



Základy mobilních systémů a GSM

Absolutoria

GSM

VOŠ a SPŠE Olomouc
Ing. Jiří Burda
www.mobilnisystemy.cz

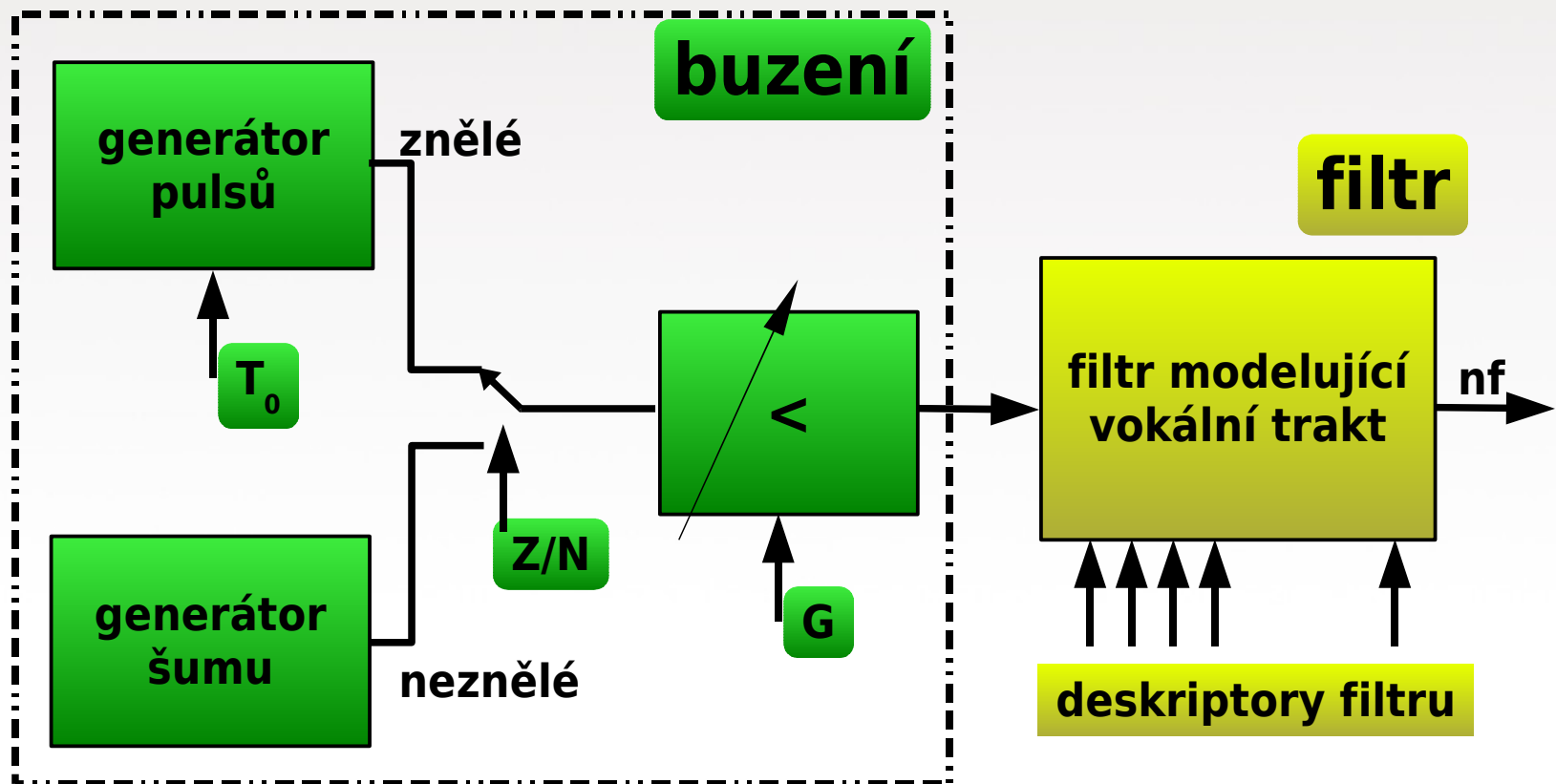
Zpracování hovorového signálu v systému GSM I:
zdrojové kódování (důvod, princip, vlastnosti),
kanálové kódování (důvod, princip, vlastnosti),
ochrana dat (důvod, principy)

Zdrojové kódování (komprese)

- **bezztrátová** – odstraňuje **nadbytečnou (redundantní)** informaci (přirozené zabezpečení)
 - nedochází ke ztrátě kvality (informace)
 - menší stupeň komprese
 - založena na statistických metodách (zip)
- **ztrátová** – odstraňuje **nepodstatnou (irelevantní)** informaci (vyšší kmitočty apod.)
 - dochází ke ztrátě kvality (informace) na **přijatelnou** úroveň
 - větší stupeň komprese (jpeg)
 - využívá znalostí vzniku dat a pro různá data se liší:
 - kvalitní zvuk – mp3, Ogg Vorbis, statický obraz – jpg, video – MPEG-4, Ogg Theora
 - **hovorový zvuk** – vokodéry (Ogg Speex)
v GSM FR 13 kbit/s nebo HR 6,5 kbit/s

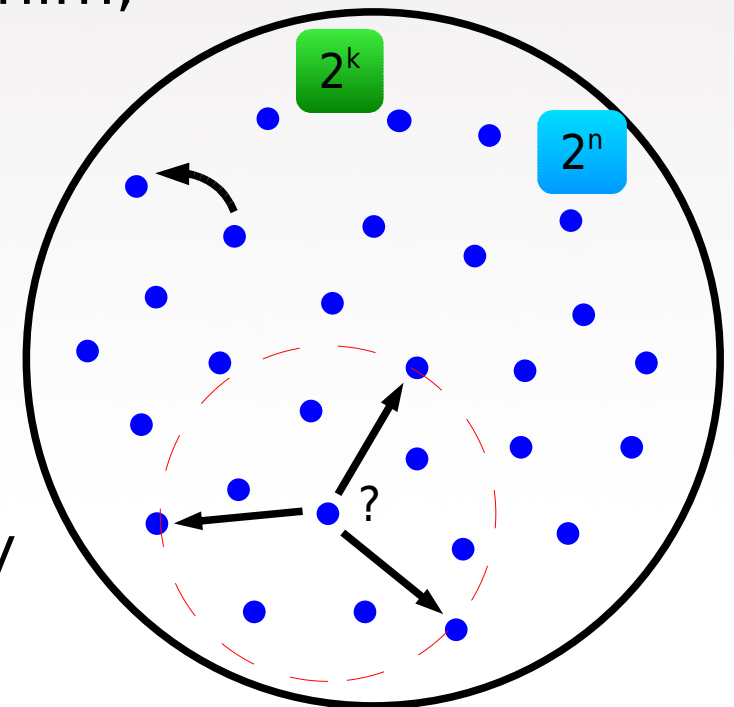
Vokodér - přijímač

- **voice coder** - elektronický model lidského hlasového ústrojí: buzení a filtr
- přenáší se parametry pro model tzv. **deskriptory**
- umožňuje redukovat bitový tok až na jednotky kbit/s

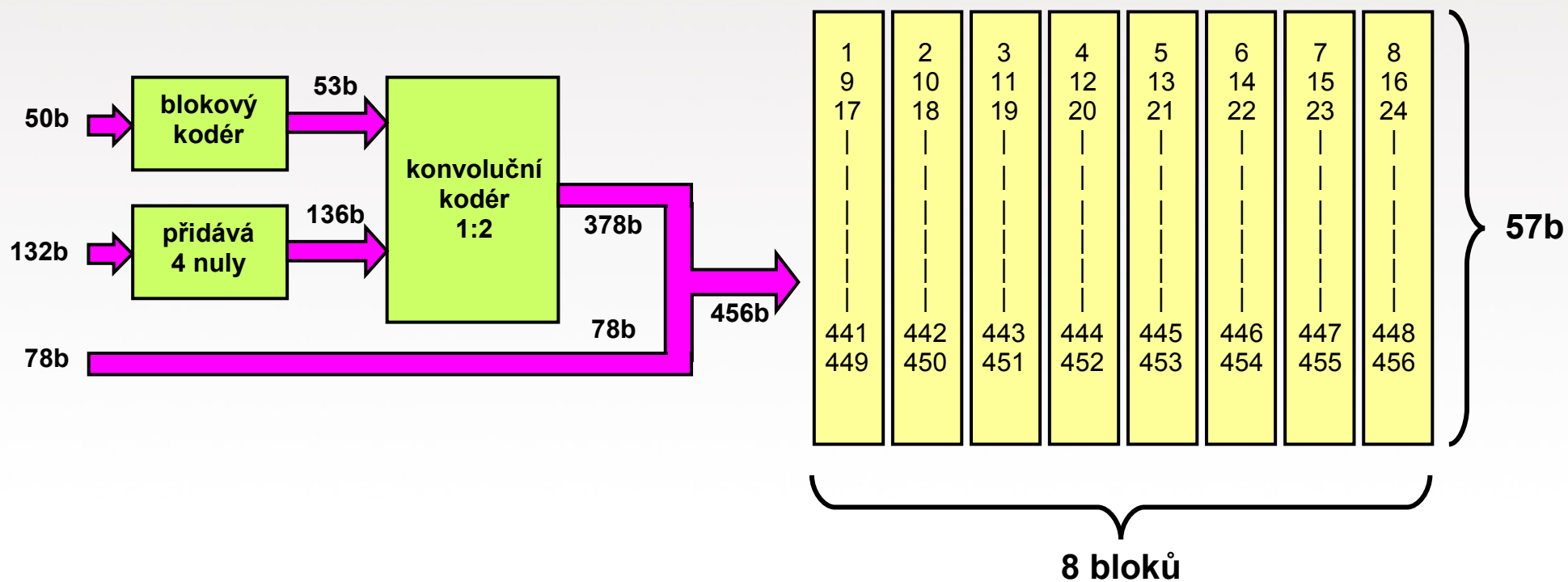
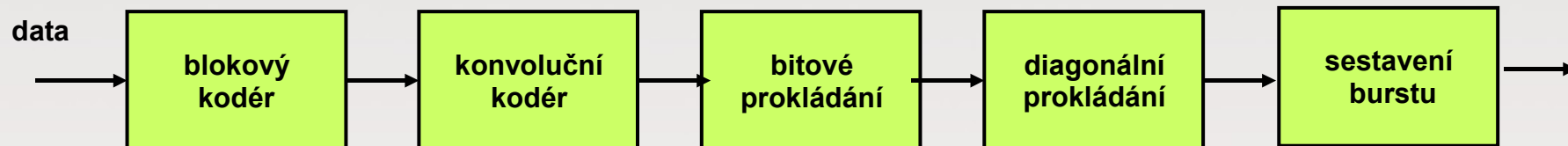


Kanálové kódování

- zabezpečení proti chybám vznikajícím při přenosu
- **běžné chyby** vznikají vlivem šumu a odstraňují se:
 - blokovými kódy
 - konvolučními kódy – účinnější než blokové
- **skupinové chyby** (výpadky dlouhé sekvence bitů) vznikají v rádiovém prostředí (rušením, únikem, ...) odstraňují se:
 - prokládání
 - Reed Solomony kódy
- **ARQ** (automatic retransmission request) – automatické vyžádání opakování přenosu
 - opakování přenosu v případě chyby



