	320W (55 dBm)
2	8W (39 dBm)	160W (52 dBm)
3	5W (37 dBm)	80W (49 dBm)
4	2W (33 dBm)	40W (46 dBm)
5	0.8W (29 dBm)	20W (43 dBm)
6		10W (40 dBm)
7		5W (37 dBm)
8		2,5W (34 dBm)

Řízení změny výkonu řídí BTS každých 13 TDMA rámců (po 60 ms)

# Přehled

Pásma	GSM (GSM900, P-GSM)	DCS (GSM1800, DCS1800)	PCS (GSM1900, DCS1900)	E-GSM	GSM-R
<b>Kanály dle ARFCN</b>	0-124	512-885	512-810	124, 975-1023	955-974
<b>Počet</b>	125	375	300	175	20
<b>Uplink [MHz]</b>	890-915	1710-1785	1850-1910	880-915	876-880
<b>Downlink [MHz]</b>	935-960	1805-1880	1930-1990	925-960	921-925
<b>Odstup [kHz]</b>	200	200	200	200	200
<b>Duplexní odstup [MHz]</b>	45	95	80	45	45
<b>Šířka pásma [MHz]</b>	25	75	60	35	10



# Přidělení v ČR - stav 2009

Počty přidělených kanálů		GSM-R 955-974	E-GSM 975-1023,0	P-GSM (GSM 900) 1-124	DCS (GSM 1800) 512-885		512	513	514	515	516	517	518	519	520					
T-Mobile		-	9	47	45+50*		521	522	523	524	525	526	527	528	529	530				
Eurotel		-	9	46	70		531	532	533	534	535	536	537	538	539	540				
Vodafone		-	0	31	90		541	542	543	544	545	546	547	548	549	550				
České dráhy		19	-	-	-		551	552	553	554	555	556	557	558	559	560				
Armáda ČR		-	19**	-	-		561	562	563	564	565	566	567	568	569	570				
Bezdrátové tel. CT1+		-	10***	-	-		571	572	573	574	575	576	577	578	579	580				
Nepřiděleno ****		1	3	0	109+30 IZS		581	582	583	584	585	586	587	588	589	590				
Celkem		20	50	124	374		591	592	593	594	595	596	597	598	599	600				
955	956	957	958	959	960	961	962	963	964		601	602	603	604	605	606	607	608	609	610
965	966	967	968	969	970	971	972	973	974		611	612	613	614	615	616	617	618	619	620
975	976	977	978	979	980	981	982	983	984		621	622	623	624	625	626	627	628	629	630
985	986	987	988	989	990	991	992	993	994		631	632	633	634	635	636	637	638	639	640
995	996	997	998	999	1000	1001	1002	1003	1004		641	642	643	644	645	646	647	648	649	650
1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014		651	652	653	654	655	656	657	658	659	660
1015	1016	1017	1018	1019	1020	1021	1022	1023	0		661	662	663	664	665	666	667	668	669	670
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		671	672	673	674	675	676	677	678	679	680
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		681	682	683	684	685	686	687	688	689	690
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		691	692	693	694	695	696	697	698	699	700
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		701	702	703	704	705	706	707	708	709	710
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50		711	712	713	714	715	716	717	718	719	720
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60		721	722	723	724	725	726	727	728	729	730
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70		731	732	733	734	735	736	737	738	739	740
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80		741	742	743	744	745	746	747	748	749	750
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90		751	752	753	754	755	756	757	758	759	760
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100		761	762	763	764	765	766	767	768	769	770
101	102	103	104	105	106	107	108	109	110		771	772	773	774	775	776	777	778	779	780
111	112	113	114	115	116	117	118	119	120		781	782	783	784	785	786	787	788	789	790
121	122	123	124								791	792	793	794	795	796	797	798	799	800

# Přidělení v ČR – stav 2014

Počty přidělených kanálů	GSM-R 955-974	E-GSM 975-1023,0	P-GSM (GSM 900) 1-124	DCS (GSM 1800) 512-885
T-Mobile	-	15	47	100
O2	-	16	46	85
Vodafone	-	19	31	110
České dráhy	19	-	-	-
Nepřiděleno	1	0	0	79
Celkem	20	50	124	374

Pásma 900 MHz									
921	955	956	957	958	959	960	961	962	963
923	964	965	966	967	968	969	970	971	972
925	974	975	976	977	978	979	980	981	982
927	984	985	986	987	988	989	990	991	992
929	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002
931	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012
933	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020	1021	1022
935	0	1	2	3	4	5	6	7	8
937	10	11	12	13	14	15	16	17	18
939	20	21	22	23	24	25	26	27	28
941	30	31	32	33	34	35	36	37	38
943	40	41	42	43	44	45	46	47	48
945	50	51	52	53	54	55	56	57	58
947	60	61	62	63	64	65	66	67	68
949	70	71	72	73	74	75	76	77	78
951	80	81	82	83	84	85	86	87	88
953	90	91	92	93	94	95	96	97	98
955	100	101	102	103	104	105	106	107	108
957	110	111	112	113	114	115	116	117	118
959	120	121	122	123	124				

Pásma 1800 MHz									
1805	512	513	514	515	516	517	518	519	520
1807	521	522	523	524	525	526	527	528	529
1809	531	532	533	534	535	536	537	538	540
1811	541	542	543	544	545	546	547	548	550
1813	551	552	553	554	555	556	557	558	560
1815	561	562	563	564	565	566	567	568	570
1817	571	572	573	574	575	576	577	578	580
1819	581	582	583	584	585	586	587	588	590
1821	591	592	593	594	595	596	597	598	599
1823	601	602	603	604	605	606	607	608	610
1825	611	612	613	614	615	616	617	618	620
1827	621	622	623	624	625	626	627	628	630
1829	631	632	633	634	635	636	637	638	640
1831	641	642	643	644	645	646	647	648	650
1833	651	652	653	654	655	656	657	658	660
1835	661	662	663	664	665	666	667	668	670
1837	671	672	673	674	675	676	677	678	680
1839	681	682	683	684	685	686	687	688	690
1841	691	692	693	694	695	696	697	698	700
1843	701	702	703	704	705	706	707	708	710
1845	711	712	713	714	715	716	717	718	720
1847	721	722	723	724	725	726	727	728	730
1849	731	732	733	734	735	736	737	738	740
1851	741	742	743	744	745	746	747	748	750
1853	751	752	753	754	755	756	757	758	760
1855	761	762	763	764	765	766	767	768	770
1857	771	772	773	774	775	776	777	778	780
1859	781	782	783	784	785	786	787	788	790
1861	791	792	793	794	795	796	797	798	800
1863	801	802	803	804	805	806	807	808	810
1865	811	812	813	814	815	816	817	818	820
1867	821	822	823	824	825	826	827	828	830
1869	831	832	833	834	835	836	837	838	840
1871	841	842	843	844	845	846	847	848	850
1873	851	852	853	854	855	856	857	858	860
1875	861	862	863	864	865	866	867	868	870
1877	871	872	873	874	875	876	877	878	880
1879	881	882	883	884	885				

světleji vysvícené nové kanály po aukci v prosinci 2013

# Přidělení v ČR – stav od dubna 2020

Počty přidělených kanálů	GSM-R 955-974	E-GSM 975-1023,0	P-GSM (GSM 900) 1-124	DCS (GSM 1800) 512-885
T-Mobile	-	-	63	100
O2	-	-	62	139
Vodafone	-	50	-	125
České dráhy	19	-	-	-
Nepřiděleno	1	0	0	0
Celkem	20	50	124	374

921		955	956	957	958	959	960	961	962	963
923	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973
925	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983
927	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993
929	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002	1003
931	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013
933	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020	1021	1022	1023
935	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
937	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
939	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
941	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
943	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
945	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
947	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
949	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
951	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
953	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
955	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109
957	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119
959	120	121	122	123	124					

1805		512	513	514	515	516	517	518	519	520
1807	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530
1809	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540
1811	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550
1813	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560
1815	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570
1817	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580
1819	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590
1821	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600
1823	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610
1825	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620
1827	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630
1829	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640
1831	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650
1833	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660
1835	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670
1837	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680
1839	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690
1841	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700
1843	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710
1845	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720
1847	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730
1849	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740
1851	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750
1853	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760
1855	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770
1857	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780
1859	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790
1861	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800
1863	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810
1865	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820
1867	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830
1869	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840
1871	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850
1873	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860
1875	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870
1877	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880
1879	881	882	883	884	885					

Na kanálech 985 až 999 provozuje Vodafone LTE 900 (Turbo internet - LTE band 8, EARFCN 3476).

2G tmavší, LTE světlejší

Strana 84

# Zdrojové a kanálové kódování GSM

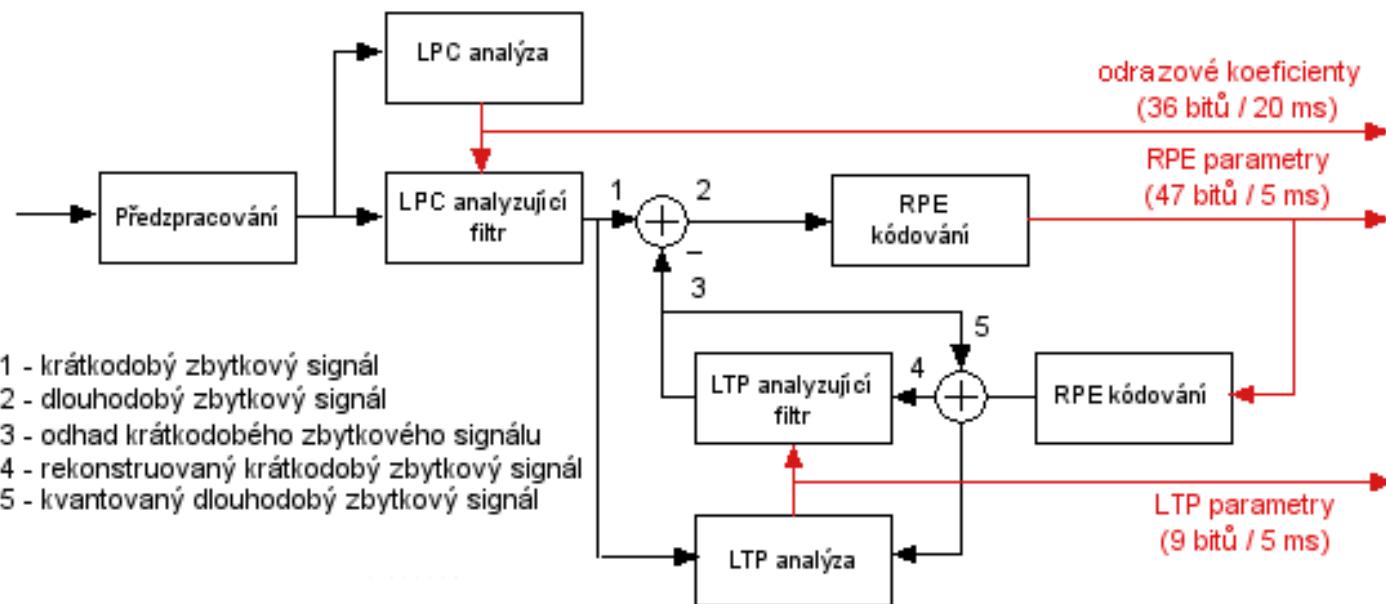
- Vzešlo ze soutěže 20 návrhů
- Testováno v 7 jazycích při 3 úrovních hlasitosti (-12/22/32 dB) a 3 úrovních chybovosti (BER 0/10<sup>-2</sup>/10<sup>-4</sup>)

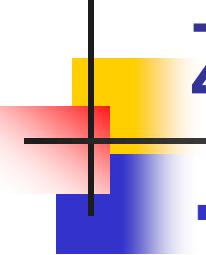
Kódování	MOS ( 1 ~ špatný 5 ~ výborný )	Počet pásem	Přenosová rychlosť [kbit/s]	Počet matematič. operací [mil./s]	Výrobce
RPE - LPC	3,54	1	14,77	1,5	Philips, Germany
MPE - LTP	3,27	1	13,20	4,9	IBM, France
SBC - APCM	3,14	16	13,0	1,5	Ellemtel, Sweden
SBC - ADPCM	2,92	8	15,0	1,9	British Telecom Research
Analogová FM	1,95	-	-	-	-

- Vítězem kombinace dvou kodeků: RPE-LTP (Regular Pulse Excitation - Long Time Prediction)
  - RPE - vzájemná poloha pulzů přesně definována, přenáší se pouze poloha 1.pulsu a velikost ostatních,
  - LTP – predikční filtr, provádějící rekonstrukci na vysílací straně s porovnáním se se zdrojem - rozdíl se přenáší k přijímači a současně slouží k doladění kodéru.

# Zdrojové kódování Full Rate

- Využívá Regular Pulse Excitation - Long Time Prediction
- LPC (Linear Predictive Coding) – nastavení filtračních (odrazových) koeficientů
- Výstupní přenosová rychlosť 13 kbit/s
- Hovorový signál 300-3400 Hz vzorkován 8 kHz 13 bity (8192 úrovní)
- Bitová rychlosť 104 000 b/s
- časové segmenty 20 ms – 160 vzorků



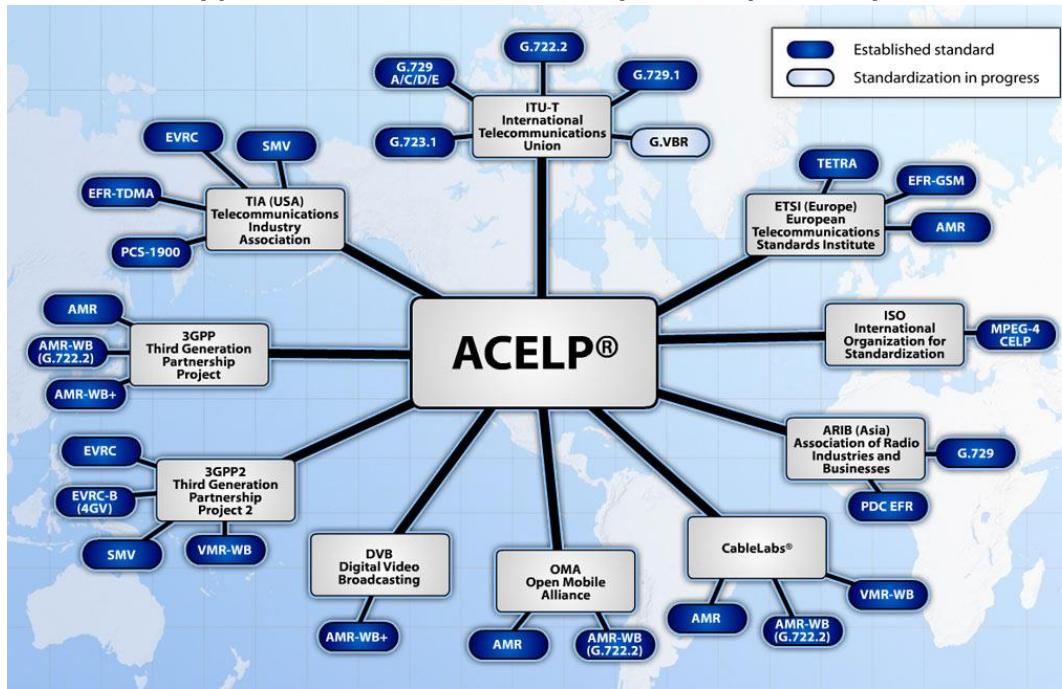


# Zdrojové kódování Half Rate

- Využívá Vector sum excited linear prediction (VSELP) – varianta CELP (Code Excited Linear Prediction)
- posloupnosti budících pulzů uloženy na obou stranách v kódové knize
- Hovorový signál 300-3400 Hz vzorkován 8 kHz 13 bity (8192 úrovní)
- Výchozí bitová rychlosť 104 000 b/s
- časové segmenty 20 ms – 160 vzorků
- Výstupní přenosová rychlosť 5,6 kbit/s
- Zvýšení hovorové kapacity v síti, snížení spotřeby telefonu o 30 %
- Aktivace \*4720#, deaktivace #4720# (Nokia)
- Musí podporovat síť'

# Zdrojové kódování Enhanced FR

- Licencováno, nutno platit
- Algebraic code-excited linear prediction (ACELP)
- posloupnosti budících pulzů uloženy na obou stranách v 16bitové kódové knize
- Hovorový signál 300-3400 Hz vzorkován 8 kHz 13 bity (8192 úrovní)
- Výchozí bitová rychlosť 104 000 b/s
- časové segmenty 20 ms – 160 vzorkov
- Výstupní přenosová rychlosť 12,2 kbit/s
- Vzhledem k výpočetní náročnosti zvýšení spotřeby o cca 5 %



# Zdrojové kódování AMR

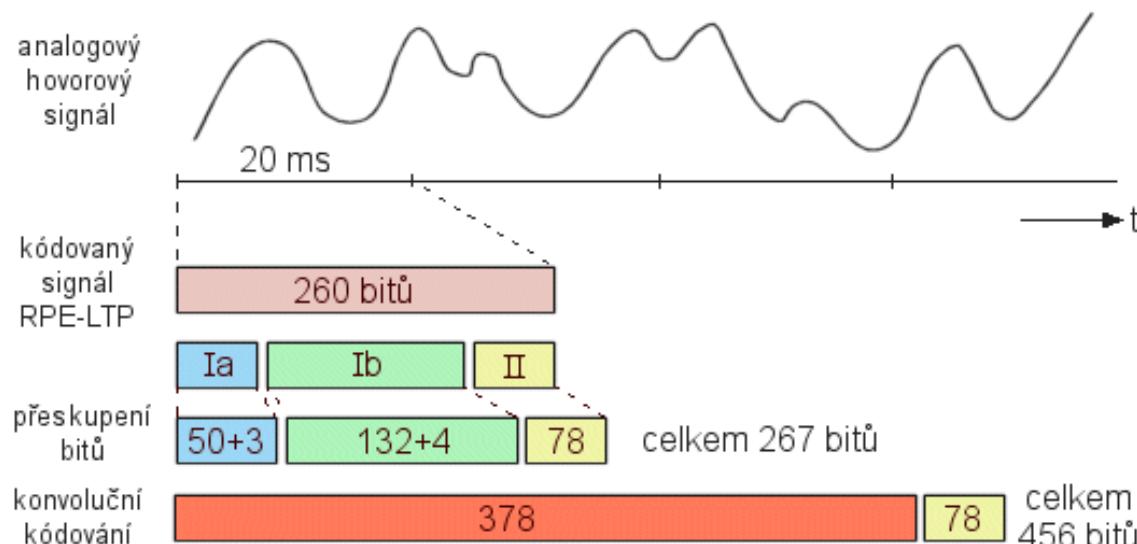
- Adaptive Multi-Rate audio codec (AMR), licencováno, nutno platit
- Variabilní, hybridní kódování - kombinace ACELP a LTP, doplněné o přerušování spojení, detekci hlasu a generátor šumu
- Hovorový signál 300-3400 Hz vzorkován 8 kHz 13 bity (8192 úrovní)
- Výchozí bitová rychlosť 104 000 b/s
- časové segmenty 20 ms – 160 vzorků,
- Výstupní přenosová rychlosť 1,8 až 12,2 kbit/s
- Varianty (AMR\_12.20 je EFR):

Mode	Bitrate (kbit/s)	Channel
AMR_12.20	12.20	FR
AMR_10.20	10.20	FR
AMR_7.95	7.95	FR/HR
AMR_7.40	7.40	FR/HR
AMR_6.70	6.70	FR/HR
AMR_5.90	5.90	FR/HR
AMR_5.15	5.15	FR/HR
AMR_4.75	4.75	FR/HR
AMR_SID	1.80	FR/HR

# Kanálové kódování

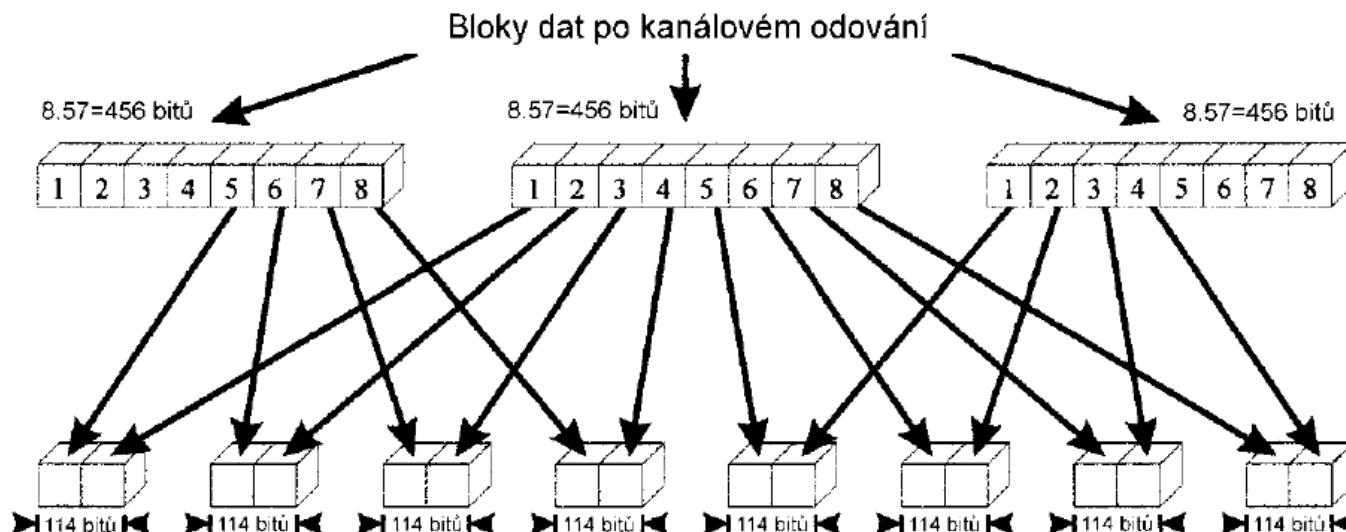
Výsledkem zdrojového kódování jsou

- digitální hovorové rámce po 260 bitech, čemuž odpovídá přenosová rychlosť  $260/0,02 = 13$  kbit/s.
- Každý rámec obsahuje
  - $47 \times 4 = 188$  bitů tzv. excitačního signálu
  - $4 \times 9 + 36 = 72$  bitů koeficientů digitálních filtrů (LPT+LPC)
  - 50 nejdůležitějších bitů opatřeno 3 paritními bity, při zjištění chyby se zahazuje celý blok
  - 132 méně významných bitů opatřeno 4 paritními bity
  - společně je nad nimi provedeno konvoluční kódování s poměrem 1/2
  - zbylých 78 bitů se nechrání
  - výsledný blok 456 bitů - ochranným kódováním se zvýší přenosová rychlosť na 22,8 kbit/s.



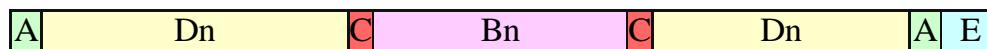
# Prokládání

Výsledný blok 456 bitů se rozdělí na  $8 \times 57$  bitů a proloží se podle schématu



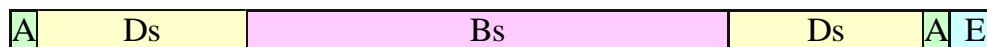
# Burst

- Nejmenší přenášená jednotka
  - časový úsek 576,9 us (přesněji 15/26000 s), obsahující 156,25 bitu -> komunikační rychlosť 270833,3 b/s
- Normální burst - přenos hlasu, dat a většiny signalizace  
3 okrajové bity, 57 b dat, 1 řídicí bit, 26 b tréninková sekvence, 57 b dat, 3 okrajové bity, 8,25 b ochranná doba



- Synchronizační burst - synchronizace mobilní stanice

3 okrajové bity, 39 b dat, 64 b tréninková sekvence, 39 b dat, 3 okrajové bity, 8,25 b ochranná doba



- Burst pro kmitočtovou korekci - kmitočtová synchronizace mobilní stanice

3 okrajové bity, 142 b nul, 3 okrajové bity, 8,25 b ochranná doba



- Přístupový burst - žádost mobilní stanice o spojení

8 okrajových bitů, 41 b tréninková sekvence, 36 b dat, 3 okrajové bity, 60+8,25 b ochranná doba



Okrajové bity: A(3 bity), A1(8 bitů), A2(3bity)

Tréninkové sekvence: Bn(26 bitů), Bs(64 bitů), Bp(41 bitů)

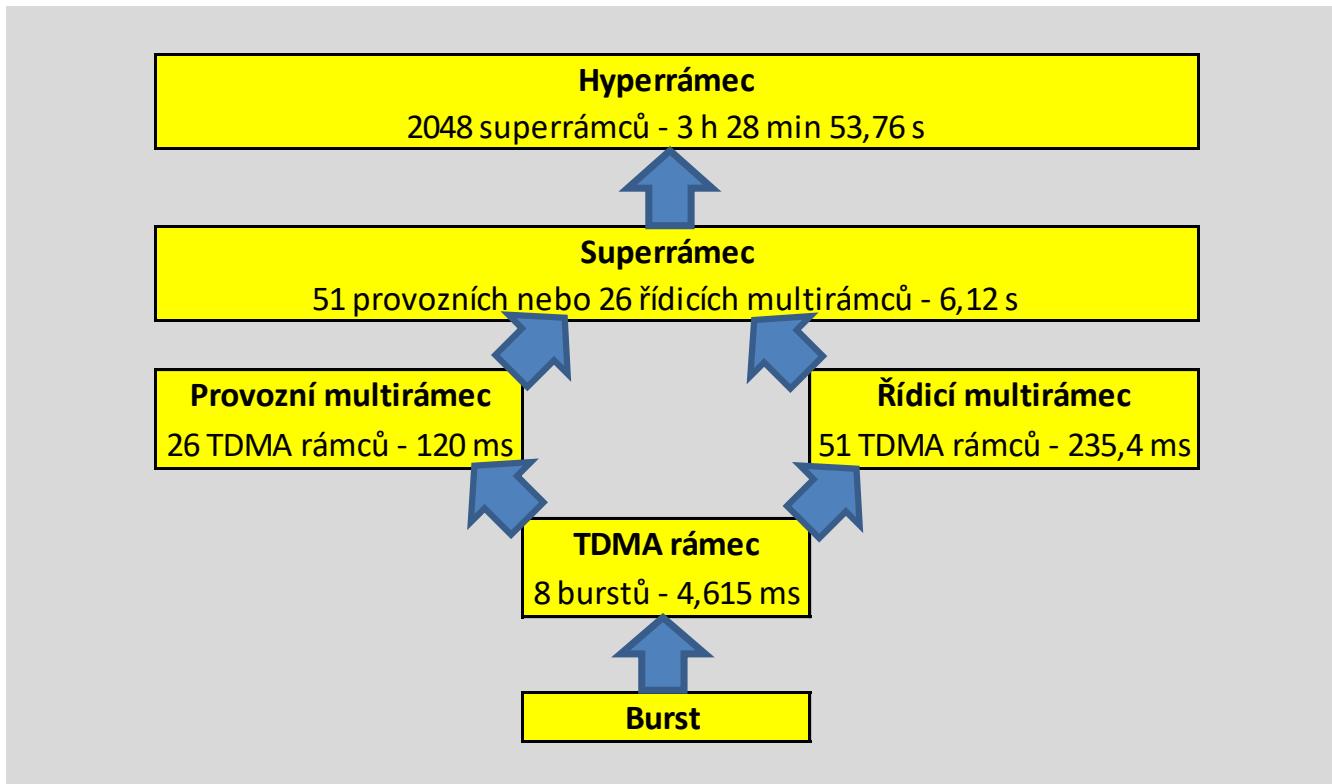
Řídicí bity: C(1 bit)

Data: Dn(57 bitů), Ds(39 bitů), Dp(36 bitů), Dk(142 nulových bitů)

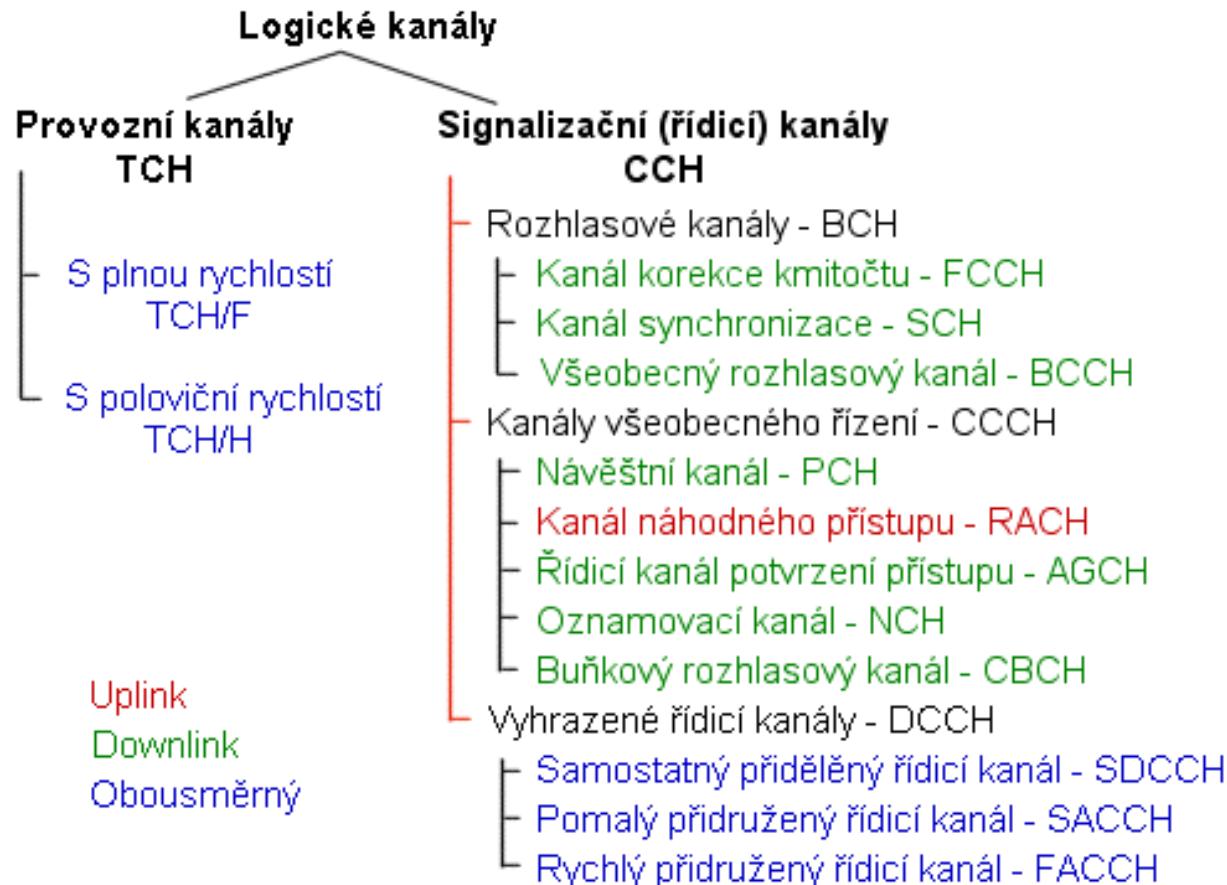
Ochranné doby: E(8,25 bitu), E1(60 bitů), E2(8,25 bitu)

