
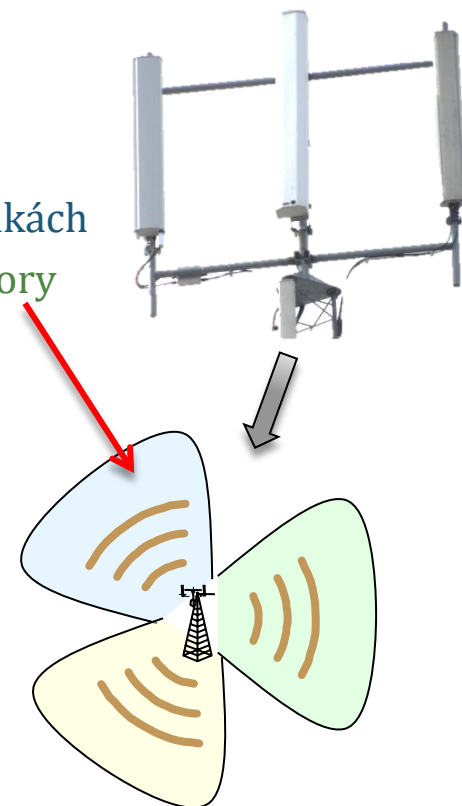
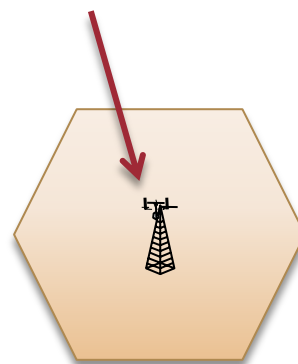
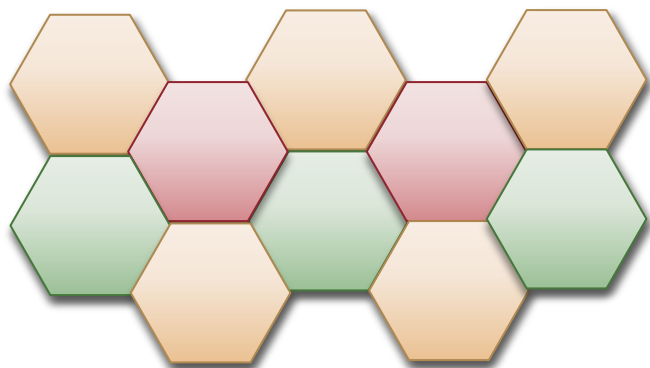


# Lekce 10: mobilní komunikace

*Jiří Peterka*

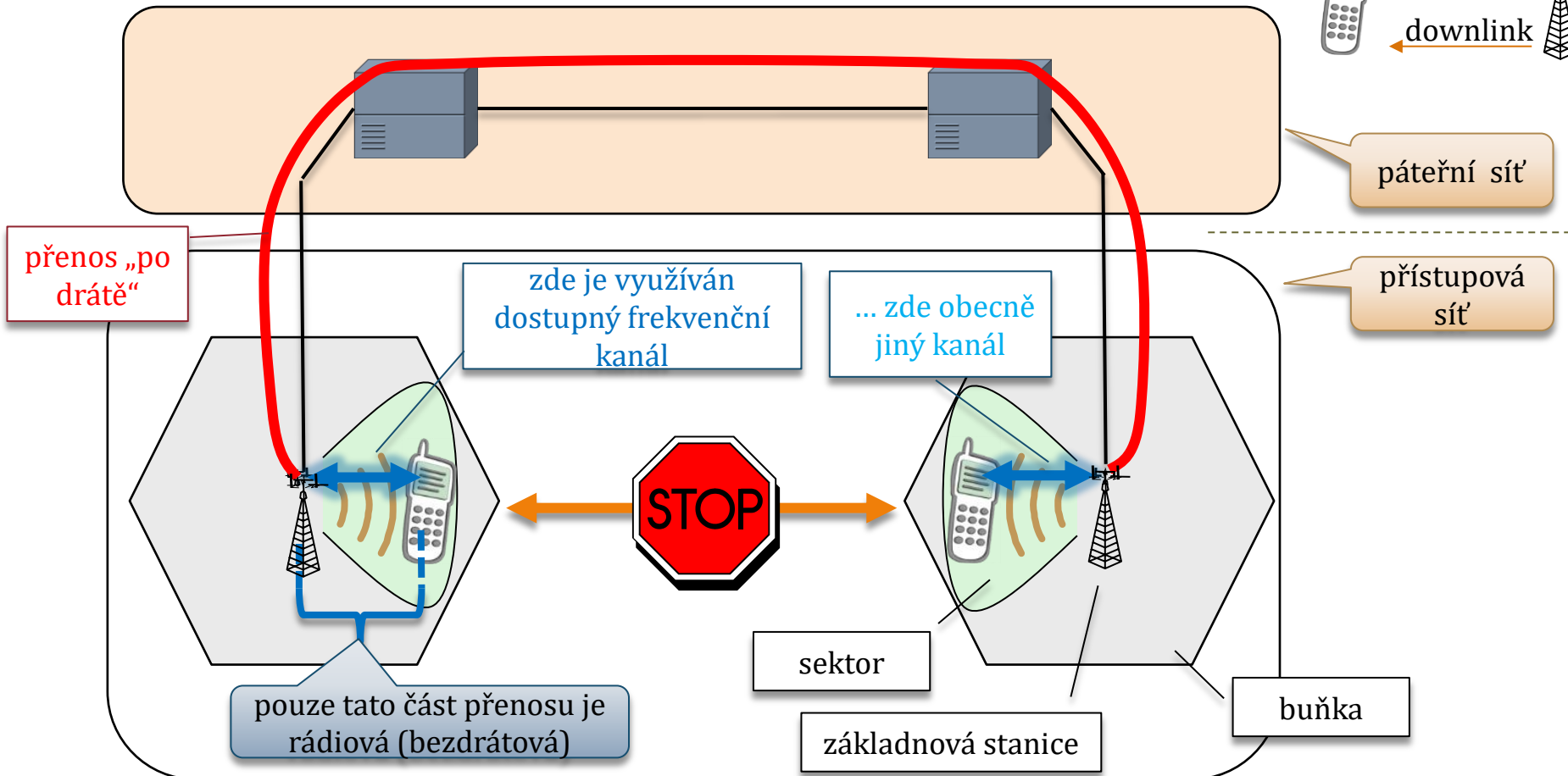
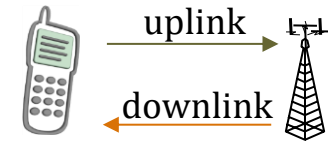
# využití frekvencí

- **chtějí-li spolu (bezdrátově) komunikovat dvě strany, potřebují k tomu vhodný frekvenční kanál**

  - **problém: frekvencí je málo, komunikujících stran naopak hodně (čím dál tím více)**
    - navíc: různé dvojice komunikujících stran potřebují různé frekvenční kanály
      - aby se nerušily, pokud jsou vzájemně v dosahu
- **řešením je opakované využití frekvenčních kanálů (frequency reuse)**
- **nejčastěji: na buňkovém principu (cellular principle):**
  - **plocha, která má být pokryta, je rozdělena na buňky**
    - v různých buňkách se používají různé frekvenční kanály
      - ale: není jich dost, proto se mohou opakovat v nesousedních buňkách
        - v mobilních sítích se jednotlivé buňky dělí ještě na 2 až 3 sektory
    - v každé buňce je umístěna základnová stanice (base station)



# mobilní buňkové sítě

- v (buňkových) mobilních sítích spolu koncové uzly **nekomunikují přímo**
  - ale jen přes páteřní síť (jádro) a na principu unicastu (stylem 1:1)
    - je to nutné i proto, že až „v páteřní části“ mobilní sítě je informace o tom, kde se právě druhá strana nachází (ve kterém sektoru které buňky)



# využití frekvencí, FDD a TDD

- mobilní sítě využívají (ve své přístupové síti) licenční části spektra

- tj. s ochranou proti rušení jinými přenosy

- důsledek

- operátor musí nejprve získat určitý příděl frekvencí

- s odpovídající licencí (dnes v ČR: s individuálním oprávněním)



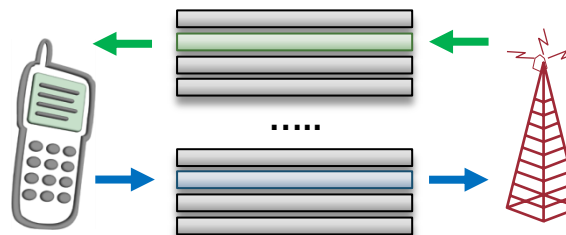
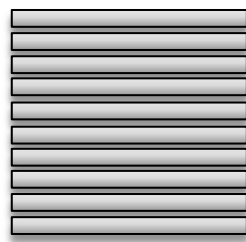
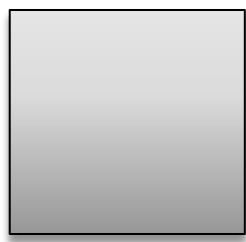
- otázky:

- jde o souvislý blok frekvencí, nebo o jednotlivé frekvenční kanály?

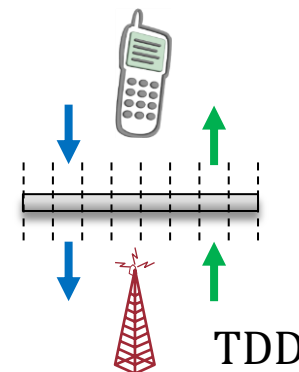
- pokud jde o větší blok, musí si jej operátor sám „naporcovat“ na jednotlivé kanály
  - šířka kanálů musí odpovídat použité technologii (NMT, GSM, ....)
- řeší se na principu frekvenčního multiplexu

- jak je řešen přenos v obou směrech?

