



Katedra softwarového inženýrství,
Matematicko-fyzikální fakulta,
Univerzita Karlova, Praha



Lekce 10: mobilní komunikace

J. Peterka, 2008

prehistorie mobilních komunikací



- 1910:

- Lars Magnus Ericsson (zakladatel společnosti Ericsson) a jeho žena Hilda pravidelně používají telefonní přístroj na cestách, ze svého automobilu.



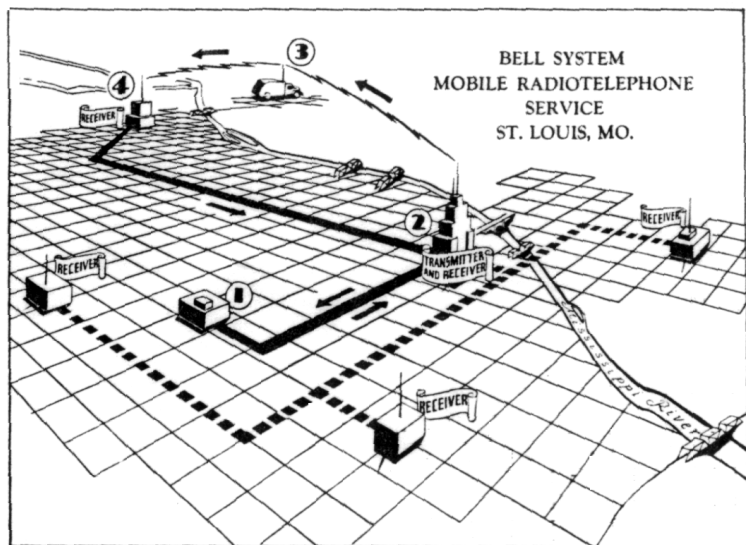
- 1924:

- v Bellových laboratořích (USA) zkonstruovali první obousměrný mobilní hlasový telefon

- 1937:

- první prakticky používaný mobilní radiotelefon, vyvinutý v Nizozemí. Pracoval v pásmu 66-75 MHz s výkonem 4-5 Wattů.

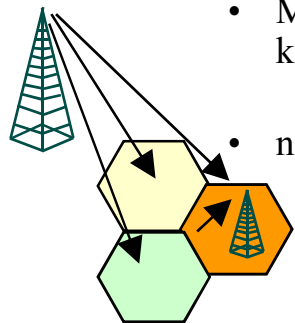
vznik buňkových sítí



- 17. června 1947:

- **AT&T a Southwestern Bell spouští první mobilní radiotelefonní službu**

- MTS (Mobile Radio-Telephone Service) na komerční bázi pro veřejnost
 - v pásmu 150 MHz
 - na tzv. zónovém principu
 - "downlink" ($2 > 3$) vysílal centrální vysílač pro všechny pohyblivé stanice, s velkým výkonem
 - "uplink" ($3 > 4$) vysílala mobilní stanice malým výkonem k jedné z několika a retranslačních stanic, ta předávala hovor po vedení (drátě) do centrálního vysílače



- 1947:

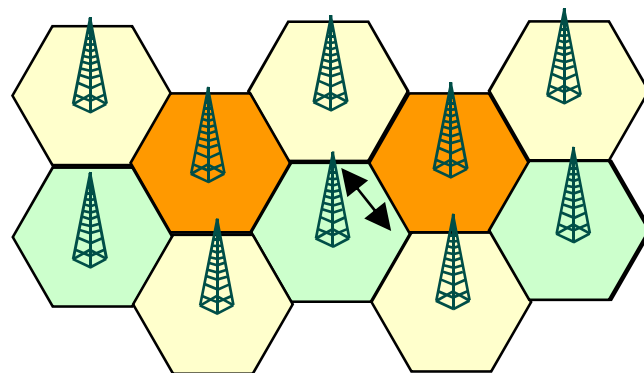
- **rodí se myšlenka buňkových sítí**

- D.H. Ring z Bellových laboratoří AT&T v USA
 - **opakované využití stejných frekvencí**
 - v nesousedních buňkách.

- leden 1969:

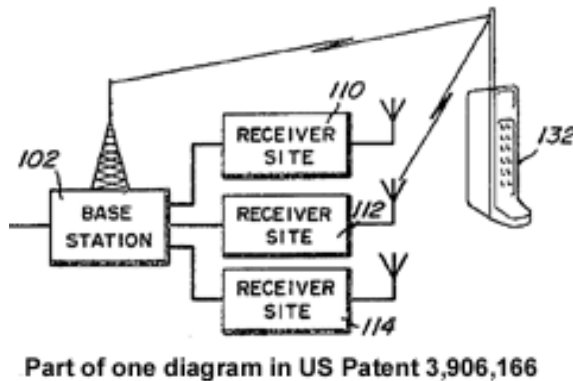
- **Bell System spouští první buňkový systém**

- s opakovaným využitím přenosových frekvencí.
 - umožňoval hovory z telefonních automatů ve vlacích na cestě mezi New Yorkem a Washingtonem.
 - v pásmu 450 MHz, na trase dlouhé 225 mil
 - dokázal opakovaně využívat 6 frekvenčních kanálů.
 - řídicí středisko bylo ve Philadelphii.



první mobilní telefon

- 1973:
 - rodí se mobilní telefon
 - zkonstruoval ho **dr. Martin Cooper**
 - general manager, Communications Systems Division, Motorola,
 - dodnes považovaný za vynálezce (osobního) mobilního telefonu
 - podává patent s názvem 'Radio Telephone System.'
 - v New Yorku postavil první základnovou stanici (BTS) a zkonstruoval první mobilní terminál.



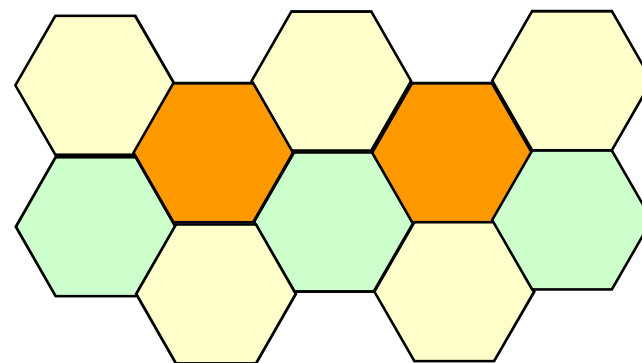
- 1973:
 - mobilní telefon ("cihla") vážil 30 uncí (0,85 kg)
- 1983:
 - Motorola uvádí na trh mobilní telefon DynaTAC
 - 0,45 kg, 3500 USD
- 1990:
 - 1 milion mobilních telefonů/uživatelů v USA
- 3. dubna 1973:
 - první mobilní hovor z mobilního telefonu
 - dr. Cooper zavolał svému kolegovi z AT&T Bell Labs.
 - konkurenci, která také vyvíjela mobilní telefon

generace mobilních sítí

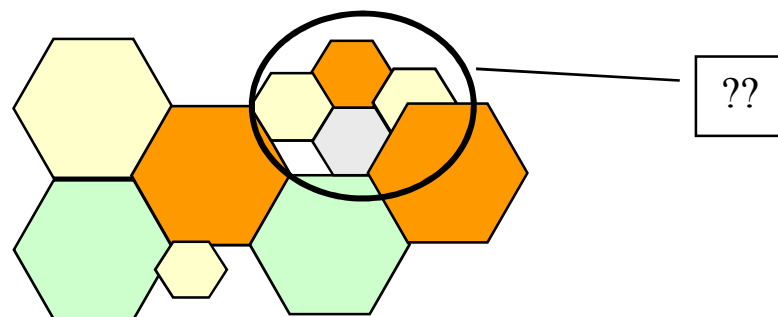
- 1. generace (1G)
 - ještě analogová !!!
 - pro dělení dostupných frekvencí na menší části (kanály) používá techniku frekvenčního multiplexu
 - FDM/FDD
 - **pro jednotlivé hovory se používají vždy celé frekvenční kanály**
 - AMPS
 - Advanced Mobile Phone Service
 - hlavně v USA
 - NMT
 - Nordic Mobile Telephone
 - šířka kanálu 25 kHz
 - v Evropě
 - TACS
 - Total Access Control System
 - upravený systém AMPS
 - hlavně ve Velké Británii
- 2. generace (2G)
 - již digitální !!!
 - **jednotlivé frekvenční kanály dále dělí, prostřednictvím časového multiplexu**
 - TDM/TDD nebo TDM/FDD
 - pro hovory jsou využívány jen části frekvenčních kanálů
 - časové sloty
 - hlas je přenášen v digitální podobě
 - GSM (Evropa),
 - šířka kanálu 200 kHz
 - CDMA (USA)
 - D-AMPS (USA)
 - PDC (Japonsko)
- 2,5 generace ???
 - systémy 2. generace, obohacené o možnost přenosu dat
 - GPRS, HSCSD, EDGE
- 3. generace (3G, UMTS)
 - větší zaměření na data, ne pouze hlas

hospodaření s frekvencemi

- mobilní sítě zásadně fungují v licenčních pásmech
 - frekvence dostávají přidělené na základě individuální licence
 - počet operátorů je omezen dostupností frekvencí
 - operátoři dostávají jen omezený přiděl frekvencí
 - určitý počet "frekvenčních kanálů"
 - dáno přímo licencí
- mobilní operátoři potřebují:
 - pokrýt "neomezeně velkou plochu"
 - typicky: celé území státu
 - ale jen "s omezeným přidělem frekvencí"
- řešení:
 - buňkový (celulární) princip
 - plocha k pokrytí je rozdělena na dílčí části (buňky)
 - v sousedních buňkách se nesmí použít stejné frekvence
 - frekvence se mohou opakovat v nesousedních buňkách