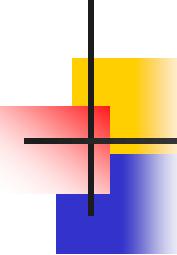
# TDMA rámec

- TDMA frame je tvořen 8 timesloty – bursty
  - $8 \times 576,92 \text{ us} = 4,615 \text{ ms}$
- Multirámeč
- Hovorový - 12 provozních TDMA rámců - 1 SACCH - 12 provozních TDMA rámců – 1 prázdný
- Řídicí – 51 TDMA rámců, viz. slide Signalizační kanály



# Logické kanály





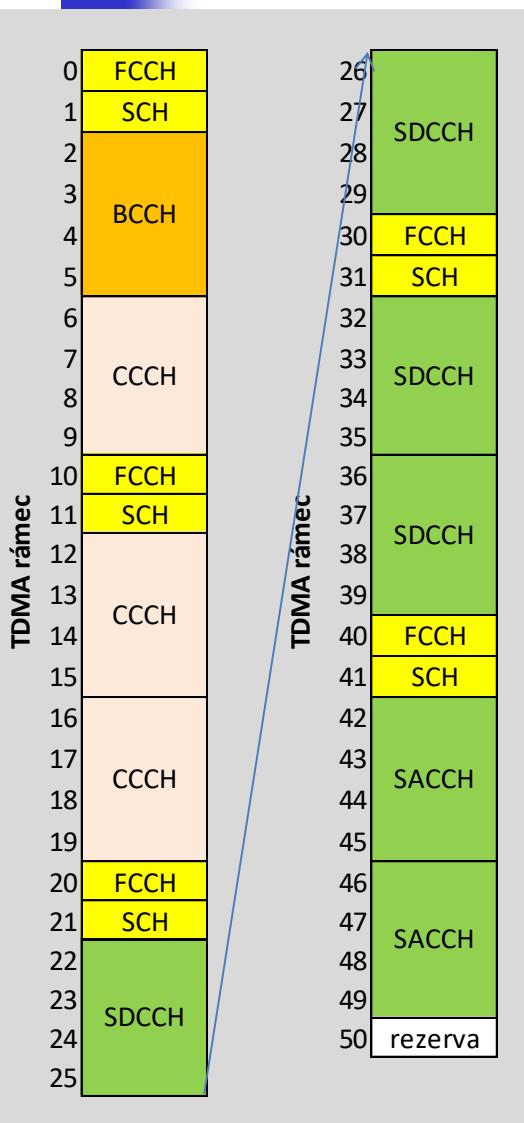
# Provozní kanály

Provozní kanály TCH (Traffic Channels) jsou určené k přenosu digitalizovaných hovorů nebo datových signálů

- Provozní kanály s plnou rychlostí TCH/F (Full Rate Traffic Channels)
- Provozní kanály s poloviční rychlostí TCH/H (Half Rate Traffic Channels)

# Signalizační (řídicí) kanály I.

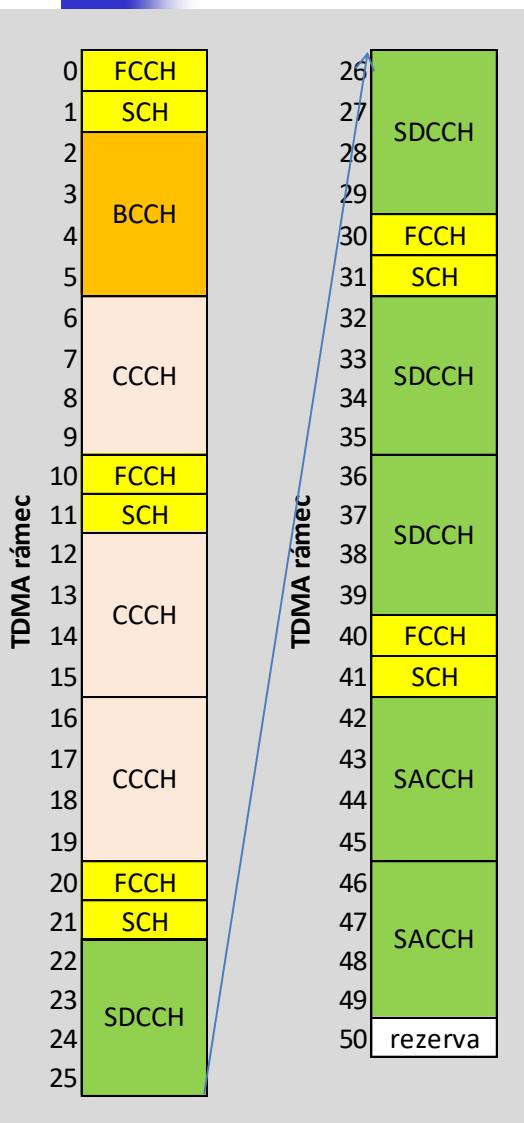
Vysílají se v každém logickém sektoru na kanálu 0 (C0) a timeslotu 0 (TS0)



- Rozhlasové kanály BCH (Broadcast Channels)
  - Kanál korekce kmitočtu FCCH (Frequency Correction Channel)
    - Nese informace umožňující korekci naladění mobilní stanice a identifikaci kmitočtu nesoucího signalizační kanály. Tvoří ho bursty pro kmitočtovou korekci.
  - Kanál synchronizace SCH (Synchronization Channel)
    - Nese informace pro rámcovou signalizaci mobilní stanice (číslo rámce) a identifikaci základové stanice. Tvořen je synchronizačním burstem.
  - Všeobecný rozhlasový kanál BCCH (Broadcast Common Channel)
    - Nese informace o aktuálním způsobu mapování signalizačních kanálů, o výzvách k mobilní stanici (korekce výkonu, ...), o lokalizační oblasti, číslo sekvence FH apod. Je tvořen normálním burstem a je sledován každou mobilní stanicí.

# Signalizační (řídicí) kanály II.

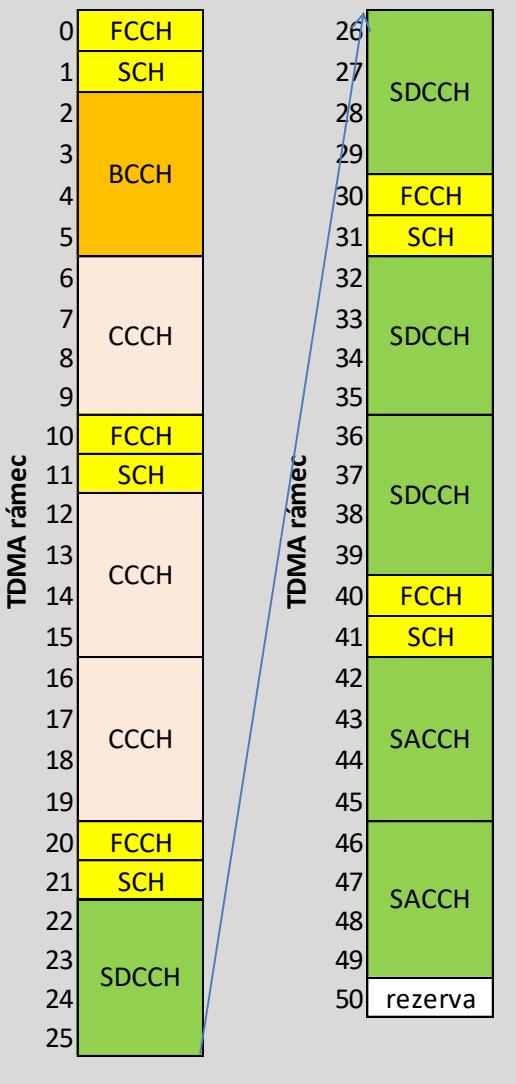
Vysílají se v každém logickém sektoru na kanálu 0 (C0) a timeslotu 0 (TS0)



- Kanály všeobecného řízení CCCH (Common Control Channel)
  - Návěstní kanál PCH (Paging Channel)
    - Předává informace o příchozím hovoru, je sledován každou mobilní stanicí ve stavu pohotovosti, normální burst
  - Kanál náhodného přístupu RACH (Random Access Channel)
    - vzestupný kanál pro vyžádání samostatného řídicího kanálu pro další signalizaci, náhodné aktivity ze strany MT -> přístup ALOHA, přístupový burst
  - Řídicí kanál potvrzení přístupu AGCH (Access Grant Control Channel)
    - přidělení samostatného řídicího kanálu mobilní stanici, která předtím o toto požádala, normální burst
  - Oznamovací kanál NCH (Notification Channel) a Buňkový rozhlasový kanál CBCH (Cell Broadcast Channel)
    - přidány až do fáze 2+ GSM

# Signalizační (řídicí) kanály III.

Vysílají se v každém logickém sektoru na kanálu 0 (C0) a timeslotu 0 (TS0)



- Vyhrazené řídicí kanály DCCH (Dedicated Control Channel)
  - Samostatný přidělený řídicí kanál SDCCH (Stand Alone Dedicated Control Channel)
    - obousměrná komunikace mezi MT a BTS před přidělením provozního kanálu
  - Pomalý přidružený řídicí kanál SACCH (Slow Associated Control Channel)
    - přenos signalizace k exitujícímu spojení (**také v provozním multirámci!**)
  - Rychlý přidružený řídicí kanál FACCH (Fast Associated Control Channel)
    - Podobný účel jako SACCH, vzniká a zaniká však podle potřeby – nahradí jeden hovorový burst, třeba při požadavku na handover stanice (**v provozním multirámci!**)

# Frekvenční skoky nosné vlny

Hovorový kanál může v čase měnit nosnou frekvenci – může „přeskakovat“ V sítích GSM se používá princip pomalých frekvenčních skoků SFH (*Slow Frequency Hopping*)\* – frekvence se mění s každým novým TDMA rámcem

Výhody:

- frekvenční diverzita - pomáhá redukovat ztráty rádiového spojení v oblastech s rychlým Rayleighovým únikem.
  - Ten vzniká v místech složitých příjmových podmínek a při pohybu mobilního telefonu – jedná se o rychlou změnu intenzity signálu, danou sčítáním a odčítáním jednotlivých „kopí“ nosné vlny (frekvenční únik)
- Interferenční diverzitu, která zvyšuje účinnost metody opětovného využití frekvencí rádiových kanálů.
  - Je možné častější využití stejné nosné frekvence na blízkých BTS, protože nosná je použita „občas“ a snižuje se tedy pravděpodobnost vzájemného rušení

Jsou používány 2 základní typy frekvenčních přeskoků:

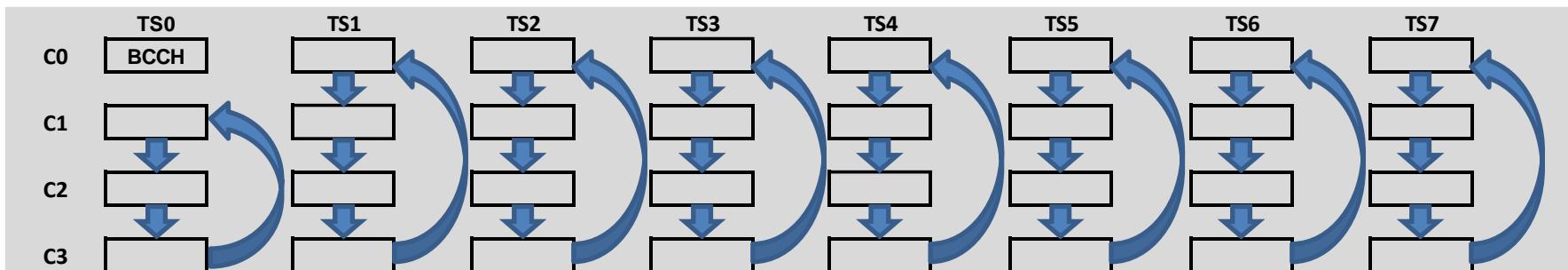
- Base Band Frequency Hopping (BBFH)
- Synthesiser Frequency Hopping (SFH)

\* SFH je „pomalý“, protože změna frekvence nastává za dobu delší, než je symbolová rychlosť přenosu. Proti tomu metoda *Fast Frequency Hopping* (FFH) mění frekvenci i během vysílání symbolu

# Frekvenční skoky nosné vlny

## Base Band Frequency Hopping (BBFH)

- Přeskakování probíhá pouze po takovém počtu frekvencí, kolik je v sektoru instalováno kanálů (tzv. TRX).
- V sektoru se vysílá trvale na několika stálých frekvencích a pouze dochází k cyklickému přepínání hovorů mezi nimi.
- BBFH má smysl pouze v případě, že jsou užívány nejméně 3 frekvence.

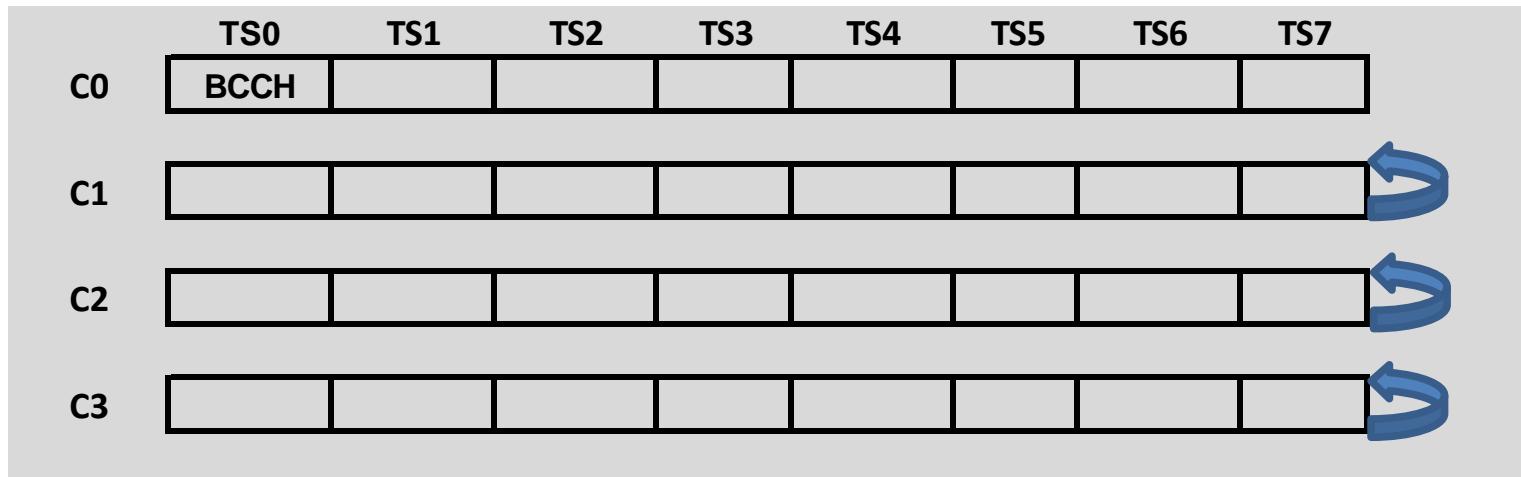


Příklad použití BBFH v sektoru BTS se 4 nosnými (TRX) a jedním kanálem BCCH

# Frekvenční skoky nosné vlny

## Synthesiser Frequency Hopping (SFH)

- Přeskakování probíhá po větším počtu frekvencí, než kolik je v sektoru k dispozici kanálů.
- Kanál s BCCH musí kvůli synchronizaci zůstat na jedné frekvenci.
- Maximální počet frekvencí je 63 – dáno *Mobile Allocation* (MA) seznamem, který je pro každý sektor definován při plánování sítě – MA0 obsahuje kanál s BCCH (C0), MA 1-63 může obsahovat vzestupně seřazené ARFCN kanály pro SFH.
- ZS generuje pseudonáhodný Hopping Sequence Number (1-63), který odpovídá MA 1-63.
- SFH je proti BBFH účinnější - přenos dat je rozprostřen do většího počtu frekvencí a tím je i pravděpodobnost výpadku menší.



Příklad použití SFH v sektoru BTS se 4 nosnými (TRX) a jedním kanálem BCCH

# Časový předstih

## Časový předstih – Timing Advance (TA)

je nutné, aby jednotlivé bursty TDMA rámce dorazily k základnové stanici ve správném čase

1. V případě komunikace (odchozí nebo příchozí hovor) požádá MT pomocí přístupového burstu o přidělení řídicího kanálu.
2. Základnová stanice změří zpoždění příchozího signálu a stanoví parametr TA <0,63>, který pošle MT
3. ZS signál vysílá v předstihu 3 timesloty
4. MT vysílá v předstihu TA bitů – max  $63 \times 3,6923 \text{ us} = 232,6 \text{ us}$ , tj. cca 69780 m.

# Identifikace ZS

- MCC – Mobile Country Code  
(seznam např. <http://www.insys-icom.cz/icom/cz/knowledge-base/cellular/mcc>)
  - CZ 230
  - SK 231
  - Německo 262
- MNC – Mobile Network Code
  - T-Mobile 01
  - O2 02
  - Vodafone 03
- LAC – Location Area Code – číslo oblasti – skupiny ZS <0-65535>
- CID – Cell ID – číslo ZS <0-65535>

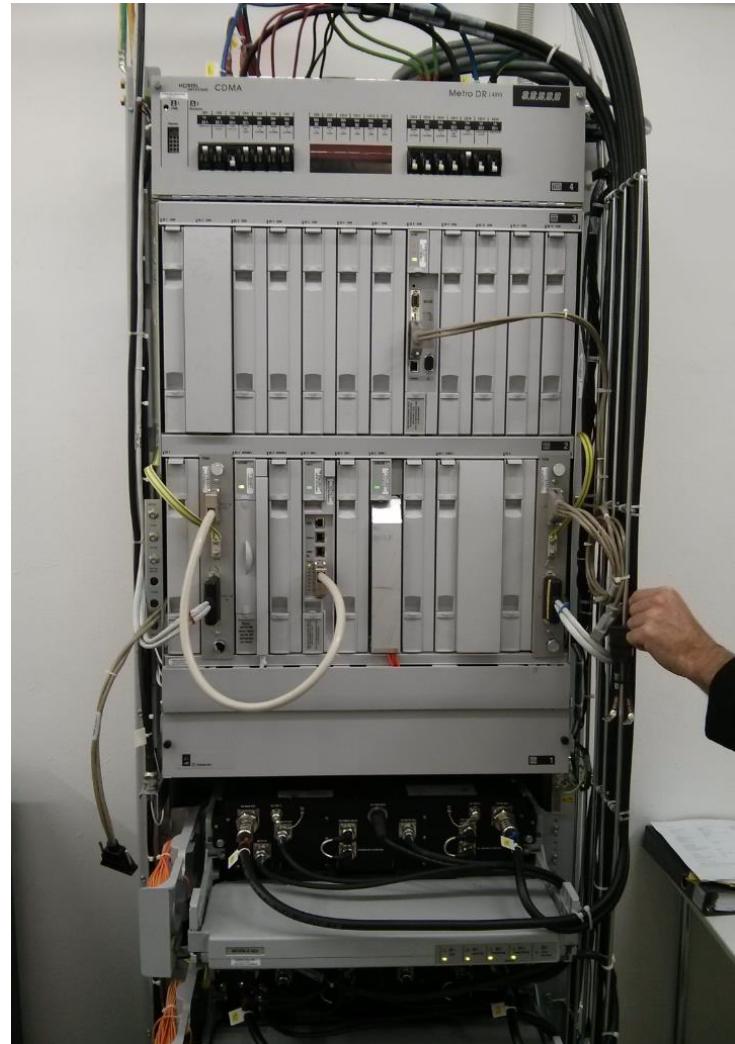
Kompletní identifikace oblasti

- LAI – Location Area Identity - LAI=MCC+MNC+LAC

Kompletní identifikace buňky

- CGI – Cell Global Identity CGI=MNC+MCC+LAI+CI

# BTS



# BTS



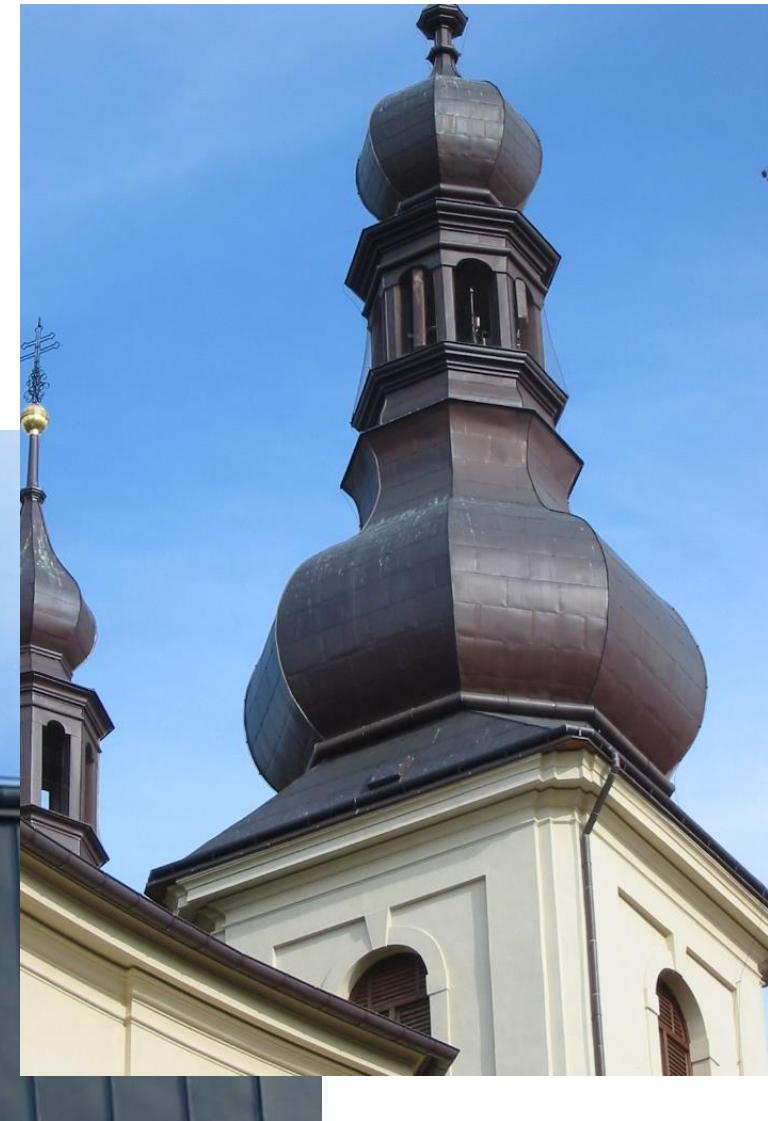
# BTS



# BTS



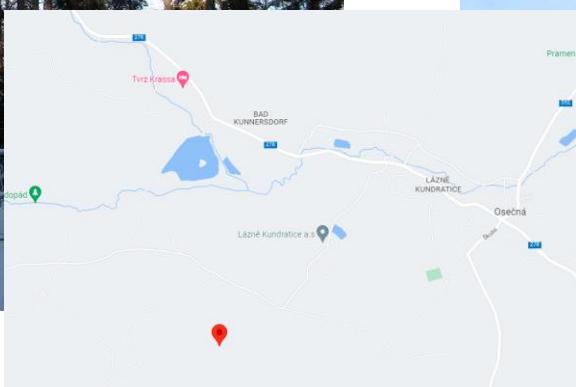






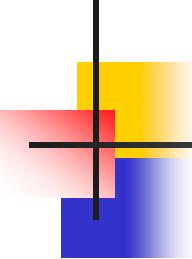


# BTS u Osečné



# BTS v Africe





# Bezpečnost GSM

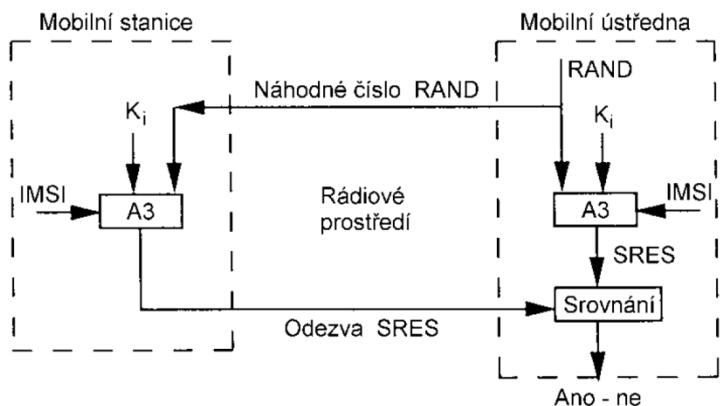
- Ověřování
  - Účastníka
  - Telefonu
  - SIM karty
    - Do karty operátor vkládá
      - IMSI (International Mobile Subscriber Identity)
      - Autentikační klíč (Ki)
      - Šifrovací klíč (Kc)
      - TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity)
      - LAI (Location Area Identity)
- Šifrování přenášených dat
  - A3 – pro ověření totožnosti účastníka (definován operátorem)
  - A5 – normalizovaný algoritmus pro šifrování a dešifrování dat
  - A8 – pro generování šifrovacího klíče (definován operátorem)

# Ověřování

- totožnosti uživatele
  - číselnými kódy PIN (PIN2) a PUK
- totožnosti mobilní stanice
  - pomocí IMEI (International Mobile Equipment Identity) z mobilní stanice a registru EIR:
    - White list ("bílý seznam") - stanice, jímž je přístup povolen
    - Black list ("černý seznam") - kradené mobilní stanice
    - Grey list ("šedý seznam") - porouchané stanice, nebo stanice nepodporující určité specifikace
- totožnost SIM
  - Pomocí IMSI (max.15 číslic) – pouze po zapnutí telefonu
    - 3 číslice Mobile Country Code
    - 3 číslice Mobile Network Code
    - 9 číslic Mobile Station Identification Number
  - Pomocí TMSI – po zbytek času, uloženo v VLR a SIM, při změně ústředny se TMSI mění
- Výrobní číslo karty ICCID
  - Integrated Circuit Identity – vytiskáno na SIM kartě
  - Používá se k udržování databáze SIM karet u operátora

# Přístup do sítě

1. MT zašle po zapnutí IMSI (International Mobile Subscriber Identity)
2. Síť vygeneruje TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity) - uloženo do SIM a VLR
3. v registru HLR (AuC) je vygenerováno náhodné číslo RAND, to odesláno do MT a VLR. S pomocí autentifikačního klíče  $K_I$  je algoritmem A3 spočítána odezva SRES (Signed Response) a vygenerován šifrovací klíč  $K_C$ . Trojice (RAND - 128 bitů, SRES - 32 bitů a  $K_C$  - 64 bitů - triplet) je předána do registru VLR, kde je po dobu spojení uchována.
4. Mobilní stanice v SIM kartě na základě znalosti klíče  $K_I$  a čísla RAND spočte algoritmem A3 odpověď SRES a odešle do VLR.
5. VLR porovná odpověď s hodnotou v HLR a určí, zda stanice má přístup do sítě.



Algoritmus A3 i klíč  $K_I$  jsou uloženy v HLR i SIM kartě, rádiovým rozhraním prochází pouze náhodné číslo RAND a odpověď SRES. A3 je vytvořen tak, aby bylo relativně snadné spočítat SRES z údajů  $K_I$  a RAND, ale velmi náročné vypočítat  $K_I$  z údajů RAND a SRES.

# Šifrování přenášených dat

1. Při každém pokusu o komunikaci z obou stran je požadavkem z VLR v registru HLR (AuC) generován a po dobu spojení uložen *triplet* (RAND, SRES, K<sub>C</sub>)
  1. Náhodné číslo RAND 128 bit
  2. Odpověď SRES 32 bit algoritmem A3 z RAND
  3. Šifrovací klíč K<sub>C</sub> 64 bitů z K<sub>I</sub> šifrovacím algoritmem A8.
2. Registr VLR RAND přepošle mobilní stanici, která v SIM kartě vygeneruje šifrovací klíč K<sub>C</sub>.
3. Šifrovací posloupnost, doplnovaná k přenášeným datům, je generována algoritmem A5 z údajů:
  - šifrovací klíč K<sub>C</sub> (64 bitů, generovaný zvlášť pro každé spojení)
  - číslo TDMA rámce (22 bitů měnících se každých 4,615 ms).

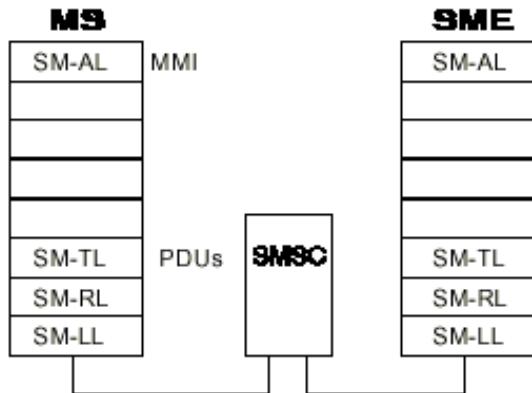
Při handoveru se šifrovací klíč K<sub>C</sub> nemění. Ani při šifrování tedy nedochází k přenosu žádného klíče a rádiovým rozhraním jsou přenášena pouze náhodná čísla RAND a šifrovaná data.

Algoritmy A3 a A8 jsou implementovány dohodou provozovatele sítě a výrobce SIM karet.