Kanálové kódování

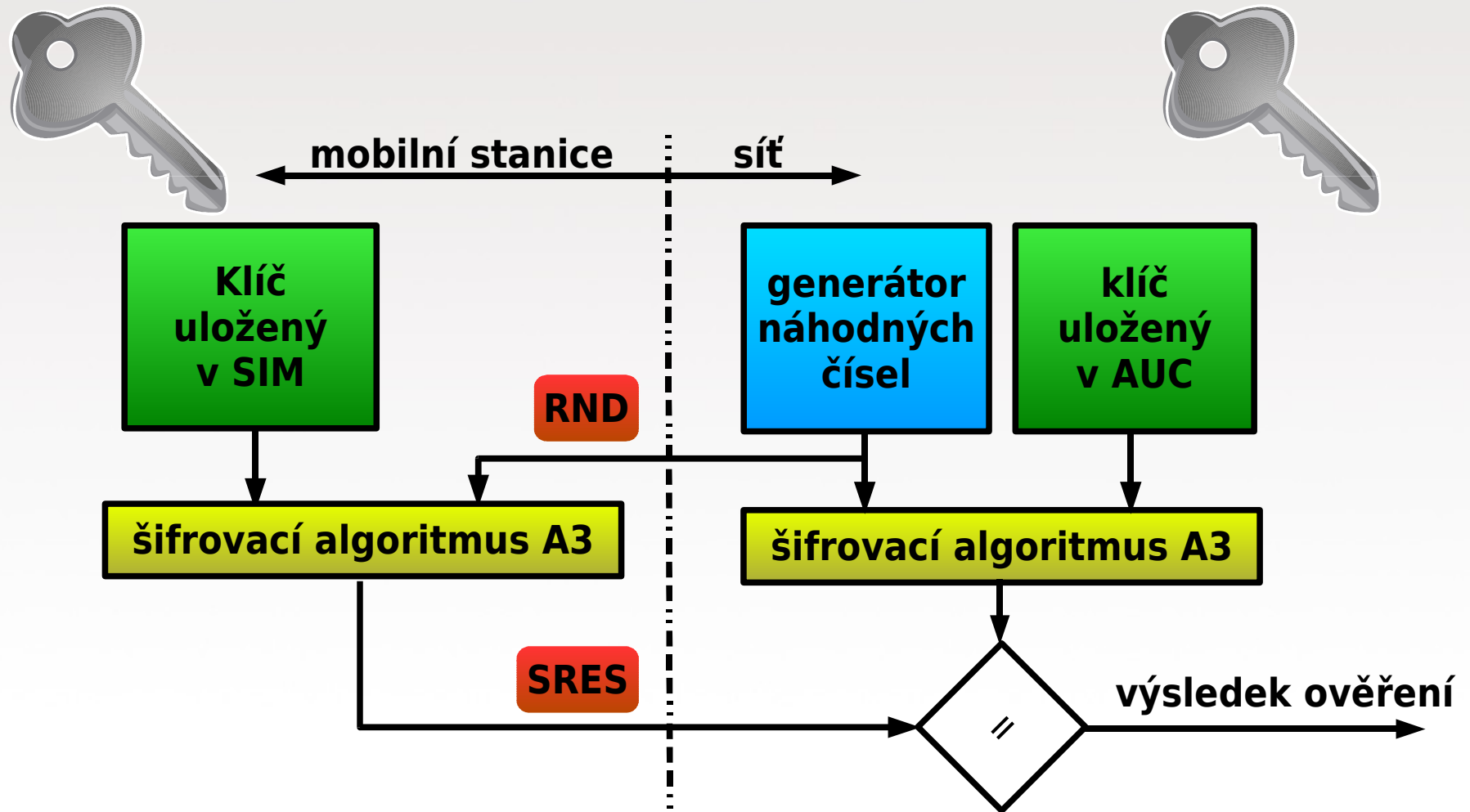


- požadované funkce
 - autorizace: ověření totožnosti
 - ověření osob: PIN, biometrika (otisky prstů, ...)
 - ověření zařízení IMEI
 - šifrování: ochrana proti čtení
 - kontrola integrity: ochrana proti změně
 - potvrzení převzetí: důležité
- faktory ovlivňující spolehlivost
 - management klíčů: např. klíč na zadní straně karty
 - způsob volby klíče: např. „4444“, „1234“
 - délka klíče: čím delší tím lépe
 - nejméně spolehlivá složka - lidský faktor



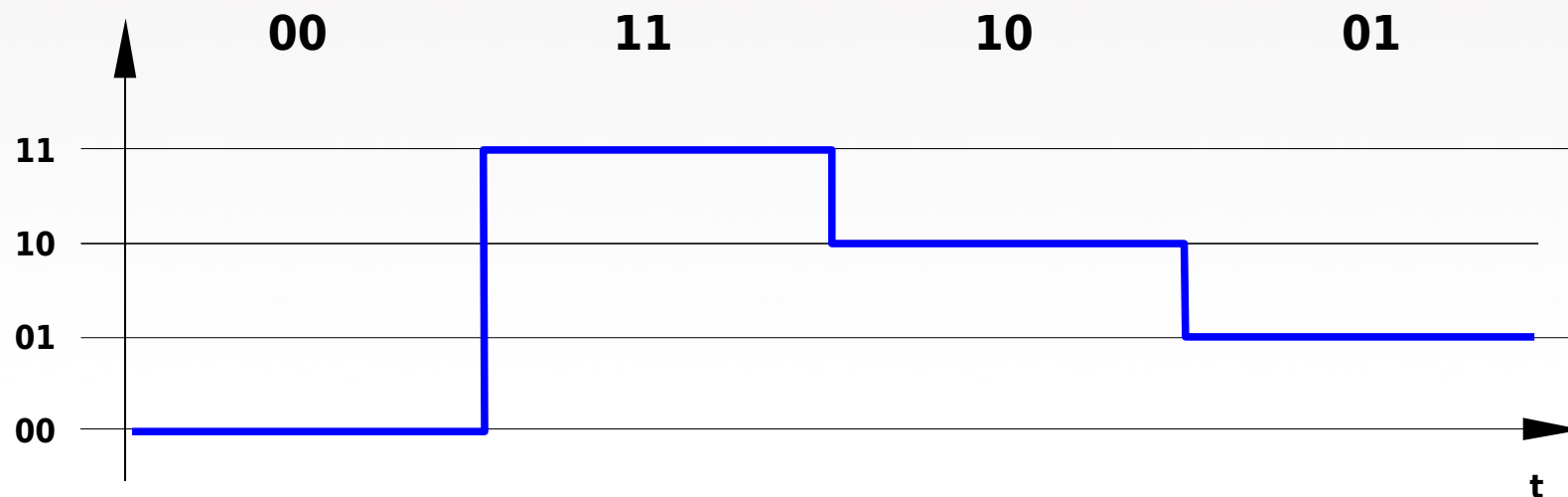
Ověření totožnosti

- nesmí se přenášet citlivá data přes nechráněné rozhraní



Zpracování hovorového signálu v systému GSM II:
linkové kódování a modulace (důvod, princip,
vlastnosti), bursty (druhy, vlastnosti), duplex a
multiplex (rámcová struktura)

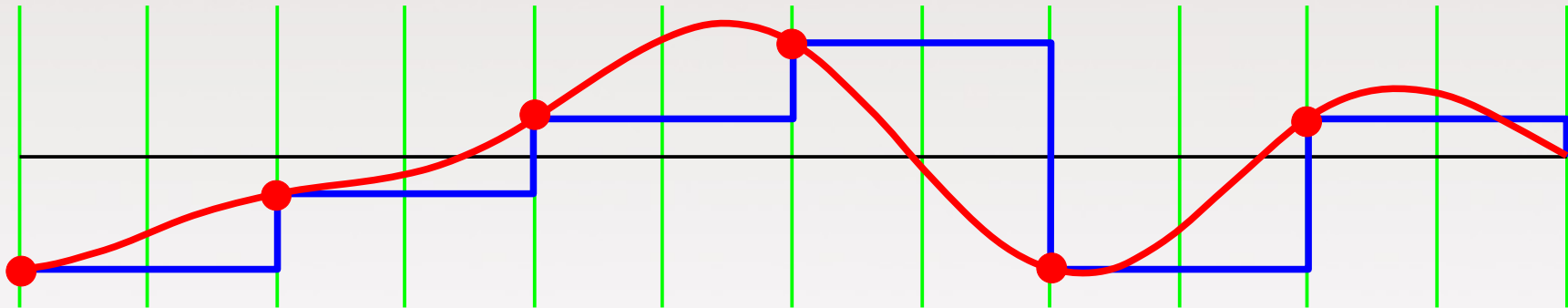
- linkový kód je způsob vyjádření digitálních dat (jedniček a nul) signálem vhodným pro přenos přenosovým kanálem:
 - optický kabel > optický signál (světlo)
 - metalický kabel > elektrický impuls vhodných parametrů:
 - 00 > 0V, 01 > 1V, 10 > 2V, 11 > 3V
 - rádiový přenos > vf radiový signál - **modulace**



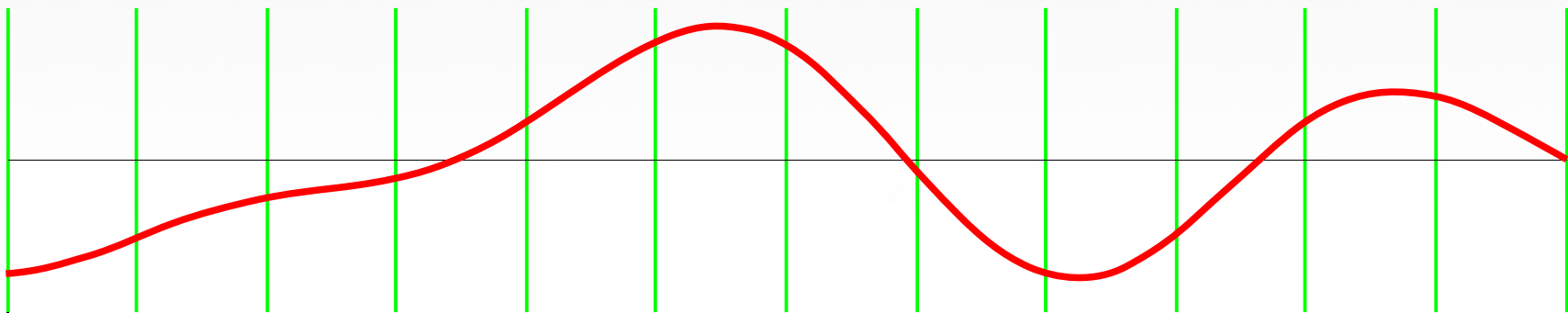
- v digitálních systémech se používají digitální modulace
 - **shift keying** – klíčování posunem
 - amplitudy **ASK - amplitude**
 - frekvence **FSK – frequency**
 - fáze **PSK – phase**
 - amplitudy **QAM** – kombinace ASK a PSK
- jedná se v podstatě o analogové modulace, kde vstupním signálem jsou digitální data (jedničky a nuly) vyjádřená vhodným impulsem
- pro rádiový přenos se většinou **nepoužívá obdélníkový signál**, ale signály jiných tvarů
- **často** se jedná o **více-stavové** modulace

Porovnání časových průběhů

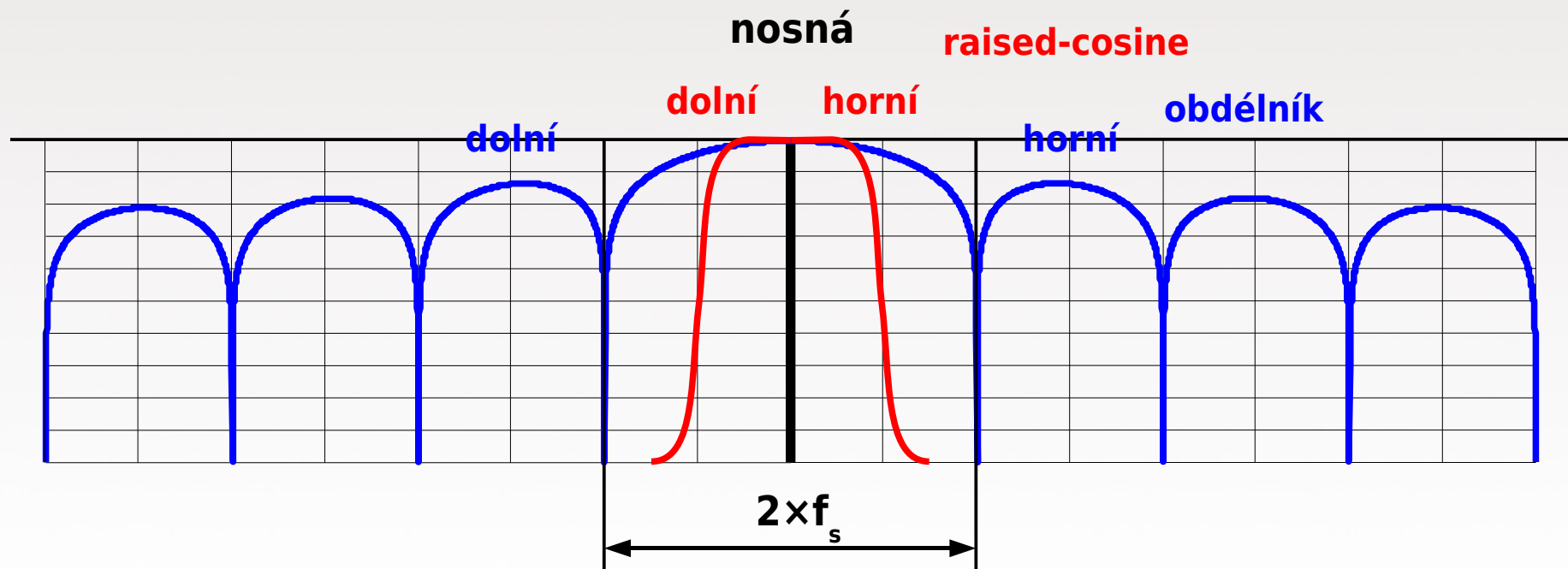
obdélníkový (00 01 10 11 00 10)



raised-cosine (00 01 10 11 00 10)