- jsou pro různé směry využívány různé frekvence?
  - pak jde o tzv. **frekvenční duplex (FDD)**
- jsou pro různé směry využívány stejné frekvence (se „střídáním“ v čase)?
  - pak jde o tzv. **časový duplex (TDD)**



FDD



TDD

# generace mobilních sítí

- **mobilní sítě se rozdělují do generací**

- **1. generace** byla ještě analogová a určena jen k poskytování hlasových služeb
  - v ČR se jednalo o síť Eurotelu na bázi technologie NMT (Nordic Mobile Technology)

- **2. generace** již je digitální a určena k poskytování hlasových služeb, ale také datových

- v ČR (i jinde v Evropě a řadě zemí na celém světě) jde o síť GSM



**2 ½ generace:** 2. generace, obohacená o datové služby na principu přepojování paketů

- **3. generace** je digitální a určena k poskytování datových služeb (ale také hlasových)

- v ČR (i jinde v Evropě) jde o síť na bázi technologie UMTS
  - má ještě „nativní“ hlasové a SMS služby

- **4. generace** je digitální a určena k poskytování (rychlých) datových služeb

- jde o síť na bázi technologie LTE (správně až LTE-Advanced)
  - již nemá „nativní“ hlasové služby
    - tyto se přidávají alespoň dodatečně, pomocí řešení VoLTE (Voice over LTE)



- **5. generace** je digitální a určena k poskytování (rychlých) datových služeb velkému počtu klientů (v rámci Internetu věcí)

- konkrétní technologie pro 5G teprve vznikají



# mobilní sítě 1. generace



- **byly analogové**
  - přenášely hlas v analogové podobě (nikoli jako data)
  - pro 1 hovor využívaly 1 frekvenční kanál
    - důsledek: stačily relativně úzké frekvenční kanály, např. 20, 25 či 30 kHz
      - ještě nedokázaly využití 1 kanál pro více hovorů současně
  - pro zajištění obousměrné komunikace byl využíván princip FDD
    - tj. jiné frekvence pro uplink a jiné pro downlink
- **technologie:**
  - **NMT: Nordic Mobile Telephone**
    - kanály o šířce 25 nebo 20 kHz
      - velký dosah buněk - až 30 km
    - pracuje v pásmu 450 MHz nebo 900 MHz
  - **AMPS: Advanced Mobile Phone Service**
    - využíváno hlavně v USA
  - **TACS: Total Access Control System**
- **v ČR:**
  - 1991: EuroTel zvolil technologii **NMT**
    - pracovala s kanály o šířce 20 kHz
    - používala frekvenční duplex (FDD)
      - tj. potřebuje tzv. párové pásmo: 2 sady frekvencí, po jedné pro každý směr
  - 1991: EuroTel získal přiděl kmitočtů v pásmu 450 MHz (na 20 let), za cca 800 milionů Kč
    - 461,3 až 465,74 MHz pro downlink
    - 451,3 až 455,74 MHz pro uplink
      - lze rozdělit (pomocí FDM) na 221 kanálů o šířce 20 kHz
        - a ještě nechat „na obou stranách“ ochranné intervaly 10 kHz
    - NMT síť Eurotel Classic/T!P byla spuštěna 12.9.1991
      - a provoz ukončen 30.6.2006
        - maximem bylo cca 100 000 uživatelů

# mobilní sítě 1. generace - ceny

## • ceny v roce 1991:

- aktivace: 29 000 Kč
- měsíční paušál: 2 500 Kč
- 1 minuta hovoru: 15 Kč
  - odchozího i příchozího



## • ceny v roce 1995:

Tarify EuroTel NMT	měsíční paušál	volné minuty	volání ve špičce	volání mimo špičku	noc a víkend
Privat plan	1 465 Kč	0	12,60 Kč	6,90 Kč	4,60 Kč
Standard plan 30	1 885 Kč	30	9,20 Kč	6,90 Kč	4,60 Kč
Optimum plan 150	2 830 Kč	150	8,10 Kč	6,90 Kč	4,60 Kč
Economic plan 300	3 985 Kč	300	6,90 Kč	4,60 Kč	4,60 Kč
Premium plan 1000	8 290 Kč	1000	4,60 Kč	4,60 Kč	4,60 Kč

volání mimo síť Eurotel: + 2 Kč

Aktivace: 8 295 Kč

ceny včetně 5 % DPH

## • ceny v srpnu 1999

- již po nástupu GSM

EuroTel Praha spol. s r.o.

galerie.earchiv.cz/offwebs/eurotel/czi/tip\_top.htm

Google

## Úvodem

EuroTel má řešení pro každého. Chcete volat jednoduše a nejlevněji? Pak Vám nabízíme novou skvělou síť TIP (nový obchodní název pro síť EuroTel Classic). A v jejím rámci programy služeb TIP 60 nebo TIP TOP, které Vám zajistí nejvýhodnější volání po území České republiky. TIP Vám poskytuje všechny nutné funkce a rozšiřující se nabídku služeb, z nichž ty nejdůležitější jsou poskytovány zdarma. A k tomu pokrytí signálem z 98 % území ČR. TIP funguje se špičkovými mobilními telefony systému NMT (např. Nokia 540 a Nokia 550), které si rozměry, designem a funkčním vybavením v ničem nezadají s nejmmodernějšími telefony GSM. Stále Vás to zajímá? Tak tady jsou podrobnosti.

## Program služeb

Volné minuty	0		
Měsíční poplatky	60 Kč/ 0 Kč*		

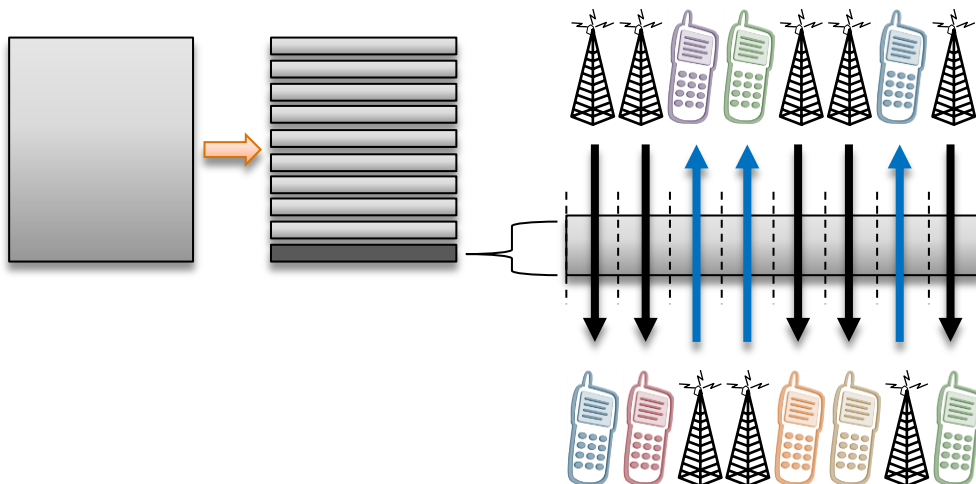
**	Špička	Mimo špičku	Víkendy a svátky
Pevná síť a Paegas	9,50	5,50	3
Sítě EuroTel	5,50	5,50	3
EuroTel - Zázn. služba	0	0	0

\* Nižší měsíční poplatek platí při současném zavedení platby inkasem z účtu.  
 \*\*Špička (Po-Pá 8:00-20:00)  
 Víkend (Pá 24:00 -Ne 24:00) a svátky  
 Volné minuty se vztahují na všechny typy účtovaných odchozích hovorů (na mobilní telefon i do pevné sítě).  
 Uvedené ceny hovorného jsou v Kč/min a bez DPH.

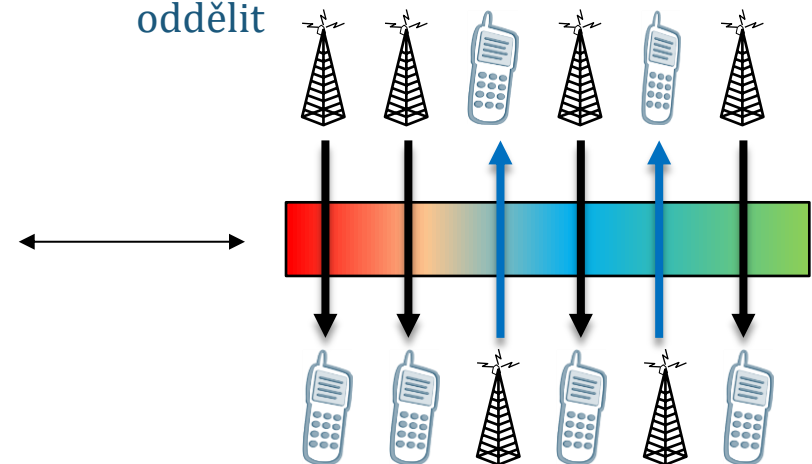
# mobilní sítě 2. generace

- jsou již digitální:

- obecně: přenáší proud dat (o určité přenosové rychlosti)
  - přenášená data mohou představovat zdigitalizovaný lidský hlas (hovor)
    - pak jde o hlasovou službu
      - vyžadují vhodný kodek pro převod analogového hlasu na digitální data
    - přenášená data mohou představovat „uživatelé dodaná“ data
      - pak jde o datovou službu (službu přenosu dat)
  - po jenom frekvenčním kanálu mohou přenášet více hovorů současně
    - technologie GSM: pomocí techniky časového multiplexu (TDM)
      - kdy se jeden kanál rozdělí v čase na 8 časových slotů (timeslotů)



- technologie CDMA: pomocí techniky kódového multiplexu může několik přenosů využívat stejný frekvenční kanál
  - příjemce dokáže jednotlivé přenosy oddělit





# GSM

- **původně:**
  - GSM = Groupe Spécial Mobile
- **později:**
  - GSM = Global System for Mobile Telecommunications
- **první komerčně provozovaný systém 2. generace.**
  - vyvinutý v 80-tých letech v Evropě
    - pod patronací a za peníze Evropské unie
  - standardizován organizací ETSI.
- **dnes:**
  - nejrozšířenější standard 2. generace.
  - V Evropě je provozován v pásmu 900 a 1800 MHz od roku 1992,
  - v USA v pásmu 1900 MHz od roku 1996
    - často též pod označením PCS 1900 (Personal Communications Standard)