Algoritmus A5 šifruje pouze 2x57 bitů uživ.dat v burstu a některé signalizační kanály, je kvůli výpočetní náročnosti implementován v mobilní stanici a BTS, má několik variant:

- A5/0 – bez šifrování
- A5/1 – standardní 64bitová DES šifra, provozovaná v „důvěryhodných“ zemích
- A5/2 – slabá šifra, používaná v sítích mimo Evropu
- A5/3 – 128bitová DES šifra (z 3G sítí), reakce na prolomení A5/1 pomocí 2TerraBytové Rainbow table, offline metodě

## ■ Vrstvový diagram



- MS: Mobile Station – Mobilní stanice
- SME: Short Message Entity -
- SMSC: Short Message Service Center – Středisko zpráv
- MMI: Man Machine Interface – Rozhraní člověk - stroj
- PDUs: Protocol Data Units – Komunikační rámce
- SM-AL: Short Message Application Layer - Aplikační vrstva krátkých zpráv
- SM-TL: Short Message Transport Layer - Transportní vrstva krátkých zpráv
- SM-RL: Short Message Relay Layer - Relační vrstva krátkých zpráv
- SM-LL: Short Message Link Layer - Fyzická vrstva krátkých zpráv

# Formát SMS

Formát doručené zprávy (Mobile Terminated - MT)								Formát odesílané zprávy (Mobile Originated - MO)								
SCA	Typ PDU	OA	PID	DCS	SCTS	UDL	UD	SCA	Typ PDU	MR	DA	PID	DCS	VP	UDL	UD
1-12 oktetů	1 oktet	2-12 oktetů	1 oktet	1 oktet	7 oktetů	1 oktet	0-140 oktetů	1-12 oktetů	1 oktet	1 oktet	2-12 oktetů	1 oktet	1 oktet	0,1 nebo 7	1 oktet	0-140 oktetů
SCA (Service Center Address)								Telefoniční číslo střediska zpráv								
Typ PDU (Protocol Data Unit Type)								Zvyšující se číslo (0 až 255) všech odesílaných zpráv z telefonu (nastavuje telefonem?)								
MR (Message reference)								Adresa zdroje SMS zprávy (odkud byla poslána)								
OA (Originating Address)								Adresa cíle (kam se má poslat)								
DA (Destination Address)								Parametr ukazující SMSC, jak zpracovat SMS zprávu (jako FAX, ...)								
PID (Protocol Identifier))								Parametr udávající, jak jsou zakódovaná data ve zprávě (UD)								
DCS Data Coding Scheme)								Kdy SMSC dostalo tuto zprávu								
SCTS (Service Center Time Stamp)								Parametr udávající odky už není tato zpráva platná v SMSC (=platnost zprávy)								
VP (Validity Period)								Délka dat (délka UD)								
UDL (User data length)								Data (text) zprávy								
UD (User Data)								Parametr udávající, že existuje zpáteční adresa								
RP (Reply Path)								Znamená, že pole UD obsahuje hlavičku								
UDHI (User Data Header Indication)								Je vyžadována status od SME?								
SRI (Status Report Indication)								MS si vyžádal status?								
SRR (Status Report Request)								Je zadáno pole VP?								
VPF (Validity Period Format)								Udává, jestli jsou ještě nějaké zprávy k poslání								
MMS (More Messages to Send)								Parametr rozlišující zprávu odesílanou a přijímanou:								
RD (Reject Duplicate)								00 – přijatá								
MTI (Message Type Indicator)								01 – odeslaná zpráva								

# Datové služby CSD

- CSD (Circuit Switched Data)
  - Komunikace využívající hovorový kanál, max. rychlosť 9600bps, resp. po oslabení kvality ošetrení chyb 14400bps
- HSCSD (High Speed Circuit Switched Data)
  - Vylepšená verze, dovolující obsadit více hovorových kanálů současně symetricky nebo nesymetricky

Třída	Maximální počet slotů			Typ
	Vysílání	Příjem	Celkem	
1	1	1	2	1
2	1	2	3	1
3	2	2	3	1
4	1	3	4	1
5	2	2	4	1
6	2	3	4	1
9	2	3	5	1
10	2	4	5	1
12	4	4	5	1
13	3	3	6	2
18	8	8	16	2

- Výhody a nevýhody CSD a HSCSD
  - Možné provozování libovolných datových služeb mezi libovolnými body
  - Nutné trvalé obsazení hov.kanálů -> neefektivní využití přenosové kapacity
  - Nesymetrické zatížení sítě

# GPRS

## General Packet Radio Service – GPRS (tzv. síť 2,5 generace)

Služba datových přenosů paketovou technologií – pro přenos není potřeba trvale dedikovaný přenosový kanál

- Efektivnější využití volné kapacity sítě
- Možnost placení podle přenesených dat
- Možnost definice QoS (Quality of Service) – priority, spolehlivosti, zpoždění, propustnosti
- Vyšší dosažitelné přenosové rychlosti
- Nutné vybudování paralelní infrastruktury

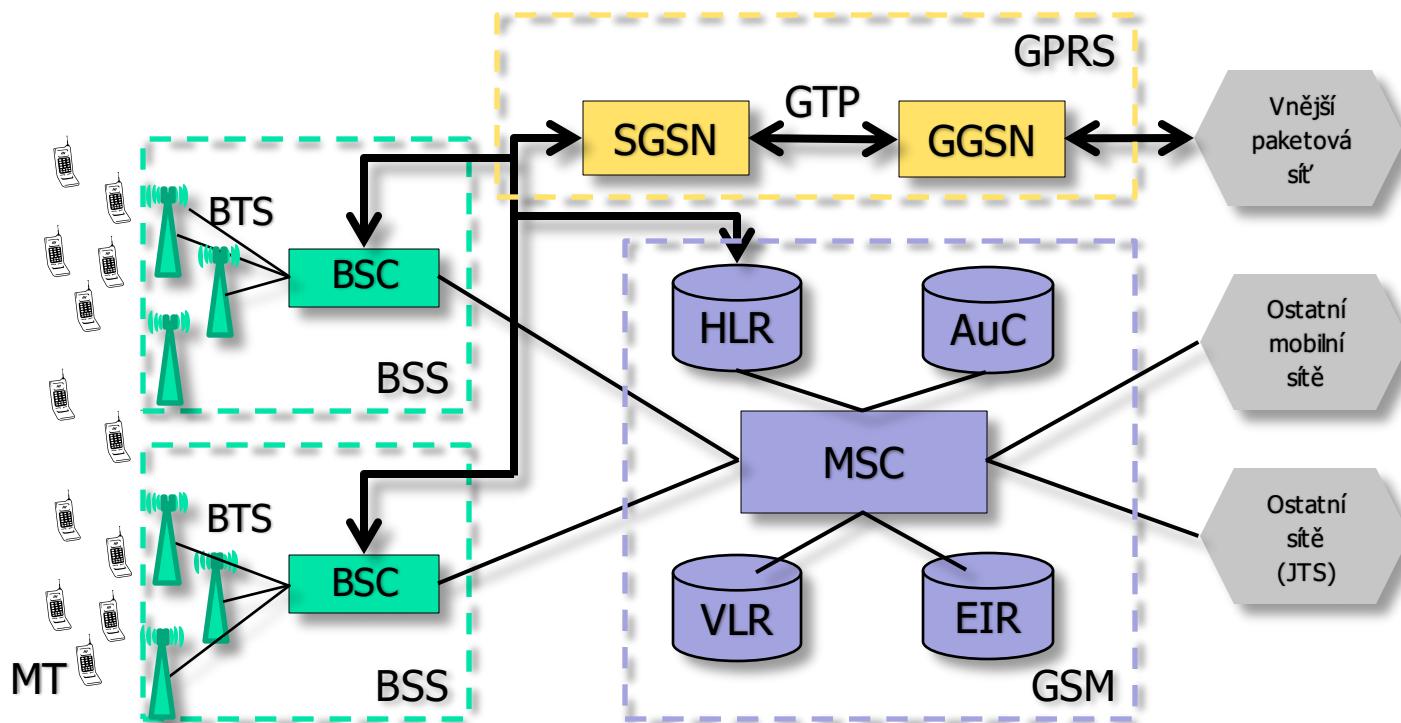
Rychlosti 1TS GPRS	
Kódování	Přenos.rychlosť
CS - 1	9,05 kbps
CS - 2	13,4 kbps
CS - 3	15,6 kbps
CS - 4	21,4 kbps

Třídy přístrojů	
Třída A	současný provoz GSM a GPRS spojení
Třída B	GPRS přerušeno při použití GSM
Třída C	manuální přepínání mezi GSM a GPRS

Třídy GPRS			
Třída	Downlink TS	Uplink TS	Současně TS
1	1	1	2
2	2	1	3
3	2	2	3
4	3	1	4
5	2	2	4
6	3	2	4
7	3	3	4
8	4	1	5
9	3	2	5
10	4	2	5
11	4	3	5
12	4	4	5
32	5	3	6

# Rozšíření GSM o GPRS

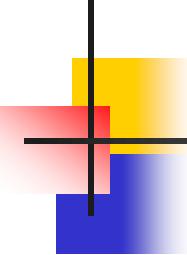
- Uzly SGSN (Serving GPRS Support Node)
  - doručují data z a do mobilních terminálů
- Uzly GGSN (Gateway GPRS Support Node)
  - Zprostředkovávají komunikaci mezi GSM/GPRS sítí a dalšími sítěmi – IP nebo X.25
- GTP (GPRS Tunelling Protocol)
  - Na bázi TCP/IP, přenáší data mezi SGSN a GGSN



## Enhanced Data Rates for Global Evolution - EDGE

- Tzv. síť 2,75 generace
- Vylepšení GSM/GPRS zejména zavedením modulace 8PSK jako doplněk GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) – na rádiové vrstvě se mohou přenášet místo 1b současně 3b pro služby:
  - EGPRS (Enhanced GPRS) – paketové přenosy
  - ECSD (Enhanced Circuit Switched Data) – pro přepojování okruhů

Kódovací a modulační schéma (MCS - Modulation and Coding Scheme)	Přenosová rychlosť (kbit/s)	Modulace
MCS-1	8.8	GMSK
MCS-2	11.2	GMSK
MCS-3	14.8	GMSK
MCS-4	17.6	GMSK
MCS-5	22.4	8-PSK
MCS-6	29.6	8-PSK
MCS-7	44.8	8-PSK
MCS-8	54.4	8-PSK
MCS-9	59.2	8-PSK

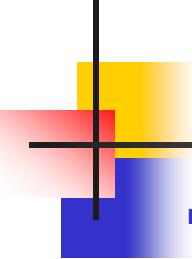


# Sítě 3.generace

- Myšlenka (1986) celosvětové provozovat jednotnou hlasovou síť s datovými službami alespoň 144 kbit/s na frekvencích kolem 2 GHz
- Časem vzniklo mnoho nekompatibilních platforem, mezi 3G jsou oficiálně zařazovány:
  - W-CDMA
  - CDMA2000
  - TD-SCDMA
  - DECT
  - UWC-136

# UMTS/W-CDMA

- Evropsko-japonská varianta, označována
  - UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*)
  - W-CDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*)
- Radiová síť se často označuje zkratkou UTRAN (*UMTS Universal Radio Access Network*)
- Varianty
  - S-UMTS (Satellite UMTS)
    - 1980-2010 MHz up/2170-2200 MHz down, není znám žádný pokus o implementaci
  - T-UMTS (Terrestrial UMTS)
    - párové - FDD (Frequency Division Duplex), 1920-1980 MHz UP, 2110-2170 MHz DOWN
    - nepárové - TDD (Time Division Duplex), 1900 – 1920 MHz a 2010 – 2025 MHz UP/DOWN – výhoda: může měnit poměr času uplinku/downlinku -> dle potřeby mění kapacitu UP/DOWN
      - T-Mobile 4G, ukončeno 2012
- Dnes se u nás pod pojmem 3G/UMTS/W-CDMA rozumí FDD-T-UMTS
  - Kromě pásma 2 GHz se používají i další - 2600 MHz (LTE), v ČR kolem 800 MHz (1. digitální dividenda 790 – 865 MHz, + tlak operátorů na rozšíření pásma -> nutnost přechodu z DVBT na DVBT2 - 2. digitální dividenda 694 – 790 MHz, na TV zbývá 470 – 694 MHz)



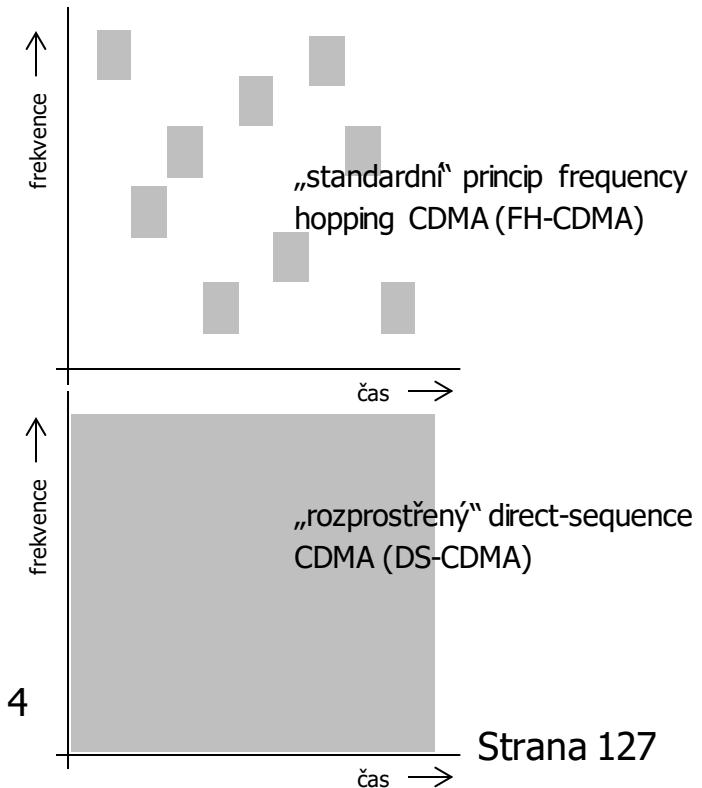
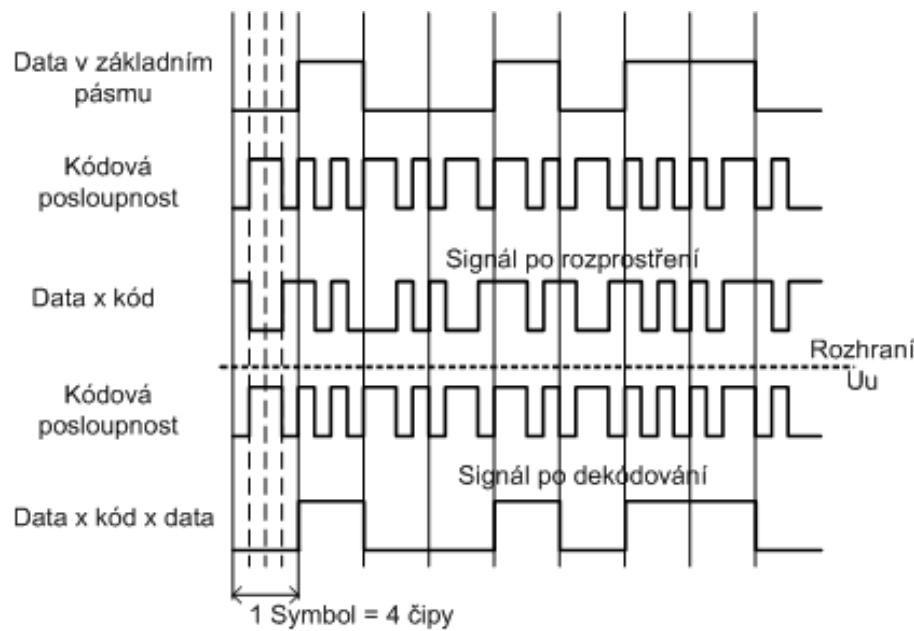
# UMTS/W-CDMA

- Přenosový kanál v základní konfiguraci využívá šířku pásmo 5 MHz (proto zkratka W-CDMA - Wideband Code Division Multiple Access)
- Od Release 8 – Dual Carrier – možnost spojení 2 pásem -> 10 MHz
- Od Release 10 – až 5 Component Carriers, každý z nich může mít šířku 1.4, 3, 5, 10, 15 nebo 20 MHz -> teoreticky pásmo 100 MHz
- Od Release 11 – Component Carrier ze 2 frekv.pásem
- Na rozdíl od GSM sousední buňky používají stejnou frekvenci - CDMA
- Využívá se makrodiverzitního příjmu signálu MT na ZS (vždy několik Node Base přijímá a dekóduje současně)

# UMTS/W-CDMA

K rozprostření spektra dochází „vynásobením“ (proložením) vysílaných dat o bitové rychlosti  $R_b$  kódovou posloupností s mnohem větší bitovou rychlostí  $W$  (*Chip rate*)

- Činitel rozprostření (*Processing Gain*)  $G_P = \frac{W}{R_b}$
- Čipová rychlosť = datový tok rozprostřených dat, v základní variantě UMTS  $W=3,84$  Mcps/s (milionů čipů za sekundu),  $G_{P(\text{uplink})} = 4$  až 256,  $G_{P(\text{downlink})} = 4$  až 512
- Výhoda: při dekódování dochází úměrně velikosti  $G_P$  k nárůstu amplitudy vlastního signálu vůči interferencím.



Zjednodušená demonstrace principu rozprostření spektra s  $G_P = 4$

# UMTS/W-CDMA

- Každá buňka a každý MT má pro rozprostření vysílání vlastní kódovou posloupnost (pseudonáhodný kód), UMTS používá 3 zákl.kódy

Typ kódu	Downlink	Uplink
Skramblovací kód	slouží k oddělení buněk	slouží k oddělení uživatelů
Kanálový kód	slouží k oddělení uživatelů v rámci jedné buňky	slouží k oddělení datové a řídicí komunikace MT
Rozprostírací kód	zajišťuje co nejmenší korelaci se signály ostatních ZS a MT	zajišťuje co nejmenší korelaci se signály ostatních ZS a MT

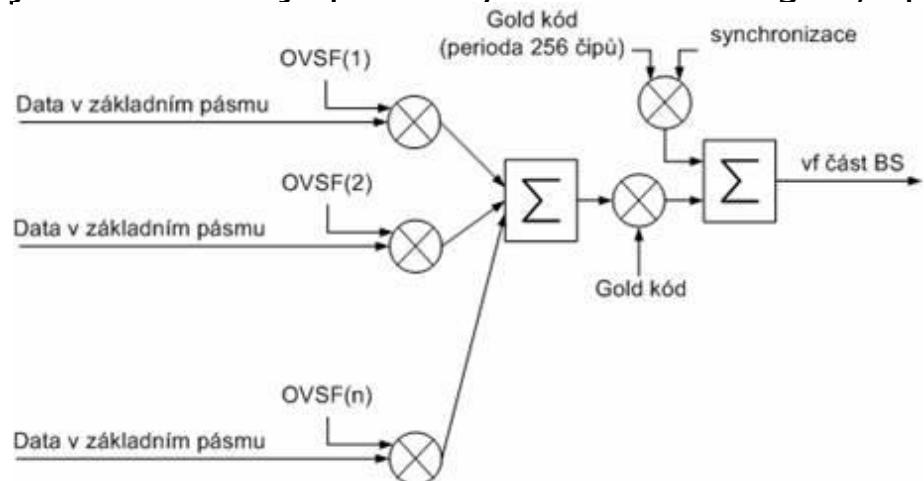
- Skramblovací kódy (Goldovy kódy) – celkem  $2^{18}-1=262143$  kódů, rozdělených do 512 kódových sad: 1 primární + 15 sekundárních skramblovacích kódů. Každá UMTS buňka má přidělen 1 primární skramblovací kód.
- Kanálové kódy – používají se OVSF (*Orthogonal Variable Spreading Factor*) posloupnosti, v UMTS Walshovy - Hadamardovy ortogonální posloupnosti.
- Rozprostírací kódy – unikátní, přiřazovaný ZS a MT sítí před vlastní komunikací.

Použití kódů zajišťuje jednoznačnou identifikaci MT a ZS, minimální vzájemné rušení a maximální využití spektra.

# UMTS/W-CDMA

## Generování signálu v downlinku (ZS)

- Signál pro jednotlivé uživatele (transportní kanál) je kódován jedinečným kanálovým kódem OVSF (*Orthogonal Variable Spreading Factor*) s různou periodou (do 256 čipů, záleží na použité službě a transportním kanále).
- Po zakódování jsou kanály sečteny dohromady a proloženy skramblovacím (Goldovým) kódem, identifikujícím ZS. Poté je přidán synchronizační signál, opět proložený Goldovým kódem.



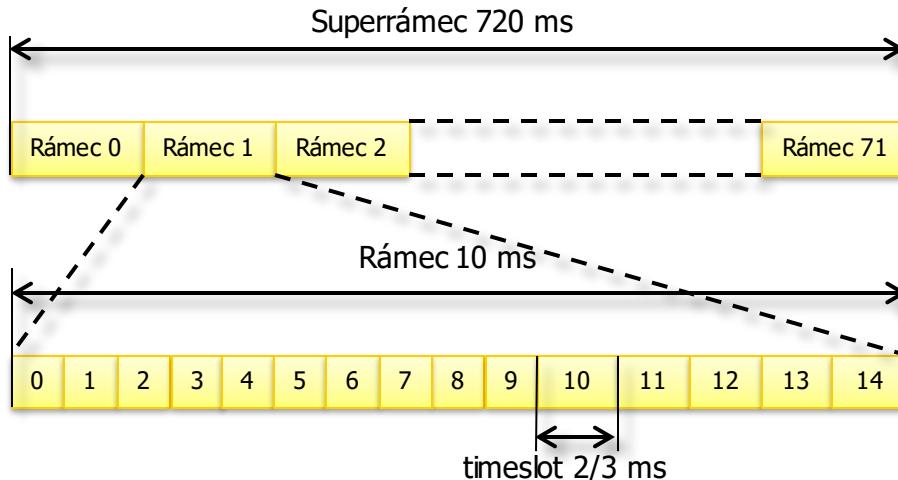
## Generování signálu v uplinku (MT)

- MT jsou použity dva odlišné OVSF kódy:
  - pro DPCCH (*Dedicated Physical Control Channel*) – vyhrazený fyzický kontrolní kanál, přenášející řídící informace,
  - pro DPDCH (*Dedicated Physical Data Channel*) – vyhrazený fyzický datový kanál pro přenos uživatelských dat.

# UMTS/W-CDMA

## Časový průběh komunikace

- rámce 10 ms, rozděleny na 15 slotů po 2/3 ms



- od Release 5 rámce o délce 2 ms se 3 timesloty -> rychlejší reakce na potřeby přidělování kapacity

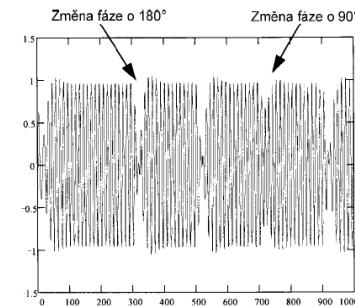
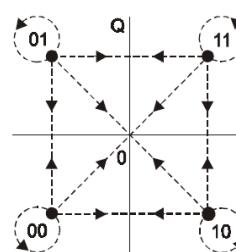
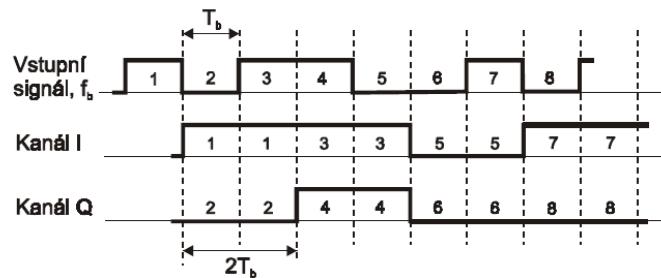
## Modulace

- ZS QPSK, MT O-QPSK (jednodušší na realizaci, generuje menší rušení)
- od Release 7 až 64QAM (ZS), 16QAM (MT)

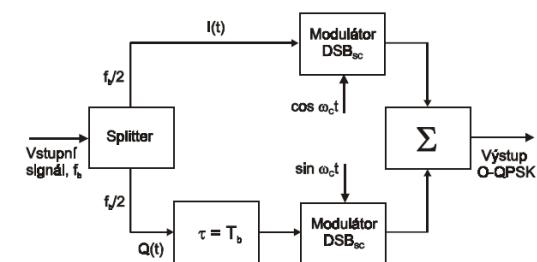
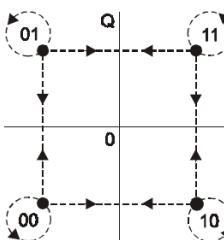
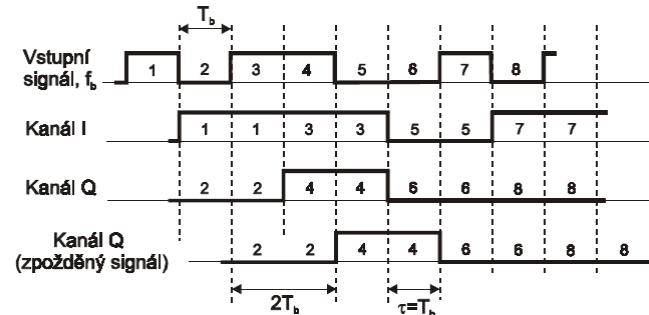
# Vícestavová modulace

## Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) – 4PSK

Považována za dobrý kompromis mezi spektrální (poměr mezi přenos. rychlostí a potřebnou šířkou spektra) a energetickou účinností (jakým je k dosažení požadovaného BER nutno vysílat výkonem), problémem je přechod stavů o  $180^\circ$  – 00-11 a 01-10 (vysílač na chvíli přestává vysílat), kdy vysílače generují parazitní spektrální složky



- Offset - Quadrature Phase Shift Keying (O-QPSK)  
zde nemůže k přechodům (viz.QPSK) dojít



# UMTS/W-CDMA

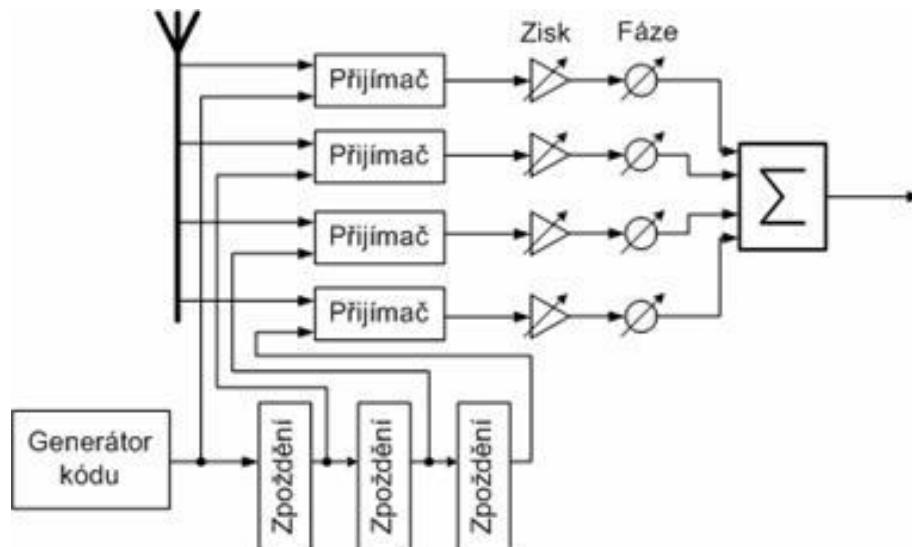
## Řízení výkonu

- Důležité pro funkci sítě, minimalizuje „*Near-Far Effect*“ (efekt blízké a vzdálené stanice) – MT blízko ZS by vysokým výkonem rušily signál vzdálenějších MT
- *Downlink Closed Loop Power Control*: řízení výkonu Node Base porovnáním s nastavenou hodnotou.
- *Uplink Open Loop Power Control*: MT nastavuje vysílací výkon dle úrovně přijatého signálu ZS – počáteční nastavení.
- *Uplink Closed Loop Power Control*: ZS měří 1500 krát za sekundu hodnotu přijímaného signálu MT a následně zasílají zpět instrukci ke zvýšení nebo snížení výkonu.
- *Outer Loop Power Control*: *Radio Network Controller* stanovuje ZS cílovou hodnotu vysílacího výkonu ZS a MT.

# UMTS/W-CDMA

## Příjímání vícecestného signálu

- Signál v UP- i DOWNlinku se šíří díky odrazům mnoha cestami, pokud přijímače dokáží pracovat s těmito signály, ve výsledku je možné použít menší vysílací výkony
- RAKE – princip funkce přijímače
  - Několik přijímačů se snaží nezávisle na sobě dekódovat přijatý signál pomocí kódu, platného pro probíhající spojení, přičemž hledají pro různé „kopie“ signálu jejich zpoždění a fázi.
  - Správně dekódované „kopie“ jsou sečteny.
  - ZS používají 4 přijímače (*Fingers*), MT 3 přijímače, 4. přijímač monitoruje prostředí a vyhodnocuje vlastnosti spojení s okolními ZS pro příp. handover.