- struktura buněk mobilní sítě není pevně dána
 - vyvíjí se v čase, podle rozvoje sítě a potřeb zákazníků
 - obvykle se zahušťuje
 - kde je větší provoz, vzniká více (menších) buněk
- mobilní operátor musí velmi pečlivě plánovat využití frekvencí
 - realizovat tzv. frekvenční plánování



příklad: přidělení frekvenčních kanálů v pásmu 900 MHz (pro GSM)

Rozdělení spektra – ČR

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
100	101	102	103	104	105	106	107	108	109
110	111	112	113	114	115	116	117	118	119
120	121	122	123	124					



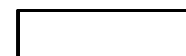
Eurotel



Paegas



Český Mobil



Armáda



Měřicí kanál Eurotel

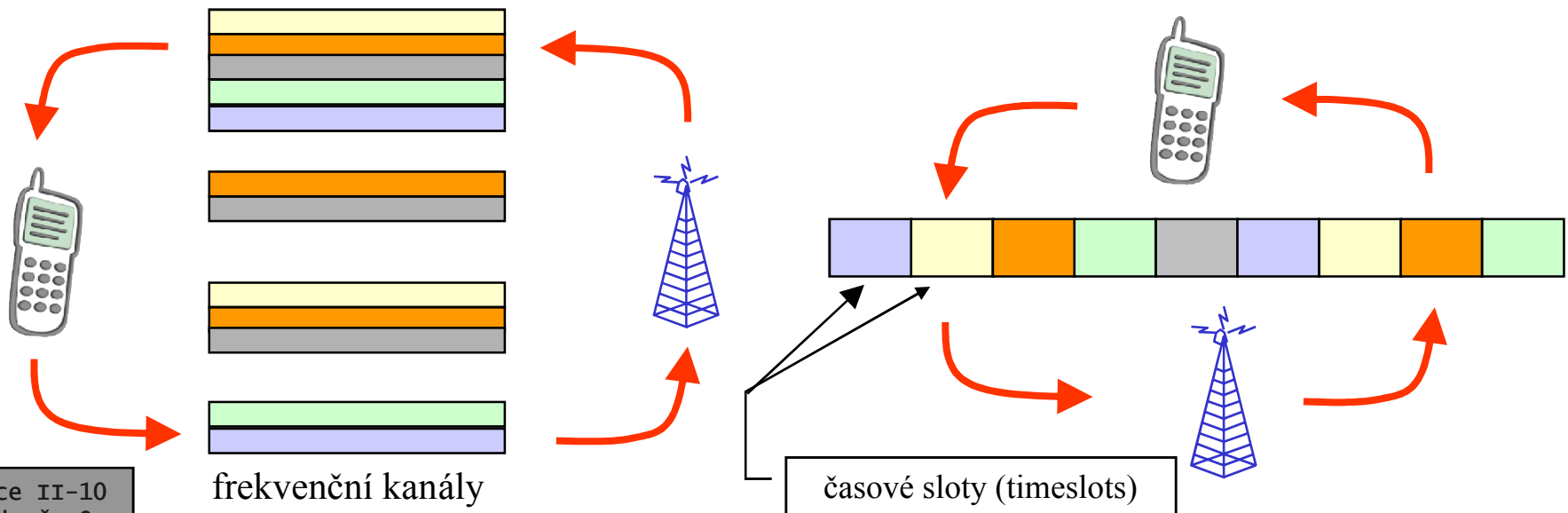


Měřicí kanál Paegas

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

hospodaření s frekvencemi – zajištění obousměrné komunikace

- cíl:
 - mít možnost komunikovat v obou směrech současně
- problém:
 - není únosné komunikovat obousměrně na stejné frekvenci a ve stejném čase
- technika **FDD**
 - Frequency Division Duplexing
 - je to analogová technika
 - každý směr využívá jiné frekvence
- technika **TDD**
 - Time Division Duplexing
 - je to digitální technika
 - oba směry využívají stejné frekvence, ale střídají se v čase



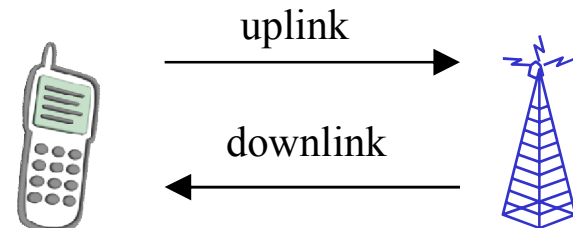
terminologie: link vs. stream

- stream (proud)
 - týká se datového toku,
 - měří se v jednotkách přenosové rychlosti
 - bity za sekundu, resp. násobky
 - **downstream**
 - je datový tok "k uživateli"
 - "dolu"
 - **upstream**
 - je datový tok "od uživatele"
 - "nahoru"
- link (spoj)
 - týká se použitých frekvencí
 - měří se v jednotkách šířky pásma
 - Hz
 - **downlink**
 - je spoj "k uživateli"
 - **uplink**
 - je spoj "od uživatele"
- terminologie pochází hlavně ze satelitních technologií
 - ale používá se obecně u všech bezdrátových sítí

downstream $\neq$ downlink

upstream $\neq$ uplink

*"na downlinku lze dosahovat
různé rychlosti downstreamu ..."*



mobilní sítě 1. generace (1G)

- 1. generace mobilních sítí byla analogová !!!
 - pro dělení dostupných frekvencí na menší části používá techniku frekvenčního multiplexu
 - FDM
 - pro zajištění obousměrného přenosu techniku FDD
 - pro modulaci techniku frekvenční modulace
- 1. generace podporovala pouze hlasové služby
 - vznikl velký počet různých řešení, bez vzájemné kompatibility
- systémy:
 - **AMPS**
 - Advanced Mobile Phone Service
 - hlavně v USA
 - **NMT**
 - Nordic Mobile Telephone
 - v Evropě
 - **TACS**
 - Total Access Control System

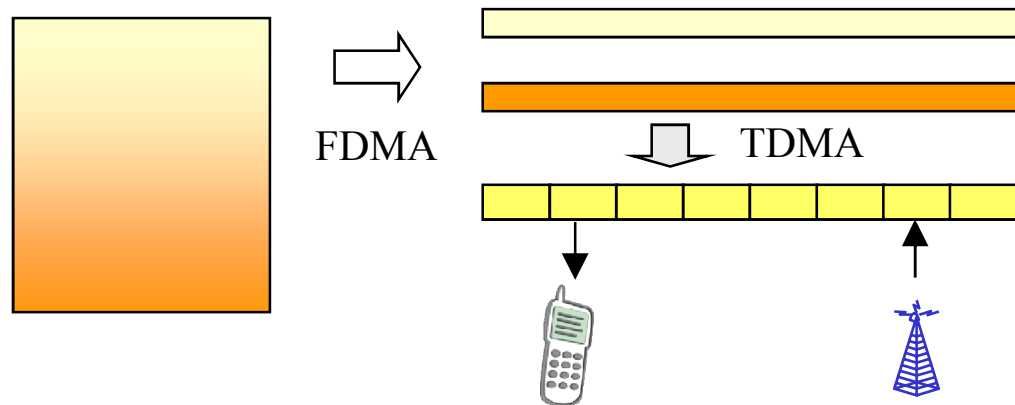
	AMPS	NMT	TACS
Pásmo	800 MHz	450 MHz 900 MHz	900 MHz
Šířka kanálu	30 kHz	25 kHz (12,5 kHz)	25 kHz
Počet kanálů	624 hlas, 42 řízení		558 hlas, 42 řízení
Používán od	1977 pilot, 1983 komerčně	1981 (450 MHz) 1988 (900 MHz)	1985
Kde využít	USA, Afrika	Evropa, Asie	Evropa (UK), Japonsko

- 12. září 1991
 - Eurotel spouští síť NMT v pásmu 450 MHz
 - provozována dodnes, jako Eurotel T!P
 - ukončena bude počátkem července 2006

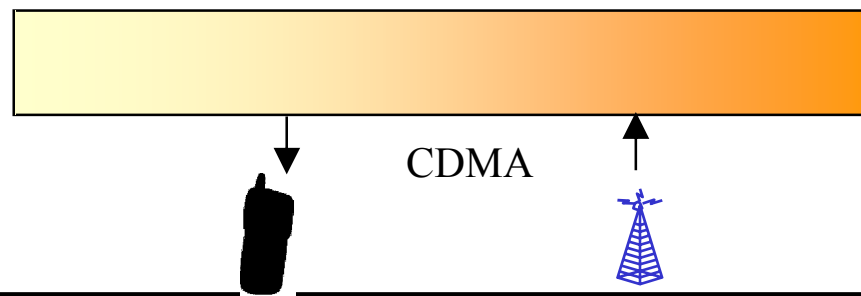
mobilní sítě 2. generace

- 2. generace mobilních sítí je již digitální

- pro dělení dostupných frekvencí na menší části (kanály) používá techniku frekvenčního multiplexu
 - FDMA
- každý frekvenční kanál je dále dělen na principu časového multiplexu
 - TDMA
- **nebo:** celé širší frekvenční kanály se sdílí na principu kódového multiplexu
 - CDMA
- pro zajištění obousměrného přenosu se používá buď FDD nebo TDD