- **v ČR je používán od roku 1996:**
  - **O2 CR (Eurotel, Telefónica O2 CR):**
    - od 1. července 1996 v pásmu 900 MHz
    - od 8. července 2000 v pásmu 1800 MHz
  - **T-Mobile (Paegas/Radiomobil):**
    - od 30. září 1996 v pásmu 900 MHz
    - od 8. července 2000 v pásmu 1800 MHz
  - **Vodafone (Oskar/Český Mobil):**
    - od 1.3.2000 v pásmu 1800 (i 900 MHz)
      - komerční provoz



- **pracuje s frekvenčními kanály o šířce 200 kHz**

- které dělí na 8 časových slotů (timeslot-ů)

- **využívá princip FDD**

- tj. vyžaduje párové pásmo

- stejný rozsah frekvencí pro oba směry komunikace

- **v ČR je využíváno (2016):**

- **pásmo 900 MHz:**

- 880-915 MHz pro uplink
  - celkem 35 MHz, využít lze 34,8 MHz
    - k dispozici je 174 kanálů á 200 kHz
      - přiděleny jsou všechny !!
  - 925 až 960 MHz do downlink
    - dtto (jde o párové pásmo)

- jednotliví operátoři mají přidělen určitý počet takovýchto frekvenčních kanálů

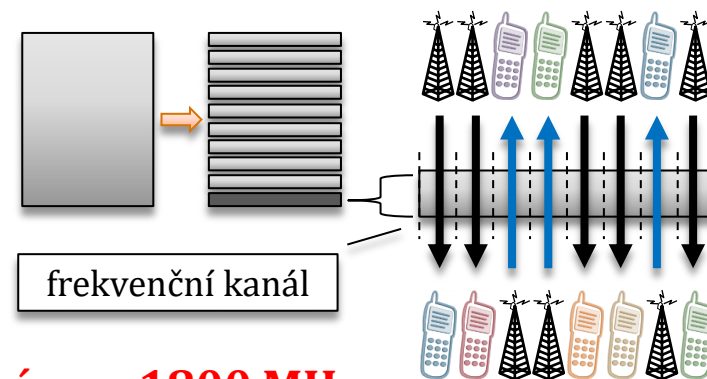
- nejde ale o souvislé úseky

- O2: 2 x 62 kanálů (2x 12,4 MHz), 13297 sektorů
- T-M: 2 x 62 kanálů (2x 12,4 MHz), 12594 sekt.
- VF: 2 x 50 kanálů (2x 10 MHz), 10969 sektorů

- **pásmo 1800 MHz:**

- 1710-1785 MHz pro uplink
  - celkem 75 MHz, využít lze 74,8 MHz
    - k dispozici je 374 kanálů á 200 kHz
      - přiděleno je 295 kanálů (59 MHz)
      - zbývá volných 15,8 MHz
  - 1805-1880 MHz pro downlink
    - dtto (párové pásmo)

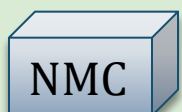
- O2: 2x 85 kanálů (2x 17 MHz)
- T-M: 2x 100 kanálů (2x 20 MHz)
- VF: 2x 110 kanálů (2x 22 MHz)



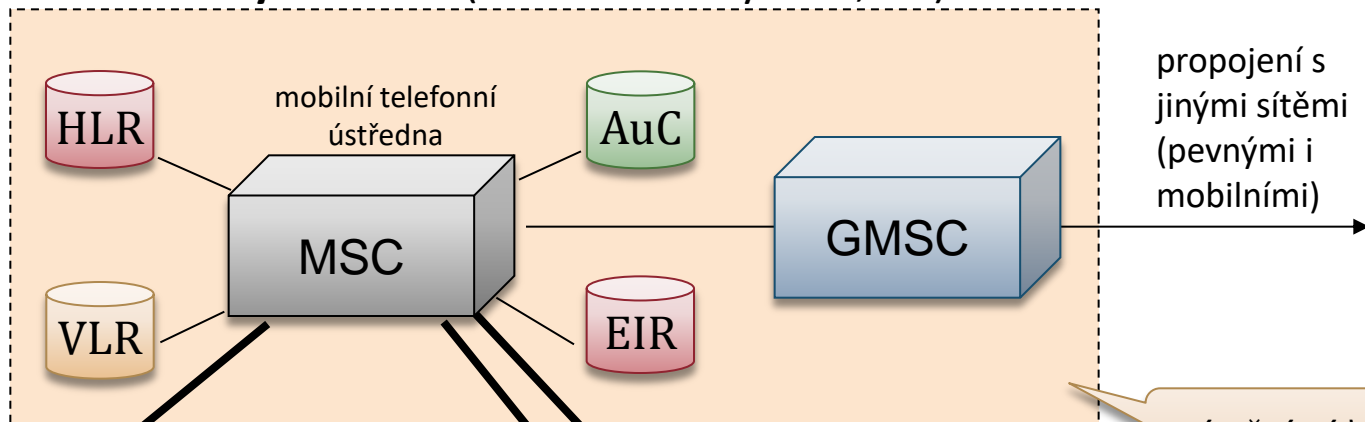
# architektura GSM sítě

## operační a podpůrný systém

(Operation and Support Subsystem, OSS)

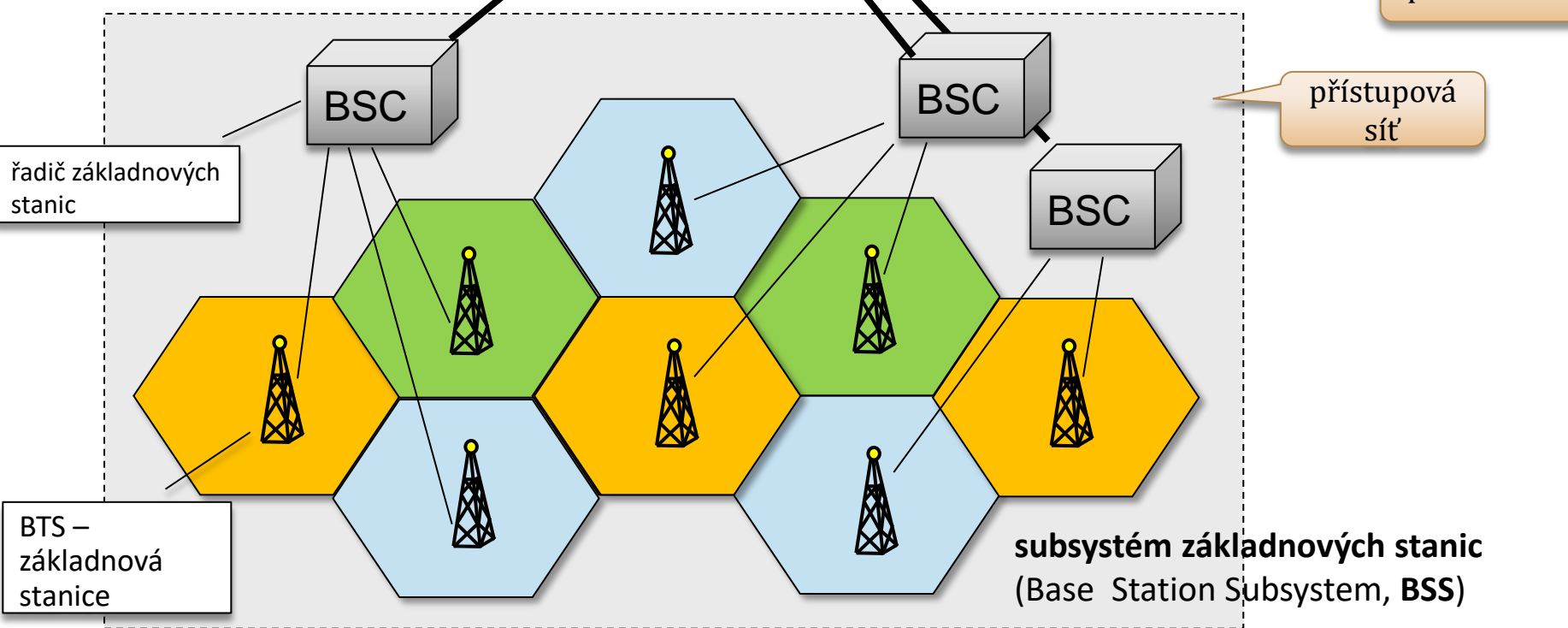


## subsystém sítě (network subsystem, NS)



propojení s jinými sítěmi (pevnými i mobilními)

páteřní síť



přístupová síť

subsystém základnových stanic  
(Base Station Subsystem, BSS)

# architektura GSM sítě - registry

## • HLR (Home Location Register )

- "domovský lokační registr"
- obsahuje informace o uživateli sítě GSM
  - včetně rozsahu aktivovaných služeb
- dále informace o tom, kde se mobil nachází
  - ve které buňce (BSC a BTS)
- každý účastník je registrován vždy jen v jednom HLR !!!

logicky: je v síti jen 1x  
fyzicky: je replikován

## • AuC (Authentication Center)

- slouží k identifikaci uživatelů
  - součást HLR, slouží jeho potřebám
- HLR (a AUC) může být sdílen více ústřednami

## • EIR (Equipment Identity Register)

- obsahuje údaje o odcizených a neoprávněně používaných mobilech
  - blacklist, whitelist, greylist
- spolupracuje s AUC při ověřování identity a oprávněnosti mobilů ke komunikaci

## • VLR (Visitor Location Register)

- "návštěvní lokační registr"
- obvykle 1x pro každou ústřednu MSC
- obsahuje údaje o všech uživateli, kteří jsou právě v dosahu dané ústředny MSC
  - včetně údajů o návštěvnících v rámci roamingu
- jde o jakousi "cache" pro údaje z HLR
  - dočasné uchování údajů z HLR