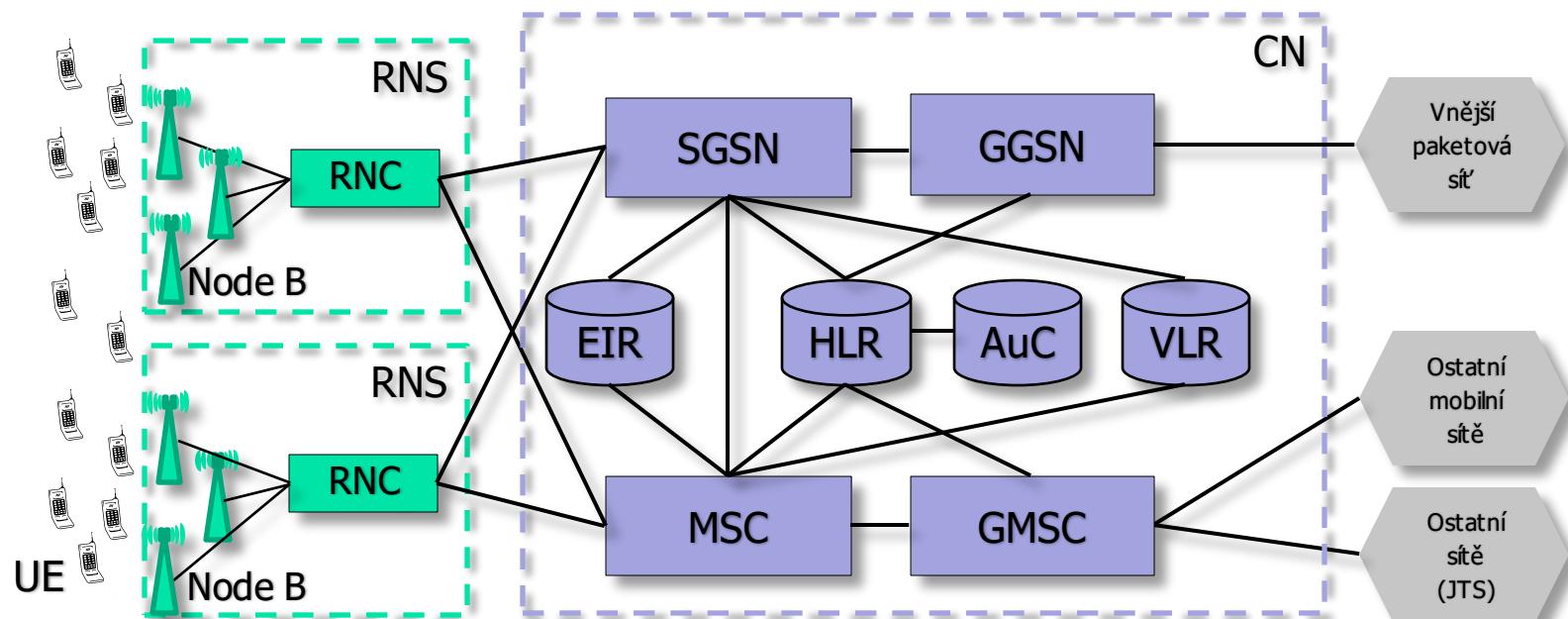


# W-CDMA - Struktura sítě

- User Equipment (UE)
  - mobilní telefon
  - USIM (*Universal Subscriber Identity Module*)
- Radio Network Subsystem (RNS)
  - jiný název pro BSS (*Base Station Subsystem*) v GSM
  - Radio Network Controller (RNC)
  - základnové stanice *Node Base*

- Core Network (CN)

jiný název pro NSS (*Network Switching Subsystem*) v GSM  
Circuit switched  
Mobile switching centre (MSC)  
Gateway MSC (GMSC)  
Packet switched  
Serving GPRS Support Node (SGSN)  
Gateway GPRS Support Node (GGSN)  
Sdílené části sítě  
Home location register (HLR)  
Visitor location register (VLR)  
Equipment identity register (EIR)  
Authentication centre (AuC)



# W-CDMA – vývoj – 3G

## ■ Vývoj standardu zachycen v Release

([http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK\\_PLAN/Description\\_Releases/](http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/))

- R3 (nebo Release 99) (březen 2000)
  - max. rychlosť 2048 kbps/384 kbps
- R4 (březen 2001)
  - vylepšení infrastruktury páteřních sítí oddělením už.dat a řídících informací
  - podpora multimediálních zpráv
- R5 (červen 2002) – HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access)
  - zvýšení rychlosti downlinku 384/4320 kbps, buňka 14,4 Mbps
  - zvýšení dosaženo přenesením řízení komunikace RNC do Node B (výzva k opakování chybně přijatých dat, strategie přístupu na přenosové médium – blížší a méně rušený MT dostává více kapacity) a tím zefektivnění a zrychlení managementu komunikace
  - Core Network změněn na IP síť -> nativní podpora multimediálních služeb
- R6 (březen 2005) - HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access)
  - zvýšení rychlosti uplinku - 4,320/13,440 Mb
- R7 (prosinec 2007) – HSPA+
  - HSDPA28.8/HSUPA 11.5
  - Zavedení modulace 64QAM v downlinku -> teoretická rychlosť až 42 Mbps, a 16QAM v uplinku

# W-CDMA – vývoj – pre 4G

## ■ R8 (prosinec 2008) - LTE (Long Term Evolution), HSPA evolution

- Dual Carrier – spojení 2 pásem do 10 MHz -> teor. rychlosť 84 Mbps
- „Spektrální efektivita“ až 16 bps/Hz
- Prostorový multiplex MIMO
- První reálné nasazení v Oslu a Stockholmu v roce 2009
- Zavedení modulace OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) v DL a SC-FDMA (Single-Carrier FDMA) v UL
- Standardní ODFM symbol trvá 66,7 us + 4,7 us Guard Interval, šířka subkanálu 15 kHz - 5MHz pásmo má 300 subkanálů (4,5 MHz), 20MHz 1200 subkanálů (18 MHz)

## ■ R9 (prosinec 2009)

- Přidána specifikace Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS) - podpora jednosměrné distribuce point-to-multipoint – vhodné pro šíření TV/video/audio
- Home eNB (HeNB) – možnost instalovat „domácí“ femtocellu

## ■ R10 (červen 2011) - LTE-Advanced

- Až 100 MHz široké souvislé pásmo, složené z max. 5 Component Carriers (1.4, 3, 5, 10, 15 nebo 20 MHz kanál)
- teor. rychlosť 1,5/3 Gbps
- „Spektrální efektivita“ až 30 bps/Hz
- Max. MIMO 8x8 v downlinku a 4x4 v uplinku

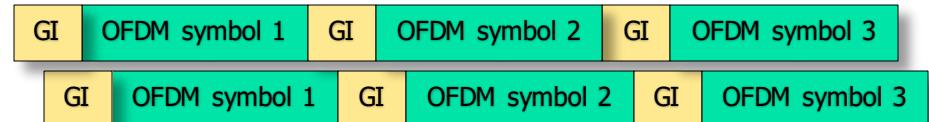
## ■ R11 (červen 2013)

- Coordinated Multi Point operation (CoMP) – standardně jsou posílána z více NodeB stejnému zákazníkovi v jeden okamžik stejná data, CoMP umožňuje posílat různá
- Možnost komunikovat s Component Carriers ze dvou pásem

# OFDM - princip

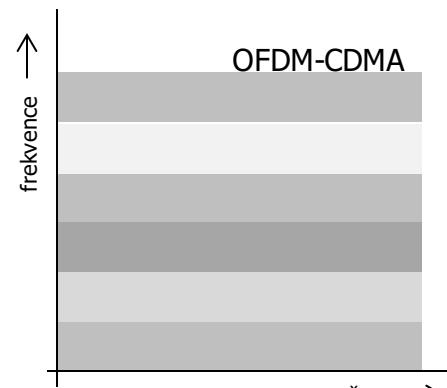
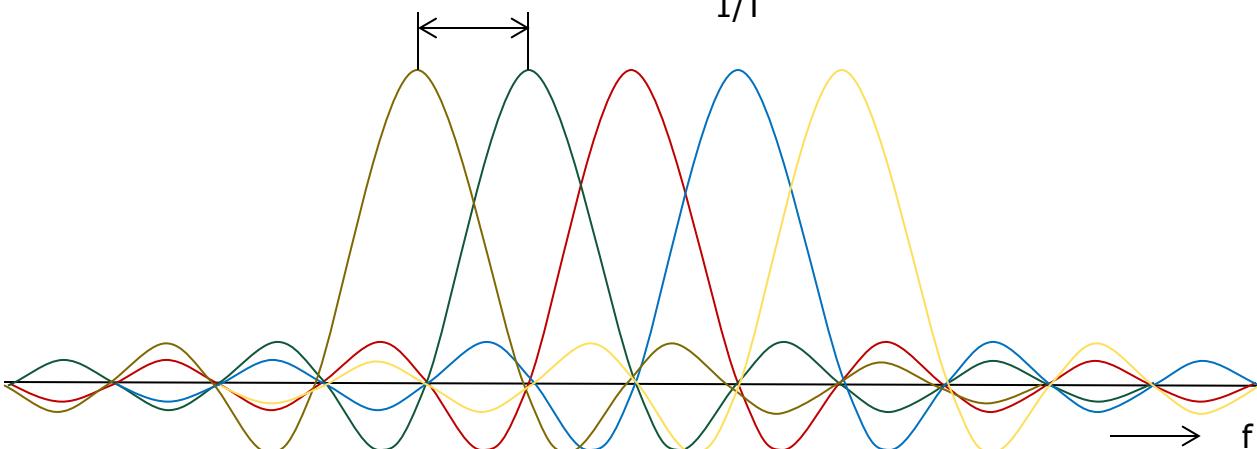
## ■ Orthogonal Frequency-Division Multiplexing

- Snažit zvýšit spektrální účinnost přenosu rozdelením frekvenčního pásma na velké množství subkanálů (stovky až tisíce)
- Každý subkanál má vlastní modulační schéma QAM nebo PSK, přenáší data „nízkou“ rychlosť
- Mezi symboly se zachovává ochranný interval (Guard Interval) - snižuje mezisymbolové interference a umožňuje přijímače zpracovat vícecestné signály a signály z více vysílačů – MIMO



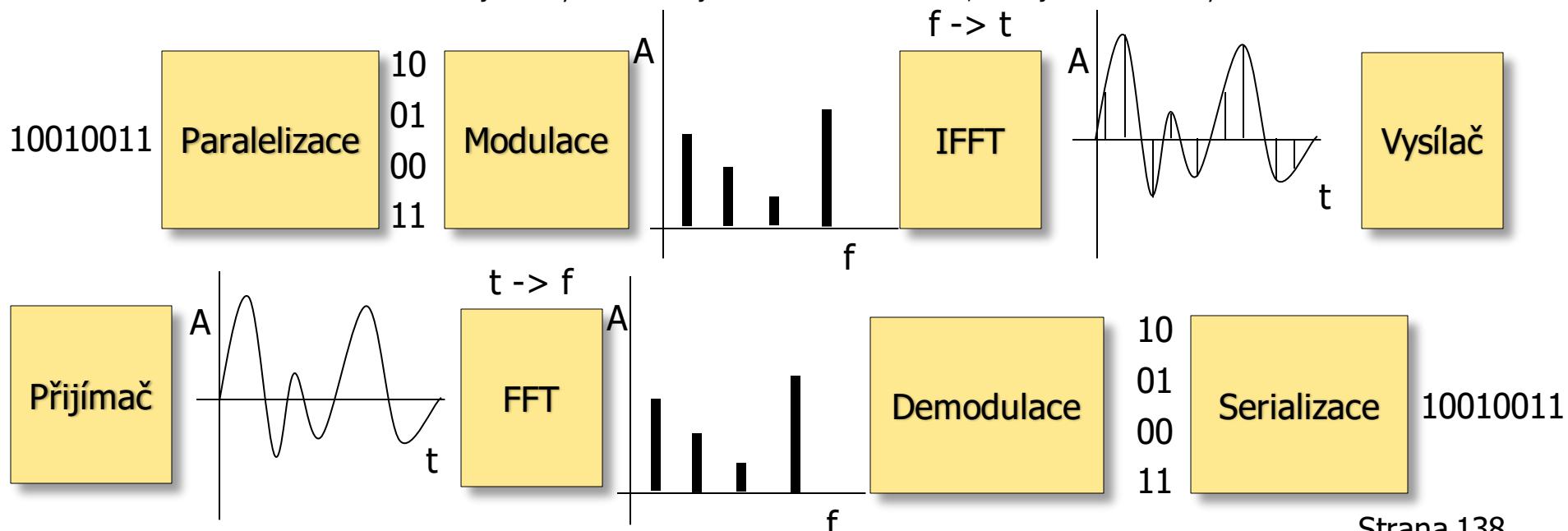
Různě zpozděně signály, přicházející do přijímače → t

- Vedlejší subkanály jsou vůči sobě ortogonální (maximum jednoho se překrývá s minimy ostatních) – to nastává v případě volby odstupu kanálů rovnému převrácené hodnotě délky ODFM symbolu ( $1/T$ ) → není třeba ochranné pásmo mezi kanály u LTE 15 kHz →  $1/15000 = 66,7$  us



# OFDM – v LTE downlink

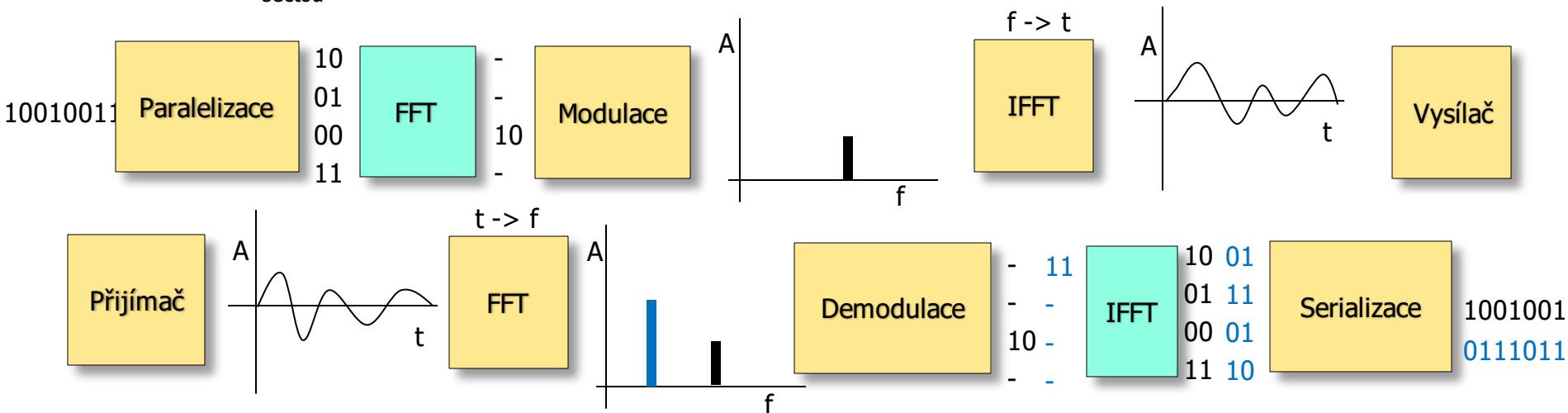
- V době ochranného intervalu (GI) se před OFDM symbolem duplicitně vysílá cyklická předpona (Cyclic Prefix CP) – poslední část OFDM symbolu o délce GI
  - v libovolném vzorku o délce symbolu je tak zajištěna kompletní informaci
- Aby se nemusely na fyzické vrstvě realizovat stovky/tisíce vysílačů pro každý subkanál, používá se postup
  - Převedení jednoho rychlého datového toku na mnoho paralelních „pomalých“
  - Jejich modulace vhodnou metodou (PSK, QAM) – v příkladu užita kvadraturní PSK (4PSK/QPSK)
  - Na výslednou křivku amplitud jednotlivých frekvencí (frekvenčně-amplitudový diagram) je uplatněna rychlá inverzní Fourierova transformace ( $f \rightarrow t$ )
  - Vznikne sada pulzů, prezentujících časový průběh součtu všech subkanálů, jejich „obalením“ je vytvořena amplitudová křivka v časové oblasti, která je doplněna o CP, namodulována na nosnou frekvenci, zesílena a odvysílána
  - Přijímač provede nad přijatým signálem rychlou Fourierovou transformaci ( $t \rightarrow f$ )
  - Demodulací jednotlivých frekvencí jsou získána data subkanálů, která jsou složena do výsledku



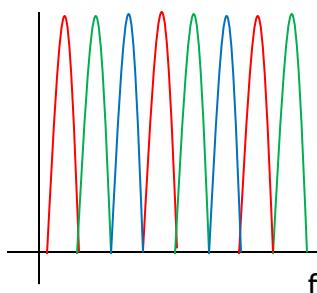
# SC-FDMA – v LTE uplink

## Single Carrier Frequency Division Multiplex Access

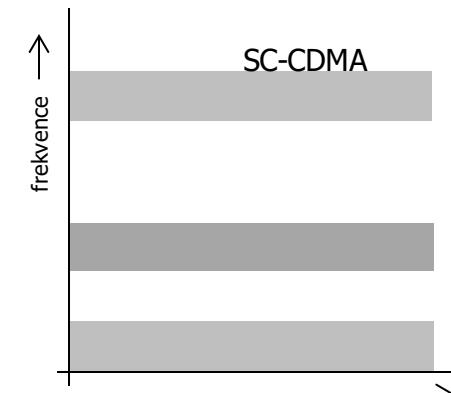
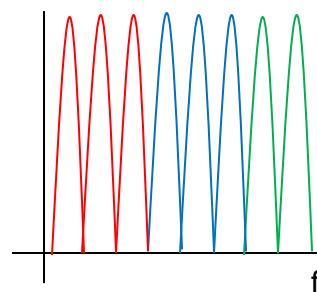
- Vylepšení metody OFDM – přináší snížení špičkových vysílacích výkonů, snížení spotřeby při vysílání, menší možnost rušení jiných kanálů – výhoda zejména pro MT
- Proti ODFM přidána rychlá Fourierova transformace nad paralelizovanými daty – vzniklá báze dat je MT použita pro modulaci jen na některé z nosných -> paralelně může vysílat až několik stovek MT, jejich signály se na přijímací anténě sečtou



- Přidělování nosných jednotlivým MT
  - Distribuovaný mód



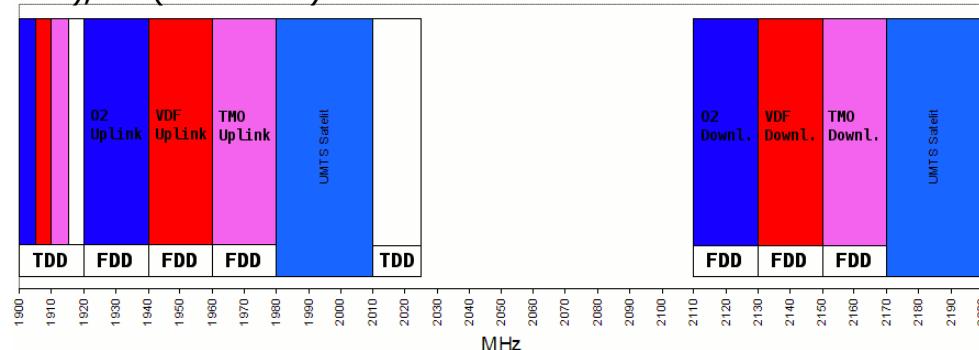
Lokalizovaný mód (v praxi lepší výsledky)



# Frekvenční příděl 3G v ČR

## Pásma 2100 MHz

- jediné používané 3G pásmo, každá 3G nosná (carrier) je široká 5 MHz párového spektra,
- všichni tři operátoři dnes používají pro LTE carrier o šířce 15 MHz - Vodafone (podzim 2014), T-Mobile (léto 2015), O2 (únor 2019)



	UARFCN	EARFCN
O2	10564	první celoplošná nosná
	10588	druhá kapacitní nosná, LTE 2100
	10613	třetí kapacitní nosná, LTE 2100
	10637	čtvrtá kapacitní nosná, LTE 2100
Vodafone	10663	LTE 2100
	10687	LTE 2100
	10712	LTE 2100
	10737	3G nosná makro i femtocelly
T-Mobile	10762	LTE 2100
	10787	LTE 2100
	10812	LTE 2100 na své sítě, druhá nosná v O2 části sdílené části sítě
	10836	3G první nosná

# Zajímavosti



Jítrava

# Zajímavosti

Senovážné nám, Praha



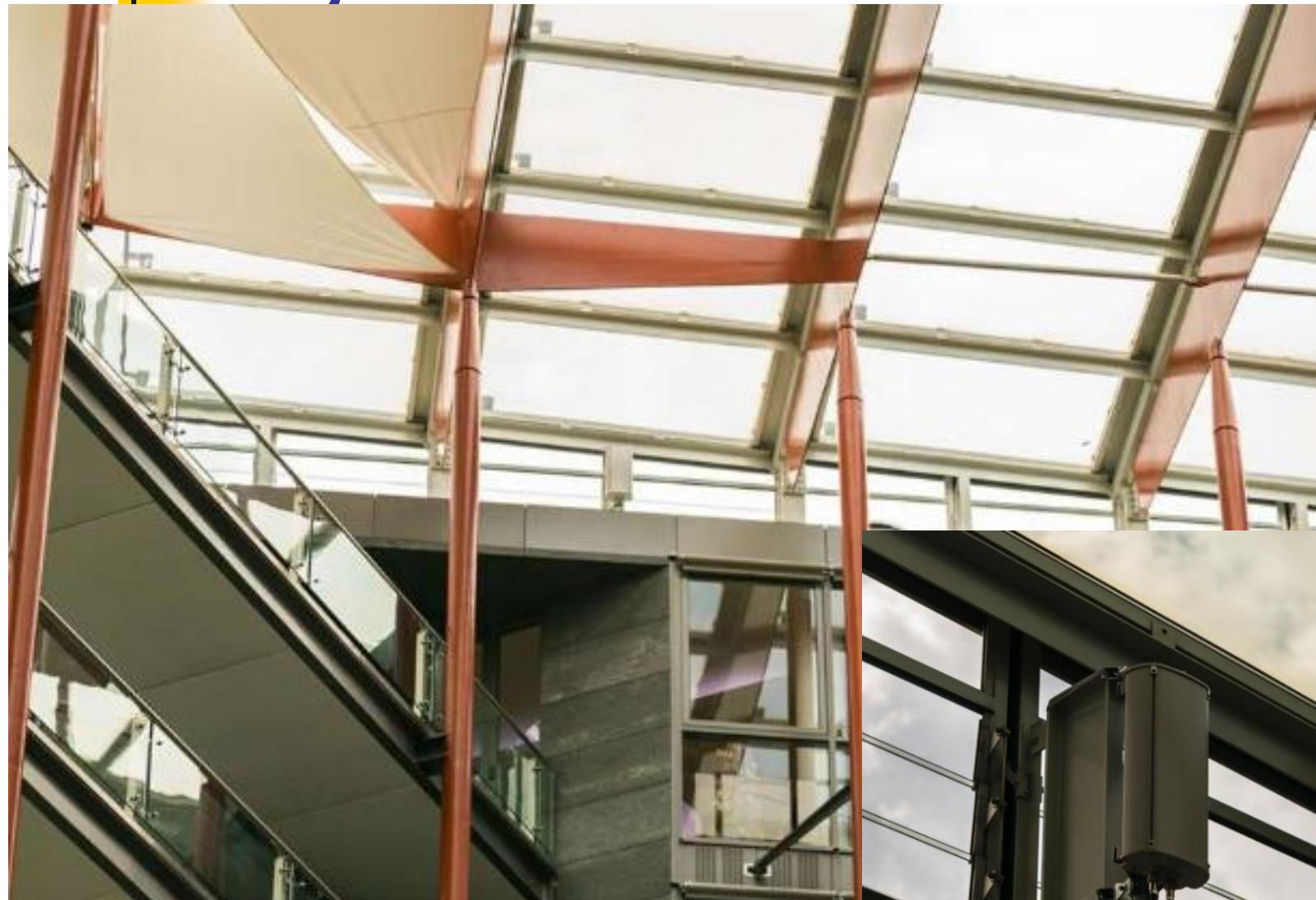
# Zajímavosti

Václavské nám., Praha

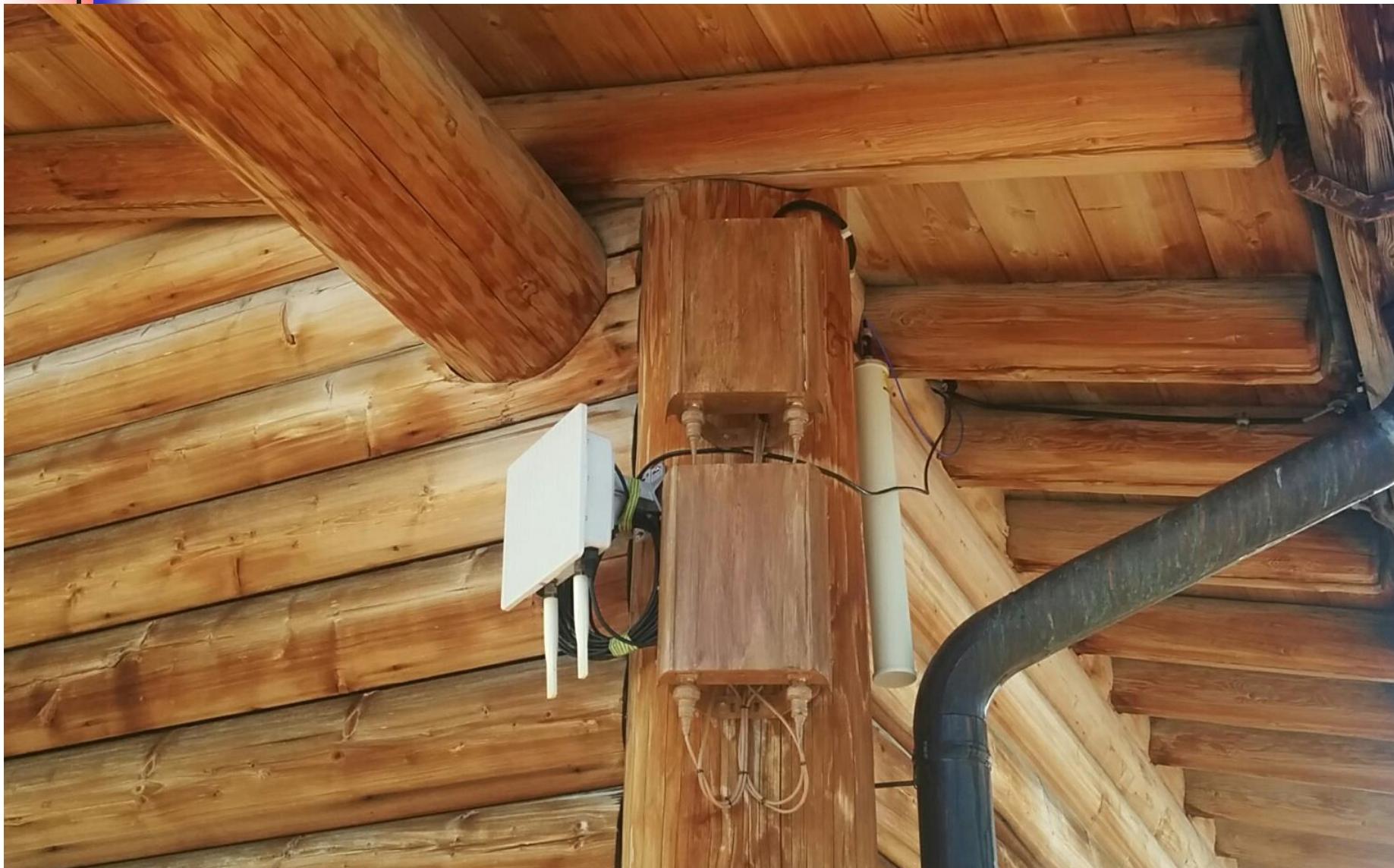


# Zajímavosti

Administrativní budova, Praha Karlín



# Zajímavost



# Zajímavosti

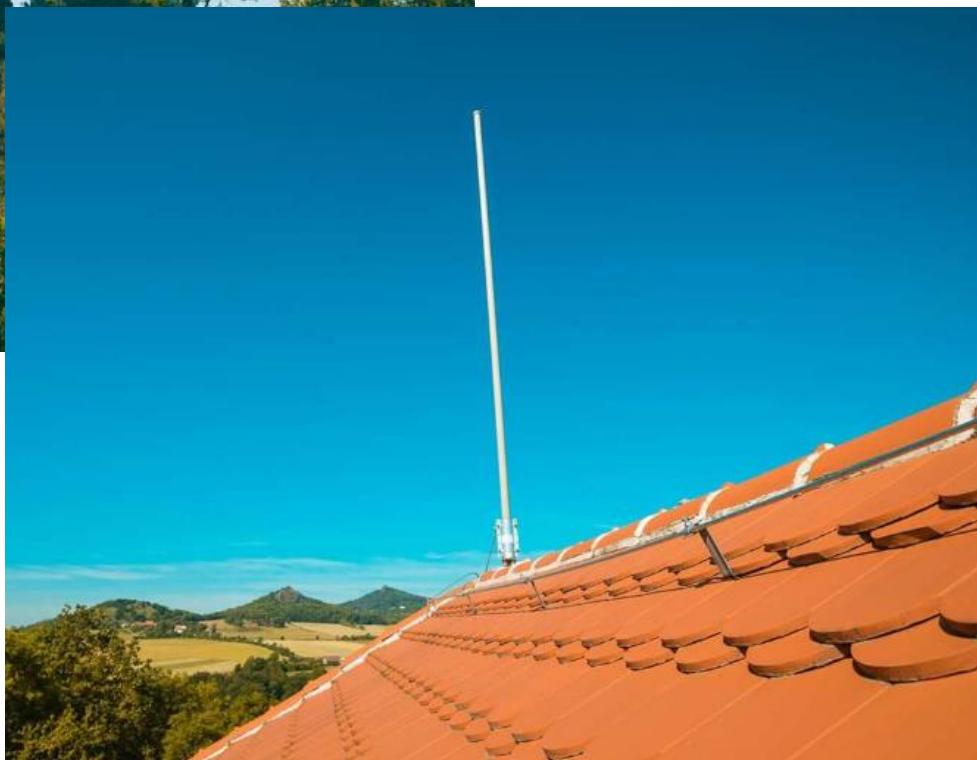


Zámek Skalka u Litoměřic

# Zajímavosti



Zámek Skalka u Litoměřic



# Zajímavosti

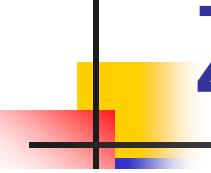
Perlová ulice, Praha



# Zajímavosti



Nemocnice Milosrdných  
sester sv. Karla  
Boromejského v Praze



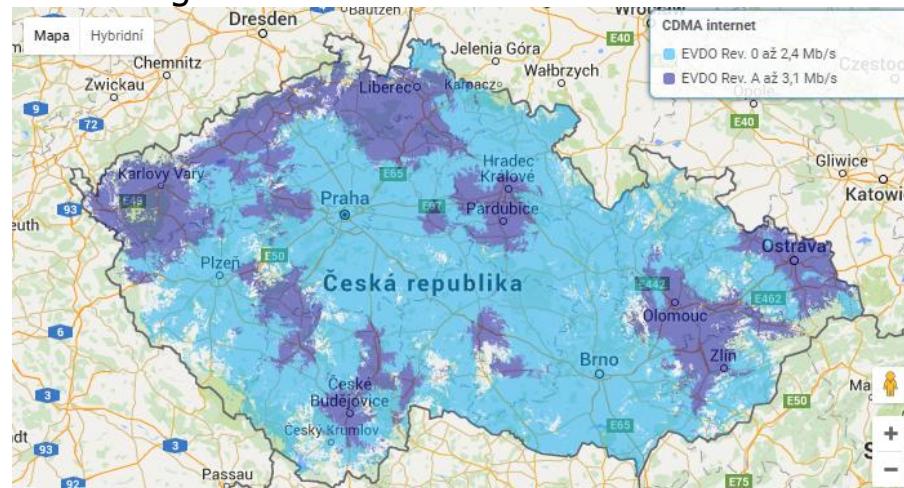
# Zajímavosti

Bystré u Janovic, F-M



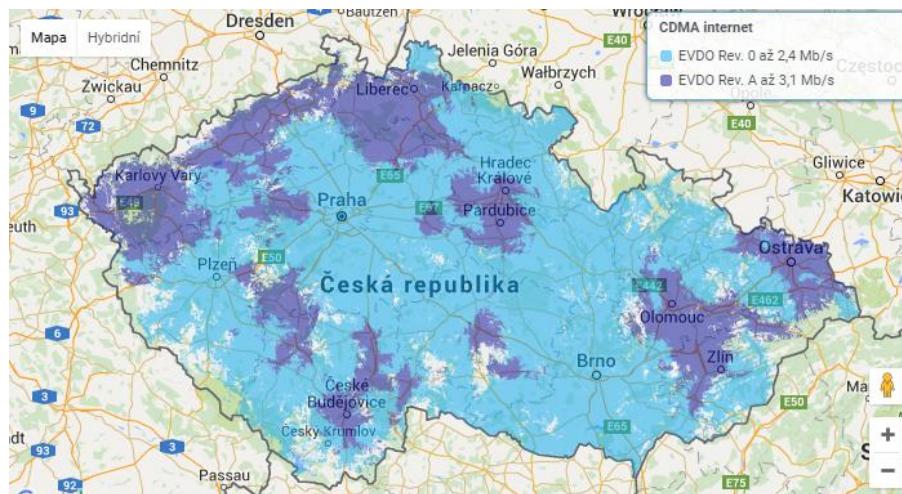
# CDMA2000

- Technologie prosazovaná zejména americkými firmami a operátory
- Jeden CDMA2000 kanál využívá šířku pásmo 1,25 MHz, teoretická přenosová kapacita je až 5 Mbitů/s.
- Jsou definovány postupné vývojové stupně:
  - 1xRTT (1 times Radio Transmission Technology – sdílení kanálu s IS95)
    - 1x EV-DO (EVolution-Data Optimized) – s oddělenými frekvencemi pro data a hlas
      - Rev. 0 2,4 Mbit/s
      - Rev. A 3,1 Mbit/s,
      - Rev. B předpokládá rychlosť 73,5 Mbit/s v down a 27 Mbit/s v uplinku sdružením 15 kanálů
    - 1x EV-DV – hlasové i datové služby na stejné frekvenci.
  - (3xRTT (3x) – pre 4G – UMB) – vývoj ukončen
- V ČR funguje od roku 2004 datová síť CDMA2000 1xEV-DO rev. 0, od 2007 rev. A u O2 (dříve Eurotel) v nestandardním frekvenčním pásmu 450 MHz, původně přidělené pro provoz mobilní sítě 1.generace - NMT.