Porovnání spekter při modulaci



Modulace v mobilních systémech

- $\pi/4$ DQPSK - USA
 - **Shift Keying**: digitální modulace (klíčování)
 - **Phase**: fázová
 - **Quadri**: 4 stavová
 - **Differential**: diferenciální – synchronizátor nahrazen zpožďovacím obvodem » odolnost únikům
 - **$\pi/4$** : fázový posuv, který zmenšuje kolísání obálky při filtrování
- GMSK - GSM
 - **Shift Keying**: digitální modulace (klíčování)
 - **Minimum (phase)**: s minimální fází – navazování symbolů probíhá v nule » lepší spektrum
 - **Gaussian**: filtrování Gaussovským filtrem » lepší spektrum

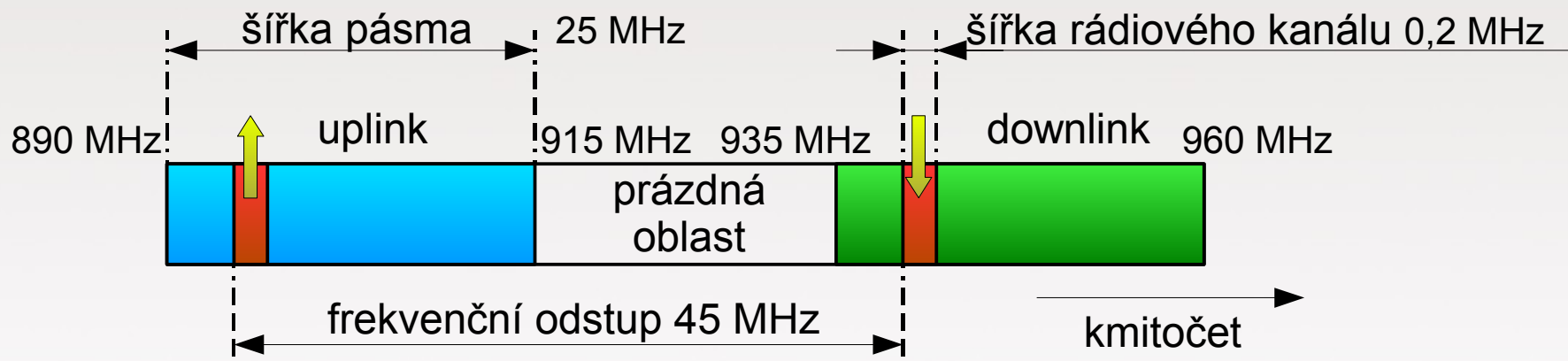
Typy burstů

- jsou definovány 4 typy burstů s užitečnou délkou 147 b a jeden s délkou 87

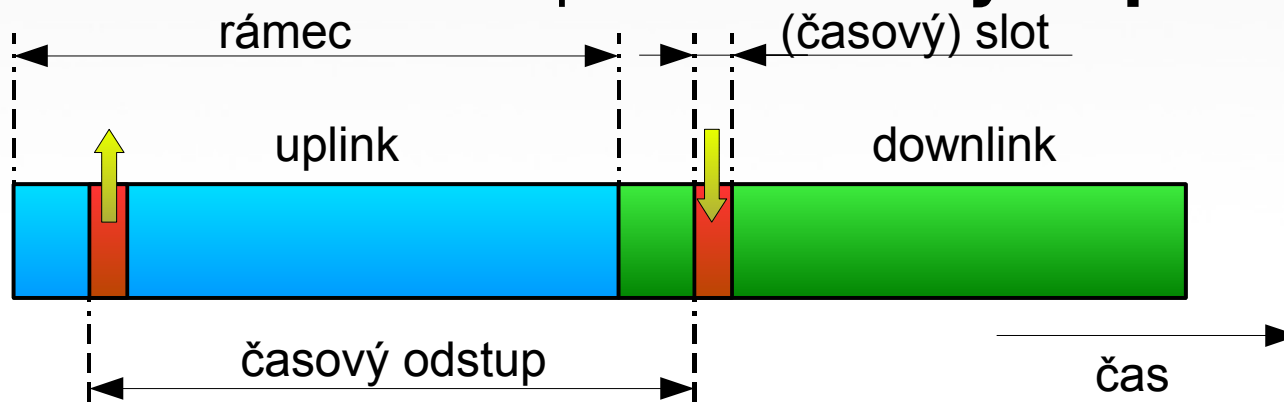
normální	<table border="1"><tr><td>t</td><td>57 x data</td><td>26 x train</td><td>57 x data</td><td>t</td><td>g</td></tr></table>	t	57 x data	26 x train	57 x data	t	g
t	57 x data	26 x train	57 x data	t	g		
frekvenční korekce	<table border="1"><tr><td>t</td><td colspan="3">142 x nula</td><td>t</td><td>g</td></tr></table>	t	142 x nula			t	g
t	142 x nula			t	g		
synchronizační	<table border="1"><tr><td>t</td><td>39 x bity</td><td>64 x training</td><td>39 x bity</td><td>t</td><td>g</td></tr></table>	t	39 x bity	64 x training	39 x bity	t	g
t	39 x bity	64 x training	39 x bity	t	g		
prázdný	<table border="1"><tr><td>t</td><td colspan="3">142 x mix</td><td>t</td><td>g</td></tr></table>	t	142 x mix			t	g
t	142 x mix			t	g		
přístupový	<table border="1"><tr><td>et</td><td>41 x synchro</td><td>36 x bity</td><td>t</td><td colspan="2">68,25b guard</td></tr></table>	et	41 x synchro	36 x bity	t	68,25b guard	
et	41 x synchro	36 x bity	t	68,25b guard			

t (tail) 3 bity (nuly) a funguje jako zahájení a ukončení modulace
et (extended tail) - 8 bitů
g (guard time) - ochranná doba 8,25 bitů

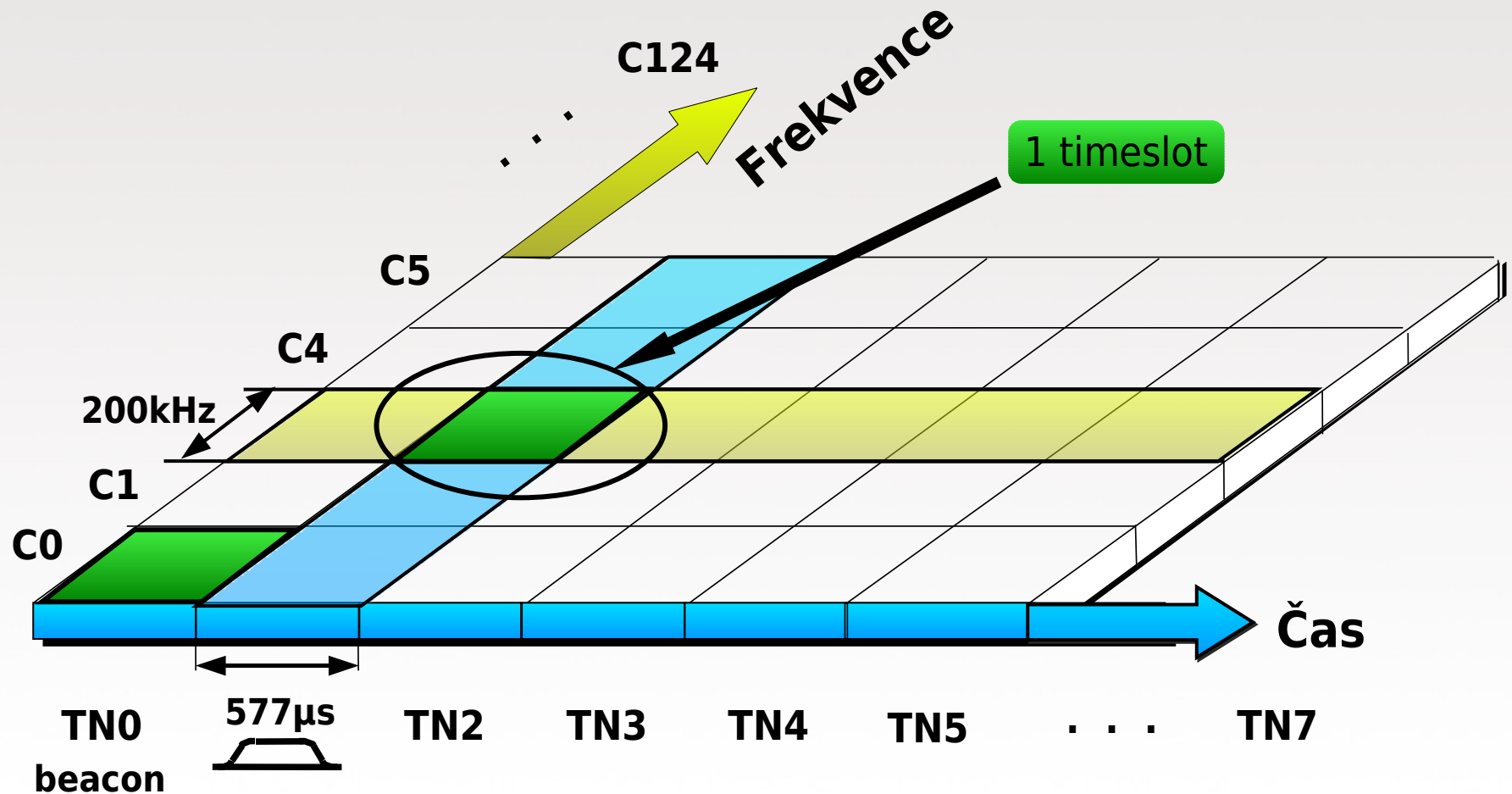
- obousměrný přenos
- **FDD** – Frequency Division Duplex – **frekvenční duplex**



- **TDD** – Time Division Duplex – **časový duplex**



GSM multiplex (FDMA / TDMA)



Vytváření spojení v systému GSM - logické kanály GSM (rozdělení, typy, vlastnosti)

Fyzické a logické kanály

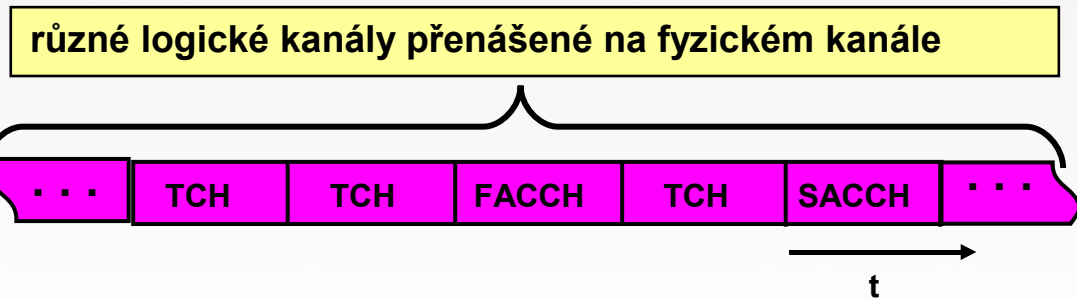
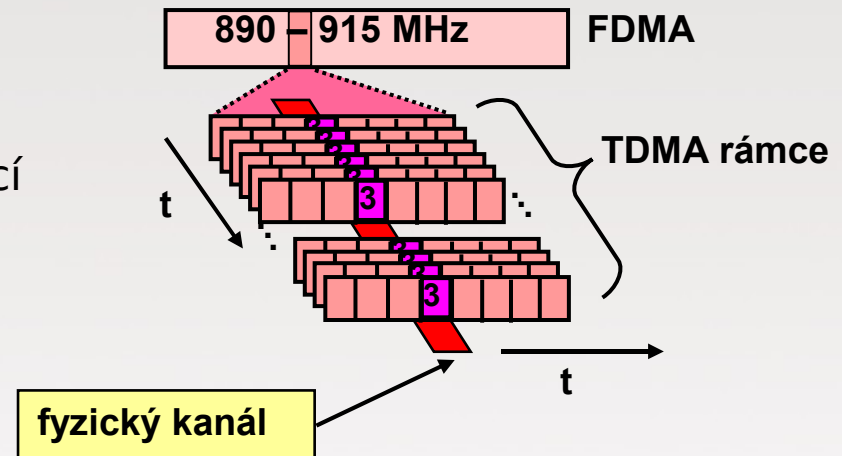
- **fyzický kanál**

- je definován jako určitý timeslot na určitém frekvenčním kanále

- vedle vlastního přenosu uživatelských informací je třeba přenášet poměrně velké množství různorodých signalizačních informací, které se z důvodu snadné identifikace a oddělitelnosti člení se do tzv. logických kanálů