	GSM	IS-95	IS-136	PDC
Pásmo	900, 1800 MHz (Evropa) 1900 MHz (USA)			800 MHz 1500 MHz
Dělení pásma	TDMA	CDMA	TDMA	TDMA
Kde využít	Evropa, USA	USA	USA	Japonsko



GSM

- původně:
 - Groupe Spécial Mobile
- později:
 - Global System for Mobile Telecommunications
- první komerčně provozovaný systém 2. generace.
 - vyvinut 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:
 - Eurotel (Telefónica O2 Czech Republic):
 - 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

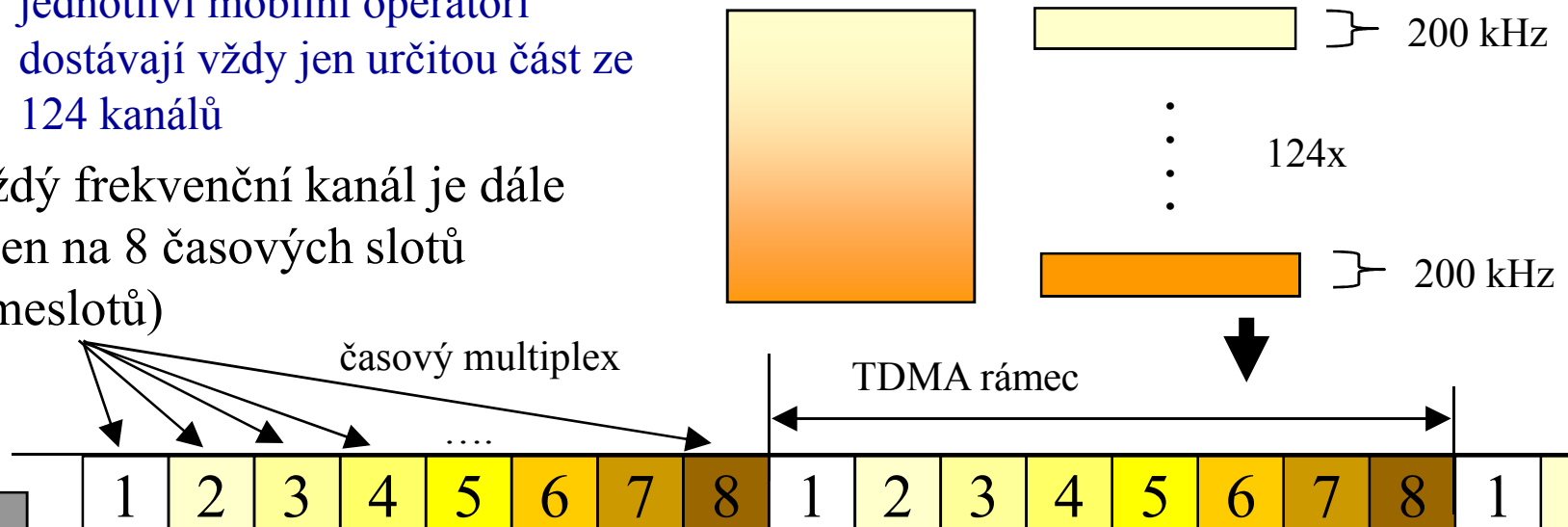


frekvence v GSM (900 MHz)

- v pásmu 900 MHz GSM používá:
 - 124 frekvenčních kanálů pro uplink
 - 890-915 MHz
 - 124 frekvenčních kanálů pro downlink
 - 935 až 960 MHz
 - každý o šířce 200 kHz
- týká se GSM jako celku !!!
 - jednotliví mobilní operátoři dostávají vždy jen určitou část ze 124 kanálů
- každý frekvenční kanál je dále dělen na 8 časových slotů (timeslotů)

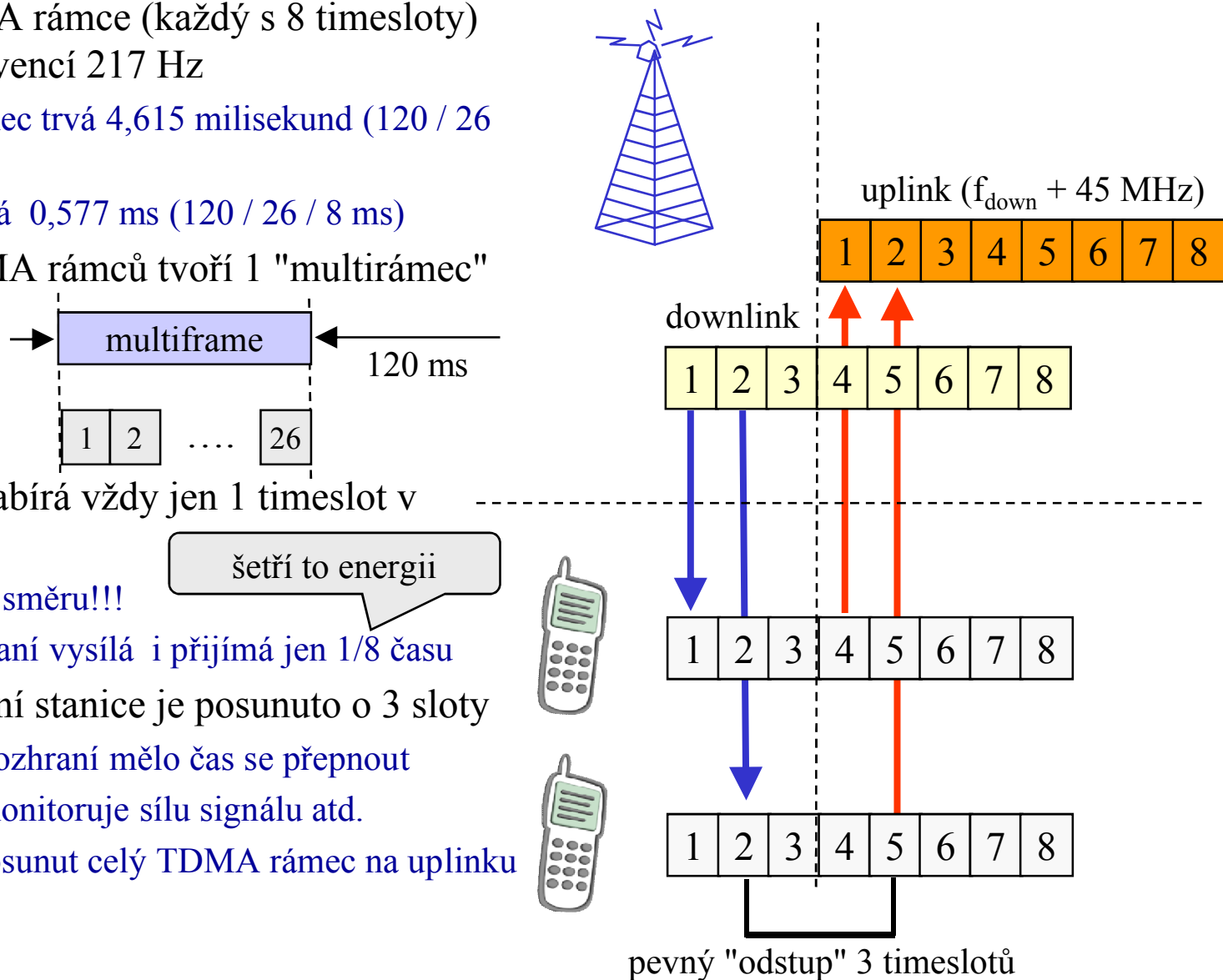
Rozdělení spektra – ČR

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
100	101	102	103	104	105	106	107	108	109
110	111	112	113	114	115	116	117	118	119
120	121	122	123	124					