# CDMA2000 v ČR

- Datová síť O2 CDMA2000 1xEV-DO rev. 0, od 2007 rev. A v nestandardním frekvenčním pásmu 450 MHz, původně přidělené pro provoz mobilní sítě 1.generace - NMT. (2004)



- Datová síť U:fon 1xEV-DO (Internet) a 1xRTT (hlasové služby), 410 až 430 MHz (2007, od 2017 Nordic Telecom)

# Další 3G technologie

- TD-SCDMA
  - Je do standardu 3G dodatečně „vpašovaná“ specifikace, vycházející z čínské varianty TDD-CDMA, doplněné o synchronizaci terminálů tak, aby nedocházelo ke kolizím při sdílení přenosového pásma v uplinku.
    - Chipová rychlosť 1,28 Mcps/s
    - Šířka pásma 1,6 MHz
- UWC-136
  - Je de facto pouze o jiné označení technologie EGPRS/EDGE, mezi standardy 3G se uvádí spíše z historických důvodů, protože „o prsa“ splnila původní požadavek 3G asociace na minimální rychlosť datového přenosu pro 3G sítě – 144kbitů/s.
- DECT
  - Standard pro bezdrátové telefonní přístroje v 3G specifikaci uváděn nikoliv jako způsob celoplošného pokrytí území signálem, ale protože se s ním počítá zejména pro vytváření telefonních přístupových bodů, integrovaných do „nadřazených“ 3G sítí.

# Sítě 4. generace

- Vznikají evolučním vývojem z
  - telekomunikačních systémů 3G
  - bezdrátových datových sítí
- Požadavky
  - Založeno na IP komunikaci
  - vysoká účinnost využití frekvenčního spektra –  $15 \text{ bit} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Hz}^{-1}$  v downlinku a  $6,75 \text{ bit} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Hz}^{-1}$  v uplinku
  - vysoká kapacita a variabilita sítě – šířka pásma 5-20 MHz, příp. 40 MHz
  - minimální komunikační rychlosť -100 Mb terminály, 1 Gbit/s ZS
  - min. 100 Mbitů mezi 2 terminály kdekoliv na světě
  - propojení sítí bez ohledu na technologii
  - snadná konektivita kdekoliv na světě
  - vysoká kvalita multimediálních služeb – real time audio, HDTV, mobile TV atd.
  - Interoperabilita

# Směry 4G

- Pre 4G
  - LTE (3GPP Long Term Evolution)
    - max 100 Mbit/s v downlinku, 50 Mbit/s v uplinku
  - WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)
    - IEEE 802.16e, 128 Mbit/s / 56 Mbit/s uplink v kanálu 20 MHz
  - 3GPP2 UMB (Ultra Mobile Broadband)
    - 1X EV-DO (EVolution-Data Optimized) Rev.C, v roce 2008 vývoj ukončen ve prospěch LTE
- Kandidáti 4G
  - LTE Advanced (3.9G)
  - WirelessMAN-Advanced
    - IEEE 802.16m, vychází z WiMAX

# 3GPP release

- Release 12
  - Březen 2015, LTE, LTE Cat-M (pro IoT)
- Release 13
  - Říjen 2015, LTE-Advanced Pro, NB-IoT
- Release 14
  - červen 2017, 4 band Carrier agregace



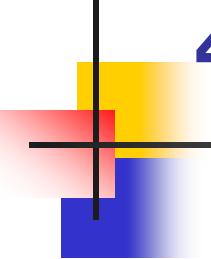
# Sítě 4. generace - frekvence

Pásma	Duplex	f	Uplink[A 2] (MHz)	Downlink[A 3] (MHz)	Šířka pásmá (MHz)		Pásma	Duplex	f	Uplink[A 2] (MHz)	Downlink[A 3] (MHz)	Šířka pásmá (MHz)
1 FDD			2100 1920 – 1980	2110 – 2170	5, 10, 15, 20		40 TDD			2300 2300 – 2400		5, 10, 15, 20
2 FDD			1900 1850 – 1910	1930 – 1990	1.4, 3, 5, 10, 15, 20		41 TDD			2500 2496 – 2690		5, 10, 15, 20
3 FDD			1800 1710 – 1785	1805 – 1880	1.4, 3, 5, 10, 15, 20		42 TDD			3500 3400 – 3600		5, 10, 15, 20
4 FDD			1700 1710 – 1755	2110 – 2155	1.4, 3, 5, 10, 15, 20		43 TDD			3700 3600 – 3800		5, 10, 15, 20
5 FDD			850 824 – 849	869 – 894	1.4, 3, 5, 10		44 TDD			700 703 – 803		3, 5, 10, 15, 20
7 FDD			2600 2500 – 2570	2620 – 2690	5, 10, 15, 20		45 TDD			1500 1447 – 1467		5, 10, 15, 20
8 FDD			900 880 – 915	925 – 960	1.4, 3, 5, 10		46 TDD			5200 5150 – 5925		10, 20
11 FDD			1500 1427.9 – 1447.9	1475.9 – 1495.9	5, 10		47 TDD			5900 5855 – 5925		10, 20
12 FDD			700 699 – 716	729 – 746	1.4, 3, 5, 10		48 TDD			3500 3550 – 3700		5, 10, 15, 20
13 FDD			700 777 – 787	746 – 756	5, 10		49 TDD			3500 3550 – 3700		10, 20
14 FDD			700 788 – 798	758 – 768	5, 10		50 TDD			1500 1432 – 1517		3, 5, 10, 15, 20
17 FDD			700 704 – 716	734 – 746	5, 10		51 TDD			1500 1427 – 1432		3, 5
18 FDD			850 815 – 830	860 – 875	5, 10, 15		52 TDD			3300 3300 – 3400		5, 10, 15, 20
19 FDD			850 830 – 845	875 – 890	5, 10, 15		53 TDD			2500 2483.5 – 2495		1.4, 3, 5, 10
20 FDD			800 832 – 862	791 – 821	5, 10, 15, 20		65 FDD			2100 1920 – 2010	2110 – 2200	5, 10, 15, 20
21 FDD			1500 1447.9 – 1462.9	1495.9 – 1510.9	5, 10, 15		66 FDD			1700 1710 – 1780	2110 – 2200[2]	1.4, 3, 5, 10, 15, 20
24 FDD			1600 1626.5 – 1660.5	1525 – 1559	5, 10		67 SDL			700 N/A	738 – 758	5, 10, 15, 20
25 FDD			1900 1850 – 1915	1930 – 1995	1.4, 3, 5, 10, 15, 20		68 FDD			700 698 – 728	753 – 783	5, 10, 15
26 FDD			850 814 – 849	859 – 894	1.4, 3, 5, 10, 15		69 SDL			2600 N/A	2570 – 2620	5, 10, 15, 20
28 FDD			700 703 – 748	758 – 803	3, 5, 10, 15, 20		70 FDD			1700 1695 – 1710	1995 – 2020	5, 10, 15
29 SDL			700 N/A	717 – 728	3, 5, 10		71 FDD			600 663 – 698	617 – 652	5, 10, 15, 20
30 FDD			2300 2305 – 2315	2350 – 2360	5, 10		72 FDD			450 451 – 456	461 – 466	1.4, 3, 5
31 FDD			450 452.5 – 457.5	462.5 – 467.5	1.4, 3, 5		73 FDD			450 450 – 455	460 – 465	1.4, 3, 5
32 SDL			1500 N/A	1452 – 1496	5, 10, 15, 20		74 FDD			1500 1427 – 1470	1475 – 1518	1.4, 3, 5, 10, 15, 20
34 TDD			2000 2010 – 2025		5, 10, 15		75 SDL			1500 N/A	1432 – 1517	5, 10, 15, 20
35 TDD			1900 1850 – 1910		1.4, 3, 5, 10, 15, 20		76 SDL			1500 N/A	1427 – 1432	5
36 TDD			1900 1930 – 1990		1.4, 3, 5, 10, 15, 20		85 FDD			700 698 – 716	728 – 746	5, 10
37 TDD			1900 1910 – 1930		5, 10, 15, 20		87 FDD			410 410 – 415	420 – 425	1.4, 3, 5
38 TDD			2600 2570 – 2620		5, 10, 15, 20		88 FDD			410 412 – 417	422 – 427	1.4, 3, 5
39 TDD			1900 1880 – 1920		5, 10, 15, 20							

FDD – frekvenční duplex

TDD – časový duplex

SDL – supplemental downlink



# 4G v ČR

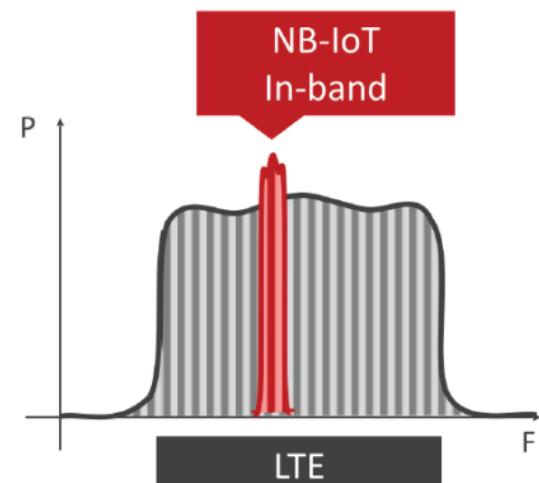
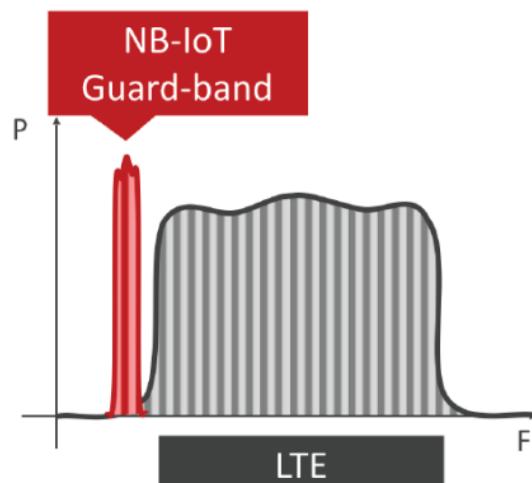
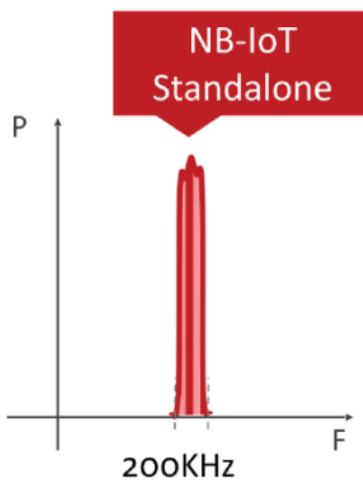
- Experimentálně od roku 2012 (TMo v Mladé Boleslavi)
- Budování od roku 2014
- Plné pokrytí 2021
- Předpokládal se vstupu 4. operátora
- V reálu přibylo pouze několik společností, poskytujících Internet (CentroNet, PODA, Nordic Telecom)

# 4G v ČR - NB-IoT

- NB-IoT (Narrow Band Internet of Things)
- Definován v LTE Release-13 jako nástupce LTE Cat-M v Release-12
- Cílem bylo splnit požadavky LPWA (Low Power Wide Area) sítí
- pracuje v úzkém pásmu 180 - 200 kHz („Narrow“)
- Požadavky:
  - Nízká cena modulů, menší než 5\$.
  - Rozšířené pokrytí +20 dB oproti GPRS i LTE-A.
  - Podpora až 50 tisíc zařízení na jednu buňku.
  - Počítá až se 40 zařízeními pro jednu domácnost.
  - Latence v uplinku má být menší než 10 sekund.
  - Má umožnit životnost baterií více 10 let (v případě 5 Wh baterie)
- Záměrem využití technologie je především docílit s nízkými náklady robustní pokrytí vnitřních prostor budov a dlouhou výdrž baterie terminálů pro častý přenos malých objemů dat.

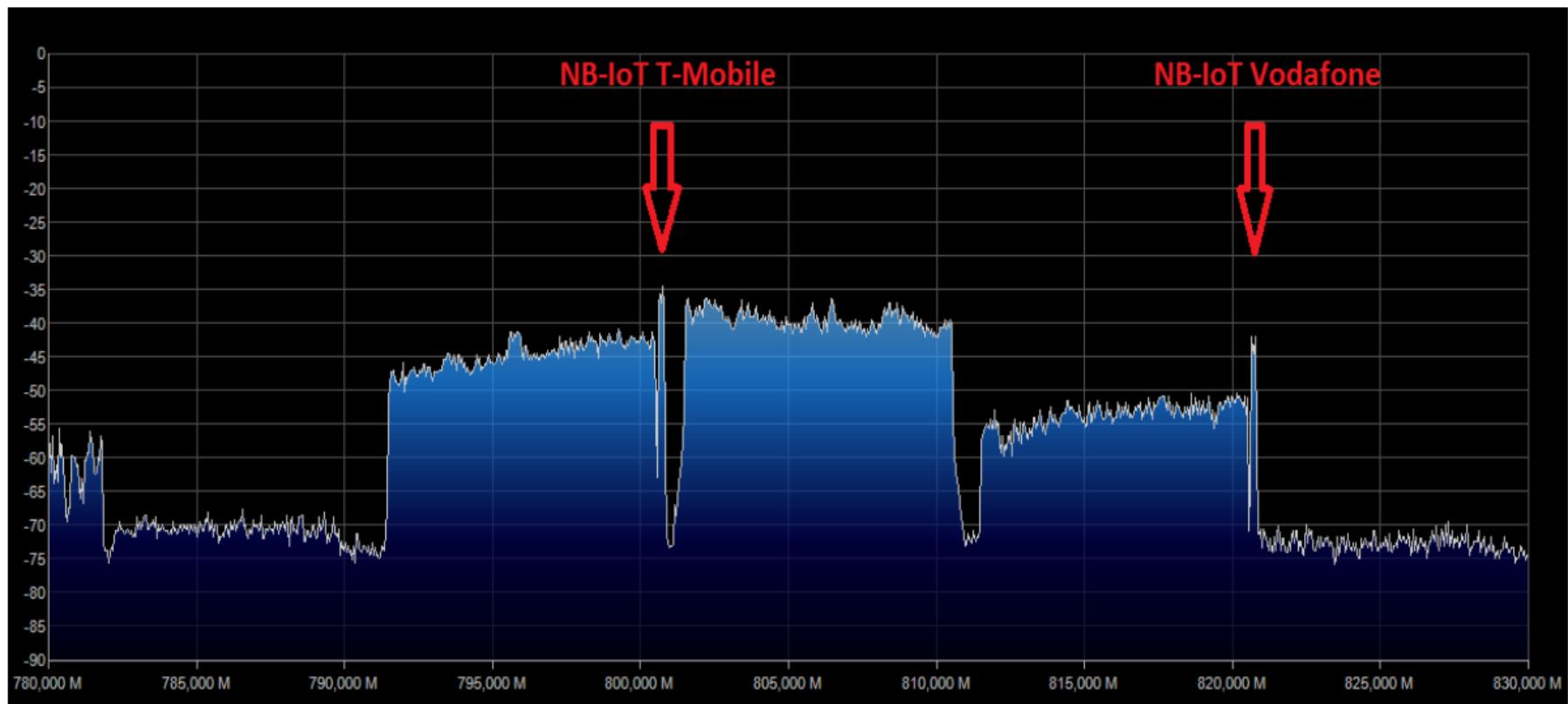
# 4G v ČR - NB-IoT

- Jeden LTE resource je blok dělitelný na:
  - 12 subpásem po 15 kHz
  - 48 subpásem po 3,75 kHz
- Výkon NB-IoT  $\geq +6$  dB ve srovnání s LTE RB
- 3 možnosti provozu:



# 4G v ČR - NB-IoT

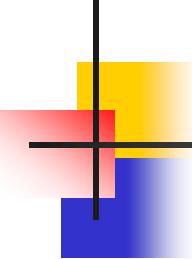
- O2 a Vodafone 2017
- T-Mobile 2018 – roaming v rámci sítí Deutsche Telekom (DE, SK, HR, USA, HU,...)
- Vodafone 2022 předplacená SIM karta s 1 GB dat a 250 SMS na 10 let
- Reálná data z LTE pásmu 800 MHz



# 4G v ČR - NB-IoT

## ■ Porovnání s LTE Cat-M (Rel.12)

Parametr	NB-IoT	eMTC (LTE Cat M1)
Kmitočtové umístění	Uvnitř LTE kanálu, v ochranném pásmu LTE, 3G kanálu, samostatně	Uvnitř LTE kanálu
Maximální ztráty šířením	164 dB	155,7 dB
Downlink	OFDMA, nosné po 15 kHz, TBCC, 1 Rx	OFDMA, nosné po 15 kHz, turbo kódy, 16QAM, 1 Rx
Uplink	SC-FDMA, Nosné po 15 kHz a 3,75 kHz, Turbo kódy	SC-FDMA, nosné po 15 kHz, turbo kódy, 16QAM
Šířka kanálu	180 kHz	1,08 MHz
Špičkové datové toky (DL/UL)	DL: 250 kbit/s UL: 250 kbit/s více nosných, 20 kbit/s - jedna nosná	1 Mbit/s DL i UL
Duplexování	Half duplex, FDD	Full a Half duplex, FDD i TDD
Úspora energie	PSM, ext. I-DRX, C-DRX	PSM, ext. I-DRX, C-DRX
Výkonová třída (max. výkony)	23 dBm, 20 dBm	23 dBm



# 4G v ČR - NB-IoT

## Kde se NB-IoT dá použít

- Osobní použití: chytré obleky, chytré kola, sledování dětí a seniorů, a podobně
- Veřejné použití: chytré měření (např. spotřeba elektřiny, vody, plynu), detektory alarmů a událostí, chytré odpadkové koše, řízení přístupů
- IoT spotřebiče: ledničky, pračky, trouby, chytré teplotní senzory
- Průmyslové použití: sledování přesunů, nákladů, senzory, chytré zemědělství
- Chytré města – parkování, pouliční osvětlení, měření znečištění.

# 4G v ČR

Reálně provozovaná v pásmech:  
<https://spektrum.ctu.cz/>

Pásma (Band)	Frekvence (MHz)	Poznámka
1	2100	3G, s technologií <u>Huawei SingleRAN</u> jej <u>Vodafone</u> a <u>T-Mobile</u> využívají i pro LTE, protože umožňuje vysílat 3G i LTE z jednoho <u>transceiveru</u> . Tuto výhodu využil jako první v ČR ve městech Vodafone, TMo, O2, VDF po 20 MHz
3	1800	3G i LTE, určeno do míst s vysokými datovými nároky jako obchodní centra, knihovny a jiné veřejné prostory. Používá se především ve velkých městech. TMo, VDF po 20 MHz, O2 35 MHz
7	2600	Na většině míst se nepoužívá samostatně, ale pouze jako doplněk k 800/1800/2100 pro fungování <u>LTE Advanced</u> . Uplatnění nachází také v pohraničí. TMo 30 MHz, O2, VDF po 20 MHz
8	900	Primárně je využíváno pro 2G. <u>Vodafone</u> toto pásmo používal k pokrytí mimo velká města (5 MHz). Z pásmo většinou přechází na 800 MHz, kvůli nařízení <u>ČTÚ</u> .
20	800	Pokrývá většinu území republiky, bylo přiděleno LTE po uvolnění frekvencí při přechodu na <u>digitální televizní vysílání</u> (původní televizní kanály 61-69). TMo, O2, VDF po 30 MHz
38	2600	Určeno pro LTE TDD – přiděleno jen TMo a O2

# Sítě 5. generace

## Evoluce LTE sítí

- Pouze SW upgrade ZS LTE
  - 2008 – Jižní Korea – výzkumný program
  - 2012 – Evropská komise – dotace na výzkum
  - 2015 – testy firem Ericsson a Huawei v NL
  - 2018 - první velká komerční síť (Ooredoo v Kataru)
  - 2019 - první 5G NR telefony
- 
- Požadavky
    - zvýšení účinnosti využití frekvenčního spektra proti 4G,
    - snížení latence,
    - zlepšení řízení sítě,
    - podpora komunikace na velmi malé vzdálenosti – ZS přímo v kancelářích,
    - tím i snížení spotřeby terminálů (malé vysílací výkony),
    - podpora zařízení IoT s extrémně nízkou spotřebou a malými datovými toky,
    - využití pásm pod 4 GHz s využitím Dynamic Spectrum Access – trvalý monitoring stavu prostředí -> dynamická změna kódování, kanálů a šířky pásm, multiuživatelská MIMO (data k uživateli proudí paralelně z několika ZS),
    - využití milimetrových vln v pásmu 10 – 60 GHz – komunikační rychlosti až kolem 10 Gb/s.



# 5G NR 3GPP Release

- Release 15
  - Přelom 2017/2018, 5G specifikace fáze 1
- Release 16
  - Červen 2020, 5G fáze 2
    - Multimedia Priority Service, Vehicle-to-everything (V2X) application layer services, 5G satellite access, Local Area Network support in 5G, wireless and wireline convergence for 5G, terminal positioning and location
- Release 17
  - 3Q 2022, Industrial IoT
- Release 18
  - 2024?



# Sítě 5. generace

## 5G NR (5th Generation New Radio)

- Frequency Range 1 (FR1) 410 až 7125 MHz (vlnové délky 42-732 mm),
- Frequency Range 2 (FR2) 24250–52600 MHz (5,7-12,5 mm).
- Režimy nasazení:
  - Nesamostatný režim (*NSA - Non-Standalone*) - řídicí funkci řeší existující 4G LTE síť, 5G NR výhradně v uživatelské rovině. Cílem je zrychlení nástupu 5G.
  - Dynamické sdílení spektra (*DSS - Dynamic Spectrum Sharing*) - 5G NR sdílí spektrum dynamicky s 4G s časovým multiplexem. Pro řízení se používá síť 4G LTE, přepínání podle poptávky uživatelů. Zařízení 4G LTE kompatibilní s 5G NR mohou používat DSS.
  - Samostatný režim (*SA - Standalone*) - pro signalizaci i přenos informací jsou používány 5G buňky s novou architekturou 5G Packet Core bez nutnosti mít síť LTE - nižší cena, lepší efektivita.



# Sítě 5. generace



## 5G NR v ČR

- koncem roku 2019 experimentální kmitočty pro spuštění sítí 5G - Plzeň, Karlovy Vary, Bílina, Ústí nad Labem a Jeseník.
- 11. 2020 aukce kmitočtů 700 MHz (2. Digitální dividenda), 3,4 až 3,6 GHz (podpora Průmyslu 4.0)
- Vydražily O2, VDF, TMo, CentroNet, Nordic Telecom - 5,596 miliardy korun, 4. operátor se nepřihlásil

Frekvence (MHz)	Poznámka
700	Přiděleno po uvolnění frekvencí při přechodu na DVB-T2, TMo, O2, VDF po 10 MHz
3500	Přiděleno TMo 60 MHz, Vodafone 60 MHz, CentroNet 80 MHz
3700	Určeno pro nepohyblivé internetové připojení – O2 60 MHz, PODA 40 MHz (leden 2023 prodáno Vodafonu), Nordic Telecom 100 MHz

# Sítě 5. generace



## 5G NR v ČR

- Provoz ještě před aukcí kmitočtů 5G na frekvencích 4G
- O2 – 7. 2020 (Praha, Kolín)
- Vodafone – 10. 2020 (Karlovy Vary, Ústí nad Labem, Jeseník), aktuálně největší plošné pokrytí
- TMo – 11. 2020
- Metro kompletně 4. 2022

	<b>Band</b>	<b>Frekvence</b>	<b>Šířka kanálu</b>	
T-Mobile	700 (n28)	772.85 MHz	10 MHz	NSA
Vodafone	700 (n28)	780.15 MHz	10 MHz	NSA
O2 (Morava)	1800 (n3)	1813.35 MHz	10 MHz	NSA
T-Mobile (metro)	1800 (n3)	1837.32 MHz	20 MHz	NSA, DSS
Vodafone (metro)	1800 (n3)	1864.32 MHz	20 MHz	NSA, DSS
O2 (metro)	2100 (n1)	2122.85 MHz	15 MHz	NSA
Vodafone	2100 (n1)	2136.85 MHz	20 MHz	NSA, DSS
T-Mobile	2100 (n1)	2154.42 MHz	20 MHz	NSA, DSS
T-Mobile	3500 (n78)	3491.04 MHz	60 MHz	NSA
Vodafone	3500 (n78)	3560.16 MHz	40 MHz	NSA
O2	3700 (n77)	3669.60 MHz	40 MHz	NSA

# Sítě 5. generace

- Při použití vysokých frekvencí nutné umístit ZS „kamkoliv“, třeba do kanálu, veřejného osvětlení atd.



# Sítě 5. generace - kontroverze

## STOP5G.cz

Zastavme 5G na Zemi a ve Vesmíru



Tvarovač paprsků v 4G enodeB LTE a 5G gnodeB NR – 5G Veřejné osvětlení – Zaměření na pohybující se nebo stacionární cíle – Konfigurace výkonu – Časovaná hromadná zbraň



HLEDÁNÍ

Federal Aviation  
Administration

Home

## 5G and Aviation Safety

The FAA is working to ensure that radio signals from newly activated wireless telecommunications systems can coexist safely with flight operations in the United States, with input from the aviation sector and telecommunications industry.

*Check here for information and updates as this work continues.*

### The Safety Issue

Safety is our mission, and it guides all of our decisions. In the United States, 5G services launched in [46 markets](#) on January 19, using frequencies in a radio spectrum called the C-band. These frequencies can be close to those used by radio altimeters, an important piece of safety equipment in aircraft. To make sure that this does not lead to hazardous interference, the FAA requires that radio altimeters are accurate and reliable.

### Disruption Risk to Aviation from 5G

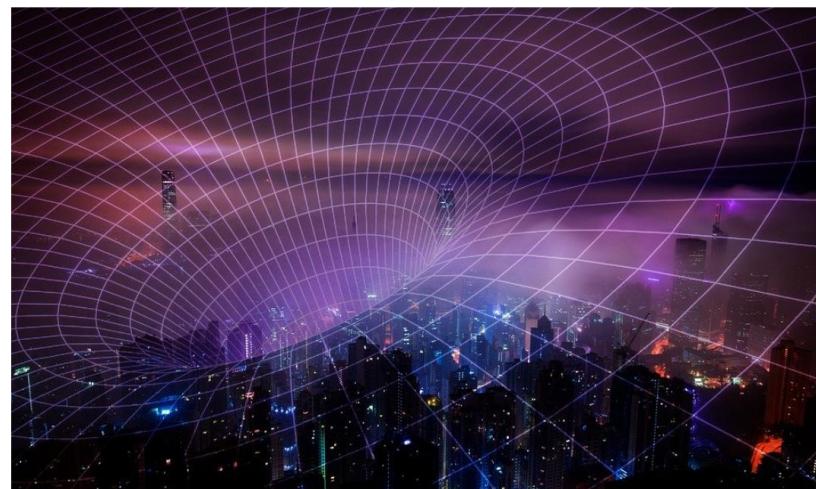
Because the proposed 5G deployment involves a new combination of power levels, frequencies, proximity to flight operations, and other factors, the FAA must impose restrictions on flight operations using certain types of radio altimeter equipment close to antennas in 5G networks.

These safety restrictions could affect flight schedules and operations. The FAA continues to work every day to reduce effects of this disruption as we make progress to safely integrate 5G and aviation.