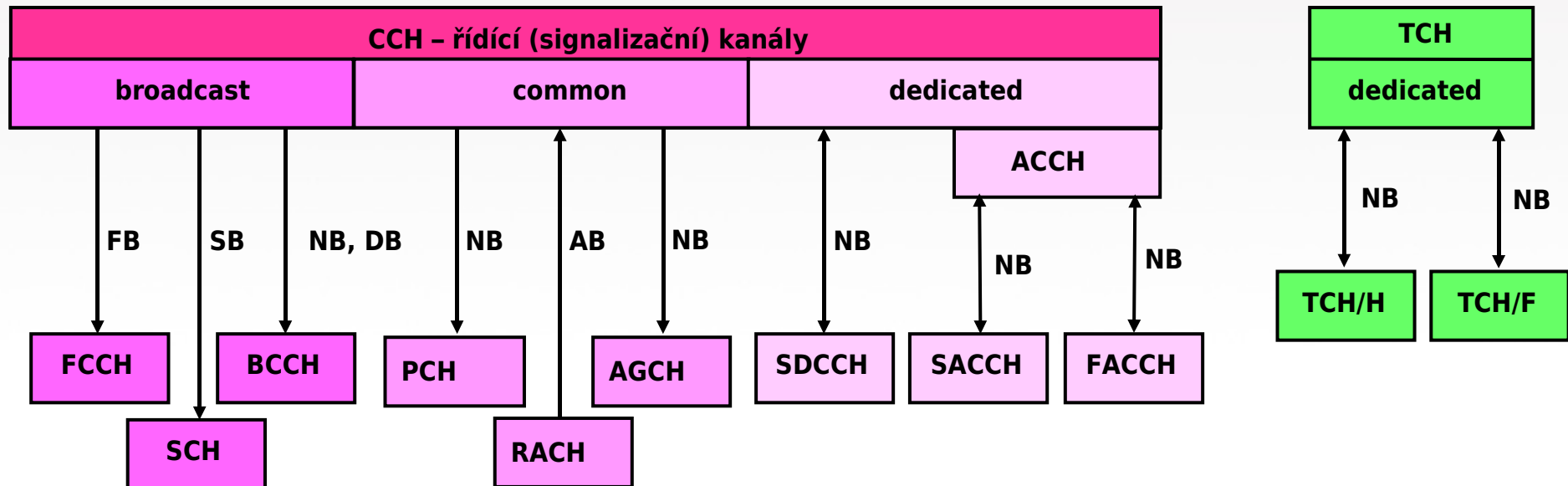
- **logický kanál**

- vyjadřuje druh informace, která se v určitém čase přenáší prostřednictvím daného fyzického kanálu
- některé logické kanály jsou obousměrné, některé slouží jen pro směr uplink, jiné pouze pro směr downlink
- některé logické kanály se přenáší po vyhrazeném provozním fyzickém kanálu, jiné se přenáší prostřednictvím speciálního společného fyzického kanálu (tzv. **beacon channel**)
- některé logické kanály jsou aktivní po celou dobu přenosu, jiné fungují pouze v určitých fázích přenosu
- různé logické kanály používají různé typy burstů



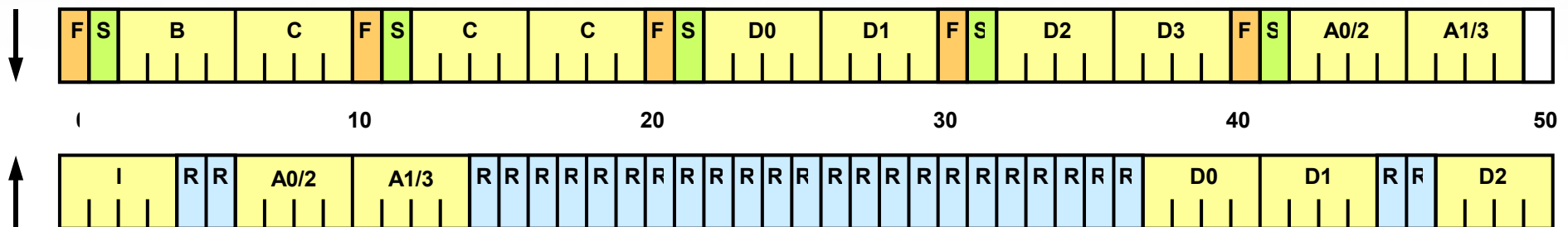
Logické kanály - rozdělení

- **provozní kanály TCH** (Traffic CHannels)
- **řídící (signalizační) kanály CCH** (Control CHannels):
 - **Broadcast BCCH**, vysílací kanály (jen downlink na beacon kanálu (C0,TN0 dané CA))
 - **Dedicated DCCH**, kanály vyhrazené konkrétní MS
 - **Common CCCH**, společné kanály pro skupinu MS v jednom TDMA rámci



Broadcast kanály BCCH

- vysílají se ve směru downlink na C0, TS0 daného CA (tzv. beacon kanál)
 - tento fyzický kanál používající 51 rámcové multirámce má v síti GSM nezastupitelnou úlohu
 - jeho vysílací výkon je neměnný a drží na maximální hodnotě dané BTS, čímž je MS umožněno právě na beaconu měření výkonu od jednotlivých BTS
 - ve svých logických kanálech vysílá data nutná pro zajištění spojení BTS - MS
- FCCH (Frequency Correction Channel) - pomocí speciálního burstu umožňuje MS přesně doladit frekvence svojí VF části
- SCH (Synchronization Channel) - vysílá data nutná pro rámcovou synchronizaci (číslo rámce a jednoznačnou identifikaci operátora a dané BTS)
- BCCH (Broadcast Control Channel) - vysílá veškeré informace týkající se dané BTS potřebné pro spojení MS – BTS a kmitočty okolních BTS
- fyzický kanál odpovídající beaconu ve směru uplink je používán zejména pro logické kanály RACH a SDCCH



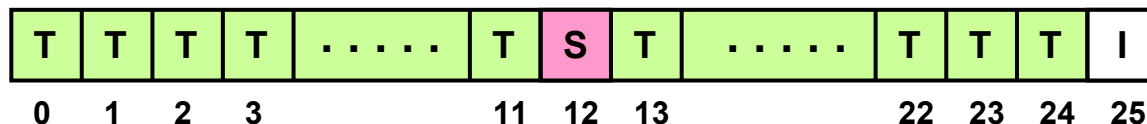
Společné řídicí kanály CCCH

- jsou fyzicky namapovány v beacon kanálu a podle okamžité potřeby slouží vybraným MS
 - používají se zejména při navazování spojení a provádění handoveru
 - identifikace, komu vysílaná data patří se děje pomocí přenášených čísel
- PCH (Paging CHannel)
 - používá se pro vyvolání MS, pokud s ní BSS chce navázat kontakt
 - všechny BTS v dané LA vysílají pomocí tohoto kanálu TMSI případně IMSI požadované MS
 - MS musí do určité doby odpovědět na PCH pomocí kanálu RACH, jinak je považována za nedostupnou
- RACH (Random Access CHannel)
 - MS tímto kanálem žádá o přístup k síti, pokud chce zahájit přenos, ať už na základě vlastního požadavku nebo na základě pagingu
 - **MS nemůže v idle stavu znát TA, proto, aby nedocházelo ke kolizím, RACH musí používat zkrácený access burst**
 - RACH se vysílá opakovaně a existují mechanismy jak obejít možné kolize s případným RACH vysílanými ve stejnou dobu jinými MS
- AGCH (Access Grant CHannel)
 - BTS tímto kanálem potvrdí nebo zamítne MS přístup k síti (odpověď na RACH)
 - pokud přístup potvrdí, přidělí MS tímto kanálem SDCCH, k přenosu další potřebné signalizace a oznámí jí platný TA

Vyhrazené řídicí kanály DCCH

- SDCCH (Standalone Dedicated Control Channel) cca 780b/s
 - používá se v situacích, kdy není přidělen žádný provozní kanál, ke kterému by se dal asociovat SACCH nebo FACCH
 - slouží například k signalizaci v době navazování spojení nebo k přenosu SMS
- SACCH (Slow Associated Control Channel) cca 390b/s
 - používá se k přenosu signalizace jakmile je aktivní některý provozní kanál
 - **time advance (TA) a regulace vysílacího výkonu**
 - **údaje naměřené MS o aktivní, ale i okolních BTS**
 - **řada dalších signalizačních zpráv**
 - SACCH je kanál využívající třináctý slot v 26 rámcovém multirámci
- FACCH (Fast Associated Control Channel) 9,2 nebo 4,6kb/s
 - pro zajištění určitých činností nestačí rychlost SACCH, proto se dočasně vytváří rychlý kanál FACCH „ukradením“ poloviny nebo celého burstu TCH
 - z tohoto důvodu jsou v normálním burstu tzv. stolen bity (na začátku a konci trénigové sekvence), které ukazují, zda byl burst „ukraden“
 - pro přenos signalizace v průběhu handoveru může využívat i access burst

Mapování logických kanálů v multirámci



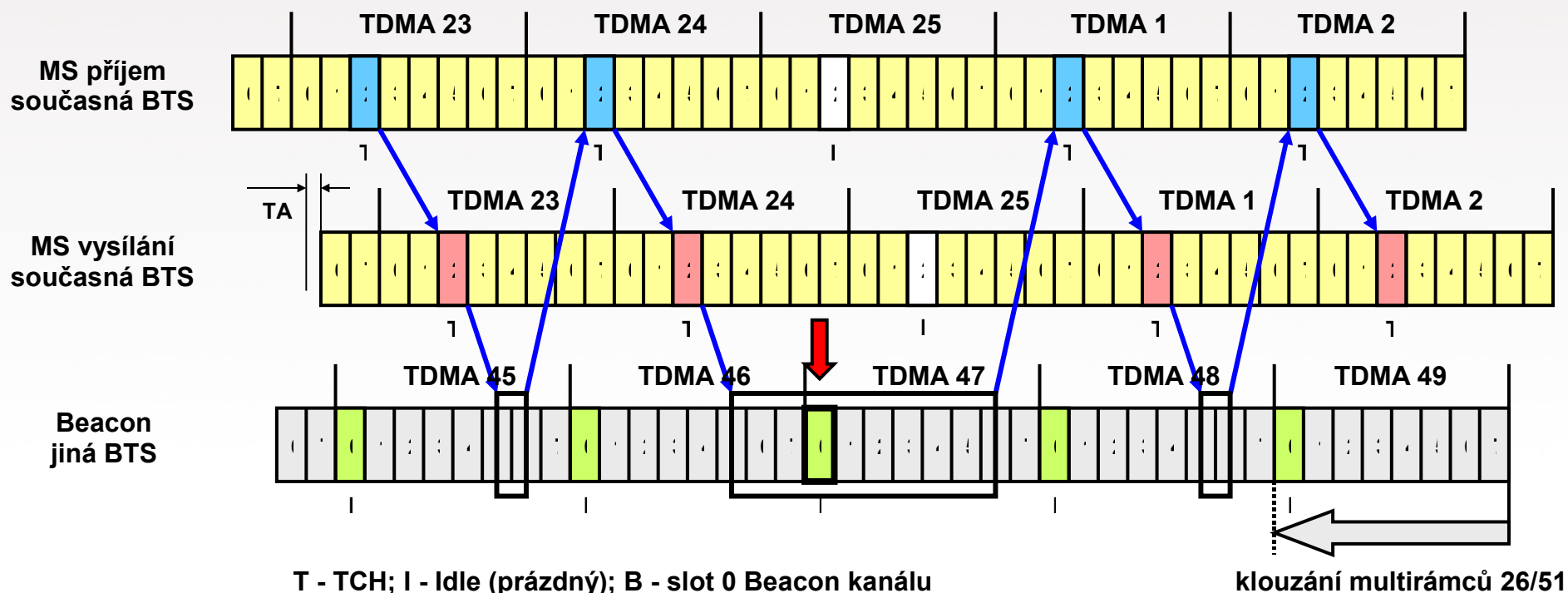
T - TCH, S - SACCH, I - prázdný

Provozní kanály TCH

- přenášejí uživatelský informační tok a dělí se podle
 - rychlosti přenosu
 - TCH/F - plná 22,8 kb/s (Full rate)
 - TCH/H - poloviční 11,4 kb/s (Half rate)
 - **zde uvedená rychlost je plná rychlost daného kanálu, přenášená data se ovšem musí zabezpečit, a proto je využitelná přenosová rychlost výrazně nižší**
 - **novější Enhanced full rate (TCH/EFS) používá pouze důmyslnějšího kodeku, ale přenosová rychlost je stejná jako u full rate**
 - přenášených informací
 - S - řečový signál (Speech)
 - X,X - datový signál s přenosovou rychlostí X,X kb/s
 - jsou vždy vyhrazené a využívají spolu s asociovanými řídicími kanály (ACCH) 26ti rámcové multirámce na fyzickém TDMA slotu dané MS
 - v režimu multislots může být MS vyhrazeno více TDMA rámců pro přenos TCH, a tak zvýšena její přenosová kapacita
 - **ACCH se pak zpravidla používá jen u prvního TCH**
- příklady používaných TCH kanálů
 - přenos řeči - TCH/FS; TCH/HS; TCH/EFS
 - přenos dat - TCH/F9,6; TCH/F4,8; TCH/F2,4; TCH/H4,8; TCH/H2,4