hlasové hovory v GSM síti

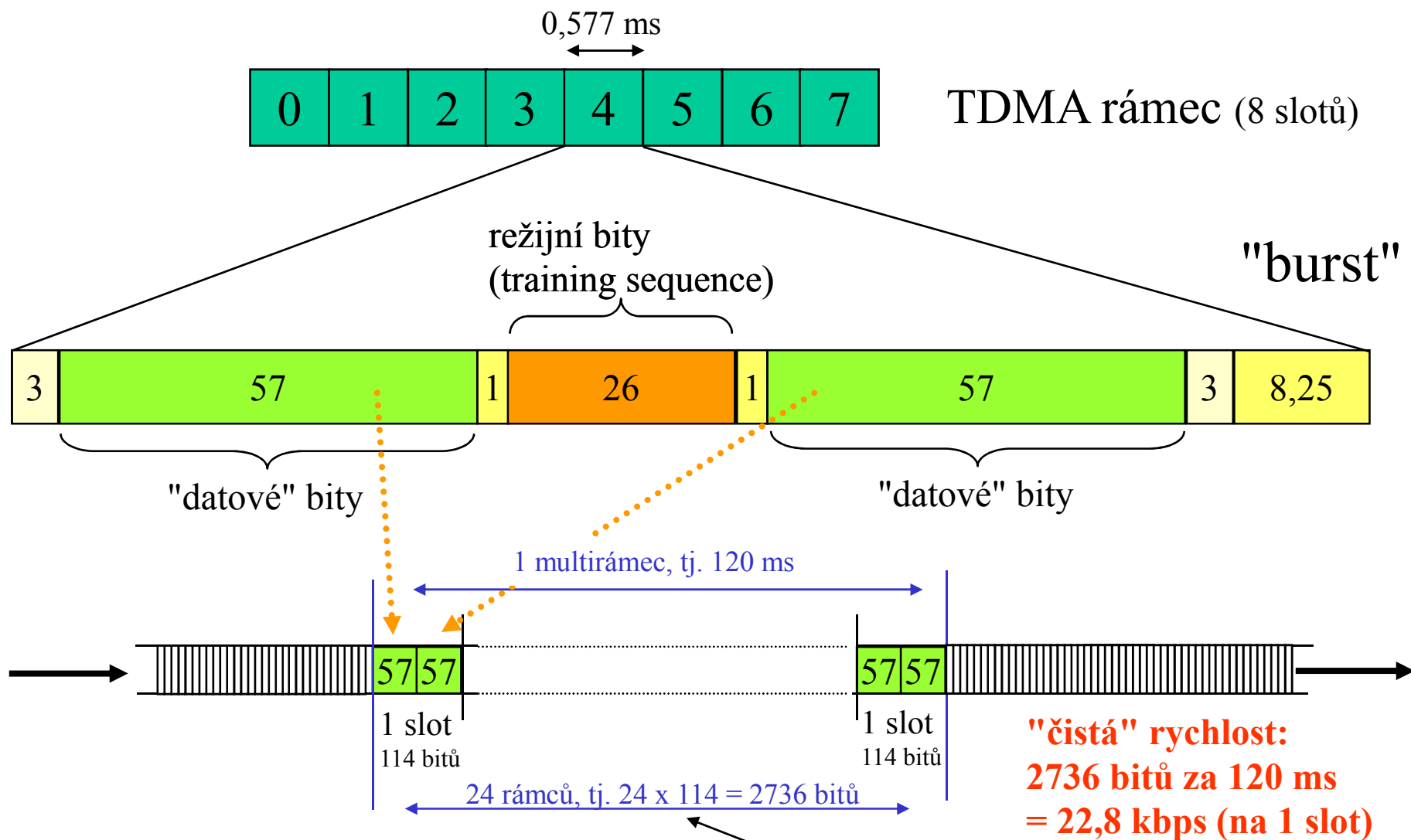
- jednotlivé TDMA rámce (každý s 8 timesloty)
se střídají s frekvencí 217 Hz
 - 1 TDMA rámec trvá 4,615 milisekund ($120 / 26$ ms)
 - 1 timeslot trvá 0,577 ms ($120 / 26 / 8$ ms)
- skupina 26 TDMA rámců tvoří 1 "multirámec"
 - trvá 120 ms
- hlasový hovor zabírá vždy jen 1 timeslot v TDMA rámci
 - ale v každém směru!!!
 - radiové rozhraní vysílá i přijímá jen 1/8 času
- vysílání z mobilní stanice je posunuto o 3 sloty
 - aby radiové rozhraní mělo čas se přepnout
 - v mezidobí monitoruje sílu signálu atd.
 - fakticky je posunut celý TDMA rámec na uplinku



kódování hlasu v sítích GSM

- GSM je digitální síť
 - hlas je přenášén v digitální formě
- obecný postup:
 - hlas je snímán 8000x za sekundu
 - stejně jako u PCM
 - každý vzorek je vyjádřen pomocí 13 bitů
 - celkově $8000 \times 13 = \mathbf{104 \text{ kbit/s}}$
 - následuje komprese RPE/LTP
 - Regular Pulse Excitation/Long Term Prediction
 - sníží datový tok ze 104 kbit/s na **13 kbit/s**
 - následuje přidání zabezpečovacích údajů
 - pro detekci a korekci chyb během rádiových přenosů
 - výsledkem je datový tok **22,8 kbit/s**
- ve skutečnosti:
 - Full-Rate (FR) kodek:
 - snímají se "úseky" hovoru dlouhé 20 ms
 - každý "úsek" je vyjádřen jako 260 bitů
 - odpovídá to 13 kbit/s
 - po přidání zabezpečovacích údajů:
 - z 260 bitů je 456 bitů
 - z rychlosti 13 kbit/s je 22,8 kbit/s
 - 456 bitů se rozdělí na 8 bloků po 57 bitech
 - do každého timeslotu (1 z 8) se vkládá tzv. "burst", který obsahuje:
 - 2 x 57 bitů
 - "užitečná data", reprezentující hlas, případně data
 - 1 x 26 bitů
 - "training sequence" – pevně daná posloupnost, slouží k zajištění rádiových přenosů
 - další "režijní" bity
 - 2 řídicí, 2x3 "okrajové" bity, 8,25 ochranných bitů
 - celkem má 1 "burst" 156,25 bitů
 - "trvá" 0,577 msec., rychlost 270,833 kbit/s

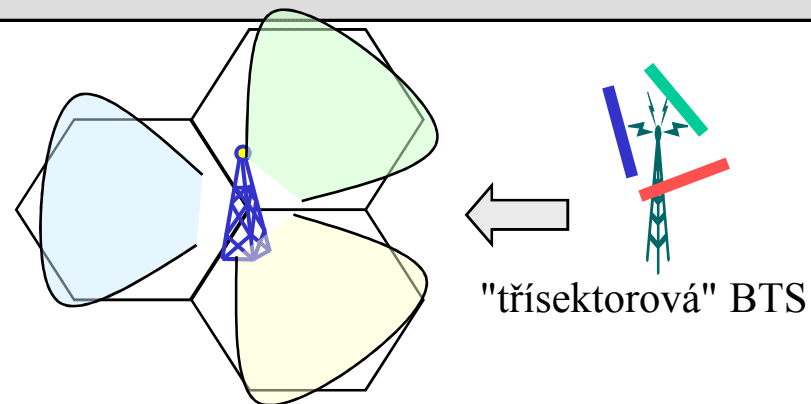
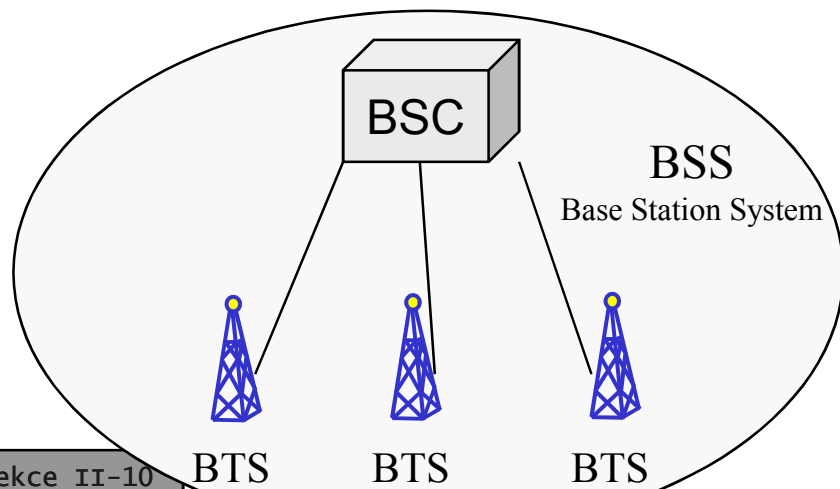
příklad: využití slotu sítě GSM



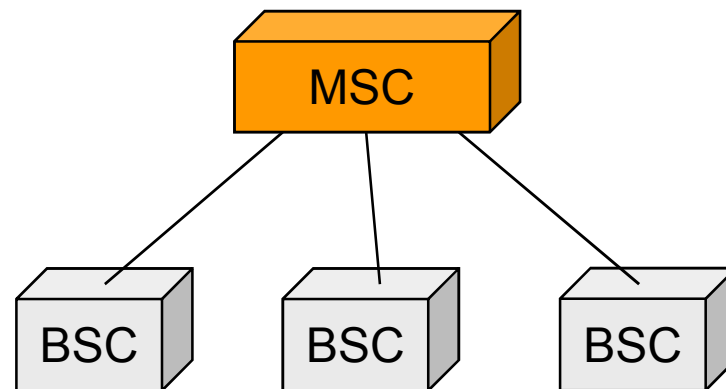
"čistá" rychlost:
2736 bitů za 120 ms
= 22,8 kbps (na 1 slot)

architektura GSM sítě

- síť GSM je budována na buňkovém principu.
 - plocha, kterou pokrývá, je rozdělena na buňky.
 - v jednotlivých buňkách jsou umístěny tzv. základnové stanice
 - BTS, Base Transceiver Station
 - vždy několik BTS je napojeno na jeden společný řadič
 - BSC, Base Station Controller



- páteří část mobilní sítě řídí mobilní telefonní ústředna
 - MSC, Mobile Switching Centre
- mobilní ústředna ovládá řadiče BSC
 - a skrze ně jednotlivé BTS



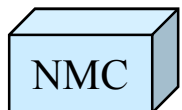
architektura GSM sítě - registry

- HLR
 - Home Location Register,
 - "domovský lokační registr"
 - obsahuje informace o uživateli dané sítě GSM
 - včetně rozsahu předplacených služeb,
 - uchovává informaci o tom, kde se mobil nachází
 - ve které buňce (BSC a BTS)
 - každý účastník je registrován vždy jen v jednom HLR !!!
- 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
 - "návštěvnický 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
 - např. billing, registrace účastníků atd.