BEZPEČNOST DOPRAVA

Problémy s 5G v USA. Operátoři odkládají spuštění sítě u některých letišť kvůli ohrožení provozu

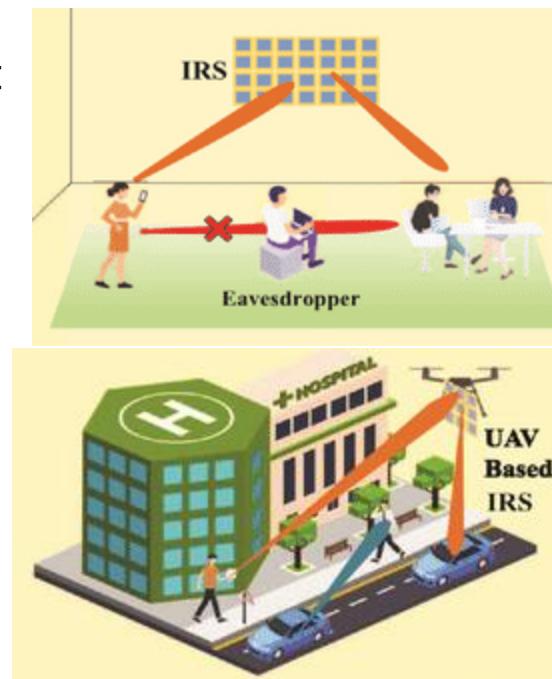
19.1.2022

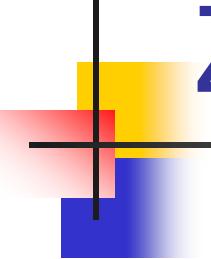


# Sítě 6. generace



- 2030?
- Využití v chytré senzorice - až 100 zařízení/m<sup>3</sup>
- Vyšší prostorová přesnost - uvnitř 10 cm, venku 1 m
- Vyšší frekvenční pásma - THz
- Beamforming - směřování signálu přímo na terminál, využití mnoha antén
- Šíření signálu přes inteligentní odrazné plochy (IRS - Intelligent Reconfigurable Surfaces)
- Distribuované MIMO
- Bezbuňková struktura
- Integrace satelitních a pozemních sítí
- Vysoká energetická účinnost (baterie až 20 let)
- Latence 0,1 ms
- Rychlosť 100 Gbps/1 Tbps





# Základnové stanice

2. generace (GSM) - BTS (Base Transceiver Station),
3. generace (3G) - Node B
4. generace (4G) - eNodeB/eNB (Evolved Node B)
5. generace (5G) - gNodeB/gNB (Next Generation Node B)
6. generace (6G) - ?

# Globální navigační satelitní systémy – náhradní tělesa

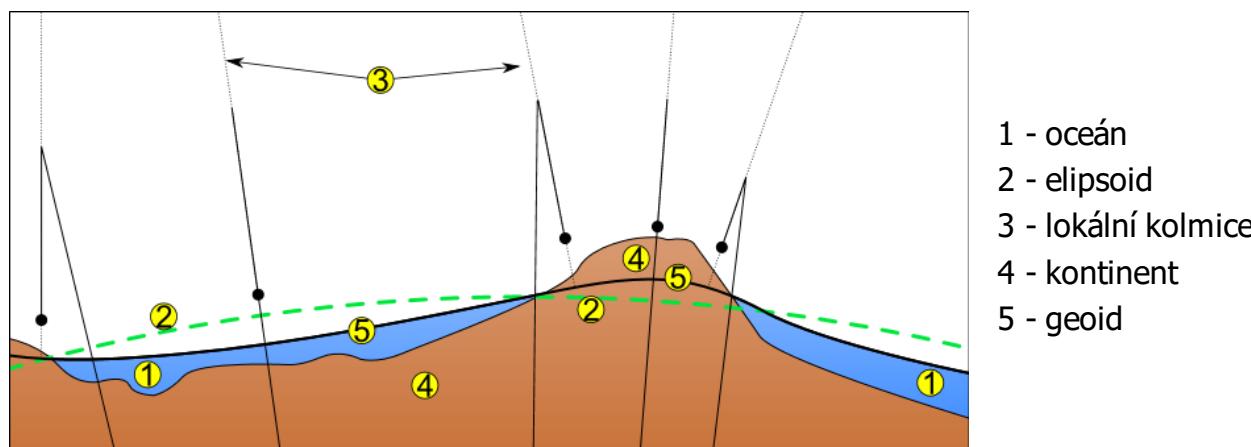
Tvar Země – koule, zploštělá na pólech, náhradní tělesa:

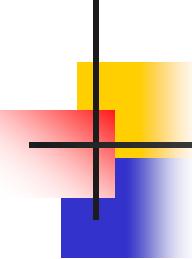
Rotační elipsoid – rotace elipsy s parametry a (hlavní poloosa) a f (zploštění) kolem zemské osy

Koule – používá se pouze pro approximaci menšího území

Geoid – definován plochami se stejnou úrovní tíhového potenciálu, na které je vektor tíhového zrychlení kolmý – vůči rotačnímu elipsoidu až 100 m rozdíl – nelze matematicky popsát

Kvazigeoid – tvořen náhradními geometrickými plochami, matematicky popsatelnými – Moloděnskij 1945





# Globální navigační satelitní systémy – souřadné systémy

S-JTSK – systém jednotné trigonometrické sítě katastrální – v ČR a SK, Bessel 1841

Bpv – Balt po vyrovnání – 0 v Kronštadtu, kvazigeoid

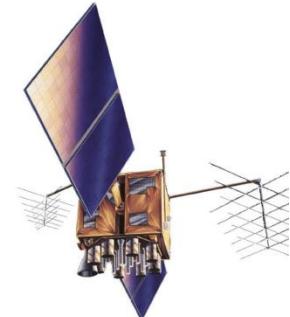
WGS84 – World Geodetic System – vojenský geocentrický (v těžišti Z.)  
prostorový systém – elipsoidický

ITRS – International Terrestrial Reference Frame - celosvětový prostorový –  
elipsoidický

ETRS – evropský prostorový, svázáný s euroasijskou deskou

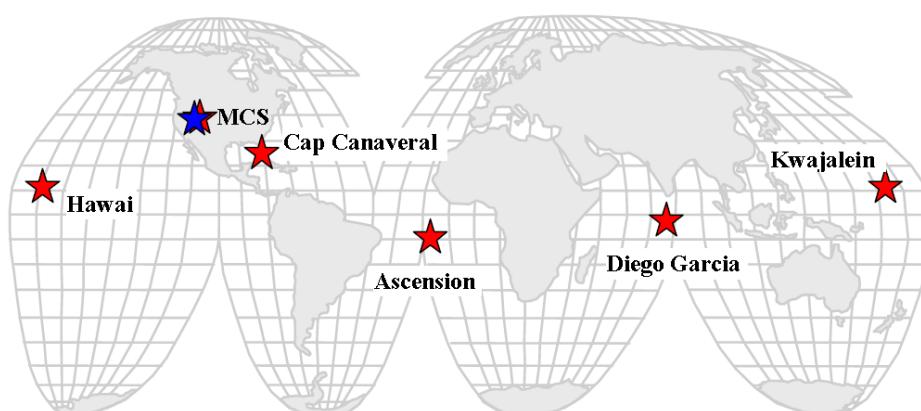
UTM - rovinný

# Globální navační satelitní systémy – GNSS



## Obecná struktura GNSS:

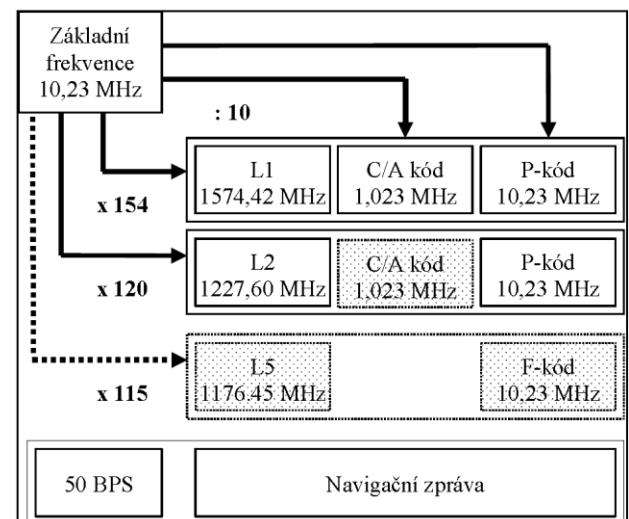
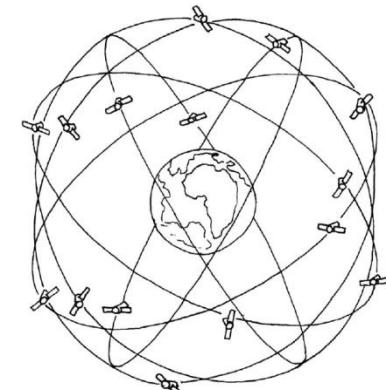
- Kosmický segment
  - Jednotlivé družice, výška cca 20 000 km, téměř kruhové dráhy, přijímač, vysílač, atomové hodiny, solární články, korekční motory
- Řídicí segment
  - Vytváří a udržuje systémový čas, kontroluje družice, vypočítává a korekce jejich času a dráhy, provádí manévry satelitů
- Uživatelský segment
  - Uživatelské terminály

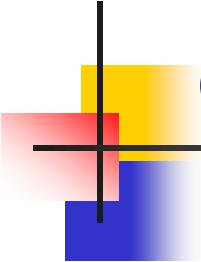


# GNSS - GPS

GPS (Global Positioning System) nebo NAVSTAR (Navigation System using Time a Ranging) – USA

- vojenský, po 1.9.1983 (sestřelení KAL 007) R. Reagan povolil užití civilní,
- 1. družice 1989, 24. 1994, provoz 17. 7. 1995
- operační stav 24 družic na 6 drahách po 4, výška 20200 km, v současnosti 32 družic
- 1.5.2000 zrušena přídavná chyba cca 45 m v C/A kódu pro civilní přijímače
- frekvence L1 (1575,42 MHz), L2 (1227,60 MHz) – všechny družice na stejně frekvenci, liší se kódem
- L3 (1381,05 MHz) monitoring balistických raket, jaderných výbuchů
- L4 (1841,40 MHz) měření ionosferické refrakce pro získání korekcí – dostupné jen pro autoriz.
- L5 (1176,45 MHz) civilní Safety-of-life (SoL) signál – vyhrazená frekvence -> bez rušení, možno použít pro kritické civilní použití
- navigační zpráva – modulovaná na nosnou, rychlosť 50 bit/s, 25 rámců, každý 5 podrámců, podrámc o 30 slovech po 30 bitech (24 datových + 6 paritních) = 300 bitů = 6 sek, rámec 30 sek -> celá zpráva trvá 12,5 minuty
- P/Y kód – každá družice vysílá svou „týdenní“ část, kód „dlouhý“ 266 dní při 10,23 Mbit/s – L1 a L2, max.přesnost určení cca 30 cm – autorizované přijímače, Y=sifrovaný P
- C/A kód – 1023 bitů (každá stanice vlastní komb.) rychlosť 1,023 Mbit/s (opakování každou 1 ms) – L1 (L2 v bud.) - max. přesnost určení cca 3 m – neautorizované - civilní přijímače
- v případě výpadku řídicího segmentu komunikují družice mezi sebou na UHF, min.6 měsíců





## GNSS - GPS

GPS používá čas *Universal Time Coordinated* ve variantě U.S. Naval Observatory - UTC (USNO) - bez kompenzace přestupnou sekundou

UTC a UTC (USNO) na rozdíl od *Greenwich Mean Time* (GMT) vycházejí z času atom.hodin, takže díky zpomalování rotace země proti GMT zrychlují

Aktuální rozdíl UTC (USNO) proti GMT je cca 19 sekund, je SW kompenzovaný v přijímačích.

„základní“ UTC je kompenzován přestupnou sekundou jednou za rok až rok a půl (30.6. nebo 31.12.) zařazením 61. sekundy (23.59:60)

# GNSS - GLONASS

GLONASS (Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja systěma) - Rusko

- vojenský, vyvíjen od 1976, první družice 12.10.1982
- od 18. května 2007 bezplatné civilní využití
- operační stav 24 družic na 3 drahách po 8 (v letech 1996-2001 zanedbáváno)
- výška oběhu 19100 km
- FDMA – všechny družice vysílají stejnou sekvenci na odlišné frekvenci –  $1602+0,5625*n$  MHz (L1) a  $1246+0,4375*n$  MHz (L2), kde n <-7,-6,...5,6>
- používá vztažný systém PZ90 (elipsoid s poloosami přibližně 6 378 a 6 356 km)
- L1 – autorizovaný High Positioning (HP) + Standard Positioning (SP)
- L2 – autorizovaný High Positioning (HP), u nových družic i SP
- L3 - plánovaná třetí frekvence s HP a SP kódem, pouze u nejnovějších družic
- L5 - plánován signál typu Safety of Life , pouze u nejnovějších družic
- L1 - civilní signál CDMA pro interoperabilitu s jinými GNSS , pouze u nejnovějších družic
- SP je vysílán rychlosťí 0,511 MHz s délkou kódu 511 bitů, HP rychlosťí 5,11 MHz s délkou kódu  $5,11 \times 10^6$  bitů
- navigační zpráva 5 rámců o 15 slovech po 100 bitech, rychlosť 50 bps, celková délka 7500 bitů -> celkem 2,5 minuty
- stávající využití – geodetické, pro civilní využití problematická konstrukce přijímače (FDMA)
- problémy s životností družic, dlouhé doby výpadků

# GNSS - GALILEO



čistě civilní, od 1999, původně 2/3 ze soukromých prostředků, následně z veřejných, od počátku nevůle ze strany USA – údajný terorizmus, vojenské použití, administrativní sídlo v pražských Holešovicích, pozemní operační střediska Fucino (I) a Oberpfaffenhofen (D), 28.12.2005 a 27.4. 2008 2 testovací družice, 21.10.2011 2 provozní, 12.10.2012 další 2, jedna z nich pojmenovaná podle Davida Markarjance z Hr.Králové (vítěz výtv.soutěže), 12.3.2013 první zaměření cíle na zemském povrchu s přesností 10-15 m, 22.8.2014 nepovedený start 2 družic na ruském nosiči – chybná dráha -> další starty pozastaveny, prosinec 2016 spuštěn testovací provoz s 10 družicemi, 2019 provozní režim, 2021 plný provoz s 24 družicemi, Cílový operační stav 27+3 družic na 3 drahách po 9+1 náhradní, výška oběhu 23222 km, sklon 56°, 3 roviny po 120°, vždy 9+1 náhradní, kompatibilní s GPS i GLONASS.

## Služby

- Open Service (OS) přesnost 4 m horizontálně, 8 m vertikálně
- Commercial Service (CS) zpoplatněná, vyšší přesnost
- Safety of Life Service (SOL) – pro ŘLP
- Search and Rescue (SAR) možnosti oboustranné komunikace – od 2018 povinná výbava nových automobilů
- Public Regulated Service (PRS) s kontrolovaným přístupem pro bezpečnostní složky

# GNSS - ostatní

## BeiDou 1 – Čína

- 2000 – 3+1 experimentální geostacionární družice, pokrytí Číny, uživatel musel požádat o určení polohy, od 2012 funguje i pasivně (přijímač sám zjistí polohu)

## BeiDou 2 (Compass) – Čína

- od roku 2012 – 3 družice na polárních drahách, 7 geostacionárních, 5 na geosynchronní dráze (družice se vrací na jedno místo vždy ve stejný čas jednou denně), pokrytí zejména JV Asie,

## BeiDou 3 – Čína

- testování od roku 2015, nasazení 2020, provozní stav 27 družic na polárních drahách, 5 otevřených a 5 autorizovaných kanálů, některé kanály kompatibilní s GPS, Galileem a GLONASSem.

## IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System) – Indie

- 3 geostacionární a 2+2 obíhající ve výšce 24 000 km na geosynchronní dráze

## QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) – Japonsko

- původně 3, dnes 4

# GNSS

☰ POLO... ≡ ≡ 🔗 🌜

📍 Z. šířka: 49,8493247° Čas: 10:54:04  
Z. délka: 23,3520317° TTFF: 0 sec  
Výška (G): 10750,4 m Přesn. (H/V): 6,0/3,6 m  
Výška (M): 10713,2 m Satelity: 17/29/29  
Rychlosť: 881,7 km/h Poloha (S): 332,4°  
Přesn. (R): 2,1 km/h Přesn. (S): 10,0°  
PDOP: 1,5 H/V DOP: 1,1/1,1

ID	GNSS	CF	C/N0	Stav	Elev	Azim
3		L1	29,9	AEU	11°	138°
4		L1	36,0	AEU	37°	80°
9		L1	30,0	AEU	76°	61°
16		L1	30,4	AEU	25°	60°
26		L5	26,3	AEU	10°	32°
26		L1	28,1	AEU	10°	32°
2		L1	22,3	AE	31°	286°
4		L5	24,2	AE	37°	80°
6		L1	20,7	AE	32°	233°
7		L1	22,6	AE	59°	193°
3		L1	35,8	AEU	10°	108°
4		L1	31,4	AEU	58°	86°
5		L1	28,4	AEU	57°	319°
14		L1	32,1	AEU	60°	89°
21		L1	26,0	AEU	22°	321°
13		L1	19,7	AE	22°	31°
15		L1	22,9	AE	35°	169°
24		E1	30,5	AEU	35°	61°
25		E1	32,9	AEU	38°	130°
3		E1	21,0	AE	84°	1°
5		E1	37,8	AE	35°	93°
8		E1	14,2	AE	34°	283°
13		E1	16,5	AE	28°	292°
15		E1	19,1	AE	21°	236°
194		L1	23,9	AE	8°	43°
7		B1C	31,1	AEU	27°	70°
9		B1C	28,4	AEU	20°	74°
10		B1C	34,4	AEU	30°	96°

# GNSS - obecné

## Navigační zprávy

- Změna několikrát týdně
- Parametry dráhy družice
- Čas počátku vysílání zprávy
- Efemeridy družice – předpokládaná dráha družice
- Parametry ostatních družic
- Korekce hodin družice
- Koeficienty ionosférického modelu – každá frekvence má jiné zpoždění
- Stav družice – zdravá/nezdravá (u GPS každého  $\frac{1}{2}$  roku „dopumpování“ plynu do cesiových hodin cca 18 h odstávka)

## Princip určení polohy

- Kódové měření – časová diference hodin přijímače a satelitu vynásobená rychlosťí světla = „pseudovzdálenost“, v případě GPS C/A je rychlosť změny 1,023 MHz = „délka“ bitu 300 m, při přesnosti měření 1 % rozlišení 3 m, u P/Y nosná frekvence 10,23 MHz = „délka“ bitu 30 m -> rozlišení 18 cm. Jednotlivé bity jsou generovány pseudonáhodnou sekvencí (Pseudo Random Noise – kód P/Y a C/A) multiplikací s datovou zprávou. Přijímač musí kód znát dopředu, jinak zprávu ani zpoždění nezíská.
- Fázové měření – vychází z vzájemného měření nosných vln L1 (19 cm) a L2 (24 cm) -> při přesnosti 1 % až milimetry, není však možné stanovit čas odeslání, takže víme pouze diferenci vln, nikoliv násobky -> nejednoznačnost, nutno složitě doložitávat
- Dopplerovské měření – vyhodnocuje se posun nosné frekvence -> dá se vypočítat rel. rychlosť družice a přijímače.

## Absolutní poloha

- Ze známých druh dráh družic (efemerid), korekcí jejich hodin je při dlouhodobém záznamu (>12 h) možné zpětně vypočítat přesnou polohu v řádu cm, přesná informace o poloze a korekce hodin je k dispozici se zpožděním:
- Efemeridy - přímo z družice cca 2 m, ultra-rapid predikce on-line cca 10 cm, ultra-rapid výpočet po 3 h <5 cm, rapid <5 cm po 17 hodinách, precise 2 cm po cca 13 dnech.

# GNSS - obecné

## Relativní poloha

- Porovnání dat ze 2 bodů – 2 GPS nebo GPS+permanentní stanice
- Metody
  - statická – dlouhá observace (hodiny) a zpětný výpočet s využitím dat ze vzdálených bodů (stovky km) – přesnost 3-5 mm
  - rychlá statická – observace desítky minut, postprocessing, body desítky kilometrů, přesnost 5-10 mm
  - DGNSS (DGPS) – v reálném čase přenášena data z referenčních stanic – bud' geostacionární družice (Inmarsat-3) nebo pozemní základna vlastní nebo z komerčních sítí (přenos bezdrátový, GSM/GPRS, RDS v rádiu apod.) – Evropa EUREF Permanent Network, ČR – CZEPOS (ČUZK), TopNET (Geodis), Trimble VRS (Trimble)
  - RTK – Real Time Kinematic – pro fázová měření

## Chyby měření

- Stav družic
- Poměr signál – šum
- Vícecestné šíření
- Přesnost efemerid
- Počet a uspořádání družic – min.4
- Přesnost hodin družice – cesiové, rubidiové, vodíkové oscilátory  $10^{-11}$  až  $10^{-13}$
- Přesnost hodin přijímače
- Vliv atmosféry – zavádí se modely šíření signálu, měření na více frekvencích (L1+L2) – u přijímačů GPS P/Y, C/A jenom na L1

# GNSS – praktické aplikace

Přesné zemědělství



Geodézie

Stavebnictví

Železnice



# Bezdrátové identifikační technologie

- Cílem je zaznamenat, uchovat a poskytovat v reálném čase informace o objektech
- První použití svázané s využitím radaru
  - V r.1941 IFF – *Identification Friends or Foe* – německé radiové odpovídače FuG25 – na radarové impulzy 5 kHz z radarů na frekvencích 125 MHz (Freya) a 550-580 MHz (Würzburg) odpovídaly palubní vysílačky morseovkou se dvěma 10bit.kódy na frekv.156 MHz – od 1944 spojenci uměli využít k identifikaci něm. nočních stíhačů

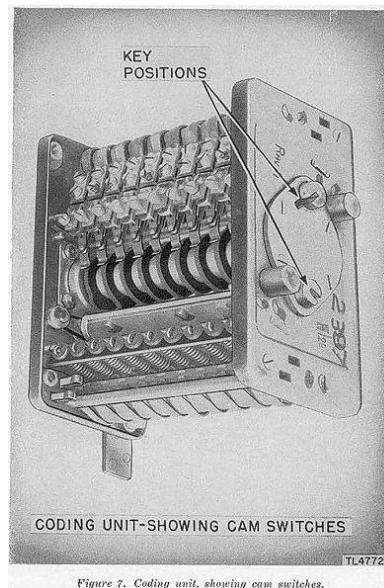
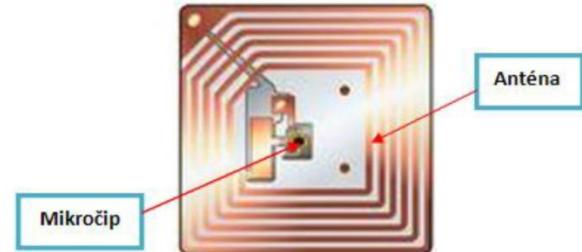


Figure 7. Coding unit, showing cam switches.

# Radio Frequency Identification - RFID

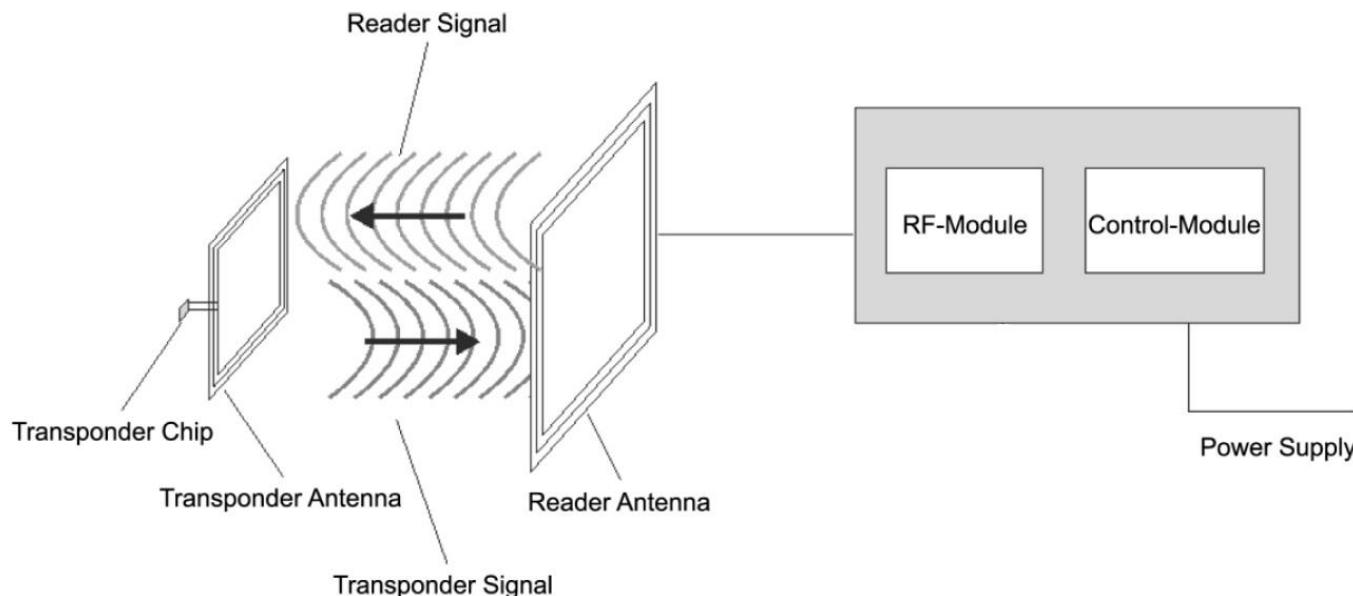
- Začátkem 70. let vývoj systémů pro bezkontaktní identifikaci, patent 1973 (Mario Cardullo - TRANSPONDER APPARATUS AND SYSTEM <http://patft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect2=PTO1&Sect2=HITOFF&p=1&u=/netacgi/PTO/search-bool.html&r=1&f=G&l=50&d=PALL&RefSrch=yes&Query=PN/3713148>)
- 80. léta – první komerční aplikace - bezkontaktní vstupní karty, mýtné brány, atd.
- 90. léta – vznik standardů
- Struktura
  - transpondér - RFID tag
    - paměťový obvod
    - cívka nebo anténa
    - u aktivních zdroj energie
  - čtecí zařízení - RFID reader
    - vysílací/přijímací obvodem s dekodérem
    - anténa
    - příp. operační systém se základní softwarovou funkcionalitou.
  - řídicí software - middleware, databáze, komunikační sítě atd.



# Radio Frequency Identification - RFID

## ■ Princip funkce (induktivní metoda)

- Čtecí zařízení vysílá z antény na pracovní frekvenci EMG.
- Je-li v dosahu RFID tag s anténou naladěnou na pracovní frekvenci, je na ní naindukován střídavý proud, kterým je nabíjen kondenzátor (u pasivních tagů).
- Dosáhne-li napětí potřebné úrovně, začne řídicí obvod vysílat odpověď. Vysílání tagu je realizováno zpravidla pomocí dvoustavové ASK (Amplitude Shifting Key) modulace.
- Čtecí zařízení demoduluje přijímaný signál.

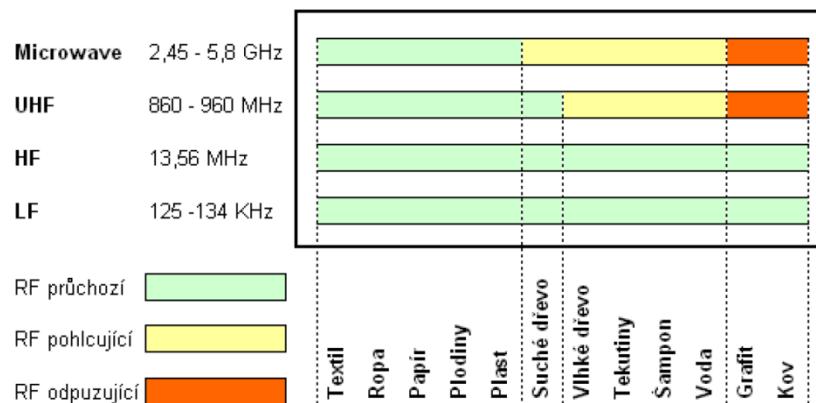


# Radio Frequency Identification - RFID

## ■ Pracovní frekvence

Vyšší frekvence = větší dosah, vyšší rychlosť, vyšší citlivost na materiály (kapaliny, kovy, uhlík)

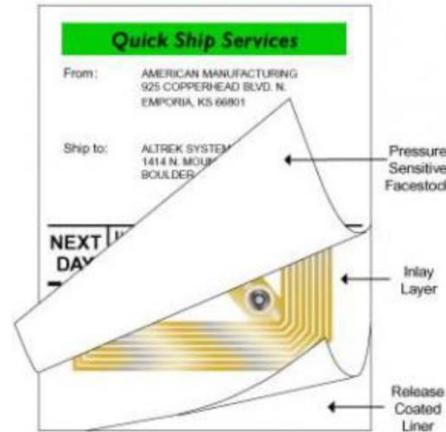
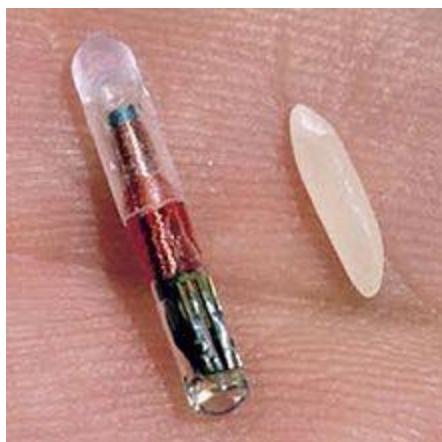
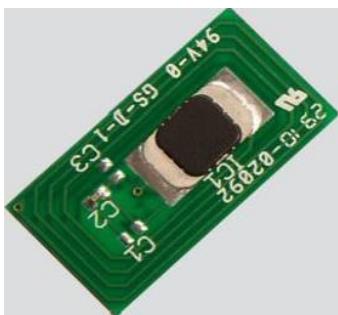
- LF (Low Frequency) pásmo 125 - 134 kHz
  - velmi krátká čtecí vzdálenost (cm), nízká přenosová rychlosť
  - identifikační průkazy, identifikaci komponent, evidence zvřat atd.
  - pasivní tagy - smyčka měděného drátu, nepřepisovatelná paměť
  - Nízká cena, nízká bezpečnosť
- HF (High Frequency) pásmo 13,56 MHz
  - Dosah do 1 m, u aktivních i více
  - nižší přenosová rychlosť, spolehlivé v přítomnosti kovů a kapalin
  - Antény měděný drát nebo vodivý inkoust
  - Knihovní a docházkové systémy, elektronické peněženky, identifikační karty, biometrické pasy (ISO/IEC 14443)
- UHF (Ultra High Frequency) pásmo 860 - 960 MHz
  - Dosah jednotky metrů
  - Nejednotné frekvence – dle zemí
  - identifikace zboží a logistických jednotek v jednotném číselném standardu EPC (Electronic Product Code)
- MW (Microwave) pásmo 2,4 - 5,8 GHz a 3,1-10 GHz (ultra wide band)
  - velká čtecí vzdálenost – až desítky metrů (do 200 m)
  - vysoká přenosová rychlosť
  - Vysoká citlivost na kovy a tekutiny
  - aktivní tagy - identifikace vozidel a pohybujících se předmětů (Real Time Location Services).