Režim činnosti MS

- TDMA rámce pro uplink jsou na BTS o 3 sloty zpožděny za rámci pro downlink
 - aby toto na BTS platilo, musí jednotlivé MS vysílat uplink sloty s předstihem odpovídajícím jejich vzdálenosti od BTS - tzv. TA (Time Advance)
 - elektronika MS je výrazně jednodušší (nemusí současně vysílat a přijímat)
 - v mezích MS může měřit beacon kanály z okolních BTS
 - významnou roli v tom hraje prázdný rámec z 26 rámcového multiframu (TCH + SACCH používá 26, zatímco beacon používá 51 rámcový multiframe)

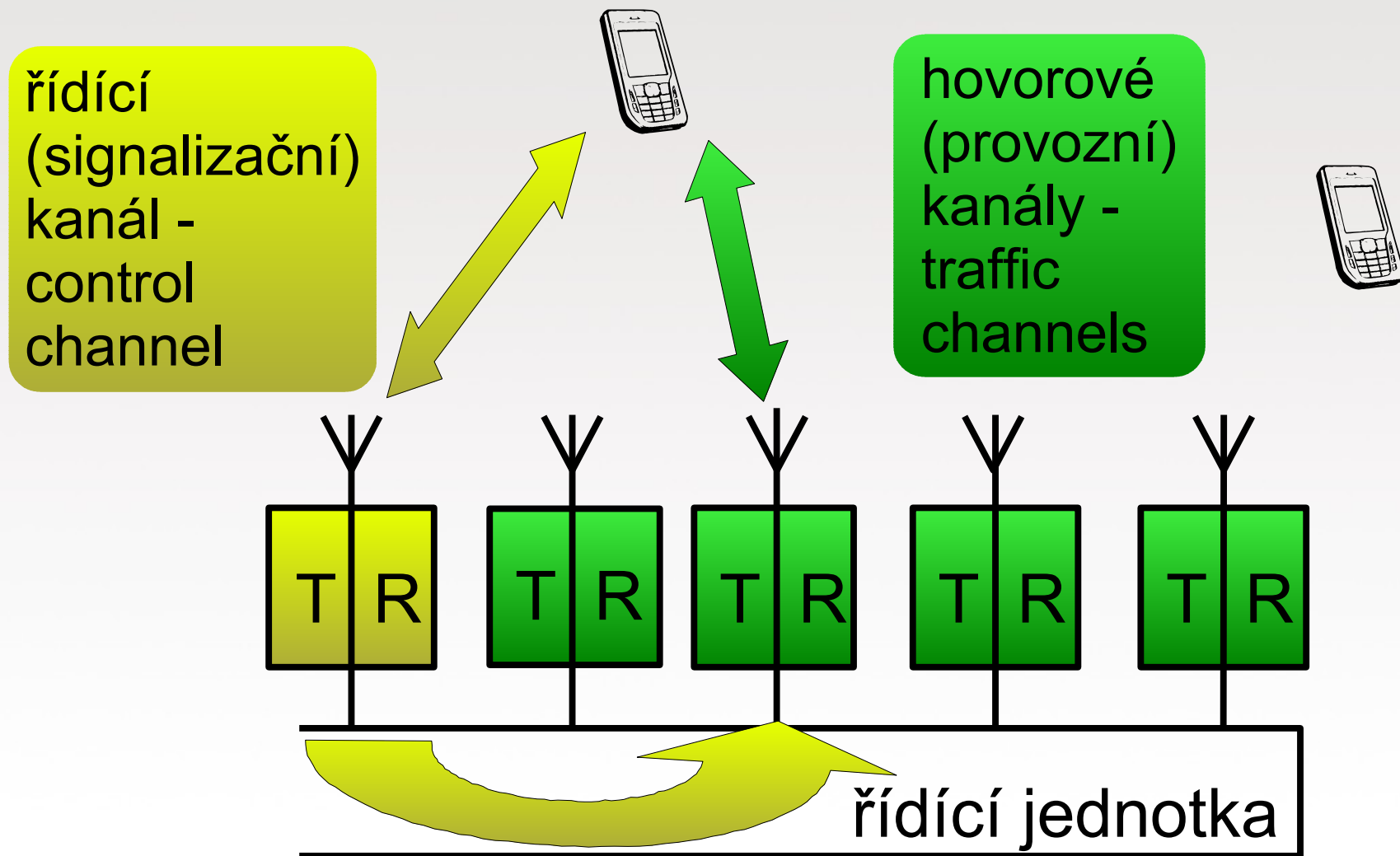


Problematika rádiových systémů: trunkové rádio (princip funkce), buňková struktura (princip, kmitočtové plánování, handover), problematika šíření signálu (vícecestné šíření, únik, diversita, ekvalizace, frekvenční skákání)

Trunkové rádio (trunked radio)

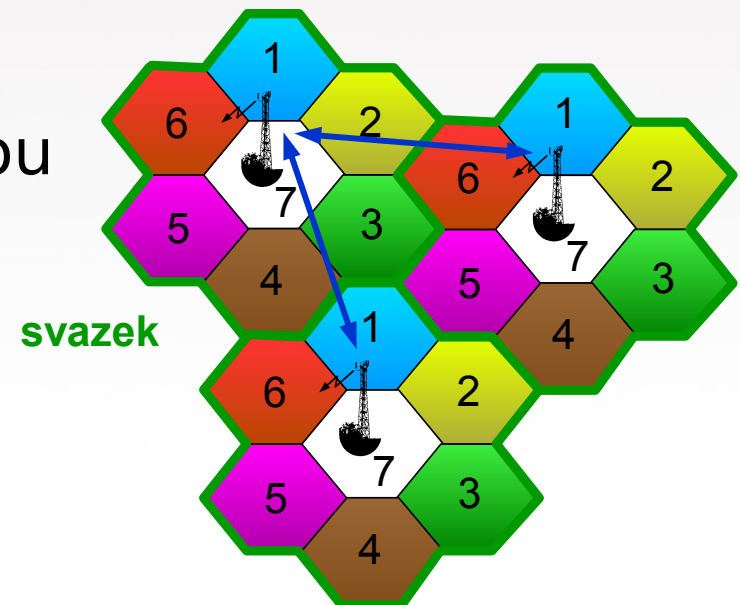
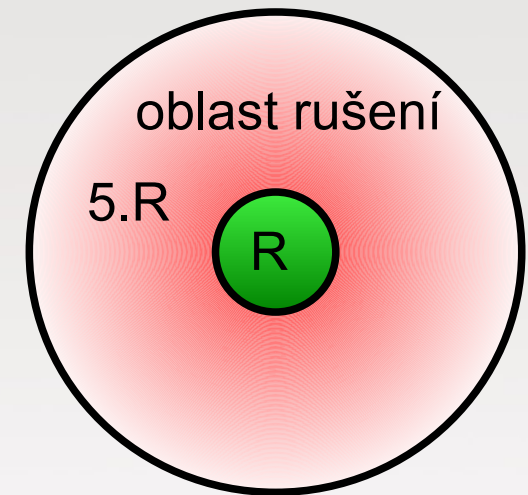
- jeden uživatel je schopen vytížit hovorový kanál poměrně málo např. 1 hodinu hovoru denně:
 - není rozumné, aby jeden uživatel blokoval kanál celý čas
 - výhodné je sdružit co nejvíce uživatelů – klesá pravděpodobnost **blokování** hovoru
- principy trunkového rádia:
 - více uživatelů sdílí více kanálů
 - kanály se přidělují na požádání
 - konkrétní uživatel využívá kanál jen po dobu hovoru
- **selektivní volba**
 - zjišťuje příjem jen těm uživatelům, kterým hovor patří
- systém je složitější:
 - terminály musí umět pracovat na všech kanálech
 - je potřeba inteligence v řídicí části

Trunkové rádio - funkce



Buňková struktura (cellular network)

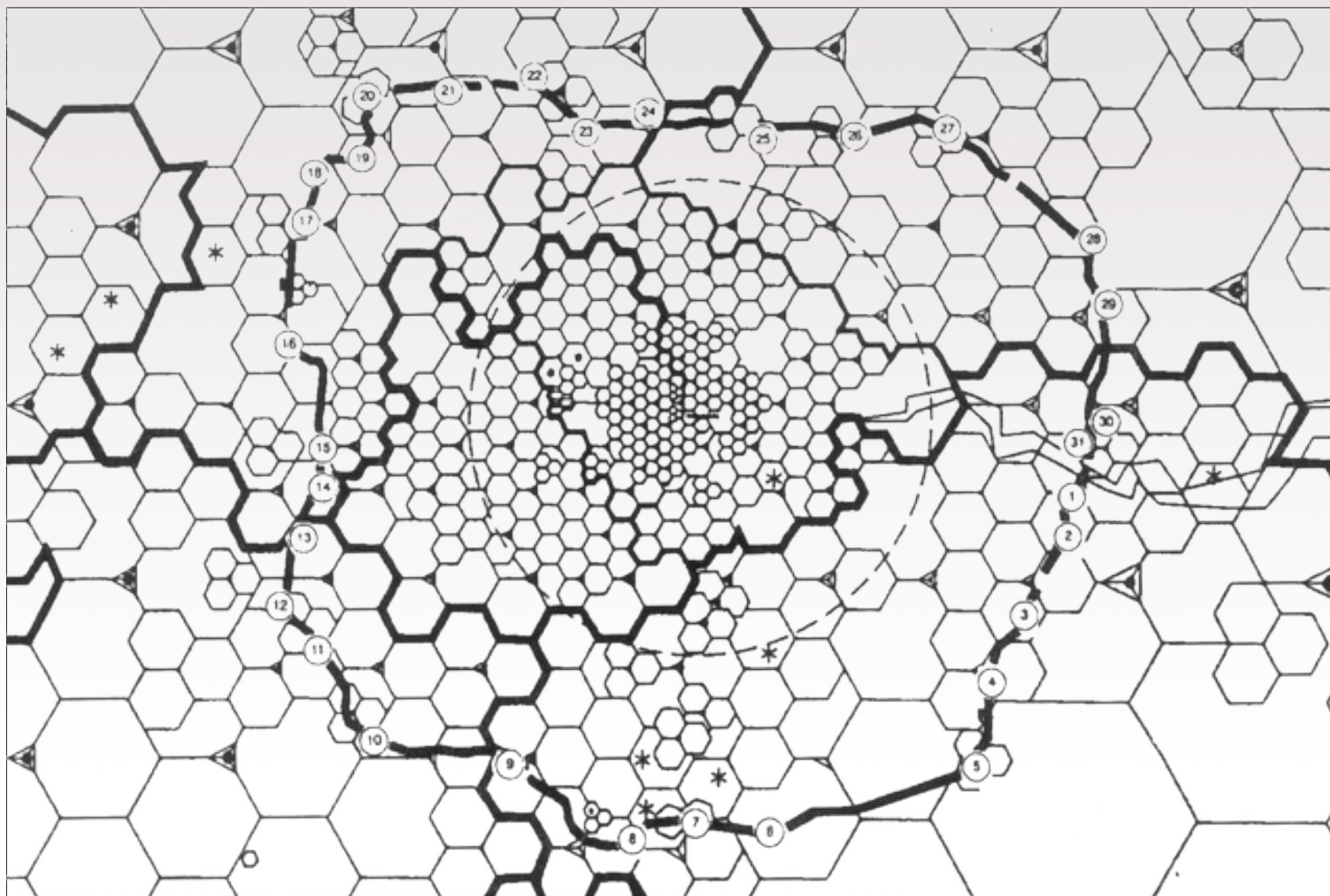
- **buňka (cell)** je území pokryté jedním anténním systémem
- **svazek (cluster)** buněk s rozdílnými kmitočty se opakuje v síti
- požadavky na zařízení:
 - co nejmenší výkon vysílačů
 - dobrá citlivost a selektivita přijímačů
- velikost buněk (nastavuje plošnou kapacitu sítě) je ovlivněna:
 - vysílaným výkonem
 - výškou antény (nad terénem)
 - členitostí terénu
 - kmitočtovým pásmem