logicky: je v síti 1x
fyzicky: je replikován

architektura GSM sítě

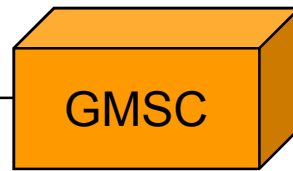
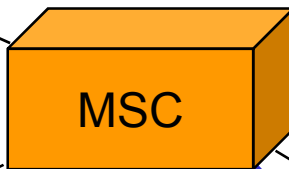
Operační a podpůrný systém (Operation and Support Subsystem, **OSS**)



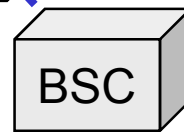
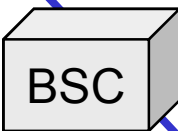
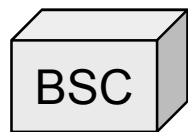
subsystém sítě (network subsystem, **NS**)



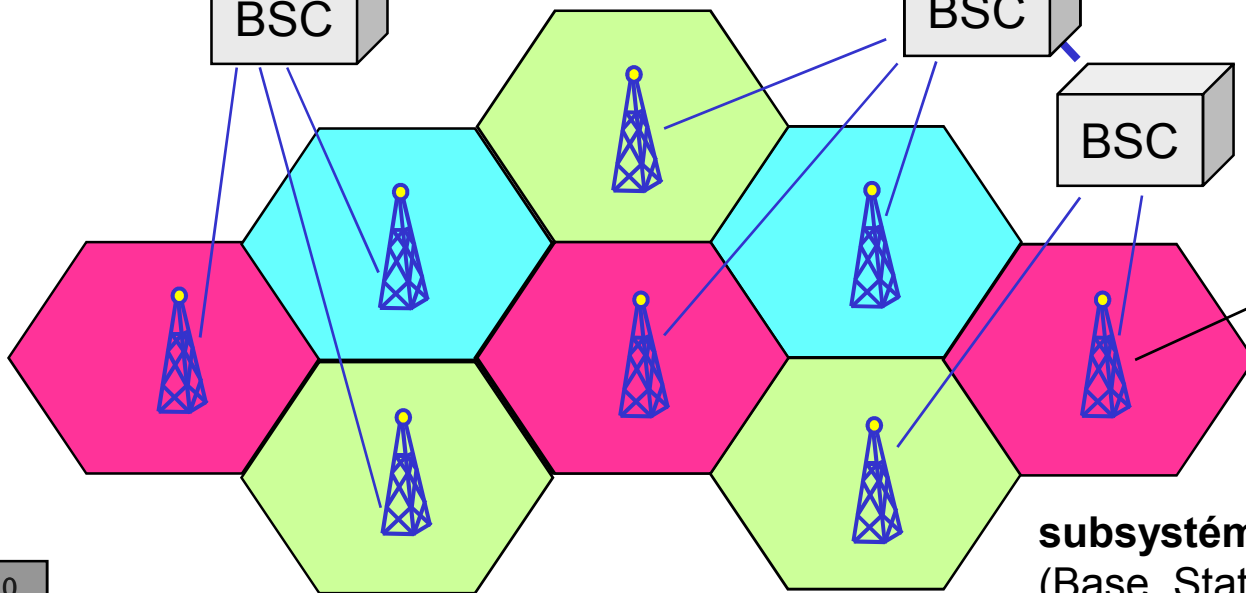
mobilní telefonní ústředna



propojení s
jinými sítěmi
(pevnými i
mobilními)



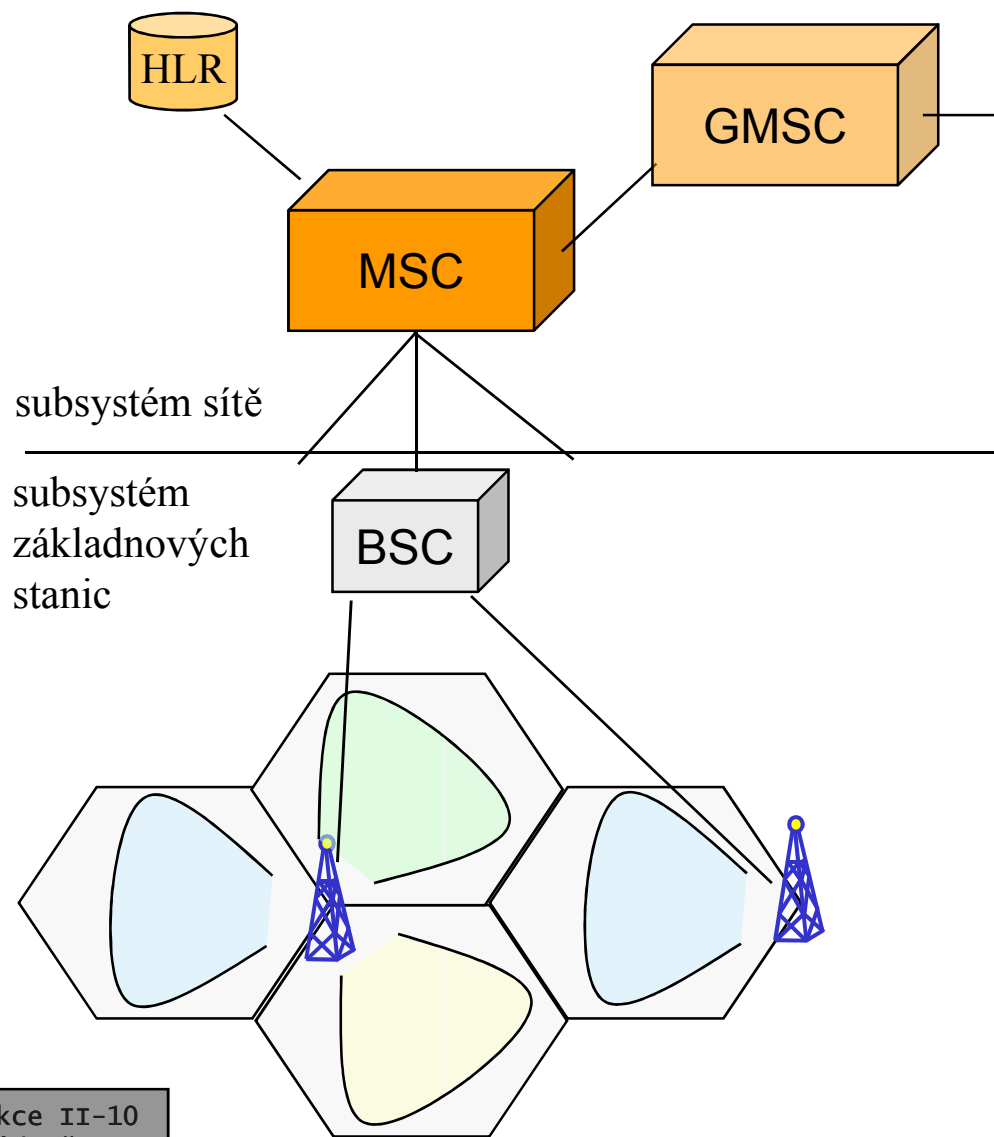
řadič
základnových
stanic



BTS –
základnová
stanice

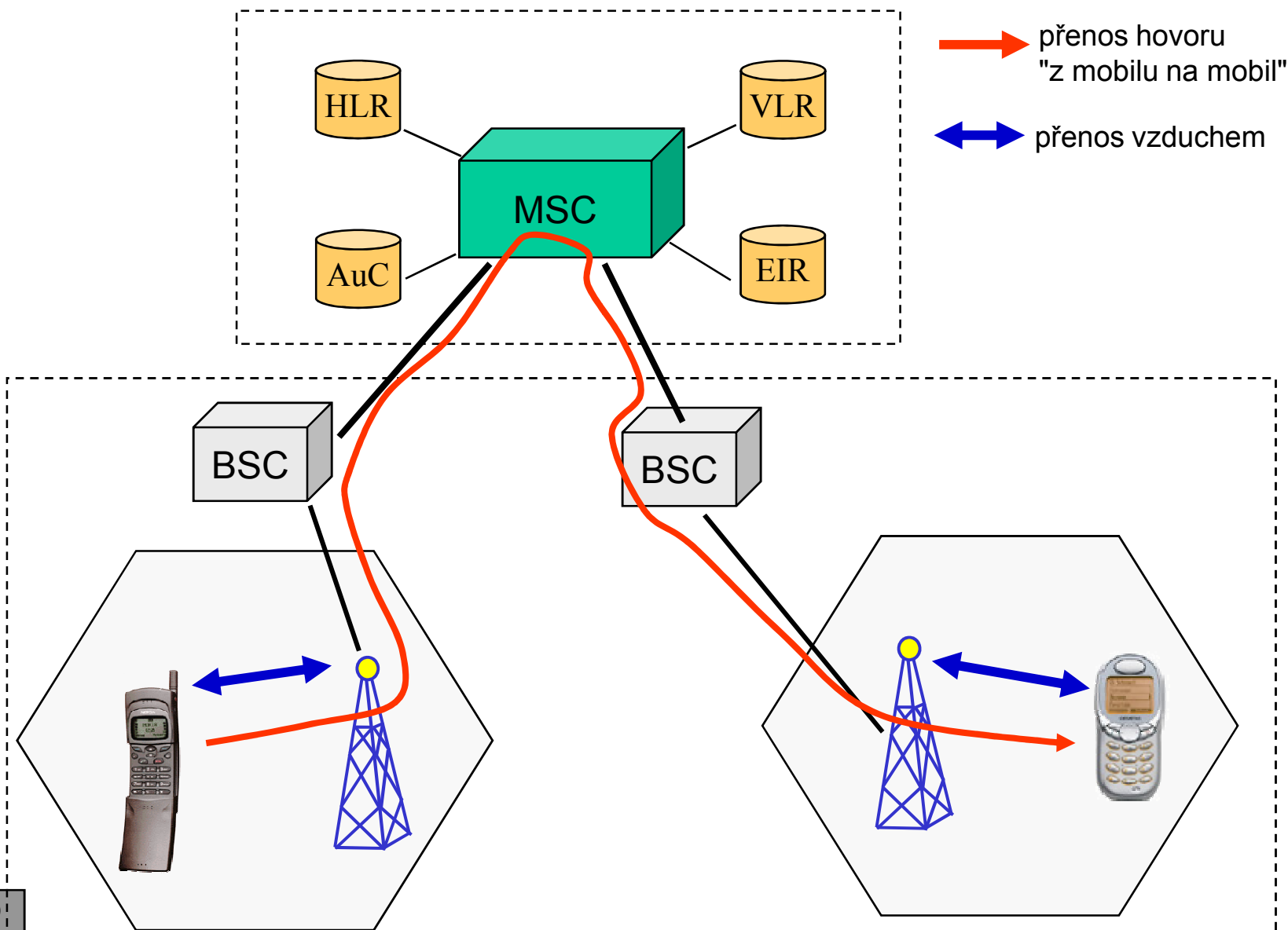
subsystém základnových stanic
(Base Station Subsystem, **BSS**)