# Radio Frequency Identification - RFID

## ■ Rozdělení tagů

- „mince“ – kruhový tvar, možno s dírou uvnitř, zalito do plastu
  - Smart label – součást nálepky, třeba s čár.kódem – nízká cena, nízká odolnost
  - Smart cards – plastové karty
  - PCB tagy – na plošném spoji
  - Skleněné tagy – zvířata, lidi (VeriChip)



# Radio Frequency Identification - RFID

## Vysílaná a přijímaná data

- EPC kódy – celosvětově přiděluje GS1
  - Standardní – 96 bitů
    - $2^8$  = hlavička
    - $2^{28}$  = 268 435 456 firem
    - $2^{24}$ = 16 777 216 výrobků
    - $2^{36}$ = 68 719 476 736 jedinečných S/N
  - Zkrácený - 64 bitů
    - Nížší cena
  - Rozšířený - 128 a 256 bitů
    - Kdyby 96 bitů nestačilo....
- Vnitřní paměť

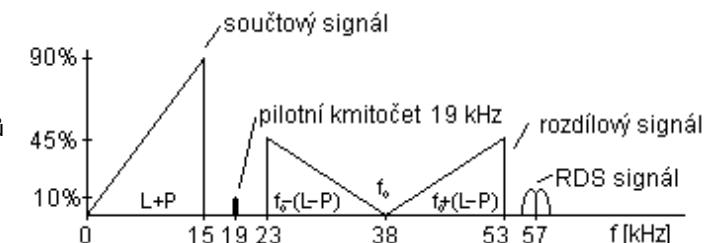
# NFC

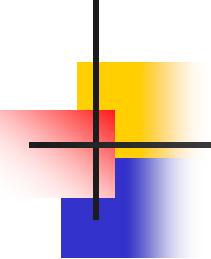
- NFC (*Near Field Communication*) je chápáno jako nadstavba RFID
- Definováno 2004 firmami Nokia, Philips a Sony
- Standardně pracuje na HF (13,56 MHz), dosah cca 4 cm, spec. varianty až 1,5 m
- Umožňuje obousměrnou šifrovanou výměnu dat
- Režimy
  - Reader/Writer
    - pouze zápis nebo čtení dat z/do NFC tagu
    - Maximální přenosová rychlosť v zápisu 106 kbit/s.
  - Peer-to-peer
    - pro vzájemnou výměnu dat, kontaktů či textových zpráv.
    - Maximální rychlosť 424 kbit/s, polo-duplexní kanál.
  - Card emulation
    - „vytváří“ z mobilního telefonu (nebo jiného NFC zařízení) čipovou kartu, SMS jízdenku, vstupenku apod.
- Viz <http://cs.wikipedia.org/wiki/NFC>

# RDS - Radio Data System

systém určený k přenosu doplňkových informací v sítích VKV FM radiových vysílačů

- data kódována diferenciálním kódováním, přenášena rychlosťí 1187,5 bit/s dvoustavovou fázovou modulací (PSK) na kmitočtu 57 kHz
- služby související s vysíláním
  - Identifikace programu PI (Program Identification)
    - 16-ti bitový kód identifikace státu, oblasti a stanice - bit 1 až 4 - identifikace státu (společný pro více států), bit 5 ž 8 oblast pokrytí, bit 9 až 16 referenční číslo programu , nutné pro AF - seznam alternativních kmitočtů
  - Identifikace přijímaného okruhu PS (Program Service)
    - 64 bitů tj. 8 alfanumerických znaků podle normy ISO 646
  - Typ programu PTY (Program Type)
    - identifikační číslo právě vysílaného žánru - 32 možností., poslední číslo 3 - poplachová identifikace
  - Automatické přeladování na zvolený programový okruh AF (Alternative Frequencies)
  - přenos krátkých textových zpráv RT (Radiotext)
    - 64 bytů textu pro zobrazení rotaci na displeji
  - dopravní hlášení TP (Traffic-Program identification) a TA (Traffic-Announcement identification)
  -
- ostatní služby
  - DGPS
    - informace pro diferenciální GPS
  - rádiový paging RP (Radio Paging)
    - maximální délka alfanumerické zprávy je 80 znaků a numerické 10 nebo 18 znaků,
    - maximálně 100 podsítí, v každé skupině max. 10000 účastníků = až milion příjemců
  - TMC - Traffic Message Channel
    - přenos dopravních informací sloužících např. pro navigaci





# Letecká komunikace

---

# ADS-B

## Automatic Dependent Surveillance - Broadcast

- na frekvenci 1090 MHz
- Od roku 2020 povinné pro civilní letadla (Evropa + USA)
- Mají i letištní vozy ap.
- [www.flightradar24.com](http://www.flightradar24.com) apod.

FlightAware Pro Stick Plus (USB SDR ADS-B přijímač)

☆☆☆☆☆ Kód PIH005 Značka FlightAware

✓ Skladem 5 a více kusů

1 469,00 Kč Vč. DPH

1  
^  
v

Přidat do košíku

Doprava zdarma nad 2000 Kč / €78  
 30 dnů na vrácení zboží  Objednávkou

Vytvořte a provozujte vlastní ADS-B pozorování přímo z letadel v reálném čase!



# ADS-B

## Automatic Dependent Surveillance - Broadcast protokol

- 112 bitů - jednou za 10 s až 2x za sekundu



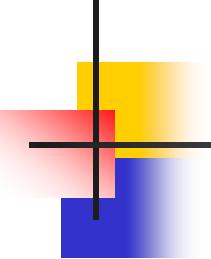
Bit	No. bits	Abbreviation	Information
1–5	5	DF	Downlink Format
6–8	3	CA	Transponder capability
9–32	24	ICAO	ICAO aircraft address
33–88	56	ME	Message, extended squitter
(33–37)	(5)	(TC)	(Type code)
89–112	24	PI	Parity/Interrogator ID

Messages	TC	Ground (still)	Ground (moving)	Airborne
Aircraft identification	1–4	0.1 Hz	0.2 Hz	0.2 Hz
Surface position	5–8	0.2 Hz	2 Hz	-
Airborne position	9–18, 20–22	-	-	2 Hz
Airborne velocity	19	-	-	2 Hz
Aircraft status	28	0.2 Hz (no TCAS RA and Squawk Code change)	1.25 Hz (change in TCAS RA or Squawk Code)	
Target states and status	29	-	-	0.8 Hz
Operational status	31	0.2 Hz	0.4 Hz (no NIC/NAC/SIL change)	1.25 Hz (change in NIC/NAC/SIL)

CA	Definition
0	Level 1 transponder
1–3	Reserved
4	Level 2+ transponder, with ability to set CA to 7, on-ground
5	Level 2+ transponder, with ability to set CA to 7, airborne
6	Level 2+ transponder, with ability to set CA to 7, either on-ground or airborne
7	Signifies the Downlink Request value is 0, or the Flight Status is 2, 3, 4, or 5, either airborne or on the ground

Type Code	Data frame content
1–4	Aircraft identification
5–8	Surface position
9–18	Airborne position (w/Baro Altitude)
19	Airborne velocities
20–22	Airborne position (w/GNSS Height)
23–27	Reserved
28	Aircraft status
29	Target state and status information
31	Aircraft operation status

<https://mode-s.org/decode/content/ads-b/1-basics.html>



# Komunikace na moři

## Střední vlny 600 m

- 490 a 518 kHz – NAVTEX

## Velmi krátké vlny 2 m

- 156–174 MHz – VHF námořní komunikace
  - 156,525 MHz – DSC
  - 156,8 MHz – 16. kanál (distress, MayDay, atd.)
  - 161,975 a 162,025 MHz – AIS

## Ultrakrátké vlny

- 406,025- 406,037 MHz EPIRB bóje, systém COSPAS SARSAT
- 1,5 GHz – INMARSAT, GPS
- 9 GHz (x-Band) – SART bóje

# Komunikace na moři - NAVTEX

Jednosměrná komunikace pobřeží -> lod' (dosah stovky mil)

518 kHz v angličtině, 490 kHz v "místním" jazyce

A - navační varování

B - meteorologické varování

C - pohyb ledovců

D - informace o vyhledávacích a záchranných operacích

E - meteorologická předpověď

F - zprávy pilota

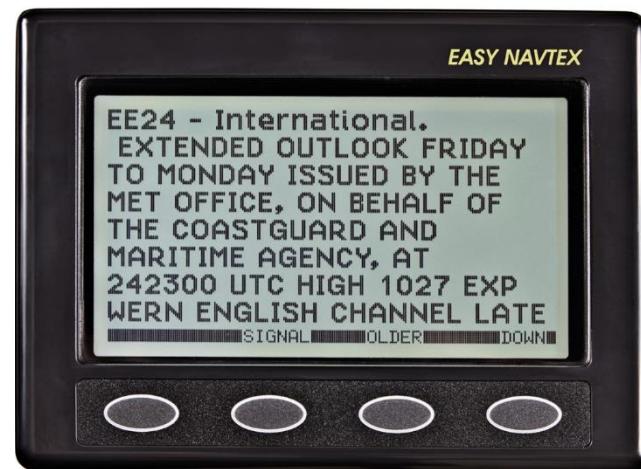
G - zprávy pro navační systém DECCA

H - zprávy pro navační systém LORAN-C

I - zprávy pro navační systém OMEGA

J - zprávy pro navační systém SATNAV (GPS)

L,V - seznam a zprávy o pohybu umělých objektů na moři.



Příklady:

ZCZC TA13 151141 UTC JUNE DOVER STRAIT VERGOYER NORTH BUOY 50-40N 01- 22E UNLIT. NNNN

(ZCZC - začátek zprávy, T - kód stanice Ooestende - Belgie, A - navační zpráva , 13 - zpráva č. 13, 15 - den, 1141-  
11 hod. 41 min., UTC - světový čas (GMT), JUNE - červen, text zprávy - daná býve v indikované pozici nesvítí,  
NNNN - konec zprávy)

ZCZC JE73 121800 UTC JUL SWEDISH SHIPPING WEATHER SUMMARY MINOR LOW OVER CENTER OF  
SWEDEN WEAKING OTHER LOW OVER BALTICUM M OVING UP OVER FINLAND OTHER LOW AT ICELAND  
MOVING TO THE NORWEGIAN SE\* WE RIDGE OF HIG\* PASSING SOUTHERN SWEDEN, GALE WARNING NIL  
FORECAST VALID 24 HOURS ..... NNNN

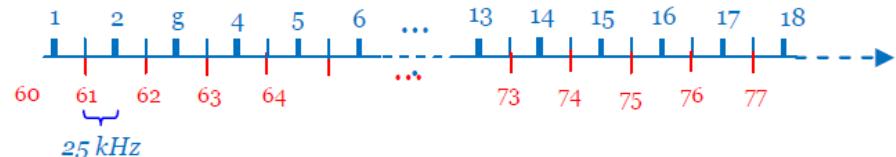
(meteorologická situaci ze stanice Stockholm, znak "\*" indikuje situaci, že přijímač nepřijal správně příslušný znak  
podle protokolu FEC)

# GMDSS - Global Maritime Distress and Safety System

- globální námořní tísňový a bezpečnostní systém – náhrada SOS
- 1979 koncept, od 1. 2. 1999 v plném provozu
- Oblasti pokrytí:
  - A1 - do 20 Nm od pobřeží (VHF DSC),
  - A2 - do 100 Nm od pobřeží (HF DSC),
  - A3 – nad 100 Nm od pobřeží (INMARSAT),
  - A4 - polární oblasti (>70 st S/J šířky).
- Protokol DSC (Digital Selective Calling)  
automaticky odesílá informaci o druhu (tísňová, pilná, bezpečnostní a běžná) a povaze zprávy (u tísňové typ nouze, u běžné zvolený kanál pro hlasové spojení ap.), polohu a MMSI (Maritime Mobile Service Identity), umožňuje komunikaci směřovat na konkrétní příjemce (např. volání ve skupině, na konkrétního příjemce).  
V případě tísňové zprávy vyvolá poplach ve všech přijímačích.

# GMDSS – VHF

Kanály 1 – 28 a 60 – 88 po 25 kHz



Základní kanály

MOŘE:

- - 6, 8, 72, 77 - volání mezi loděmi
- - 12 - přístavní provoz (většinou, v CRO mariny 17, v UK 80)
- - 13 – plavební bezpečnost mezi obchodními loděmi (lodní můstek - můstek)
- - 16 – hlavní kanál, kde mohu vysílat: - tísňová volání, bezpečnostní, - kontaktní volání - navázání spojení
- - 68 - předpověď počasí v Itálii
- - 70 - DSC kanál pro přenos pouze digitálních dat (ne mluveného slova): - tísňová volání - bezpečnostní volání - kontaktní volání (o systému DSC viz níže)
- - 80 - duplexní provoz

ŘEKY v ČR:

- - 09, 14 - plavební komory
- - 10 – volací a tísňový kanál povinnost poslechové pohotovosti (pouze na významných vodních cestách)
- - 15, 17 - komunikace na plavidlo (většinou pohyblivé radiostanice)
- - 70 - zákaz využívání tohoto kanálu na vnitrozemských vodních cestách Je určen pro DSC.
- - 80 - duplexní provoz (Plavební komora, plavební informace)

Detailněji: [https://en.wikipedia.org/wiki/Marine\\_VHF\\_radio](https://en.wikipedia.org/wiki/Marine_VHF_radio)

# GMDSS – VHF

Dosah na přímou viditelnost -  $L(\text{Nm}) = 2,2 \times (\sqrt{H_1(\text{m})} + \sqrt{H_2(\text{m})})$

Optimální délka antény 93 cm, výkon 1 nebo 25 W

## Identifikace

- Mezinárodní volací znak
  - AA/AL USA, CY/CZ Kanada, F Francie, G UK, HF Polsko, DA/DR Německo, 9A CRO
  - OK abc – CZ letadla
  - OL ab – CZ obchodní lodě (nemáme)
  - OL 1235 – CZ jachty
- ATIS (Automatic Transmitter Identification System )
  - evropský vnitrozemský - OL+ poslední 4 číslice MMSI
- MMSI (Maritime Mobile Service Identity)
  - unikátní číslo
    - lodě 3 číslice země + 6 číslic konkrétní lod'
    - pobřežní stanice 00+3 číslice země + 4 číslice konkrétní stanice
    - volání ve skupině 0+3 číslice země + 5 přidělených číslic
    - SAR 1 + číslice země + 5 číslic
    - osobní stanice 8 + číslice země + 5 číslic (umí jenom UK)
    - 9 + číslice země + 5 číslic - AIS-SART, PLB, EPIRB
  - CZ 270, CRO 232

# GMDSS - EPIRB

## Emergency Position-Indicating Radio Beacon

- Radiobóje 406 MHz
  - aktivace tlačítkem nebo automaticky při ponoření do 4 m hloubky
  - Vysílá každých 50 s zprávu s MMSI a předprogramovanou informaci o lodi
  - Přijímáno COSPAS-SARSAT, přesnost 5 km
  - Verze
    - Non GNSS EPIRB
    - GNSS EPIRB s GPS a dohledávacím signálem 121,5 kHz pro letadla, příp. i 1,5 GHz pro INMARSAT
    - AIS EPIRB - doplněno o signál AIS



# GMDSS - PLB

## Personal Location Beacon

- Radiobóje 406 MHz pro osobní použití
  - Je vázána na majitele, ne lod'
  - Možné případně použít i na souši
  - V ČR není součástí IZS
  - Cena vyšší jednotky tisíc Kč
  - Registrace přes  
<https://406registration.com/>

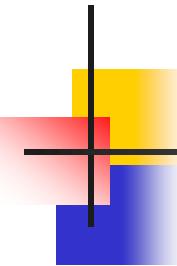


# GMDSS - SART

## Search and Rescue Radar Transponder

- Radiobóje 9 GHz
  - reaguje na X-band radary (vlnová délka 3 cm)
  - je aktivován příjemem vln z X-band radaru v dosahu cca 8 NM
  - každý puls způsobí vysílání odpovědi přes všechna radarová frekvenční pásma
  - opakuje 12x - na obrazovce radaru se objeví 12 teček v přímce asi 0,64 NM od sebe



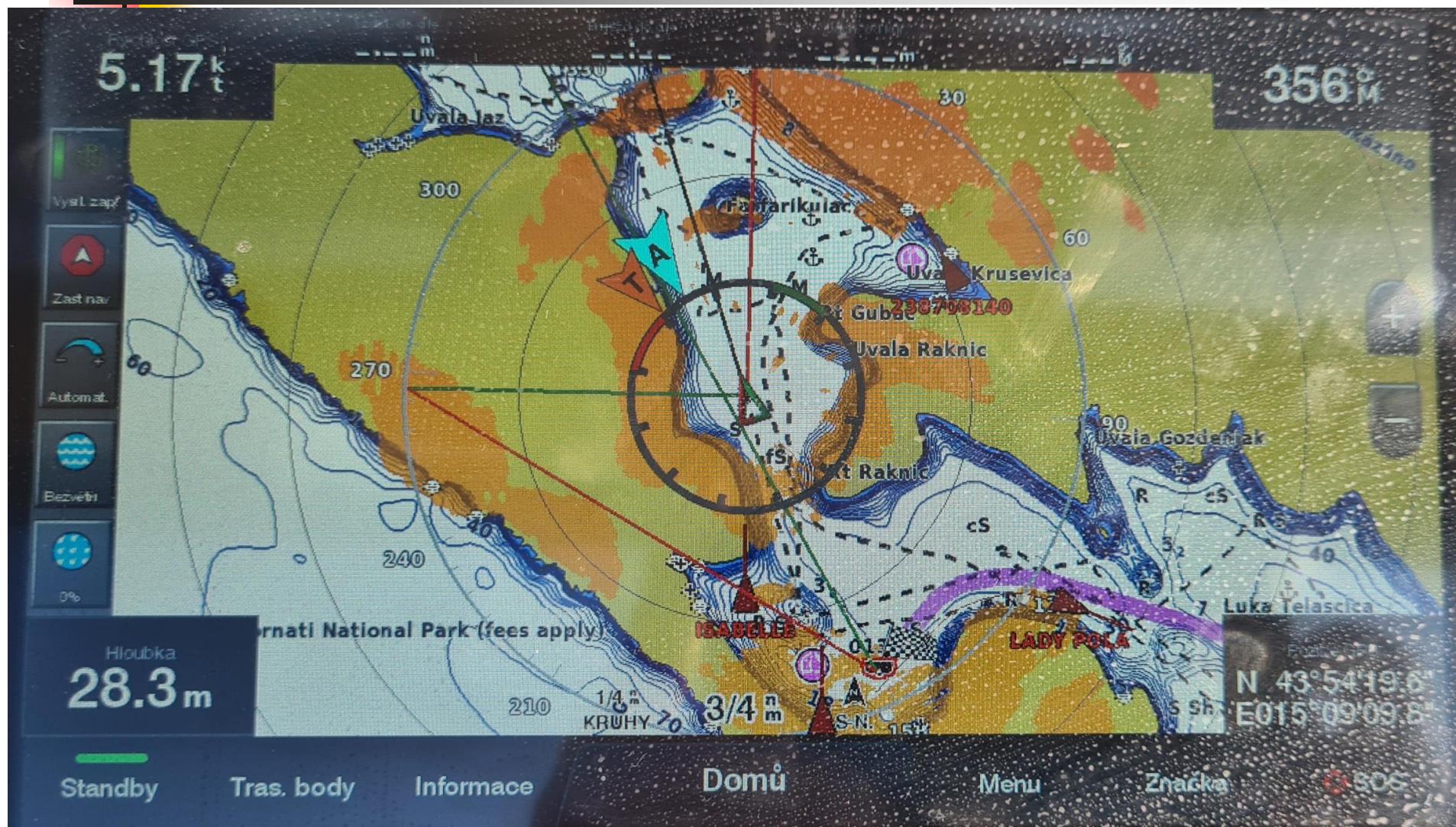


# GMDSS - AIS

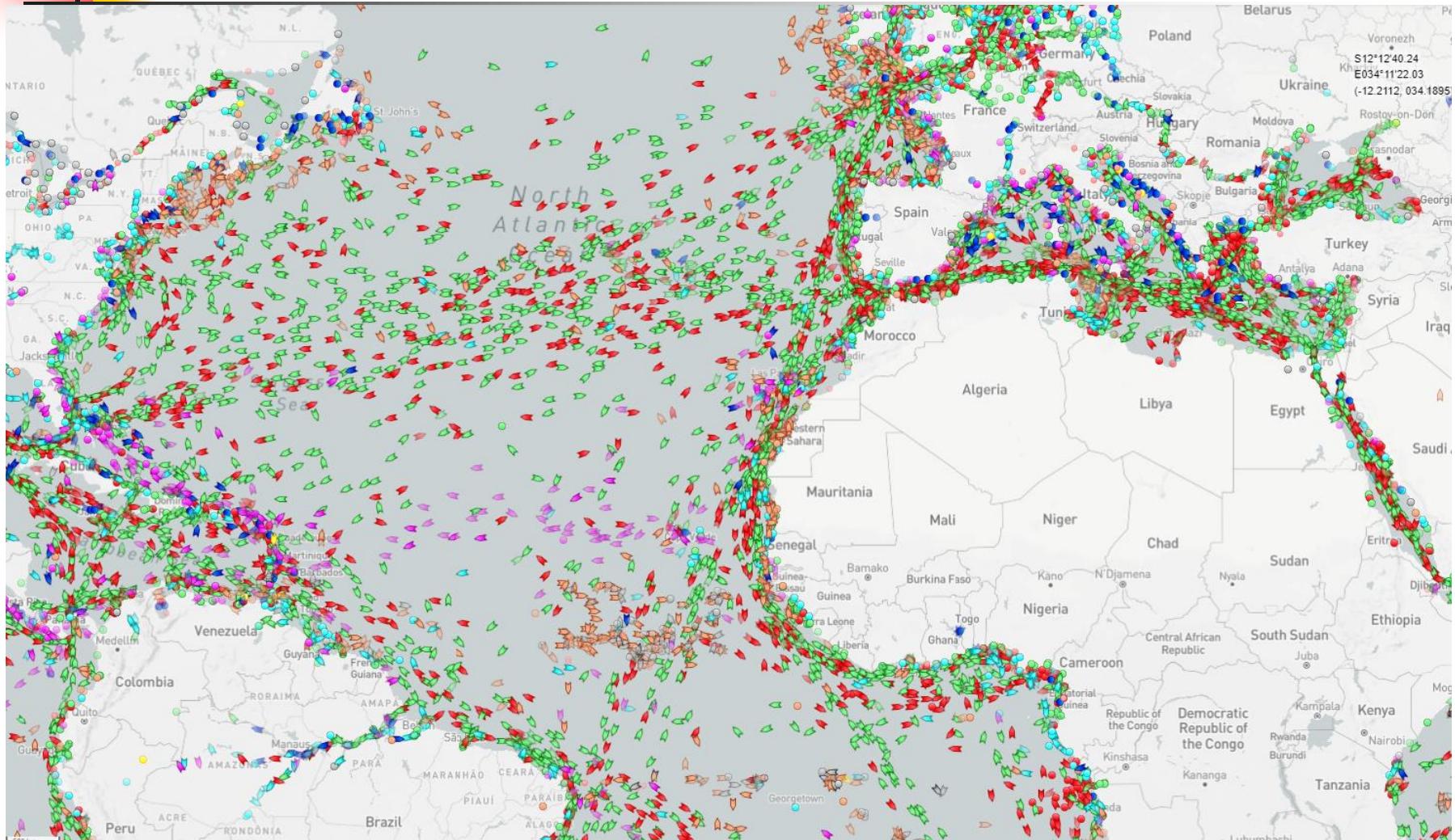
## Automatic Identification System

- Ekvivalent ADS-B, od roku 2002
- povinné pro všechny lodě nad 300 tun a lodě pro osobní dopravu (SOLAS) - AIS A
- nepovinné pro rekreační a pro vlastní dopravu <13 osob (non SOLAS) - AIS B (redukovaná funkčnost)
- VHF kanály
  - AIS 1 - kanál 87 B 161,975 MHz, simplexní - pro okolní lodě
  - AIS 2 - kanál 88 B 162,025 MHz, duplexní - pro pobřežní stráž - i na vyžádání
- Rychlosť 9600 BPS, GMSK
- Doplňková satelitní (S-AIS) - globální informace o poloze mimo dosah pobřeží
- Informace o lodi (název, typ, MMSI, callsign, délka, šířka, ponor, výtlak)
- Informace o poloze, rychlosti, kurzu, cíli atd.
- Četnost vysílání závisí na rychlosti a změnách kurzu
- AIS mohou vysílat i bóje, majáky ap.

# GMDSS - AIS

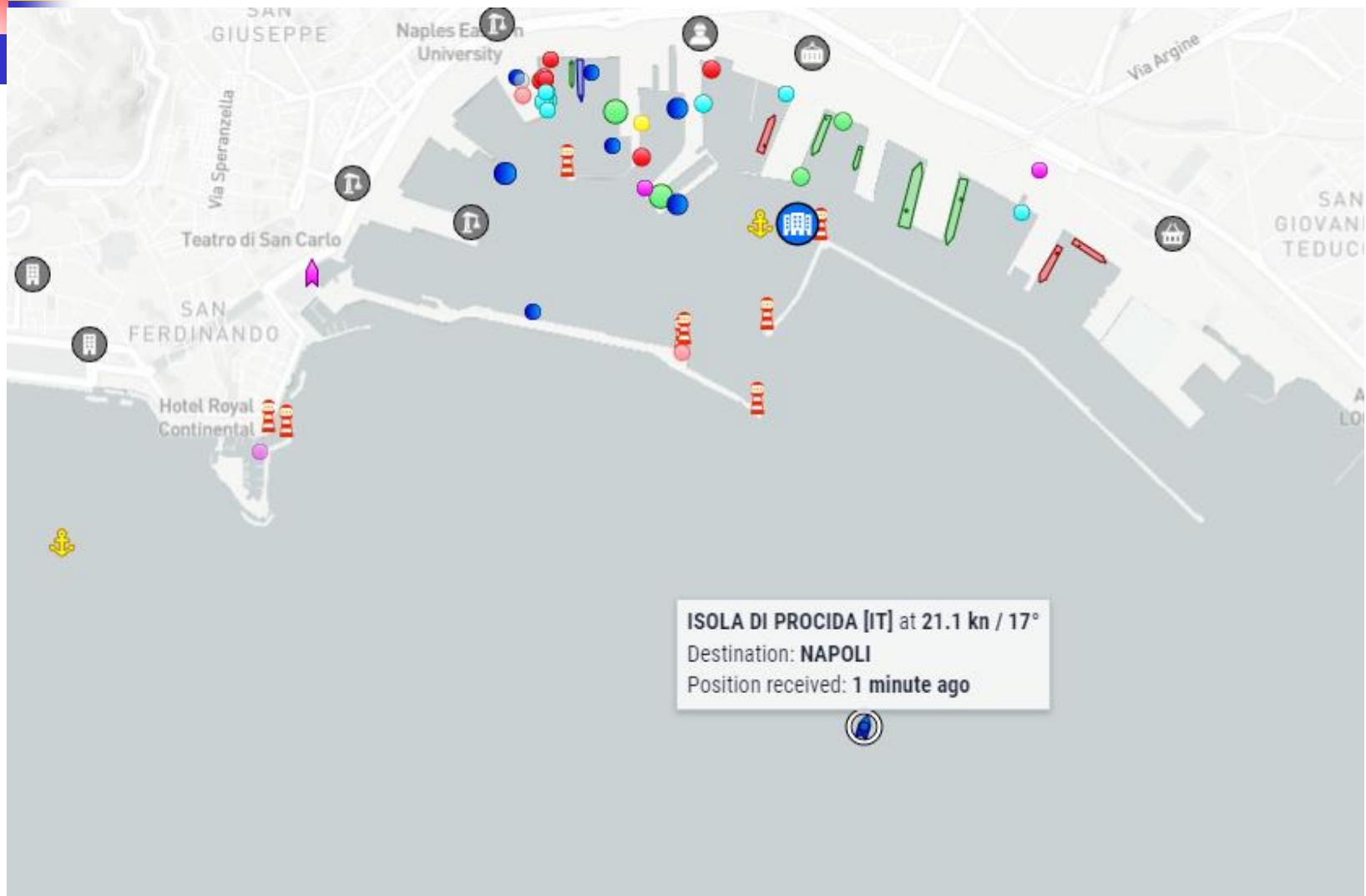


# GMDSS - AIS



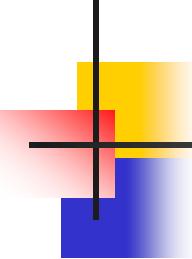
<https://www.marinetraffic.com/>

# GMDSS - AIS



# Zdroje

- <http://www.radio-electronics.com/>
- <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Umts>
- <http://www.umtsworld.com/>
- [http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK07\\_semestralky/WCDMA.pdf](http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK07_semestralky/WCDMA.pdf)
- [http://www.umts.wz.cz/radiove\\_site\\_3G.htm](http://www.umts.wz.cz/radiove_site_3G.htm)
- <http://www.urel.feec.vutbr.cz/MTRK/>



# Praktická část

Cílem je vyzkoušet si zprovoznění bezdrátového systému

Zvolena platforma „domácí automatizace“, postavená na použití:

- HW Raspberry Pi
- SW Home Assistant v Linux distribuci HassOS
- ZigBee sítí s bezdrátovými prvky

# Raspberry Pi

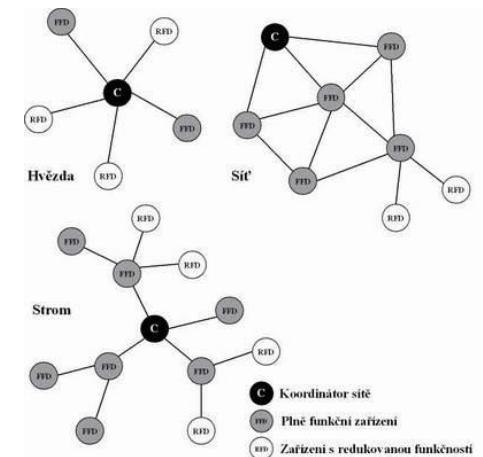
Jednodeskový počítač, vyvinutý pro podporu výuky programování  
Standardně se využívá vlastní distribuce Linuxu Raspbian

- 2012 – první verze – procesor ARMv6 700 MHz/32 bit/256 MB RAM
- 2015 – RPi 2 – procesor ARM Cortex 7 900 MHz, 4 jádra 32 bit/512 MB RAM
- 2016 – RPi 3 – procesor ARM Cortex 7 1,2 GHz, 4 jádra 64 bit/1 GB RAM
- 2019 – RPi 4 – procesor ARM Cortex 8 1,5 GHz, 4 jádra 64 bit/1,2,4 nebo 8 GB RAM
  - 2x mikroHDMI
  - Napájení USB C
  - 2x USB v.2
  - 2x USB v.3
  - GPIO 40 pin
  - Ethernet 1Gb
  - WiFi 2,4/5 GHz
  - Bluetooth 5/BLE



# ZigBee

- standard pro bezdrátovou komunikaci IEEE 802.15.4
- vývoj od 1998, 1. specifikace 2004
- Pro sítě PAN (Personal Area Network) – komunikace na desítky metrů
- Náhrada Bluetooth (IEEE 802.15.1 – pro spotřební elektroniku) v průmyslových aplikacích
- Určeno pro bezlicenční pásmo 868 MHz (Evropa), 902-928 MHz (USA, Asie) a 2,4 GHz
- Komunikační rychlosť až 250 kbit/s
- Jednoduchý protokol – možnost implementace stacku do 8bitových procesorů
- 3 úrovně – koordinátor, uzel s plnou funkčností, uzel s omezenou funkčností
- Topologie
  - Hvězda – koordinátor a koncové uzly
  - Strom – koordinátor, uzly s plnou funkčností a koncové uzly
  - MESH – redundantní spojení
- Zabezpečení AES128 na síťové vrstvě
- Komunikace
  - Nepravidelné přenosy – události
  - Pravidelné přenosy – cyklicky
  - Pravidelné přenosy s malým zpožděním



# ZigBee

Dnes hojně rozšířeno v domácí automatizaci, často vlastní ekosystémy

- IKEA TRÅDFRI
- Lidl LIVARNOLUX
- Immax Neo
- AQARA
- ...