## • GSM síť dále musí mít:

- OMC: Operation and Maintenance Center
- NMC: Network Management Center
- ADC: Administrative center

# přihlašování do GSM sítě

- **když operátor získá nového zákazníka:**

- přidělí mu registrační číslo

- MSIN, stane se součástí IMSI
- uloží se na SIM kartu

- přidělí mu telefonní číslo

- MSISDN, např. 420 776 123 456
- uloží se v HLR, spolu s IMSI

- **když se mobil (MS) přihlašuje do sítě:**

- předá síti:

- IMEI: identifikuje zařízení
- IMSI: identifikuje uživatele

- EIR (Equipment Identity Register)

- zkontroluje IMEI se svými black/white/grey listy
  - zda je zařízení OK

- HLR (Home Location Register)

- podle IMSI si zjistí MSISDN
- zapamatuje si polohu MS
- předá údaje do VLR



- AUC (Authentication Center)

- vyšle do MS náhodné číslo
  - MS jej transformuje pomocí klíče na SIM kartě
- MS vrátí výsledek do AUC
- AUC tím ověří identitu uživatele (SIM karty)

- VLR (Visitor Location Register)

- získá údaje od HLR/AUC
- přidělí MS dočasné TMSI
  - Temporary Mobile Subscriber Identity
- pod TMSI jej eviduje po dobu pobytu MS v dosahu VLR/MSC



# CSD a HSCSD

## • závěr z předchozího slidu:

- pro každý jednotlivý hovor je v GSM síti k dispozici datový tok 13 kbit/s
  - fakticky jde o přenosový okruh, vedoucí „skrz“ mobilní síť
- využití tohoto okruhu je zpoplatněno podle doby, po kterou je okruh zřízen
  - podle délky hovoru, v minutách

### • CSD: Circuit Switched Data

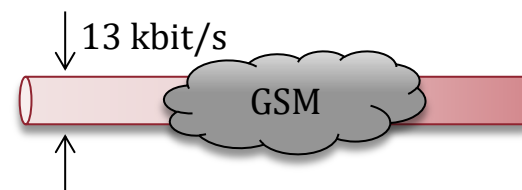
- „základní“ datová služba sítě GSM
- kdy je (jeden) „hlasový“ okruh využit pro přenos uživatelských dat
  - na principu přepojování okruhů
  - se zpoplatněním podle času
    - jak dlouho je okruh zřízen

v ČR od  
6/97

### • HSCSD: High Speed CSD

- „vyšší“ datová služba sítě GSM
- kdy je pro přenos dat využito více „hlasových“ okruhů současně

v ČR od  
2/2000



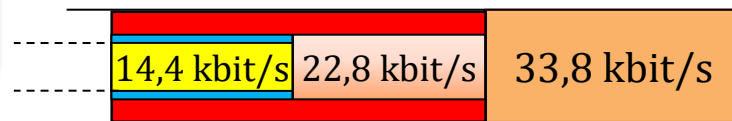
### – problém:

- 13 kbit/s není „normovaná“ rychlost
  - nižší je 9,6 kbit/s, vyšší je 14,4 kbit/s

### – řešení:

- operátor může „ubrat“ režijní data na zabezpečení přenosů
  - z 9,8 kbit/s na menší hodnotu, tak aby „zbývalo“ 14,4 kbit/s pro uživat. data

v ČR toto  
dělal  
Eurotel



- nebo může „přidat“ režijní data a učinit přenos robustnějším
  - a přenášet data rychlostí 9,6 kbit/s

# paketové přenosy v GSM sítích

- **problém:**

- CSD i HSCSD fungují **na principu přepojování okruhů**
  - trvale „obsazují“ zdroje mobilní sítě: CSD se chová jako 1 hovor, HSCSD jako N hovorů
- **není to vhodné pro dlouhá připojení**
  - např. k Internetu
  - mobilní sítě nejsou dimenzovány na velké počty dlouhých hovorů
    - např. v délce několik hodin
    - navíc **uživatelé by se nedoplatili** – zpoplatněna je každá minuta
  - zdroje mobilní sítě (timeslot-y atd.) jsou čerpány i v době, kdy se nic nepřenáší
    - protože okruh je vyhrazen (a zpoplatněn) bez ohledu na to, zda je skutečně využíván

- **důležité:**

- celá páteřní síť GSM sítě (mob. ústředny, ...) funguje na principu přepojování okruhů
  - je nutné přidat do GSM „paralelní“ páteřní část, fungující na principu přepojování paketů !!!!

- **řešení:**

- zavést do mobilní sítě podporu datových přenosů **na principu přepojování paketů**
  - tak, aby zdroje mobilní sítě (timesloty) byly čerpány jen tehdy, kdy se nějaká data skutečně přenáší (a jinak ne)
    - pak je možné zpoplatnit uživatele podle objemu přenesených dat, místo podle času
- **pak: mobilní síť může nabízet trvalé připojení**
  - už jí nebude vadit velký počet (neaktivních) uživatelů
    - kteří aktuálně nic nepřenáší, a tedy nespotřebovávají žádné zdroje mobilní sítě

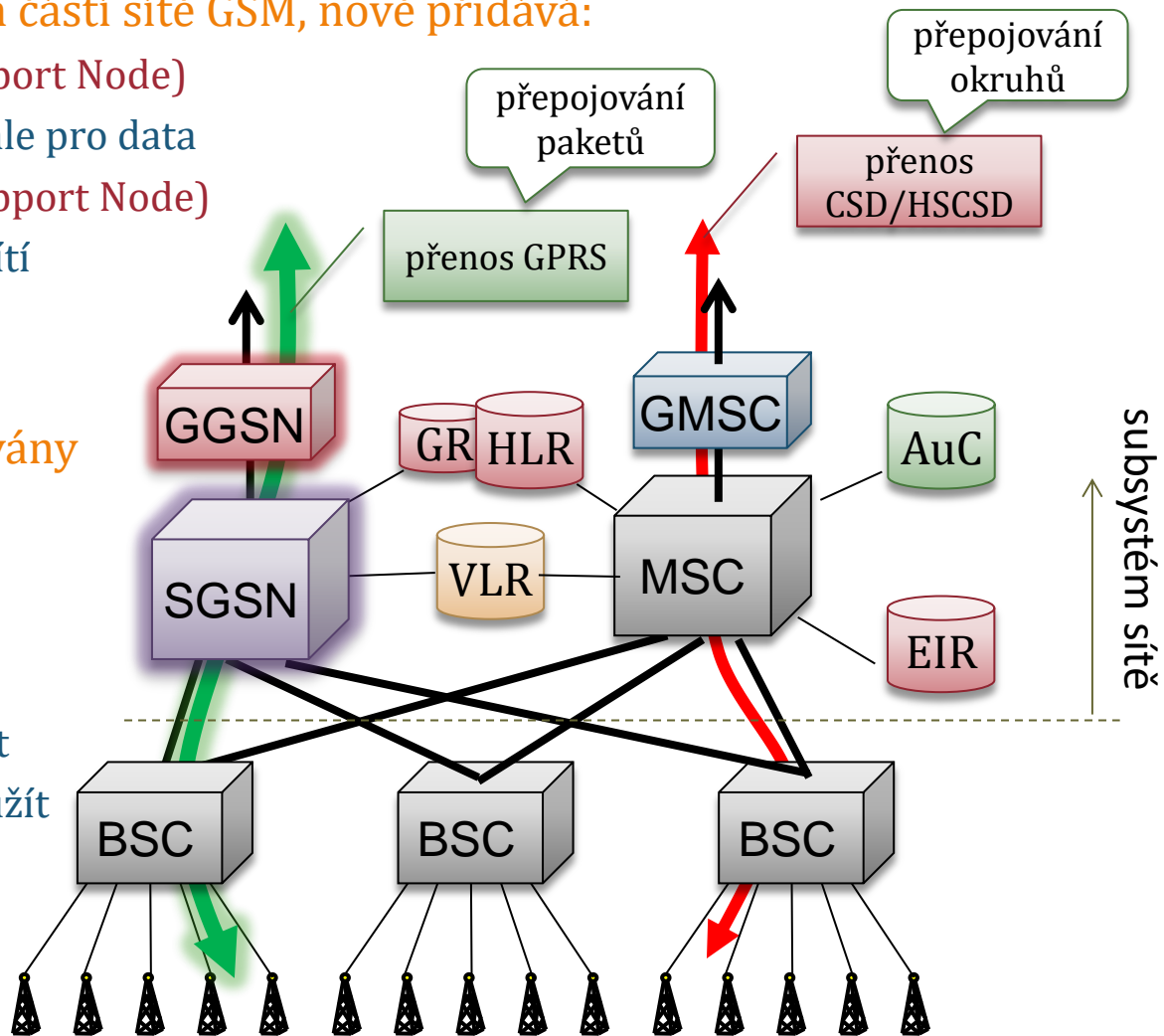


# GPRS

v ČR od  
10/2000

## • GPRS: General Packet Radio Service

- je řešením pro přenos dat v sítích GSM na principu přepojování paketů
  - umožňuje trvalé připojení uživatele, přenáší IP pakety (datagramy)
- vyžaduje „zdvojení“ páteřních částí sítě GSM, nově přidává:
  - uzel **SGSN** (Serving GPRS Support Node)
    - obdoba mobilní ústředny, ale pro data
  - uzel **GGSN** (Gateway GPRS Support Node)
    - brána do jiných datových sítí
  - registr **GR** (GPRS Register)
    - pro údaje spojení s GPRS
- GPRS přenosům jsou přidělovány timesloty podle potřeby
  - když je co k přenesení
  - může být přiděleno i více timeslotů současně
    - kolik jich síť dokáže uvolnit
    - kolik jich mobil dokáže využít
  - jde o fungování na principu best effort
    - přenosová kapacita není garantována !!!



# PDP kontext, attach, detach

- **GPRS umožňuje přenos IP paketů (skrze GSM síť) mezi 2 body**

- například mezi 2 mobilními stanicemi (MS)

- mobilními telefony, GSM modemy, .....