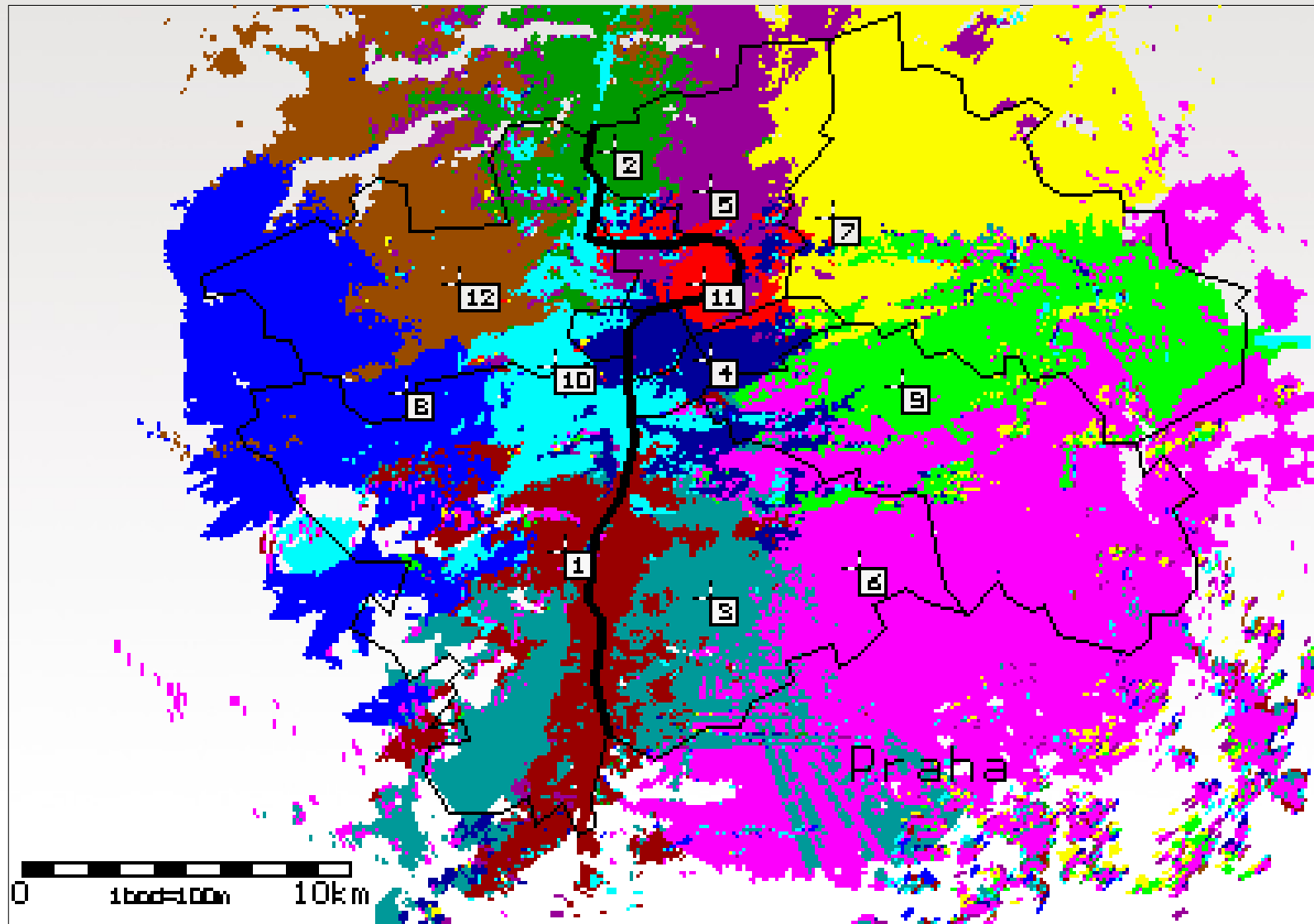
- **makrobuňky** (Φ desítky km) - velká území s malým provozem – typicky vesnice
- **mikrobuňky** (Φ stovky m) - území s velkým provozem - typicky města
- **pikobuňky** (Φ desítky m) – uvnitř budov
- **selektivní buňky** - vysílají jen do určitého směru (120°)
- **deštníkové (překrývající) buňky** – větší buňky překrývající několik menších; při rychlém pohybu v mikrobuňkové struktuře dochází často handoverům => proto jsou rychle pohybující se účastníci předávání větším; také překrývají mezery mezi buňkami
- hierarchická buňková struktura



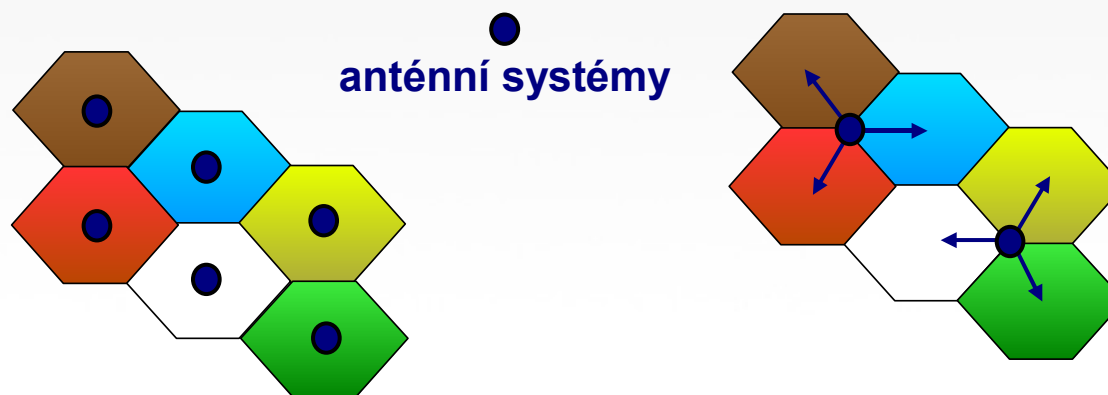
Plošná kapacita



Simulace pokrytí



- podle směrovosti
 - všesměrové buňky – vysílač má všesměrový anténní systém
 - sektorové buňky – jeden anténní systém je obsluhován několika (typicky 3) vysílači v nezávislých sektorech
- podle použití
 - outdoor - vnější
 - indoor – vnitřní (v budovách)



- přechod mezi kanály (většinou na hranicích buněk)
- způsob řízení
 - **NCHO**
network controlled
(řízený sítí): jednoduchý;
NMT
 - **MCHO**
mobile controlled
(řízený mobilem) velmi
náročný jak na mobil tak
na přenos signalizace
v síti; DECT
 - **MAHO**
mobile assisted
(řízený sítí s asistencí
mobilu) kompromis; GSM
- způsob přepnutí
 - **tvrdý**
odpojení a připojení
nového kanálu; GSM
 - **bezešvý**
po krátký okamžik
současně oba kanály;
DECT
 - **měkký**
neustále připojeno na
všechny kanály; CDMA

Násobný přístup (multiple access)

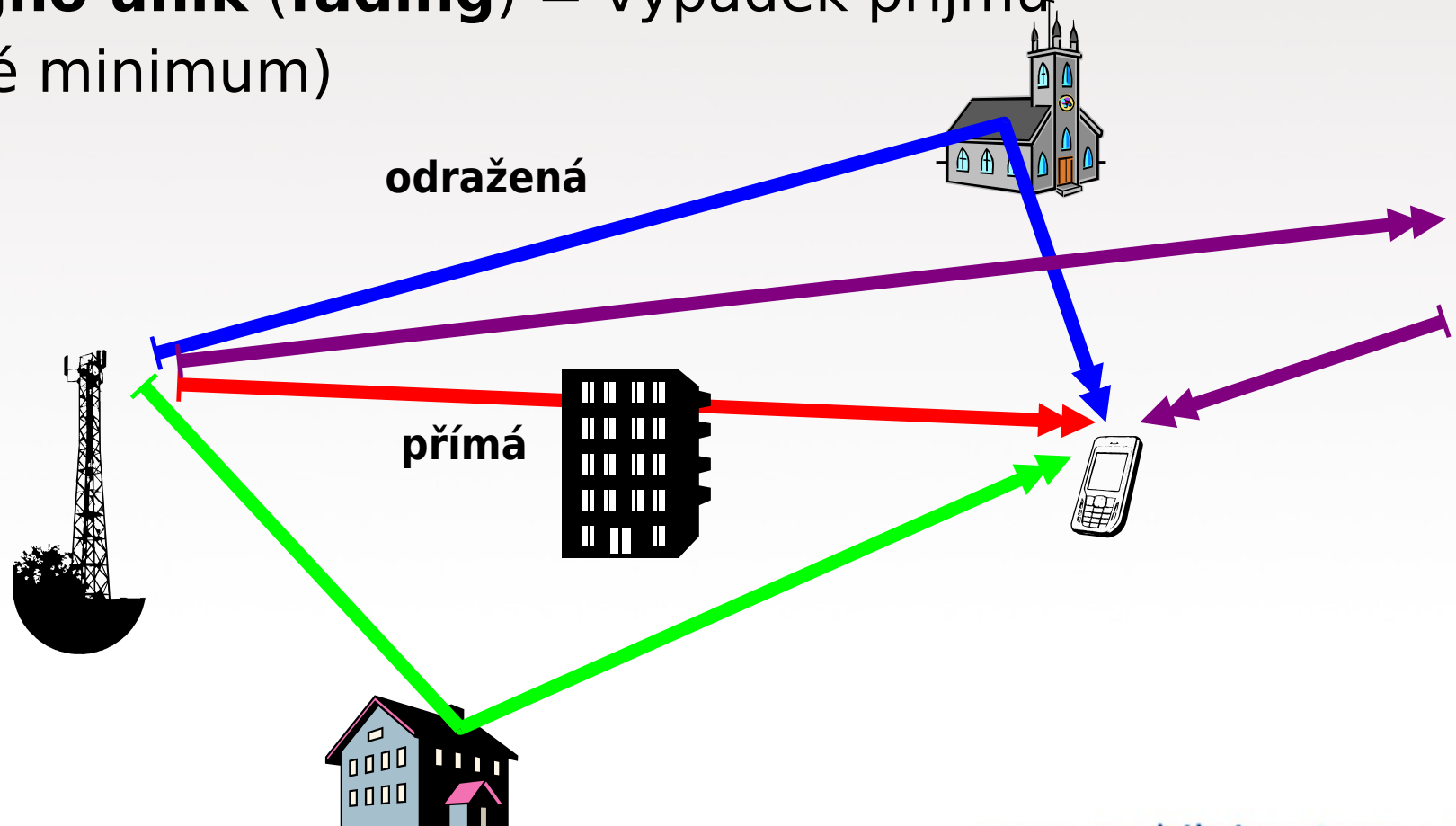
- **FDMA** – Frequency Division Multiple Access (násobný přístup s kmitočtovým dělením): každá komunikace má přidělenou část kmitočtového spektra - **rádiový kanál, kmitočet – C**
 - analogové systémy 1. generace
- **TDMA** – Time Division Multiple Access (násobný přístup s časovým dělením): každá komunikace má přidělen časový úsek na radiovém kanálu – **(time) slot – TN**
 - digitální systémy 2. generace
- **CDMA** – Code Division Multiple Access (násobný přístup s kódovým dělením): každá komunikace má přidělen svůj **kód**
 - vysokorychlostní systémy 3. generace

Jevy degradující signál I.