Spotřebiče

- Žárovky – bílé, barevné
- LED pásky
- Zásuvky
- Kamery
- Teploměry/vlhkoměry
- Zvonky
- Termostatické hlavice
- Magnetické snímače
- Vypínače
- ...



# Home Assistant



Open Source SW pro domácí automatizaci

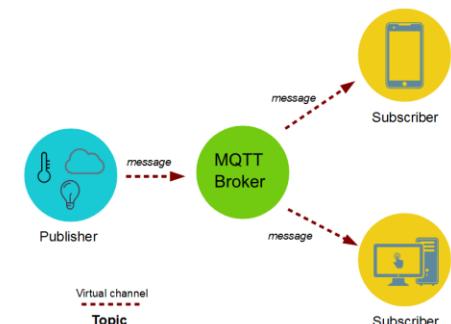
- Vznik 2013
- Postaveno na jazyku Python (aktuálně 3.8), skripty v YAML
- <https://www.home-assistant.io/>
- Multiplatformní z hlediska OS
  - Vlastní distribuce Linuxu HassIO
  - Obecný Linux – v NASech a virt.strojích
  - Windows
  - MacOS
- Multiplatformní z hlediska procesorů
  - ARM
  - ARM64
  - x86
  - X86-64
- Podpora jednodeskových počítačů - ODROID, Raspberry Pi, Asus Tinkerboard, Intel NUC,...
- Standardní administrace přes webové rozhraní (port 8123), příp. terminál
- Uživatelské rozhraní – web, aplikace pro Android a iPhone
- Integrace mnoha ekosystémů

## MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

původně navržen v IBM (1999), dnes jej spravuje konsorciu "Eclipse foundation"

- standardizován OASIS (Organization for the Advancement of Structured Information Standards [www.oasis-open.org](http://www.oasis-open.org)), od roku 2019 v. MQTT 5,
- předává zprávy mezi klienty přes server (broker) na principu

- broker předává zprávy od „autorů“ ke „čtenářům“, kteří se přihlásili k odběru, „autor“ je zpravidla snímač, „čtenář“ akční člen
- postaven na TCP/IP protokolu přes porty 1883 a 8883 (SSL)
- standardizován ISO/IEC PRF 20922
- obsah zprávy není dán, např. JSON, BSON, max. velikost 256 MB, UTF-8 (zcela univerzální – CZ, CN, RU)
- zpráva má hlavičku (header) a data (payload), header je nutný pro přenos (typ zprávy, topic, velikost atd.), „čtenáři“ se hlásí k odběru témat (topic), broker jim zprávy (message) od „autorů“ podle topicu předává, aniž by jim rozuměl (zprávy mohou být zakódované - stačí, když jim rozumí Publisher a Suscriber)
- Používá QoS – 0 (autor pošle a nestará se), 1 (autor obdrží zprávu brokera o doručení čtenářům), 2 (autor obdrží zprávu o přijetí brokerem)
- příklad message: `{'ts': 1559827797240, 'values': {'temperature': 23.9, 'humidity': 43.5}}`
- MQTT používá třeba i Facebook Messenger, implementace protokolu v RPi, Arduinu, ESP8266, Androidu,...



# Výukové kity

Obsahuje:

- Raspberry Pi4 s 2 GB RAM, zdroj 5V/3A, ETH kabel, mikroHDMI kabel, mikroSD+redukce
- USB dongle ZigBee koordinátor TI CC2531
- Kombinaci různých ZigBee prvků
  - LED žárovka IKEA barevná E27
  - LED žárovka IKEA barevná E14
  - LED žárovka IKEA bílá E27
  - Ovladač IKEA 5 tlačítek
  - Ovladač IKEA 2 tlačítka
  - Spínaná zásuvka IKEA
  - Spínaná zásuvka s měřením spotřeby
  - Teploměr/vlhkoměr/tlakoměr
  - Magnetický snímač
  - PIR čidlo



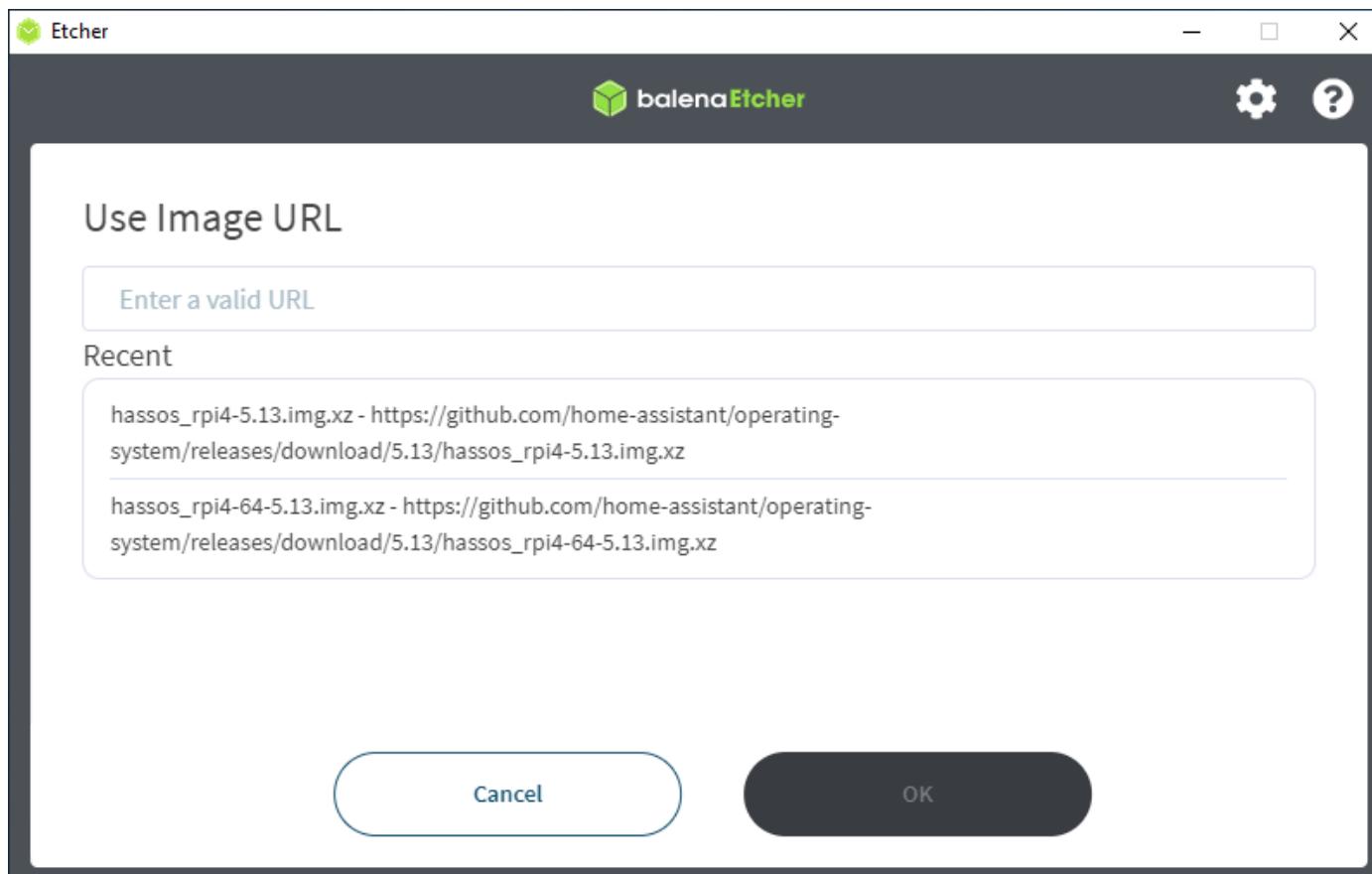
# Zprovoznění



Postupujte v následujících krocích

# 1. Stažení image HassOS

Dle návodu na <https://www.home-assistant.io/installation/raspberrypi> stáhnout a na zapůjčenou SD kartu nainstalovat poslední verzi Home Assistant pro Raspberry Pi 4B (32 nebo 64bitovou)



# 2. Připojení RPi do sítě

## Připojení přes Ethernet

1. Raspberry Pi připojit ETH kabelem do domácí sítě, ideálně přímo do routeru, vložit SD kartu
2. Připojit USB ZigBee koordinátor
3. připojit napájení USB.

## Připojení přes WiFi

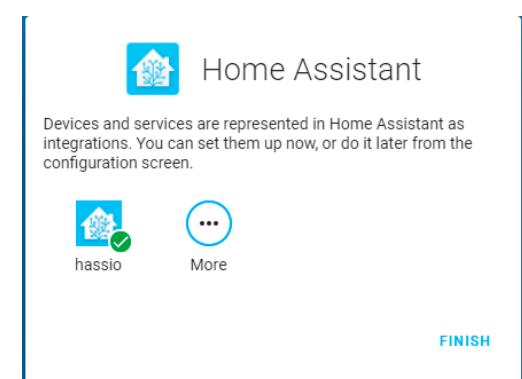
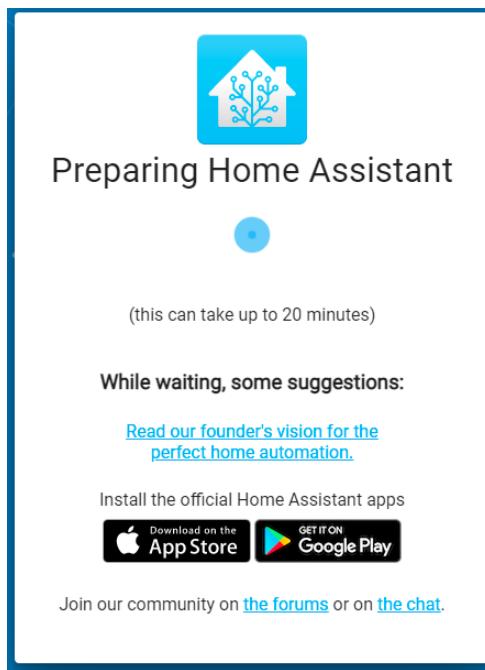
1. vygenerovat UUID (<https://www.uuidgenerator.net/>),
2. do PC připojit USB disk, naformátovat FAT32, nazvat jej CONFIG (velkými písmeny!), vytvořit adresář "network" a do něj uložit soubor s názvem "my-network" (vše malými písmeny!) s parametry vaší WiFi sítě (například):

```
[connection]
id=MojeSit
uuid=MojeVygenerovaneUUID
type=802-11-wireless
[wifi]
mode=infrastructure
ssid=mojeSit
[wifi-security]
auth-alg=open
key-mgmt=wpa-psk
psk=MojeHeslo
[ipv4]
method=auto
[ipv6]
addr-gen-mode=stable-privacy
method=auto
```
3. USB disk zasunout do USB portu Rpi
4. Připojit USB ZigBee koordinátor
5. připojit RPi na napájení

# 3. Instalace HassOS

Po připojení napájení se provede instalace a úvodní aktualizace Home Assistant, může to trvat cca 10 až 20 minut. Již během této doby je možné se přes web připojit - bud' se znalostí přidělené IP adresy (zjistit v routeru) AAA.BBB.CCC.DDD:8123 nebo na odkazu `homeassistant.local:8123`.

Po úvodní inicializaci je možné zadat základní údaje - jméno zařízení, jméno a heslo administrátora. Dále pak umístění zařízení (kvůli možnosti využít lokální předpovědi počasí) a další údaje.



# 4. Vytvoření účtu MQTT uživatele

S právy administrátora

The screenshot shows the Home Assistant configuration interface at the URL `192.168.1.147:8123/config/users`. The left sidebar is titled "Home Assistant" and includes links for "Přehled", "Mapa", "Záznamy", "Historie", "Prohlížeč médií", "Vývojářské nástroje", "Supervisor", "Nastavení" (which is selected), "Oznámení", and "BTS-HA01". The main content area has tabs for "Osoby", "Zóny", and "Uživatelé". The "Uživatelé" tab is active, showing two existing users: "BTS-HA01" (display name "BTS-HA01", user name "bts-ha01", group "Vlastník", status "Aktivní") and "Hass.io" (display name "Hass.io", user name "Nepojmenovaný uživatel", group "Správci", status "Aktivní"). A modal window titled "Přidat uživatele" is open, prompting for new user details:

Zobrazované jméno	Uživatelské jméno	Skupina	Aktivní	Vygenerovaný systém
BTSMQTT	btsmqtt	Vlastník	✓	
Heslo	*****			
Potvrzení hesla	*****			
<input checked="" type="checkbox"/> Administrátor				

At the bottom right of the modal are the buttons "ZRUŠIT" and "VYTVOŘIT".

# 5. Instalace MQTT serveru

Nainstalovat a spustit MQTT server Mosquitto, do konfigurace přidat vlastní uživatelské jméno a heslo pro MQTT komunikaci.

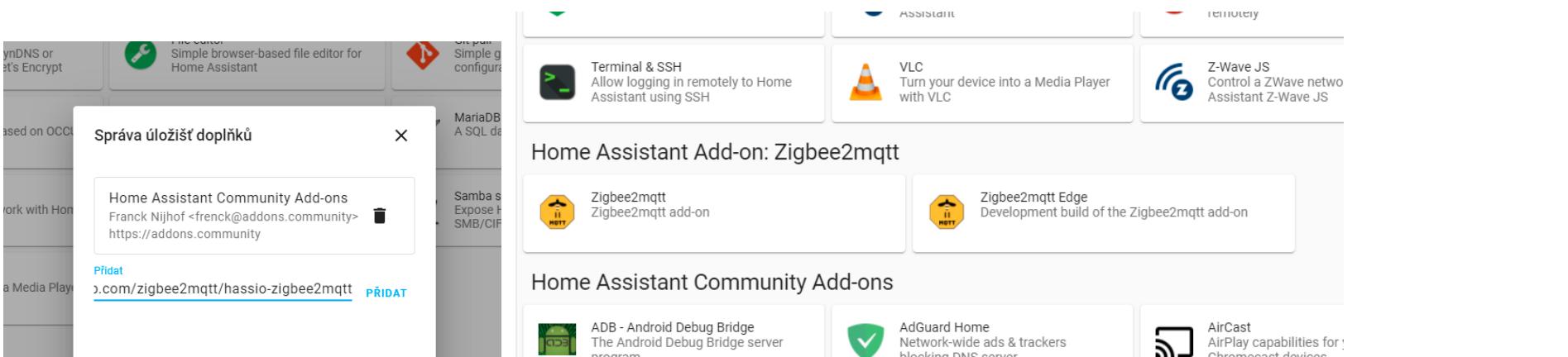
The screenshot shows the Home Assistant interface with the Mosquitto broker add-on installed. On the left, there's a sidebar with icons for Rating (6), APPAR\_ (blue circle), and AUTENT\_ (key icon). Below it, status information is displayed: Spustit při spuštění (switched on), Spustit doplněk při spuštění systému (switched on), Hlídací pes (switched on), and Automatická aktualizace (switched on). At the bottom of this sidebar are buttons for ZASTAVIT and RESTARTOVAT. The main content area shows the Mosquitto broker configuration page. It includes a preview of the configuration file with a red circle highlighting the section for user credentials:

```
logins: [
  {
    username: "btsmqtt",
    password: "btsmqtt"
  }
]
```

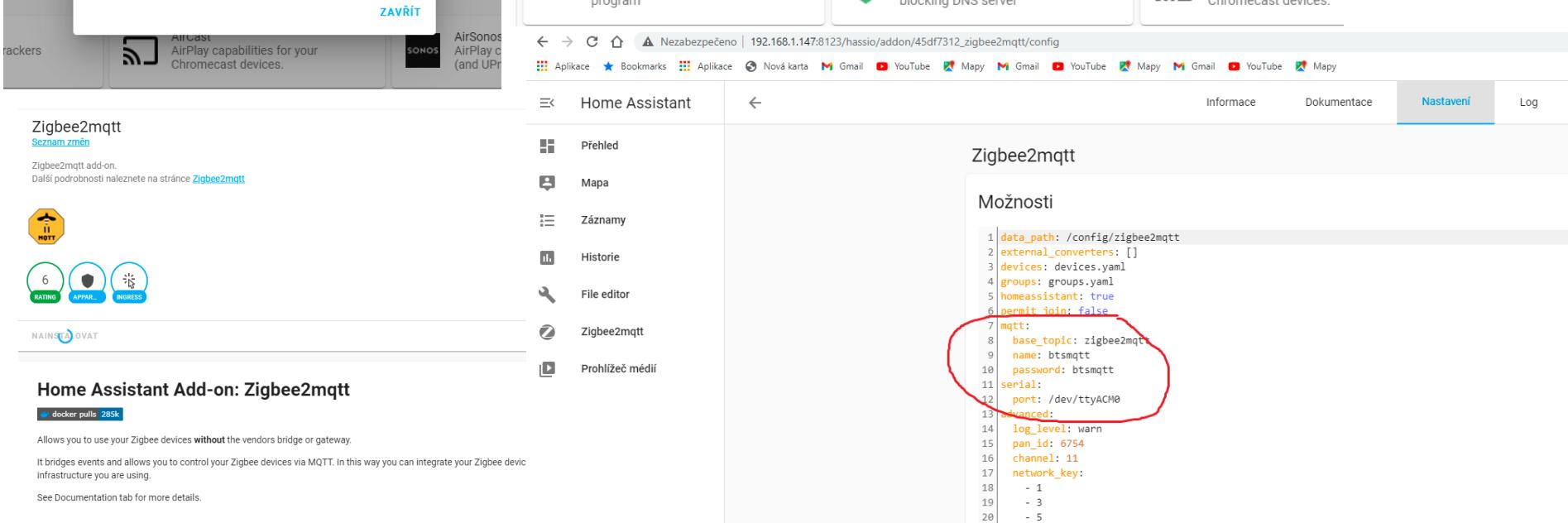
Below this is a 'Možnosti' (Options) section with various configuration parameters like anonymous, customize, active, folder, certfile, keyfile, and require\_certificate. A blue 'ULOŽIT' (Save) button is at the bottom right. To the right of the configuration page, there's a table titled 'Sít' (Network) listing ports and hostnames: 1883/tcp 1883, 1884/tcp 1884, 8883/tcp 8883, and 8884/tcp 8884. A red 'OBNOVIT VÝCHOZÍ HODNOTY' (Restore Defaults) button is at the bottom of this table. At the very bottom of the interface, there's a 'Vývojářské nástroje' (Developer Tools) section with a 'Supervisor' button.

# 6. Instalace ZigBee2MQTT

Z repozitáře nainstalovat <https://github.com/zigbee2mqtt/hassio-zigbee2mqtt>, do konfigurace přidat jméno a heslo účtu pro MQTT server.



The screenshot shows the Home Assistant Add-on store interface. In the search results, the "Zigbee2mqtt" add-on is listed under "Home Assistant Community Add-ons". The add-on card includes a download button labeled "PŘIDAT". Below the search results, there's a section for "Home Assistant Community Add-ons" featuring other add-ons like ADB - Android Debug Bridge, AdGuard Home, and AirCast.



The screenshot shows the "Nastavení" (Configuration) tab for the Zigbee2mqtt add-on. It displays the YAML configuration file with several lines circled in red. The circled lines include:

```
1 data_path: /config/zigbee2mqtt
2 external_converters: []
3 devices: devices.yaml
4 groups: groups.yaml
5 homeassistant: true
6 permit_join: false
7 mqtt:
8   base_topic: zigbee2mqtt
9   name: btsmqtt
10  password: btsmqtt
11  serial:
12    port: /dev/ttyACM0
13  advanced:
14    log_level: warn
15    pan_id: 6754
16    channel: 11
17    network_key:
18      - 1
19      - 3
20      - 5
```

# 7. Kontrola ZigBee donglu

The screenshot shows the Home Assistant Supervisor interface. On the left, the sidebar includes links for Přehled, Mapa, Záznamy, Historie, File editor, Zigbee2mqtt, Prohlížeč médií, Vývojářské nástroje, Supervisor (which is selected), and Nastavení.

The main area displays the Core and Supervisor sections. The Core section shows system statistics: Verze core-2021.4.4, Nejnovější verze core-2021.4.4, Využití procesoru jádrem 0.1%, Využití paměti RAM jádrem 4.3%, and a button to RESTARTOVAT CORE. The Supervisor section shows similar statistics: Verze supervisor-2021.4.4, Nejnovější verze supervisor-2021.4.4, Využití procesoru jádrem 2.2%, Využití paměti RAM jádrem 1.6%, and a button to NOVÉ NASTAVENÍ SUPERVISORU.

A modal window titled "Hardware" is open, displaying detailed information about a device. The "attributes:" section contains several entries, some of which are circled in red:

```
attributes:  
DEVLINKS: >-  
/dev/serial/by-id/usb-Texas_Instruments_TI_CC2531_USB_CD  
/dev/serial/by-path/platform-fd500000.pcie-pci-0000:01:0  
DEVNAME: /dev/ttyACM0  
DEVPATH: >-  
/devices/platform/scb/fd500000.pcie/pci0000:00/0000:00:0  
ID_BUS: usb  
ID_MODEL: TI_CC2531_USB_CDC  
ID_MODEL_ENC: TI\x20CC2531\x20USB\x20CDC  
ID_MODEL_ID: 16a8  
ID_PATH: platform-fd500000.pcie-pci-0000:01:00.0-usb-0:1.  
ID_PATH_TAG: platform-fd500000_pcie-pci-0000_01_00_0-usb-0  
ID_REVISION: 0009  
ID_SERIAL: Texas_Instruments_TI_CC2531_USB_CDC__0X00124B0  
ID_SERIAL_SHORT: _0X00124B001CCC6122  
ID_TYPE: generic  
ID_USB_DRIVER: cdc_acm  
ID_USB_INTERFACES: :020201:0a0000:  
ID_USB_INTERFACE_NUM: '00'  
ID_VENDOR: Texas_Instruments  
ID_VENDOR_ENC: Texas\x20Instruments  
ID_VENDOR_ID: '0451'  
MAJOR: '166'  
MINOR: '0'  
SUBSYSTEM: tty  
TAGS: ':systemd:'  
USEC_INITIALIZED: '2284589'  
- name: usb2  
sysfs: >-  
/sys/devices/platform/scb/fd500000.pcie/pci0000:00/0000:00  
dev_path: /dev/bus/usb/002/001  
subsystem: usb  
by_id: null  
attributes:  
BUSNUM: '002'  
DEVNAME: /dev/bus/usb/002/001  
DEVNUM: '001'  
DEVPATH: >-  
/devices/platform/scb/fd500000.pcie/pci0000:00/0000:00:0
```

Two specific entries are circled in red: "ID\_SERIAL: Texas\_Instruments\_TI\_CC2531\_USB\_CDC\_\_0X00124B0" and "ID\_SERIAL\_SHORT: \_0X00124B001CCC6122".

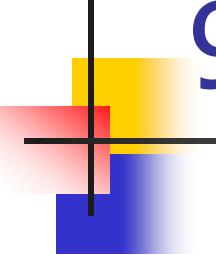
# 8. Kontrola komunikace

The screenshot shows two tabs in the Home Assistant Supervisor interface:

- Mosquitto broker**:  
[s6-init] making user provided files available at /var/run/s6/etc...exited 0.  
[s6-init] ensuring user provided files have correct perms...exited 0.  
[fix-attrs.d] applying ownership & permissions fixes...  
[fix-attrs.d] done.  
[cont-init.d] executing container initialization scripts...  
[cont-init.d] done.  
[services.d] starting services  
[services.d] done.  
[21:48:08] INFO: Setup mosquitto configuration  
[21:48:08] WARNING: SSL not enabled - No valid certs found!  
[21:48:08] INFO: Found local users inside config  
[21:48:08] INFO: Initialize Home Assistant Add-on services  
[21:48:08] INFO: Initialize Home Assistant discovery  
[21:48:08] INFO: Start Mosquitto daemon  
1618343288: mosquitto version 1.6.3 starting  
1618343288: Config loaded from /etc/mosquitto.conf.  
1618343288: Loading plugin: /usr/share/mosquitto/auth-plug.so  
1618343288: -- \*\*\* auth-plug: startup  
1618343288: [ ] Username/password checking enabled.  
1618343288: [ ] TLS support enabled.  
1618343288: [ ] Extended authentication not enabled.  
1618343288: Opening ipv4 listen socket on port 1883.  
1618343288: Opening ipv6 listen socket on port 1883.  
1618343288: Opening websockets listen socket on port 1884.  
1618343288: Warning: Mosquitto should not be run as root/administrator.  
1618343307: New connection from 172.30.32.1 on port 1883.  
[21:48:28] INFO: [INFO] found\_homeassistant on local database  
1618343308: New client connected from 172.30.32.1 as 78LAPs21QOV7hkmnVz99gB (p2, c1, k60, u'homeassistant')  
1618343331: New connection from 172.30.33.2 on port 1883.  
[21:48:52] INFO: [INFO] found addons on local database  
1618343332: New client connected from 172.30.33.2 as mqttjs\_66be47d1 (p2, c1, k60, u'addons')  
1618345089: Saving in-memory database to /data/mosquitto.db.
- Zigbee2mqtt**:  
[s6-init] making user provided files available at /var/run/s6/etc...exited 0.  
[s6-init] ensuring user provided files have correct perms...exited 0.  
[fix-attrs.d] applying ownership & permissions fixes...  
[fix-attrs.d] done.  
[cont-init.d] executing container initialization scripts...  
[cont-init.d] socat.sh: executing...  
[20:47:38] INFO: Socat not enabled, marking service as down  
[cont-init.d] socat.sh: executing 0.  
[cont-init.d] zigbee2mqtt.sh: executing...  
[20:47:39] INFO: MQTT available, fetching server detail ...  
[20:47:39] INFO: MQTT server settings not configured, trying to auto-discovering ...  
[20:47:40] INFO: Configuring 'mqtt://core-mosquitto:1883' mqtt server  
[20:47:40] INFO: MQTT credentials not configured, trying to auto-discovering ...  
[20:47:40] INFO: Configuring 'addons' mqtt user  
[20:47:40] INFO: Previous config file found, checking backup  
[20:47:40] INFO: Creating backup config in '/config/zigbee2mqtt/.configuration.yaml.bk'  
[20:47:40] INFO: Adjusting Zigbee2mqtt core yaml config with add-on quirks ...  
[cont-init.d] zigbee2mqtt.sh: exited 0.  
[cont-init.d] done.  
[services.d] starting services  
[services.d] done.  
[20:47:41] INFO: Handing over control to Zigbee2mqtt Core ...  
> zigbee2mqtt@1.18.2 start /app  
> node index.js

Both logs show successful connections from the Zigbee2mqtt add-on to the Mosquitto broker. A red circle highlights the connection log for the Zigbee2mqtt add-on in the Mosquitto broker log. Another red circle highlights the transition message in the Zigbee2mqtt log.

# 9. Připojení ZigBee periferií



← → ⌂ ⌂ Nezabezpečeno | 192.168.1.147:8123/45df7312\_zigbee2mqtt/dashboard

Aplikace Bookmarks Aplikace Nová karta Gmail YouTube Mappy Gmail YouTube Mappy Gmail YouTube Mappy

Home Assistant

Přehled

Mapa

Záznamy

Historie

File editor

Zigbee2mqtt

Prohlížeč médií

Vývojářské nástroje

Supervisor

Nastavení

Zigbee2MQTT Devices Dashboard Map Settings Groups OTA Touchlink Logs Extensions Permit join (All)

#	Pic	Friendly name	IEEE address	Manufacturer	Model	LQI	Power			
1		Tlačítka	0xbc33acffe86f3b8 (0x0EE0)	IKEA	E1524/E1810	42				
2		Zásuvka	0x847127fffeb4d1ca (0x6AF2)	IKEA	E1603/E1702	97				
3		Kontakt	0x14b457fffea3ef68 (0x307E)	TuYa	SNTZ007	110				
4		PIR	0x60a423fffecef043 (0x2A33)	IKEA	E1525/E1745	178				
5		Teplověr	0x00158d0001da5a7c (0x7203)	Xiaomi	WSDCGQ11LM	178				