- **nejčastěji: jde o připojení MS k Internetu (ev. do jiné datové sítě)**

- jedním bodem je mobilní stanice (MS)

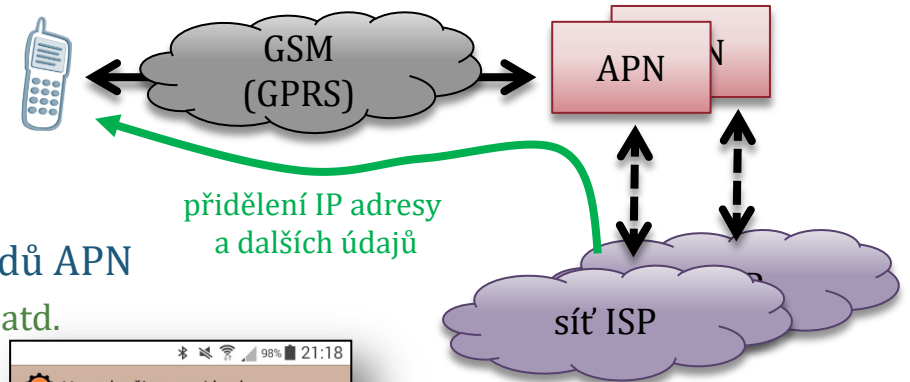
- musí mít přidělenou IP adresu .....

- druhým bodem je „přístupový bod“

- **APN: Access Point Name**

- operátor GSM sítě může nabízet více bodů APN

- s různými vlastnostmi/parametry/cenou atd.



- **připomenutí:**

- **GSM síť s GPRS se chová jako IP síť**

- přenáší IP pakety (datagramy)

- koncové uzly od ní potřebují získat určité konfigurační údaje: tzv. **PDP kontext**

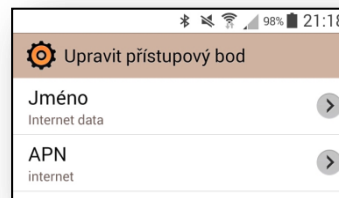
- zahrnující IP adresu (ve vazbě na IMSI a IMEI, resp. dočasné P-TMSI )

- k přidělení PDP kontextu dochází v rámci operace **GPRS Attach**

- tím se MS stává dostupné skrze GSM/GPRS síť (na přidělené IP adrese)

- a je dostupné po celou dobu, kdy má přidělen PDP kontext

- k odhlášení (vrácení PDP kontextu) dochází v rámci operace **GPRS Detach**



Packet Data Protocol

Packet - Temporal  
Mobile Subscriber  
Identity

# třídy GPRS, kódovací schémata

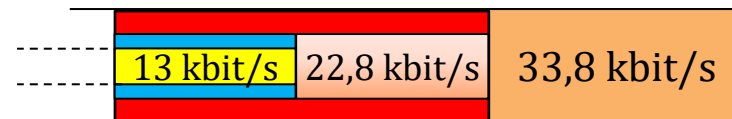
## • připomenutí:

- GPRS funguje na principu přepojování paketů, stylem best effort
  - pokud potřebuje něco přenést, využije tolik časových slotů (timeslotů), kolik jich od sítě dostane
- ale:
  - ještě záleží na schopnostech koncového zařízení
    - kolik časových slotů dokáže využít současně
      - to vyjadřuje tzv. **třída GPRS**

třída	down	up ..	max. slotů
1	1	1	2
2	2	1	3
3	2	2	3
	.....		
28	8	6	neomez.
29	8	8	neomez.

## • kódovací schémata


- u CSD/HSCSD byla jen jedna varianta velikosti režijních a „užitečných“ dat
  - 13 kbit/s „užitečných“ dat
  - 11+9,8 = 20,8 kbit/s režijních dat



- u GPRS existují 4 varianty
  - tzv. **kódovací schémata** (CS, Coding Scheme)
    - mezi kterými si podle aktuálních podmínek přenosu volí obě strany (MS a BTS) automaticky
    - v závislosti na volbě kód. schématu jsou data přenášena různými rychlostmi

Kódovací schéma	CS-1	CS-2	CS-3	CS-4
Max. kbit/s na 1 timeslot	9.05 kbit/s	13.4 kbit/s	15.6 kbit/s	21.4 kbit/s
Maximum při využití všech 8 timeslotů	72.4 kbit/s	107.2 kbit/s	124.8 kbit/s	171.2 kbit/s

- **EDGE: Enhanced Data Rate for GSM Evolution**
  - jde o další vylepšení přenosů dat v GSM sítích
- vylepšuje jak přenosy na principu přepojování okruhů, tj. HSCSD
  - pak jde o **Enhanced HSCSD, EHSCSD**
- tak i přenosy na principu přepojování paketů, tj. GPRS
  - pak jde o **Enhanced GPRS, EGPRS**
- **ale:**
  - když se dnes řekne EDGE, myslí se tím EGPRS (Enhanced GRPS)
    - neboli: jen vylepšené GPRS (nikoli již vylepšené HSCSD)
- **v čem spočívá vylepšení?**
  - hlavně: ve vyšší přenosové rychlosti, dosahované díky změně rádiových přenosů
    - GPRS: s jedním časovým slotem (timeslot-em) dosahuje max. 21,4 kbit/s (při CS4)
      - používá 2-stavovou fázovou modulaci (1 změna = 1 bit)
    - EDGE: s jedním časovým slotem dosahuje až 59,2 kbit/s (s více timesloty pak Nx více)
      - díky dokonalejšímu kódování: používá 8-stavovou fázovou modulaci (tj. 1 změna = 3 bity)
      - má celkem 9 kódovacích schémat
        - 4 schémata z GPRS (s 2-stavovou modulací), 5 nových kódovacích schémat s 8-stavovou modulací)
      - vyžaduje upgrade rádiové části základnových stanic
        - je nutný upgrade transceiverů v každém sektoru základnové stanice



v ČR od  
3/2005

# 3G / UMTS

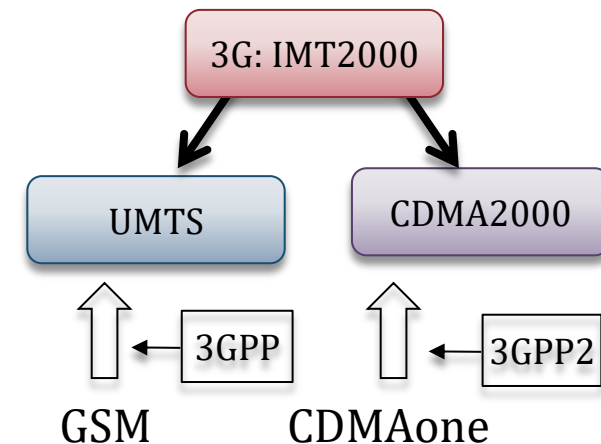
- **příprava další (již 3.) generace mobilních sítí začala již kolem roku 1985**
  - pod patronací Mezinárodní telekomunikační unie (ITU-T)
- **pod pracovním názvem **FPLMITS****
  - **Future Public Land Mobile Telecommunication System**
- **cca 1995: přejmenování na (snáze zapamatovatelné) **IMT 2000****
  - **IMT = International Mobile Telecommunications**
    - 2000 měl být rok předpokládaného spuštění
    - 2000 (kbit/s) měla být dosahovaná rychlosti přenosu
    - 2000 MHz: toto frekvenční pásmo mělo být využíváno
- **práce probíhají souběžně (a nezávisle na sobě) ve více částech světa**
  - v Evropě připravuje nový standard organizace ETSI
    - European Telecommunications Standards Institute
  - vznikající evropské řešení pro mobilní sítě 3. generace (3G) dostává jméno **UMTS**
    - **UMTS = Universal Mobile Telecommunications System**
      - nikoli „Unlimited Money To Spend“
    - ale: není to jediné řešení pro 3G, které vzniklo a používalo se
      - jiným řešením (z USA) je technologie CDMA2000
    - proto se (pro rozlišení) uvádí 3G/UMTS



3G (IMT 2000) není jen UMTS, ale třeba také CDMA2000 !!

# 3GPP a 3GPP2

- **(lokální) problém:**
  - práce na novém 3G řešení pro Evropu (UMTS) jen v rámci ETSI moc nepokročily
    - předpokládaný termín spuštění se rychle blížil
- **řešení: sdružit síly „globálně“**
  - koncem roku 1998 převzala vývoj technického řešení iniciativa **3GPP**
    - **3rd Generation Partnership Project**
      - sdružuje celkem 7 standardizačních organizací z celého světa (včetně ETSI)
  - připravuje řešení, vycházející z technologie GSM a navazující na ni
    - důsledek: UMTS „pochází od 3GPP“ (a „vychází z GSM“)
      - nevzniklo ale najednou, nýbrž postupně
        - Release 99, Release 00,
  - iniciativa EGPP se stará i o další vývoj GSM, a také o přípravu technologií pro 4G: LTE
- **srovnání:**
  - obdobný vývoj se odehrál i u dalších řešení pro 3G:
    - koncem roku 1998 vzniká iniciativa **3GPP2**
      - 3rd Generation Partnership Project 2
        - hlavně z USA, Japonska, Jižní Koreje, ....
    - připravuje 3G řešení, navazující na 2G technologii CDMAone
      - výsledkem je 3G technologie CDMA2000



# UMTS

- **UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)** nepřišlo najednou
  - ale postupně, ve verzích standardů (tzv. Release), které byly schvalovány postupně

- **1999: Release 99** (první verze UMTS)

- původní představa:

- nabídne již „definitivní podobu UMTS“:

- stacionární terminál: data až **2 Mbit/s**
      - při pomalém pohybu: **384 kbit/s**
        - např. chůze
      - při rychlém pohybu: **144 kbit/s**