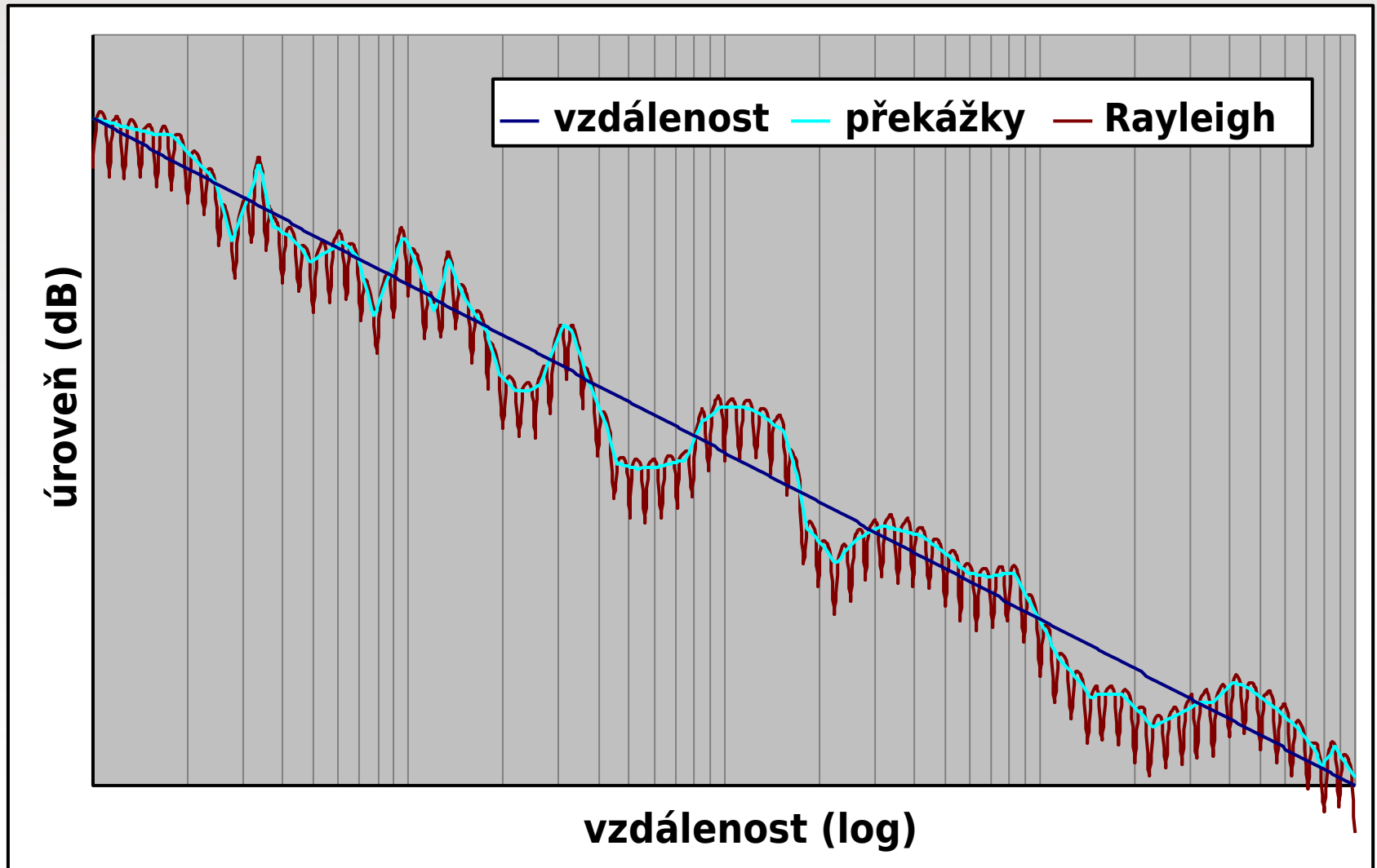
- **útlum způsobený vzdáleností od vysílače** – má logaritmický průběh (v ideálním prostoru bez překážek)
- **stíny za překážkami** – pro signál se objekt stává překážkou ve chvíli, kdy jeho rozměry odpovídají (nebo jsou větší) vlnové délce signálu
- **Rayleighovy úniky** – jsou způsobené odrazem od překážek v malé vzdálenosti (okolní budovy) od přijímací antény (fázový posun)
- **disperze signálu** – je způsobená odrazem od velkých překážek ve velké vzdálenosti (hory) od přijímací antény (zpoždění o délku bitu); zpožděná příchozí kopie bitů způsobuje komplikace při příjmu
- **Dopplerův jev** – zvyšování / snižování kmitočtu vzájemným pohybem vysílače a přijímače (vysokorychlostní vlaky 300 km/hod)

Vícecestné šíření (multipath propagation)

- šíření po více cestách často **bez přímé složky** » vznik stojatého vlnění minima / maxima ($\lambda/2$)
- kmitočty $f = 1 - 2$ GHz tj. vlnové délky $\lambda = 30 - 15$ cm
- **Rayleighův únik (fading)** = výpadek příjmu
- (hluboké minimum)



Jevy degradující signál II.



Obrana proti degradaci signálu I

- **samoopravné kódy (FEC - forward error correction)** – řeší stíny (slabší příjem) za překážkami
 - přidávají k užitečnému signálu další bity (**redundantní informace**), které pak na přijímači umožňují detekovat a případně i opravovat vzniklé chyby
- **prokládání** – řeší krátkodobý únik
 - „rozbíjí“ shluky chyb na jednotlivé bity, které se pak opravují samoopravnými kódy
- **adaptivní ekvalizace (equalization)** – disperze signálu
 - na základě známé sekvence bitů (tzv. **tréninková sekvence**) se v přijímači průběžně doladuje adaptivní ekvalizér (filtr), který působí proti zkreslení kanálu

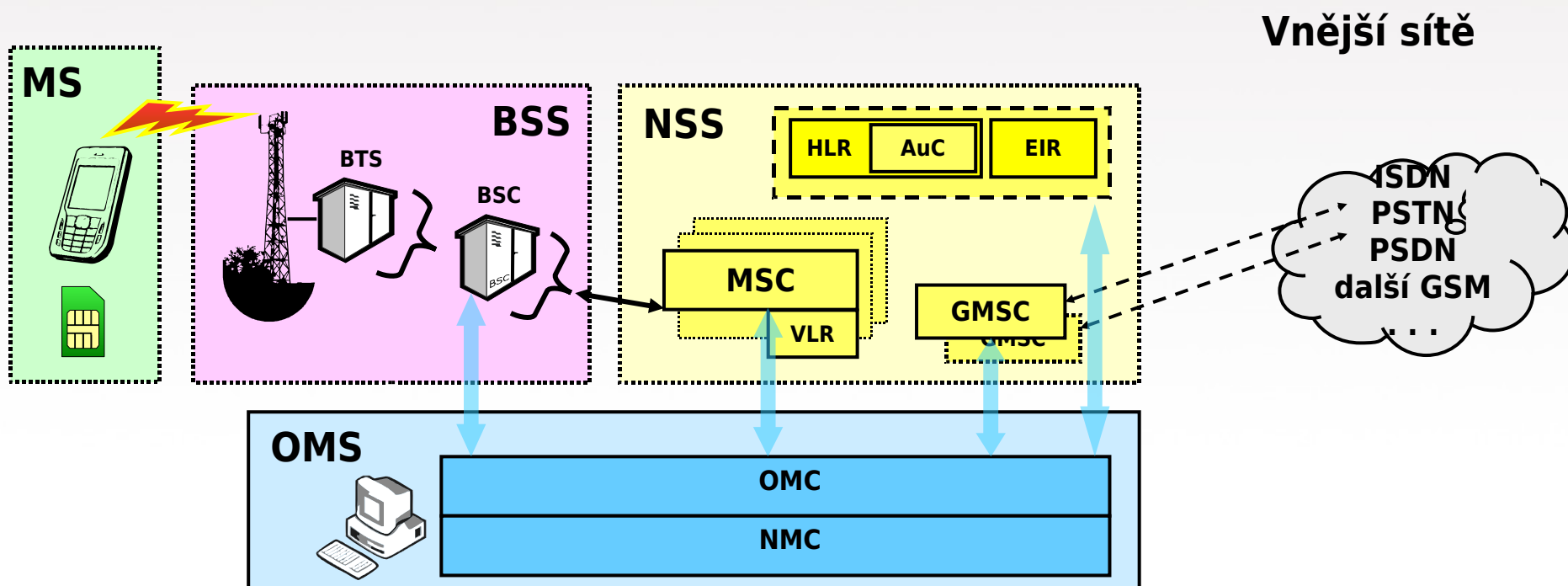
Obrana proti degradaci signálu II

- **diverzifikace antén** – řeší únik
 - velká hloubka Rayleighových úniků se dá o cca 3dB zmenšit vysláním z dvojice antén v určité vzdálenosti – tzv. prostorová diverzifikace
 - podobný účinek má dvojitá anténa vysílající s oběma polarizacemi – tzv. polarizační diverzifikace – použití zejména ve městech
- **frekvenční skákání (frequency hopping)** – řeší únik
 - výměna kmitočetů
 - Rayleighovy úniky se nacházejí v místech vzdálených o $\lambda/2$, a tedy místa s úniky jsou pro různé kmitočty různé

Struktura sítě GSM – blokové schéma (funkce jednotlivých částí)

Architektura sítě

- **Mobile Station (MS)** - mobilní stanice
- **Base Station Subsystem (BSS)** - subsystém základnových stanic
- **Network and Switching Subsystem (NSS)** - síťový a spojovací subsystém
- **Operating and Maintenance Subsystem (OMS)** – subsystém řízení a údržby



- **MS (Mobile Station)** - mobilní stanice:
 - **MS (Mobile Station)**- vlastní telefon (terminál)
 - zabezpečuje trvalé radiové spojení se systémem BSS
 - zajišťuje komunikaci s účastníkem a zprostředkovává realizaci služeb
 - provádí kódování a dekódování vysílaných a přijímaných informací
 - **SIM (Subscriber Identity Module)** – účastnický identifikační modul
 - přináší nezávislost uživatele na konkrétním terminálu
 - zajišťuje autentifikaci a podílí se na šifrování

Base Station Subsystem - BSS

- **BSS (Base Station Subsystem)** - subsystém základnových stanic:
 - **BTS (Base Transceiver Station)** – základnové stanice: anténní systémy a transceivery (TRX)
 - zabezpečují radiové spojení s MS, modulaci a demodulaci signálu, kódování a opravu chyb, měření signálu atd.
 - **BSC (Base Station Controller)** – řadiče základnových stanic - moduly řídící několik BTS:
 - zajišťují funkce spojené s mobilitou účastníka
 - handover, řízení výkonu stanic a time advance, frekvenční skákání atd.
 - řídí rozložení účastníků na jednotlivých fyzických radiových kanálech

Network and Switching Subsystem - I

- **NSS (Network and Switching Subsystem)** - síťový a spínací subsystém je spojovací síť (ISDN)
 - **MSC (Mobile Switching Center)** – mobilní ústředna – běžná jako v pevných sítích:
 - hlavním prvkem je běžné **spojovací pole**
 - ve spolupráci s dalšími prvky (zejména s VLR a HLR) zajišťuje navíc funkce vyplývající z mobility účastníků
 - **GMSC (Gateway MSC)** - brány - zajišťují spojení s vnějšími telekomunikačními a datovými sítěmi
 - **VLR (Visitor Location Register)** je databáze mobilních „návštěvníků“, kteří se v daném momentě nachází v oblasti působnosti daného MSC. Tyto databáze se u jednotlivých MSC neustále aktualizují tak, jak účastníci přecházejí mezi jejich oblastmi působnosti. Obsahuje i roamingové účastníky, pokud se v oblasti vyskytují.

Network and Switching Subsystem - II

- **HLR (Home Location Register)** – domovský registr - centrální databáze účastníků operátora, obsahuje:
 - **IMSI (International Mobile Subscriber Identity)**
 - **MSISDN (Mobile Station ISDN Number)** - telefonní číslo účastníka
 - adresu VLR, na které se právě účastník nachází
 - další pomocné údaje o účastníkovi (předplacené služby atd.)
 - **AuC (Authentication Center)** - autentifikační centrum, které s použitím klíče ověřuje účastníka proti klíči v jeho SIM kartě
- **EIR (Equipment Identity Center)** – centrum identity terminálů - databáze všech terminálů
- umožňuje např. blokování telefonu po jeho zcizení

Operating and Maintenance Subsystem

- **OMS (Operating and Maintenance Subsystem)** – subsystém provozu a dohledu - centrální počítačový systém, který komunikuje s většinou prvků sítě GSM, a umožňuje operátorovi jejich centrální správu a dohled nad jejich funkcí:
 - **OMC (Operating and Maintenance Center)**
 - okamžité řízení a údržba sítě spíše regionálního charakteru
 - **NMC (Network Management Center)**
 - dlouhodobější řízení a plánování sítě jako celku např. sledování zatížení a plánování rozšiřování kapacit
 - rozhodnutí NMC se předávají OMC k vlastním realizaci
 - velké sítě mohou mít více OMC řízených jediným NMC
 - u malých sítí mohou být naopak funkce OMC a NMC spojeny v jediném centru

Vylepšení GSM: HSCSD, GPRS, EDGE,
IMT2000: UMTS

Generace mobilních systémů

- **0. generace** - před rokem 1980
- **1. generace** (NMT) – začátek 80. let
 - buňková struktura
 - analogové systémy
 - zaměřeny na přenos hlasu (data v omezené míře)
- **2. generace** (GSM) – začátek 90. let
 - digitální systémy
 - přenos dat malou rychlostí (9,6 kbit/s)
- **2,5. generace** (GPRS, EDGE) – konec 90. let
 - vylepšení (paketová data) a urychlení datových přenosů
- **3. generace** (IMT 2000, UMTS) – začátek 21. století
 - vysokorychlostní datové přenosy (2 Mbit/s)
 - měl to být jednotný celosvětový systém