příklad: GSM síť Eurotelu



- registr HLR: 8x
 - registr uživatelů
- MSC: 18x
 - mobilní ústředna
- GMSC: 2x
 - tranzitní ústředna
- BSC: 75x
 - řadiče základnových stanic
- BTS: přes 3000
 - základnových stanic
- sektorů (buněk): přes 7000
 - údaje k 31.10.2001

představa hovoru v GSM síti



identifikace terminálů v GSM síti

- každý mobilní terminál (MS, mobilní stanice) je identifikován:
 - číslem IMEI
 - International Mobile Equipment Identity number
 - 15-ti místné,
 - identifikuje zařízení jako takové
 - analogie sériového čísla
 - nemění se
 - » nemělo by se dát změnit
 - » některé mobily umožňují změnu IMEI
 - číslo IMEI tvoří:
 - TAC = Type Approval Code
 - identifikuje typ zařízení (např. Nokia 3220)
 - FAC = Final Assembly Code
 - identifikuje výrobce
 - SNR = Serial number
 - sériové číslo, generované výrobcem
- SIM kartou
 - Subscriber Identity Module
 - identifikuje uživatele
 - do které GSM patří (ke kterému operátorovi)
 - jaké služby má aktivované
 - další údaje
 - obsahuje IMSI (v ČR 15 číslic)
 - International Mobile Subscriber Identity
 - součástí je:
 - MCC (Mobile Country Code)
 - » ČR=230
 - MNC (Mobile Network Code)
 - » 01=T-M, 02=ET, 03=Oskar
 - MSIN (Mobile Subscriber Identification Number)
 - » registrační číslo účastníka
- MSISDN (v ČR 12 číslic)
 - Mobile Subscriber ISDN Number
 - skutečné telefonní číslo účastníka
 - uchovává se v HLR !!!!
 - je vztaženo k IMSI
 - HLR zná vztah MSISDN:IMSI

přihlašování do GSM sítě

- když mobilní 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 listem
 - zda je zařízení OK

- HLR (Home Location Register)

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



- AUC (Authentication Center)

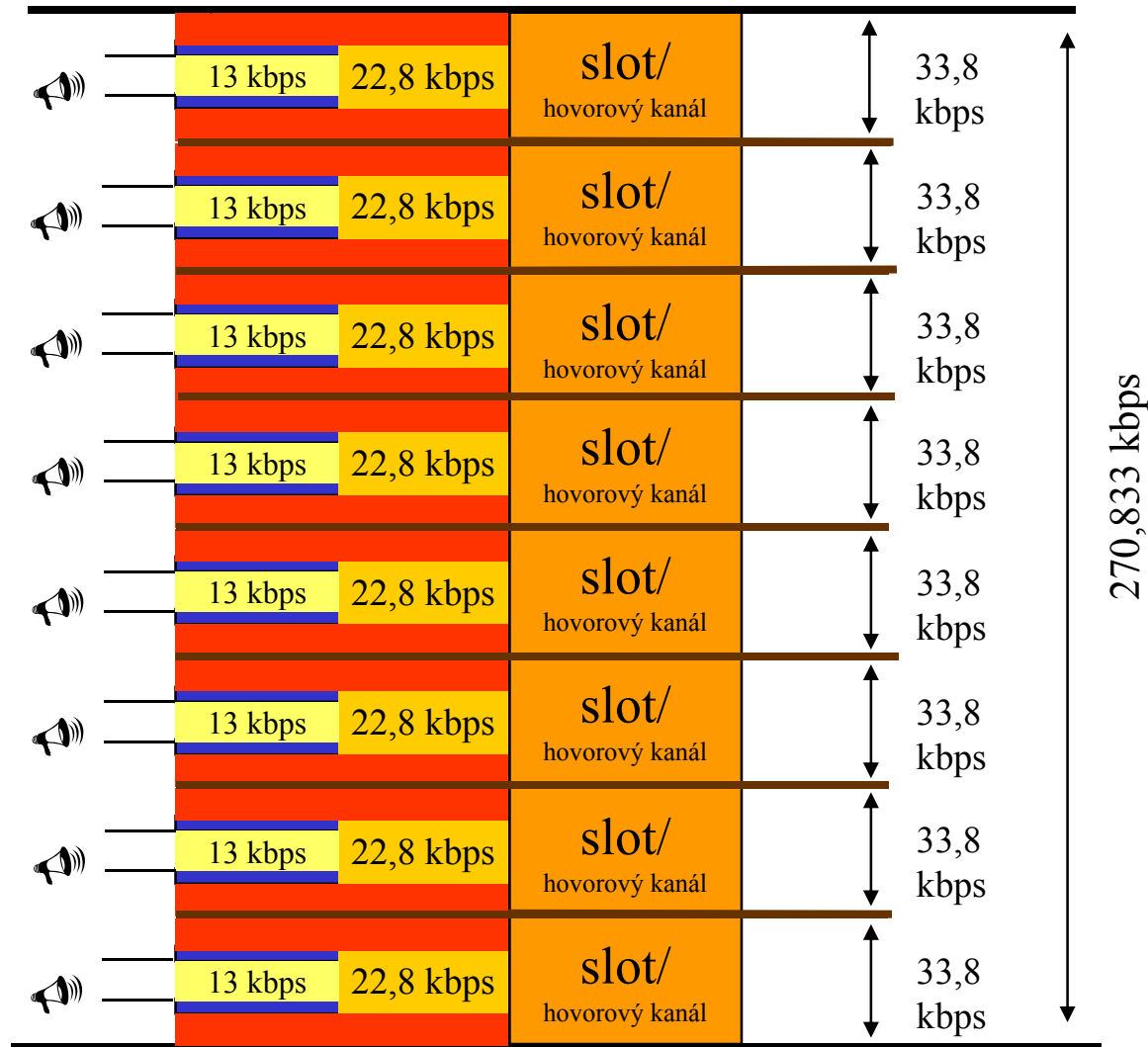
- vyšle do MS náhodné číslo
 - MS jej transformuje pomocí klíče na SIM kartě
- MS vrátí výsledek do AUC
- AUC tím ověřuje identitu uživatele (SIM karty)

- 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

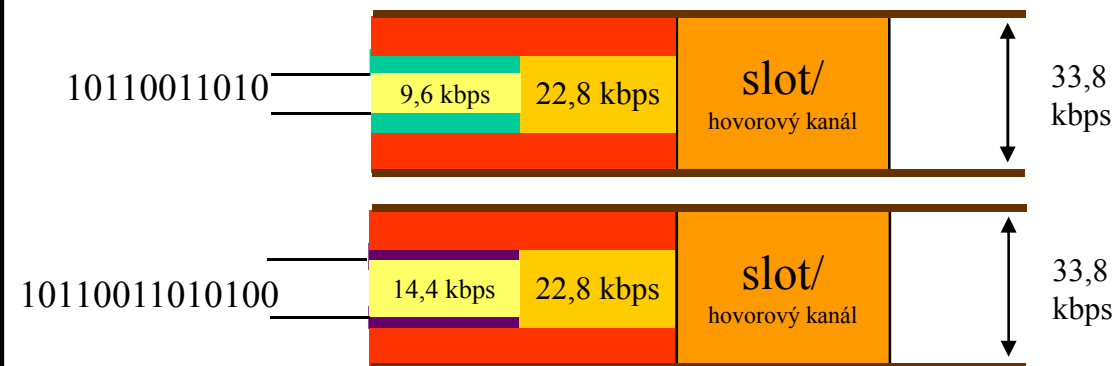
GSM a možnost přenosu dat

- GSM je digitální
 - přenáší hlas jako data
 - připomenutí:
 - každých 20 msec. je generováno 260 bitů
 - už po kompresi
 - 260 bitů každých 20 msec. = 13 kbit/s
 - přidáním samoopravných kódů se z 260 bitů stává 456 bitů
 - 456 bitů každých 20 msec. = 22,8 kbit/s
 - na každý slot vychází "hrubá" přenosová rychlost 33,8 kbit/s
 - včetně režijních bitů
 - tréninková sekvence atd.
-  režie na vedení hovoru
 – cca 9,8 kbps
-  režie na fungování GSM sítě
 – cca 11 kbps