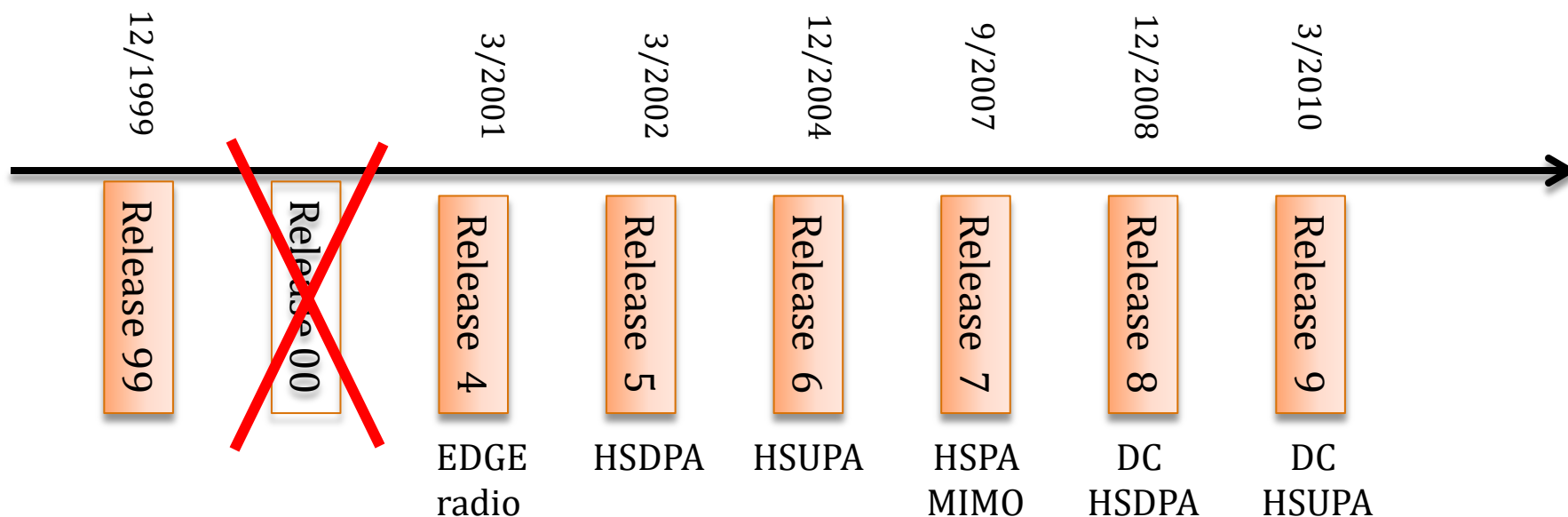
- realita:

- datové služby: jen 384 kbit/s

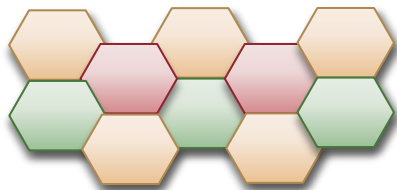
- i pro stacionární terminály
      - na principu přepojování paketů
      - nebo: 64 kbit/s na principu přepojování okruhů

- poskytuje i hlasové služby

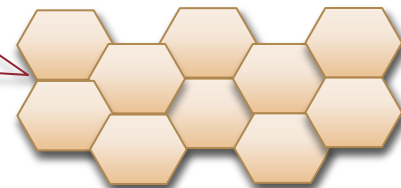
- kompatibilní s hlasovými službami GSM



- **UMTS přináší některé významné změny oproti GSM**
  - celkové zaměření:
    - GSM: primární je hlas, ale data jsou podporována také
    - UMTS (a 3G obecně): primární jsou data, ale hlas je podporován také
      - primární je přepojování paketů (pro přenos dat), ale současně funguje i přepojování okruhů (pro hlas)
  - hospodaření s frekvencemi:
    - GSM: pracuje s „úzkými“ frekvenčními kanály (**200 kHz**)
      - jednotlivé kanály jsou „děleny“ mezi jednotlivé hovory na principu čas. multiplexu (**TDMA**)
        - viz 8 časových slotů (time slot-ů)
          - pro rychlejší datové přenosy je využíváno více časových slotů současně
      - sousední buňky používají různé frekvenční kanály
        - pro eliminaci vzájemného rušení
    - UMTS: pracuje s „širokými“ frekvenčními kanály (**5 MHz**)
      - kvůli datovým přenosům (dosahování co nejvyšších přenosových rychlostí)
        - obecně: čím větší šířka pásma je k dispozici, tím vyšších rychlostí lze dosahovat
      - jednotlivé přenosy (dat i hovorů) jsou „odděleny“ pomocí kódového multiplexu (**CDMA**)
        - jelikož jde o relativně „široké“ frekvenční kanály, hovoří se o „širokopásmovém“ CDMA (**W-CDMA**)
        - důsledek: **sousední buňky nemusí používat různé frekvence** (odliší se kódováním)



sítě se mohou budovat jako „jednofrekvenční“





# frekvence pro UMTS

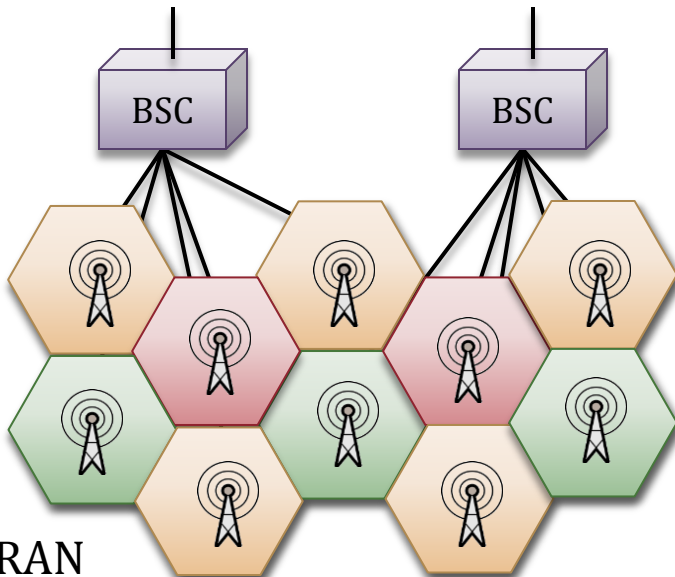
- **UMTS může fungovat 2 různými způsoby:**
  - jako **FDD-UMTS**: pro přenosy v různých směrech používá frekvenční duplex (FDD)
    - tj. různé frekvenční kanály - vyžaduje tzv. párové pásmo (dvě „sady“ frekvencí)
      - dnes převažuje: když se řekne UMTS, jde o tuto variantu (FDD-UMTS)
  - jak **TDD-UMTS**: pro přenosy v různých směrech používá časový duplex (TDD)
    - tj. stejný frekvenční kanál – vystačí s tzv. nepárovým pásmem
      - v ČR provozoval T-Mobile, od 19.10.2005 do 31.5.2012, s rychlostí 2 Mbit/s
        - pod obchodním názvem Internet 4G
- **mobilní operátoři potřebují pro své UMTS sítě přiděl vhodných frekvencí**
  - pro UMTS se používá (především) pásmo 2,1 GHz
  - v ČR byly 2 licence vydraženy v roce 2001 (Eurotel a T-Mobile)
    - třetí licenci získal v roce 2005 Oskar (Vodafone)

	uděleno	cena	párové pásmo (pro FDD)	nepárové pásmo (TDD)
T-Mobile	12/2001	3,861 mld. Kč	1920-1940 MHz a 2110-2130 MHz	1900-1905 MHz
Eurotel (O2 CR)	12/2001	3,535 mld. Kč	1940-1960 MHz a 2130-2150 MHz	1905-1910 MHz
Oskar (Vodafone)	2/2005	2 mld. Kč	1960-1980 MHz a 2150-2170 MHz	1910-1915 MHz

4x kanál 5 MHz

1x kanál 5 MHz

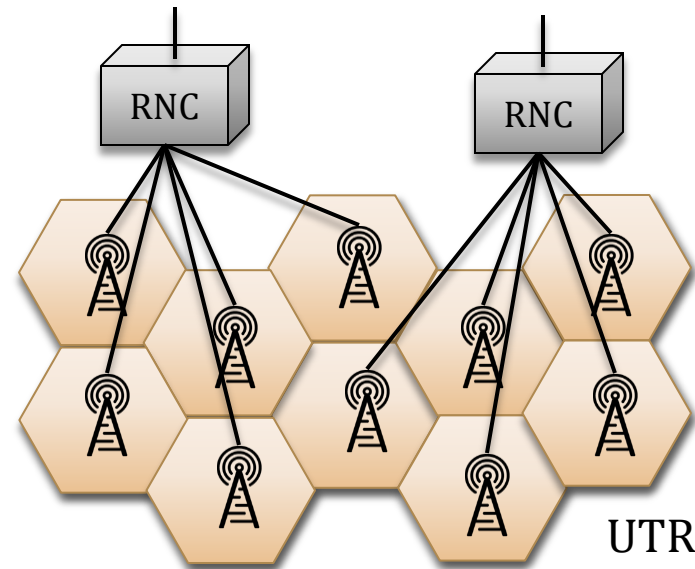
- UMTS používá stejnou páteřní síť jako GSM
  - tj. „zdvojenou“ – jedna část funguje na principu přepojování okruhů, druhá paketů
- ale má zcela novou rádiovou přístupovou síť
  - GSM používá síť **GERAN**
    - **GSM/EDGE Radio Access Network**
    - základnové stanice se označují jako **BTS**
    - **Base Transceiver Station**
    - vždy několik BTS je napojeno na 1 řadič
    - **BSC: Base Station Controller**
  - UMTS používá síť **UTRAN**
    - **UMTS Terrestrial Radio Access Network**
    - základnové stanice se označují jako **Node B**
    - buňky/sektory mohou používat stejné frekvenční kanály
    - vždy několik Node B je napojeno na 1 řadič
    - **RNC: Radio Network Controller**



GERAN



**UE: User  
Equipment**



UTRAN

# HSDPA, HSUPA, HSPA

- **připomenutí:**

- první verze UMTS (Release 99) nedosahovala slibovaných rychlostí
  - místo 2 Mbit/s dosahovala jen 384 kbit/s