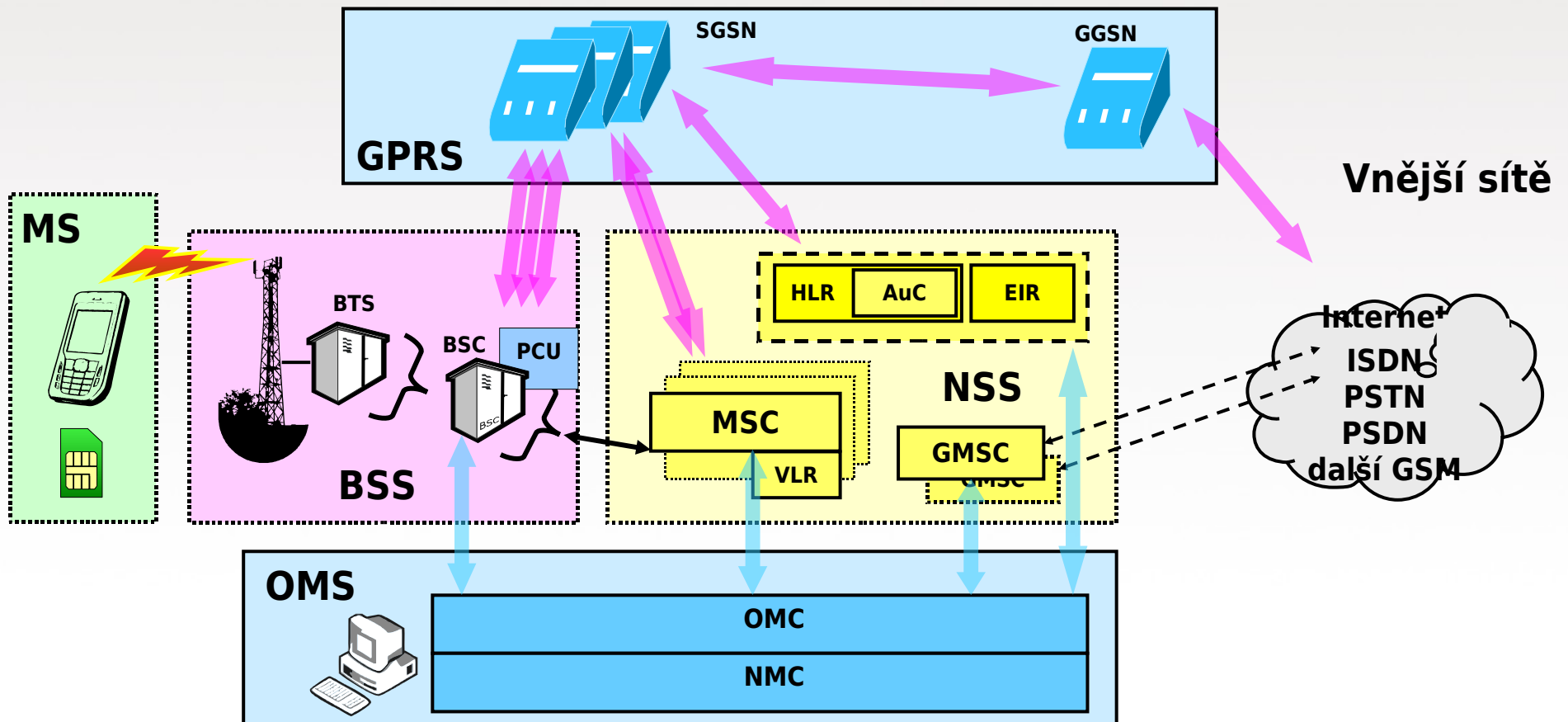
- **High-Speed Circuit-Switched Data** – vysokorychlostní data se spojováním okruhů
- Vylepšení GSM-CSD (Circuit Switched Data – data s přepojováním okruhů), které dosahuje rychlosti pouze 9,6 kbit/s
- Princip:
 - **redukce kanálového kódování** » zvýšení rychlosti na 14,4 kbit/s tj. +50%
 - **spojování slotů** (až 4) pro jednoho uživatele
- Bitové rychlosti až $4 \times 14,4 = \mathbf{57,6 \text{ kbit/s}}$
- Platí se za čas
- Mezi operátory poměrně málo rozšířené (v ČR O2)

- **General Packet Radio Service** – všeobecná paketová rádiová služba (release 97)
- Vylepšení GSM o paketový způsob přenosu dat
- Princip:
 - **redukce kanálového kódování** » zvýšení rychlosti na 20 kbit/s tj. více než dvojnásobek
 - **spojování slotů** – sloty sdílí více uživatelů
 - **paketový způsob přenosu** – sloty sdílí více uživatelů
- Platí se za přenesená data (ne za čas)
- Bitová rychlost až $4 \times 20 = \mathbf{80 \text{ kbit/s}}$
- V ČR všichni operátoři

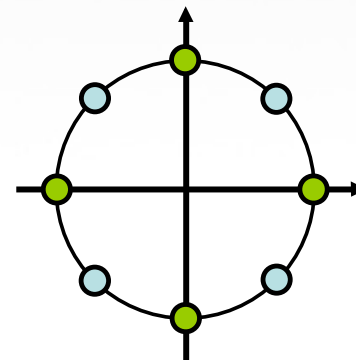
Kódové schéma	Rychlost [kbit/s]
CS-1	8,0
CS-2	12,0
CS-3	14,4

Architektura GPRS sítě

- **PCU (Packet Control Unit)** – plní funkci BSC pro data
- **SGSN (Serving GPRS Support Node)** - „router“ v GPRS síti
- **GGSN (Gateway GPRS Support Node)** – brána do dalších sítí



- Enhanced Data Rates for GSM Evolution – vylepšení datových rychlostí pro GSM
- Princip zvýšení rychlosti:
 - redukce kanálového kódování podle kvality signálu
 - použití modulace s vyšší spektrální účinností » **8-PSK**
- Dvě části:
 - **ECSD (Enhanced Circuit Switched Data)** – zvýšení bitové rychlosti pro komutované spoje – většina operátorů neimplementuje
 - **EGPRS (Enhanced GPRS)** – zvýšení bitové rychlosti pro paketové spoje (GPRS)
 - downlink až 200 kbit/s
 - uplink až 100 kbit/s



Kódová schémata EDGE (EGPRS)

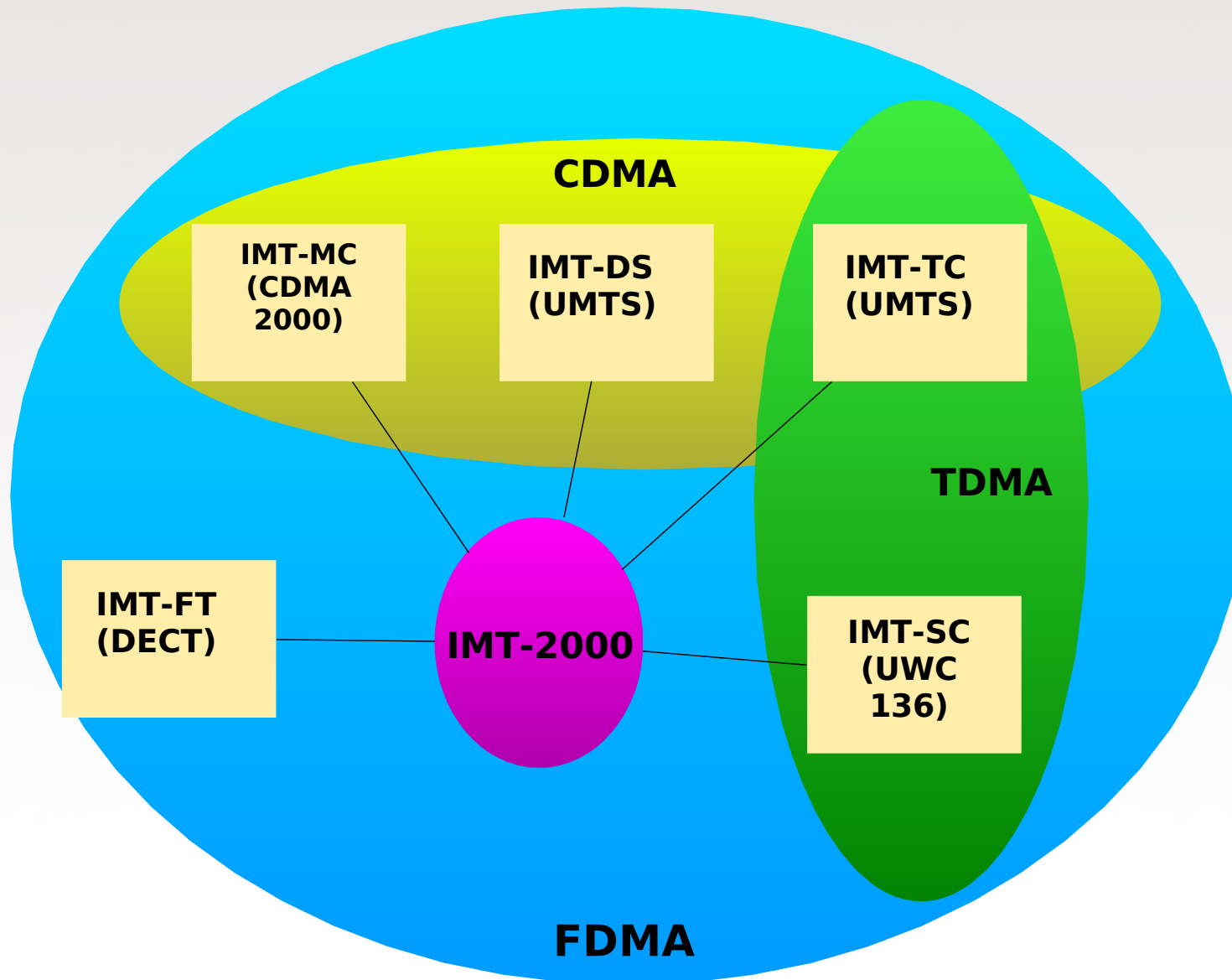
Kódové schéma (MCS)	Bitová rychlost (kbit/s)	Modulace
--------------------------------	-------------------------------------	-----------------

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

- International Mobile Telecommunications 2000
 - kolem roku 2000
 - v pásmu 2000 MHz
 - bitové rychlosti 2000 Mbit/s
- Standard ITU (Mezinárodní telekomunikační Unie)
- 5 návrhů:
 - IMT-DS Direct-Sequence: W-CDMA a UTRA-FDD (**UMTS**)
 - IMT-MC Multi-Carrier: CDMA2000 následník 2G CDMA (IS-95)
 - IMT-TD Time-Division: TD-CDMA a TD-SCDMA, které jsou v **UMTS** označeny UTRA TDD-HCR a UTRA TDD-LCR
 - IMT-SC Single Carrier: UWC nejlepší implementace EDGE
 - IMT-FT Frequency Time: DECT
- 6. návrh: WiMaX

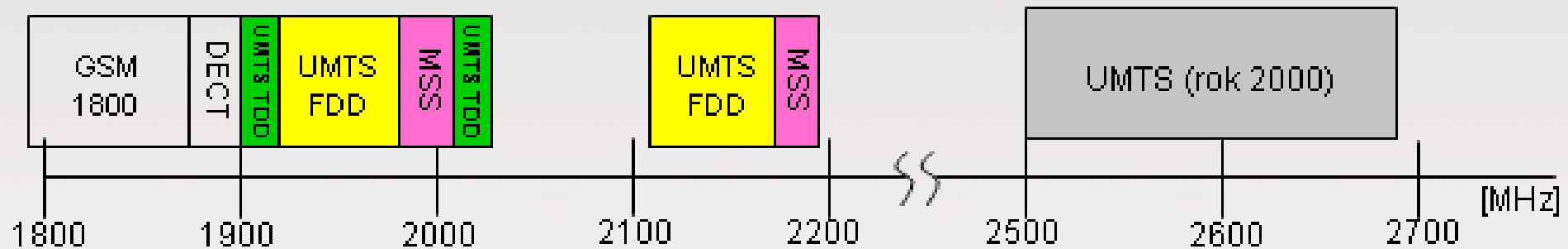


Technologie IMT-2000



- **Universal Mobile Telecommunications System** – univerzální mobilní telekomunikační systém
- Evropský návrh pro IMT-2000
- Jako rádiové rozhraní je použito W-CDMA a pro UMTS se označuje jako UTRA
 - také použito v Japonském FOMA
 - založena na DS-CDMA
 - čipová rychlost 3,84 Mč/s
 - modulace QPSK se šířkou kanálu 5 MHz
 - kmitočtový i časový duplex (FDD i TDD)
 - bitové rychlosti 384 kbit/s – 3,6 Mbit/s (pro HSPDA)
 - kdrojové kódování: AMR – Adaptive Multi-rate
 - Kanálové kódování: konvoluční a turbo kódy

Kmitočtová pásma UMTS



Frekvenční rozsah	Šířka pásma	Použitá technologie
1900 - 1920 MHz	20 MHz	TD-CDMA
1920 - 1980 MHz	60 MHz	W-CDMA (vzestupný směr, účastník - síť)
1980 - 2010 MHz	30 MHz	Mobilní družicová služba
2010 - 2025 MHz	15 MHz	TD-CDMA
2110 - 2170 MHz	60 MHz	W-CDMA (sestupný směr, síť - účastník)
2170 - 2200 MHz	30 MHz	Mobilní družicová služba