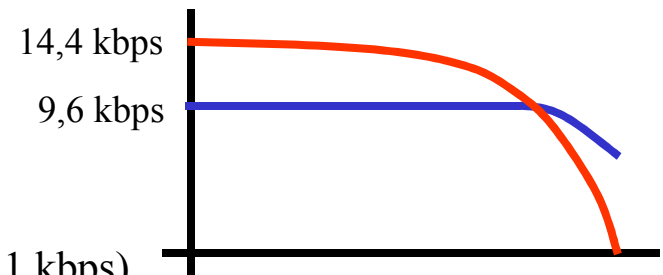


CSD – Circuit Switched Data

- princip:
 - místo (zdigitalizovaného) hlasu se budou přenášet obecná data
- CSD (Circuit Switched Data)
 - fungování GSM sítě se nemění
 - jde o přenos dat na principu přepojování okruhů
 - data se přenáší "hlasovým okruhem", obdobně jako pro hlas
 - po 2-bodovém spoji
- rychlost CSD:
 - bez dalších opatření: co se vejde do 13 kbit/s
 - nejbližší nižší normovaná rychlost je 9,6 kbit/s
 - v ČR nabízí T-Mobile a Oskar
 - se zmenšením objemu zabezpečovacích údajů (pro detekci a korekci chyb)
 - lze se dostat na 14,4 kbit/s
 - v ČR nabízí pouze Eurotel
 - efektivní (skutečně dosahovaná) přenosová rychlost se ale zmenšuje se vzdáleností od BTS



- režie připadající na fungování GSM sítě (cca 11 kbps)
- režie připadající na zajištění datových přenosů při rychlosti 9,6 kbps (cca 13,2 kbps)
- režie připadající na zajištění datových přenosů při rychlosti 14,4 kbps (cca 8,4 kbps)



- HSCSD (High Speed CSD)
 - varianta CSD, která využívá tzv. channel bundling
 - tj. využívá více timeslotů současně
 - rychlost je příslušným násobkem počtu slotů
 - stále funguje na principu přepojování okruhů
 - jen je rychlejší
 - nevyžaduje změnu HW sítě
 - stačí jen změna SW
 - v ČR nabízí pouze Eurotel
 - maximální rychlost dána třídou
 - tj. tím, kolik stimeslotů dokáže zařízení používat současně
 - záleží také na tom, jak timesloty přiděluje mobilní síť
 - obecné pravidlo (priority při přidělování timeslotů):
 1. hlasové hovory
 2. požadavky HSCSD
 3. požadavky GPRS

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

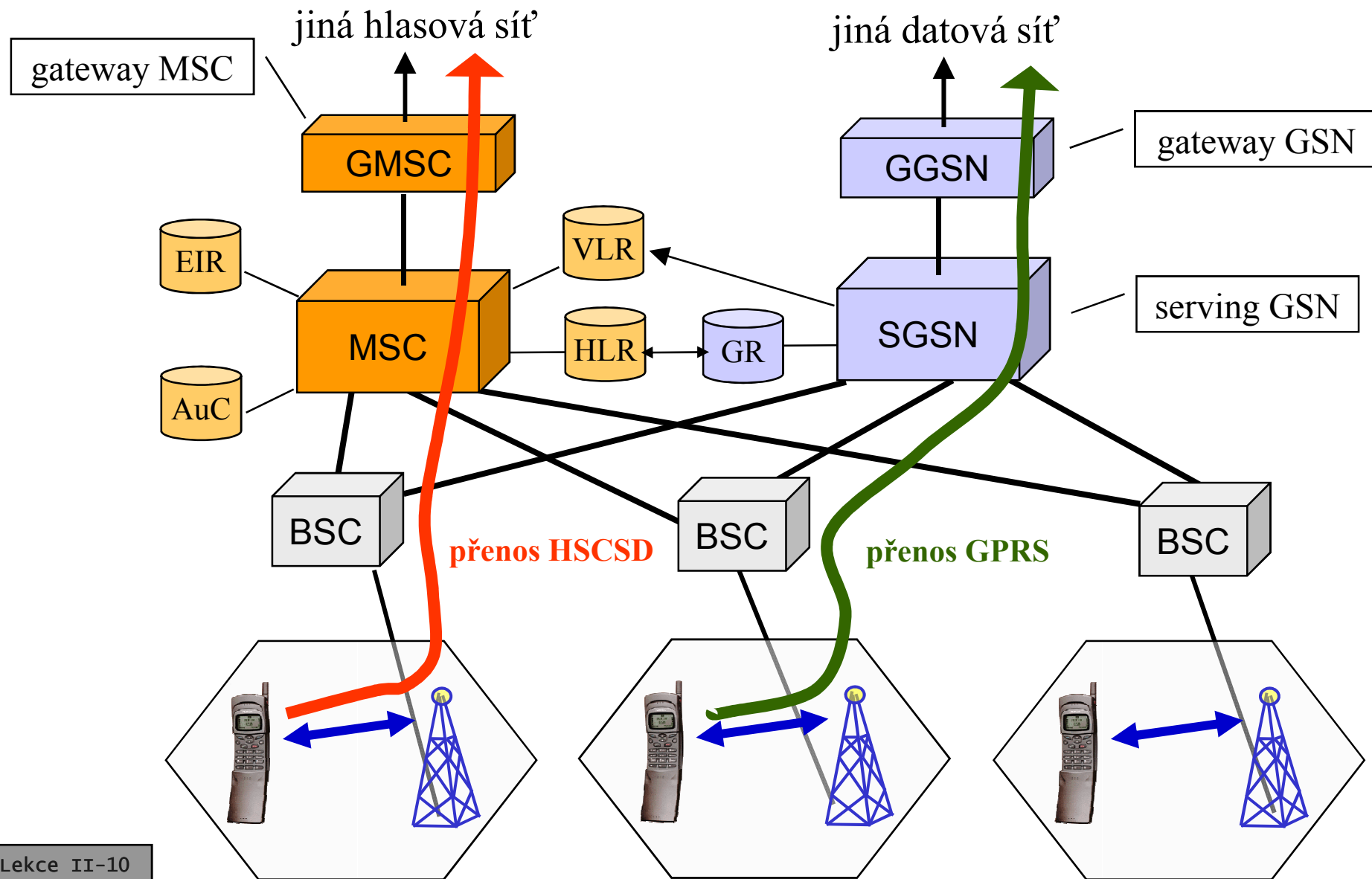
typ2: předpokládá, že MS dokáže vysílat i přijímat současně

GPRS

(General Packet Radio Service)

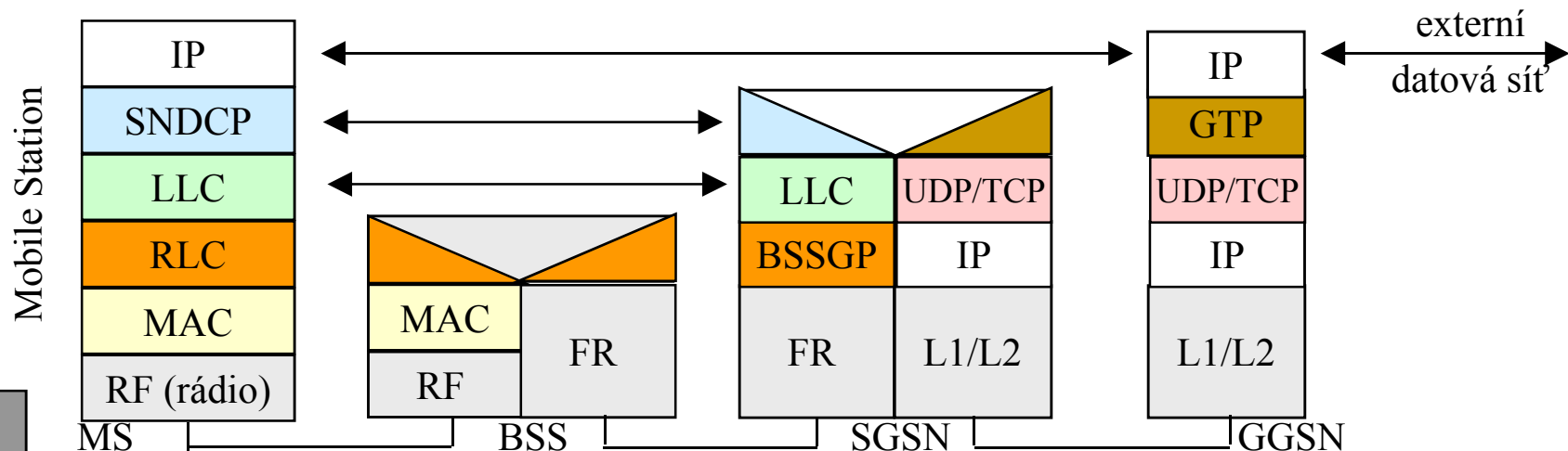
- HSCSD funguje na principu přepojování okruhů
 - spotřebovává timesloty po celou dobu existence spojení
 - i když právě nic nepřenáší
 - málo šetrné vůči zdrojům mobilní sítě
 - vůči timeslotům
- GPRS funguje na principu přepojování paketů
 - když právě nic nepřenáší, nespotebovává žádné timesloty !!!
 - je to šetrnější vůči zdrojům mobilní sítě
 - ta dokáže obsloužit více uživatelů
 - díky tomu může být lacinější
 - umožňuje trvalé připojení uživatele
 - trvalou dostupnost (always-on)
 - prostřednictvím GPRS lze realizovat trvalé (mobilní) připojení k Internetu
 - služba Eurotel Data Nonstop
 - od 1.4.2003
- GPRS funguje stylem "best effort"
 - negarantuje propustnost
 - ta je dána momentální zátěží sítě a souběhem požadavků na GPRS přenosy
 - nejprve se přidělují timesloty pro hlas, pak pro CSD, a pro GPRS teprve to, co zbude
 - mobilní operátor obvykle rezervuje 1 až 2 timesloty v každém TDMA rámci pro GPRS
- GPRS vyžaduje zásahy do mobilní sítě
 - nové prvky sítě: GSN
 - GPRS Support Node
 - v podstatě jde o směrovače
 - SW upgrade BTS a BSC
- GPRS zavádí nová kódovací schémata
 - nové způsoby kódování dat, přenášených mezi MS a BTS
 - kvůli tomu je nutný nový HW
- nabízí také určitou podporu QoS