- **další vývoj:**

- postupně přicházela různá zrychlení

někdy je to označováno také jako 3,5 G

- využívající dokonalejších technik (hlavně kódování)

- **HSDPA (High Speed Downlink Packet Access, Release 5, 2005)**

v ČR nasazeno  
v říjnu 2006  
(Eurotel)

- zvyšuje rychlost na downlinku (stále na frekvenčních kanálech o šířce 5 MHz):
  - od 1,2 Mbit/s až po 14,4 Mbit/s
    - v závislosti na schopnostech (třídě) koncového zařízení (UE, User Equipment)

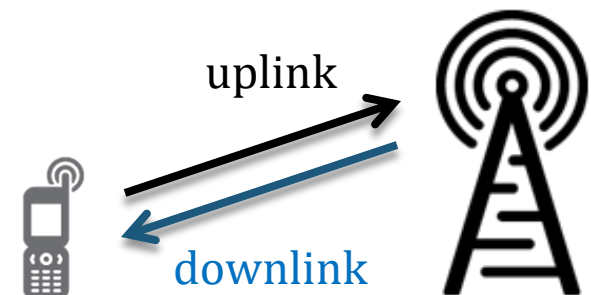
- **HSUPA (High Speed Uplink Packet Access, Release 6, 2007)**

- zvyšuje rychlost na uplinku
  - od 0,73 Mbit/s až po 5,76 Mbit/s

v ČR nasazeno  
v lednu 2010  
(T-Mobile)

- **HSPA (High Speed Packet Access)**

- společné označení pro HSDPA a HSUPA
  - vyšší rychlosti na downlinku i uplinku
    - oproti původní verzi UMTS (Release 99)



# HSPA+, Dual Carrier

- **další vývoj – směrem k vyšším rychlostem**
  - využívá technická zdokonalení, techniku MIMO a sdružování frekvenčních kanálů
  - **HSPA+ (Evolved HSPA, HSPA Evolution, Release 7)**
    - používá 2x2 MIMO, kódování 16QAM
    - slibuje až 21 / 11 Mbit/s
      - reálně dosahované rychlosti max. 15 Mbit/s na downlinku
        - ale v nezátížené buňce/sektoru
- **HSPA+ 42 DC (Dual Carrier, Release 8)**
  - využívá dva frekvenční kanály á 5 MHz (proto: Dual Carrier)
  - slibuje dvojnásobné (max.) rychlosti: až 42/11 Mbit/s
    - reálně max. 30 Mbit/s na downlinku
  - připomenutí:
    - mobilní operátoři v ČR mají (v párovém pásmu) licenci na 4 kanály (Carriers)

v ČR od října 2011  
(Vodafone)

v ČR od dubna 2012  
(T-Mobile, Vodafone)

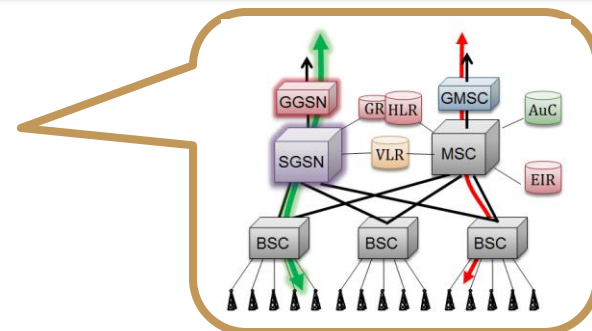
přesněji: Dual-Cell HSDPA  
Operation on Adjacent Carriers

	uděleno	cena	párové pásmo (pro FDD)	nepárové pásmo (TDD)
T-Mobile	12/2001	3,861 mld. Kč	<b>1920-1940 MHz a 2110-2130 MHz</b>	1900-1905 MHz
Eurotel (O2 CR)	12/2001	3,535 mld. Kč	<b>1940-1960 MHz a 2130-2150 MHz</b>	1905-1910 MHz
Oskar (Vodafone)	2/2005	2 mld. Kč	<b>1960-1980 MHz a 2150-2170 MHz</b>	1910-1915 MHz

# LTE: Long Term Evolution

- **HSDPA, HSUPA, HSPA, HSPA+ ....**

- jsou všechno snahy o vylepšení původní UMTS sítě
  - bez zásadnějších změn, jen zdokonalování rádiové části
    - potenciál změn se ale (v podstatě) vyčerpal



- **LTE (Long Term Evolution)**

- je společné označení pro „další“ zdokonalování, které je ale spojeno se zásadnějšími změnami
- žádný hlas, jen (rychlé) datové přenosy
  - LTE již nemá „nativní“ hlasové služby (fungující na principu přepojování paketů)
- plochá páteřní síť
  - připomenutí: UMTS ještě má „zdvojenou“ páteřní část sítě (jádro/core)
    - část funguje na principu přepojování okruhů (MSC, ....), pro potřeby hlasových přenosů
    - část funguje na principu přepojování paketů (SGSN, GGSN, ....), pro potřeby datových přenosů
  - LTE již má jen „jednu“ páteřní část sítě (jádro/core)
    - fungují na principu přepojování paketů, konkrétně IP paketů
- co nejširší frekvenční kanály
  - jsou podporovány šířky kanálů 1,5 / 3 / 5 / 10 / 15 / 20 MHz („čím širší tím vyšší rychlost“)
- OFDM místo WCDMA
  - pro vyšší efektivnost (spektrální účinnost) se přechází k technice OFDM (Ortogonalní FDM)
- techniky MIMO, beamforming a další technická vylepšení



LTE už je „all-IP“

# EPS, EPC a e-UTRAN

- **připomenutí:**

- LTE již funguje výhradně na principu přepojování paketů, a to na bázi protokolu IP

- **důsledek:**

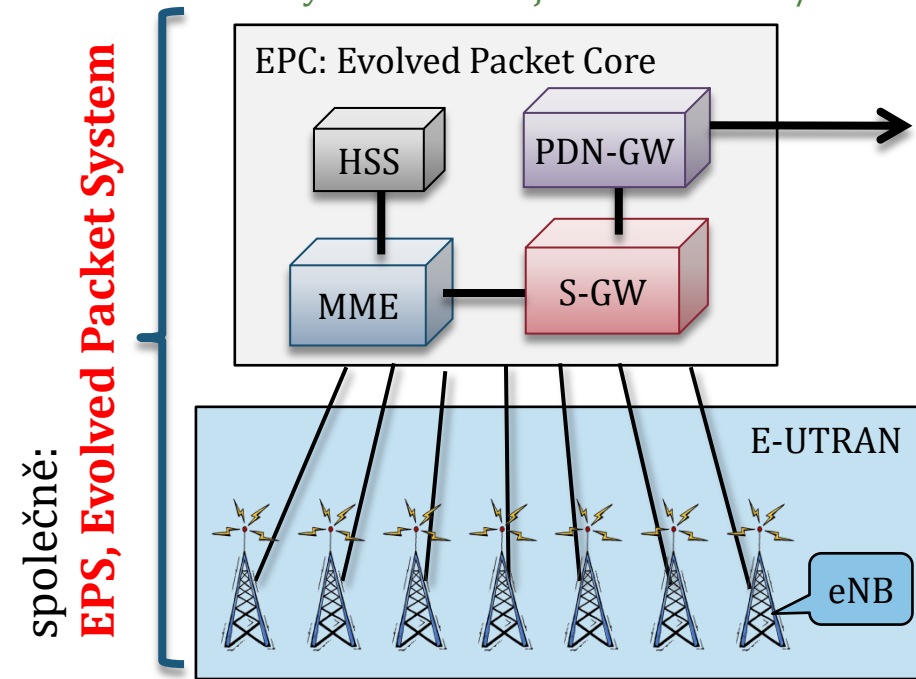
- mění se i architektura LTE sítě

- **EPC: Evolved Packet Core**

- označení pro páteřní část (core) LTE sítě
- je již jen „paketová“ (proto: Packet Core)
  - funguje již jen na IP
    - nemá „nativní“ hlas (na principu přepojování okruhů)
- zahrnuje následující (hlavní) uzly
  - MME (Mobility Management Entity)
    - obdoba registru VLR, „spravuje mobilitu“
  - HSS (Home Subscriber Server)
    - obdoba HLR, s údaji o uživateli
  - S-GW (Serving Gateway)
    - obdoba SGSN („přepínač“ pro data)
  - PDN-GW (Packet Data Network GW)
    - brána pro napojení do dalších sítí

- **E-UTRAN: Evolved Universal Terrestrial Access Network**

- označení pro přístupovou část LTE sítě
- má jen 1 typ uzlu (základnové stanice):
  - **eNode B (eNB): Evolved Node B**
    - jsou napojeny přímo na EPC
    - mohou být propojeny i mezi sebou
    - každý eNB obsluhuje několik buněk/sektorů



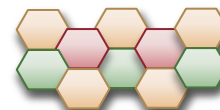
# přístupová síť e-UTRAN

## • připomenutí:

– **GSM, přístupová síť GERAN:** rádiová část pracuje s úzkými frekv. kanály (200 kHz)

- takovýchto kanálů je „hodně“ a musí se střídat

- sousední buňky musí používat různé frekvenční kanály



pevně dáno

- každý kanál je dělen na principu časového multiplexu / TDM (na 8 časových slotů)

– **UMTS, přístupová síť UTRAN:** pracuje s podstatně širšími kanály / carriers (5 MHz)

- kterých je „málo“ (dle licence, v ČR má každý operátor 4), a nemusí se střídat

- sousední buňky mohou používat stejné frekvenční kanály

- W-CDMA: celý kanál je sdílen - využívá jej více přenosů, které probíhají současně



- jsou odděleny pomocí kódového multiplexu (viz W-CDMA)

– **LTE, přístup. síť e-UTRAN:** snaží se pracovat s jediným, co možná nejširším kanálem

- sousední buňky používají stejné frekvenční kanály



- jediný frekvenční kanál je využíván pro více (datových) přenosů současně

- na downlinku: je použita technika **OFDMA (Orthogonal FDMA)**, místo WCDMA u 3G/UMTS

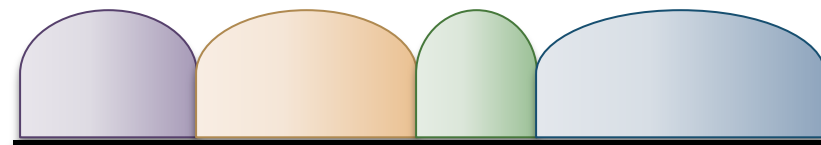
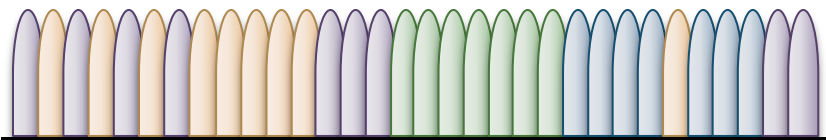
- na uplinku: je použita technika **SC-FDMA (Single Carrier FDMA)**

- celý frekvenční kanál přenáší více (užších) nosných

- celý frekvenční kanál přenáší menší počet (širších) nosných

- každá nosná přenáší jen část některého přenosu

- každá nosná přenáší jeden (celý) přenos



# rychlosti přenosu dat v LTE

- **(skutečně) dosahované rychlosti přenosu dat závisí na celé řadě faktorů:**
  - **míře sdílení**
    - kolik aktivních uživatelů právě sdílí kapacitu jedné buňky/sektoru
      - kolik různých přenosů právě probíhá
  - **šířce frekvenčního kanálu**
    - zde jde o kanál šířky 20 MHz, 15 MHz, 10 MHz atd.
  - **stupni MIMO**
    - pro nejvyšší vyšší rychlosti se využívá 4x4 MIMO a tzv. MU-MIMO (MultiUser MIMO)
  - **použitém způsobu modulace (64 QAM, QPSK, ...)**
  - **dalších technikách (např. beamforming)**
  - **schopnostech koncového zařízení pro LTE (UE, User Equipment)**
    - dělí se do 5 kategorií (nejvyšší je 5)
- **teoretické maximum LTE: downlink 300 Mbit/s, uplink 75 Mbit/s**
  - ale s buňkou „jen pro sebe“ (žádní další uživatelé / žádné další přenosy), a navíc:
    - frekvenční kanál 20 MHz a koncové zařízení UE kategorie 5 (4x4 MIMO, 64 QAM i na uplinku)

když se mluví o max. rychlostech, předpokládá se jen 1 uživatel (nevytížená buňka)

„titulkové“  
rychlosti

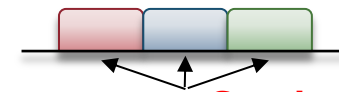
kategorie UE	1	2	3	4	5
teoretická max. rychlost (kanál šířky 20 MHz)	10/5 Mbit/s	50/25 Mbit/s	100/50 Mbit/s	150/50 Mbit/s	300/75 Mbit/s
MIMO	žádné	2x2	2x2	2x2	4x4



# LTE Carrier Aggregation

- **LTE kategorie 1 až 5 – představuje „1. vlnu LTE“**
  - je definováno ve standardu 3GPP Release 8 (prosinec 2008)
  - počítá s využitím jednoho frekvenčního kanálu
    - teoretické maximální rychlosti („titulkové“ rychlosti) předpokládají kanál o šířce 20 MHz
- **další možnost zrychlení: využít více frekvenčních kanálů současně**

– označováno jako **Carrier Aggregation**



- jednotlivé (agregované) frekvenční kanály se označují jako **Component Carriers (CC)**
- poprvé definováno ve standardu 3GPP Release 10 (červen 2011)
  - zavádí kategorie 6, 7 a 8

kategorie	max. agregace		MIMO		max. teoretická rychlost	
	downlink	uplink	downlink	uplink	downlink	uplink
<b>kat. 6</b>	20+20 MHz (nebo 1x40 MHz)	20 MHz	2x2 (nebo 4x4)	1x1	300 Mbit/s	50 Mbit/s
<b>kat. 7</b>	20+20 MHz (nebo 1x40 MHz)	20 MHz	2x2 (nebo 4x4)	2x2	300 Mbit/s	100 Mbit/s
<b>kat. 8</b>	5x 20 MHz	5x 20 MHz	8x8	4x4	3 Gbit/s	1,5 Gbit/s

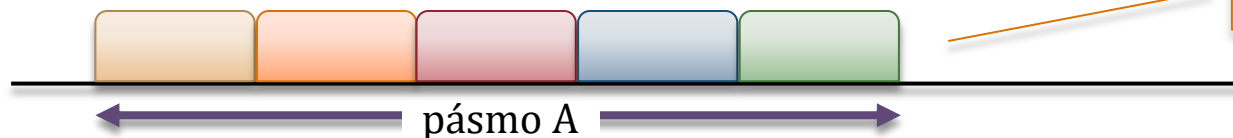
- maximem je agregování 5 frekvenčních kanálů o šířce 20 MHz
  - tj. v součtu 100 MHz

teoretické maximum,  
reálně nevyužitelné

# LTE Carrier Aggregation

- **agregované kanály (CC) mohou být:**

- ve stejném pásmu a být souvislé (intra-band contiguous)

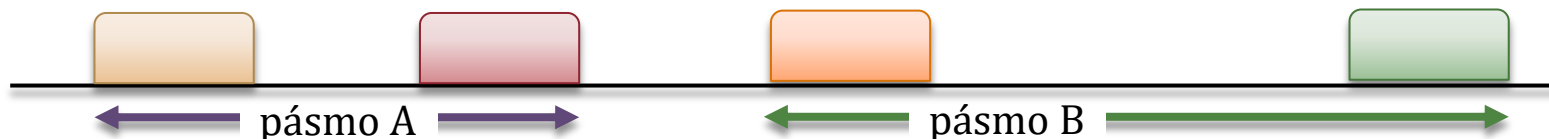


maximum je 5 CC  
(každý o šířce 20 MHz)

- ve stejném pásmu a být nesouvislé (intra-band non-contiguous)



- v různých pásmech, nesouvislé (inter-band non-contiguous)



- **mobilní operátoři mohou využívat pro LTE jen některé frekvenční kanály**

- ze svého přidělu (pro které mají individuální oprávnění)

- jen některé jsou „technologicky neutrální“ a umožňují nasazení LTE

situace v ČR, 1H2016

v závorce: přiděl neumožňuje využití pro LTE

Operátor	Kmitočtové pásmo				
	800 MHz	900 MHz	1800 MHz	2100 MHz	2600 MHz
<b>O2</b>	10 MHz	0 (12,4 MHz)	15 MHz (17 MHz)	0 (20 MHz)	20 MHz
<b>T-Mobile</b>	10 MHz	0 (12,4 MHz)	15 MHz (20 MHz)	10 MHz (20 MHz)	5 MHz (20 MHz)
<b>Vodafone</b>	10 MHz	3 MHz (10 MHz)	15 MHz (22 MHz)	10 MHz (20 MHz)	0 (20 MHz)

# LTE-A (LTE Advanced)



- **obecné označení pro „druhou vlnu“ LTE**
  - s cílem dosahovat ještě vyšších rychlostí (a nižší latence) než LTE, díky:
    - dokonalejším metodám a postupům
      - ještě dokonalejší kódování, vyšší stupně MIMO, ....
    - agregaci více frekvenčních kanálů (CC, Component Carrier)
      - ve stejném/jiném pásmu, souvislých/nesouvislých kanálů

- **konkrétní varianty jsou definovány (jako kategorie) v jednotlivých 3GPP Release:**

- **Release 10 (2011):**

- kategorie 6 (max. 150/50 Mbit/s) a 7 (max. 150/100 Mbit/s)
- kategorie 8 (max. 3/1,5 Gbit/s) – reálně nevyužitelné

- **Release 11 (2012)**

- kategorie 9 (max. 450/50 Mbit/s) a 10 (max. 450/100 Mbit/s)

- **Release 12 (2014)**

- kategorie 11 (max. 600/50 Mbit/s) a 12 (max. 600/100 Mbit/s)

- .....

# LTE vs. 4G

- **mobilní generace (1G / 2G / 3G /4G) nejsou nikde formálně definovány**
  - **neformálně se 3G a 4G odvozují od standardů ITU-T (Mezinárodní telekom. unie):**
    - 3G vychází ze standardu **IMT-2000** (1995), původně FPLMTS (1985)
      - požaduje 2 Mbit/s pro stacionární terminál
        - 384 kbit/s při pomalém pohybu, 144 kbit/s při rychlém pohybu
      - technologie UMTS tyto požadavky zpočátku také nesplňovala !!!
        - a začala je splňovat až později (HSDPA, HSUPA, HPSA, .....
    - 4G vychází ze standardu **IMT-Advanced** (2008)
      - požaduje 1 Gbit/s pro stacionární terminál
        - a 100 Mbit/s při rychlém pohybu (jízda autem)
      - objevily se 2 „kandidátské“ technologie, s ambicemi splnit požadavky IMT-Advanced
        - mobilní WiMAX
        - LTE (Long Term Evolution)
- **u LTE se opakuje historie s UMTS**
  - **LTE nesplňuje požadavky standardu IMT-Advanced**
    - obdobně, jako UMTS nesplňovala požadavky IMT-2000
      - zejména pokud jde o rychlost a spektrální účinnost
  - **požadavky IMT-Advanced splňuje až LTE-Advanced (Release 8)**
    - ovšem Release 8 je spíše „teoretická“ varianta, v praxi obtížně realizovatelná
- **LTE by správně měla být označována jako (pokročilejší) 3G technologie**

přesto je LTE běžně označováno a nabízeno jako 4G technologie

- díky tomu, že jednotlivé generace (3G, 4G) nejsou nikde formálně definovány ☺