GPRS – změny v síti



GPRS: GR, GGSN a SGSN

- GR (GPRS Register)
 - obvykle je součástí HLR
 - uchovává data relevantní k GPRS
 - o uživateli atd.
- SGSN (Serving GSN)
 - je na stejné úrovni jako (hlasová) ústředna MSC
 - je napojen na BSC pomocí datového spoje
 - např. Frame Relay (FR)
 - může jich být více
 - získává údaje o uživateli od registru GR
 - vede si evidenci toho, kde se MS nachází
 - v dosahu které BTS a BSC
 - udržuje potřebné směrovací informace
- GGSN (Gateway GSN)
 - překládá adresy
 - přenáší data k BSC
 - a odsud jdou k BTS a k MS
 - zajišťuje vazbu na externí datové sítě
 - z jedné strany je napojen na externí datovou síť
 - z druhé strany je napojen na SGSN
 - pomocí IP spoje
 - uživatelská data se mezi SGSN a GGSN tunelují
 - GTP (GPRS Tunelling Protocol)



GPRS: kódovací schémata

- kódovací schémata se liší v tom, jak rozdělují "hrubou" přenosovou rychlost 22,8 kbit/s mezi:
 - "užitečná data"
 - zabezpečení
- vyšší kódovací schéma vyžaduje lepší podmínky pro přenos
 - vyšší spolehlivost
- MS si kódovací schémata volí samo, podle aktuálních podmínek
 - a podle toho, co síť nabízí

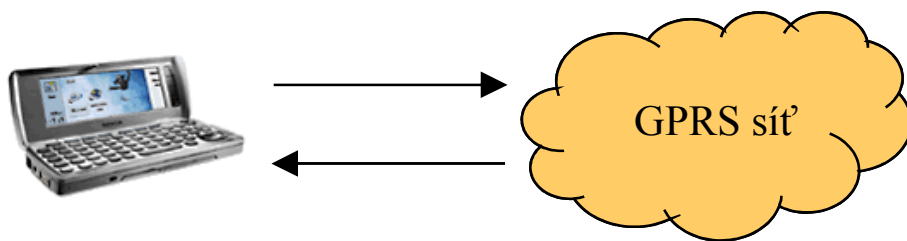
Kódovací schéma	CS-1	CS-2	CS-3	CS-4
Max. kbit/s na 1 timeslot	9.05	13.4	15.6	21.4
Maximum při využití všech 8 timeslotů	72.4 kb/s	107.2 kb/s	124.8 kb/s	171.2 kb/s

trídy GPRS

třída	Down	Up ..	max. slotů
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	5
8	4	1	5
9	3	2	5
10	4	2	5
11	4	3	5
12	4	4	5
13	3	3	neomez.
14	4	4	neomez.
15	5	5	neomez.
16	6	6	neomez.
28	8	6	neomez.
29	8	8	neomez.

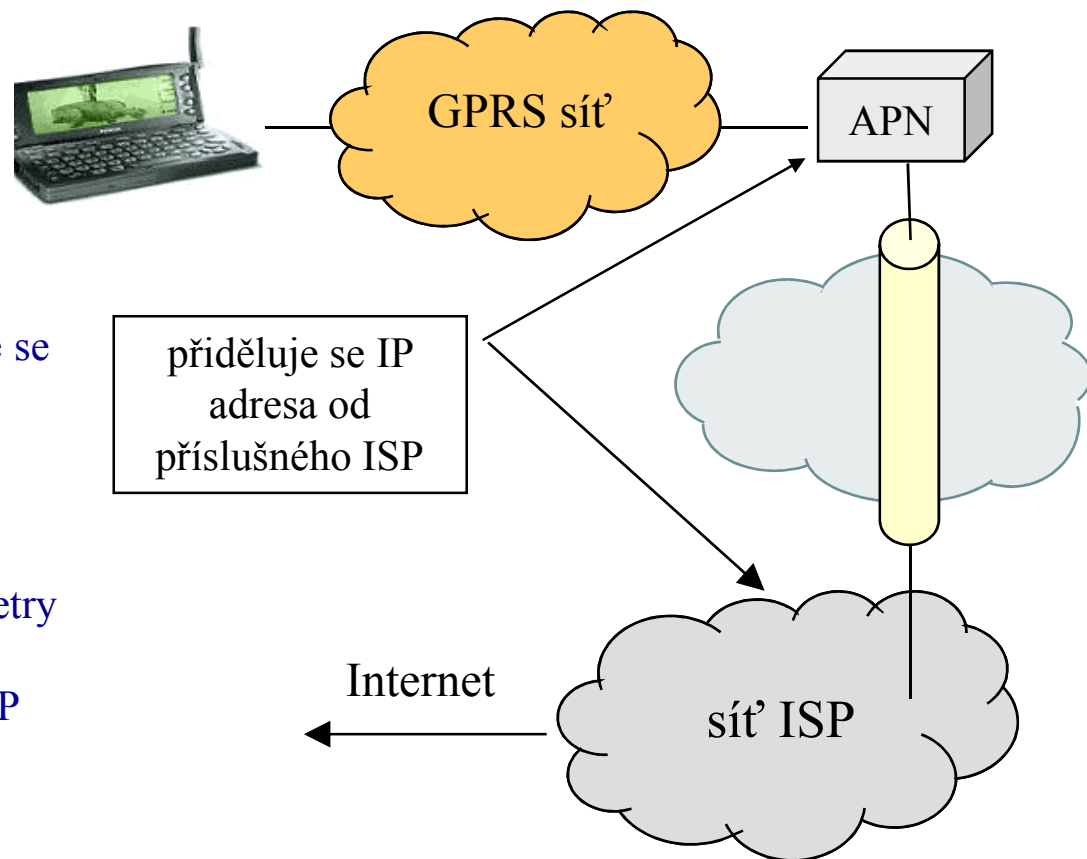
GPRS attach, PDP kontext

- MS (mobil) se musí nejprve přihlásit do GPRS sítě
 - předá své IMEI a IMSI uzlu SGSN
- SGSN ověří identitu a oprávněnost MS a uživatele
 - dále si zkopíruje z HLR údaje o uživateli
 - přidělí mu dočasné P-TMSI (Packet – temporal Mobile Subscriber Identity)
 - pod tímto identifikátorem s ním dále pracuje
 - tzv. **GPRS attach**
- odhlášení může iniciovat jak MS , tak GPRS síť
 - tzv. **GPRS detach**
- pro možnost datové komunikace musí MS získat tzv. **PDP kontext**
 - Packet Data Protocol context
- v rámci PDP kontextu získává:
 - PDP adresu
 - obvykle: IP adresu
 - přidělení je statické či dynamické
 - dohodnuté parametry QoS
 -
- PDP kontext se uchovává v MS, SGSN a GGSN
 - přidělením PDP kontextu se MS stává "viditelné"
 - dostupné na přidělené IP adrese
 - MS je dostupné po celou dobu existence (aktivního) PDP kontextu !!!!
 - bez ohledu na to, zda něco přenáší či nikoli
 - směrování se provádí na základě vztahu mezi IMSI a PDP
 - jeden uživatel může mít přiděleno více kontextů



přístup k Internetu přes GPRS

- "standardní" využití GPRS je pro propojení dvou GPRS zařízení
 - dvou GPRS modemů
 - a dvoubodového spoje
- GPRS se používá i pro přístup k Internetu
 - MS zde navazuje spojení (přihlašuje se k) "přístupovému bodu", který je prostředníkem pro jeho přístup do Internetu
- APN (Access Point Name)
 - obvykle definuje vlastnosti a parametry připojení
 - např. statické/dynamické přidělení IP adresy
 - NAT
 - QoS atd.
- APN je jakousi bránou do Internetu
 - vede z něj tunel skrz další část sítě
 - až do sítě ISP



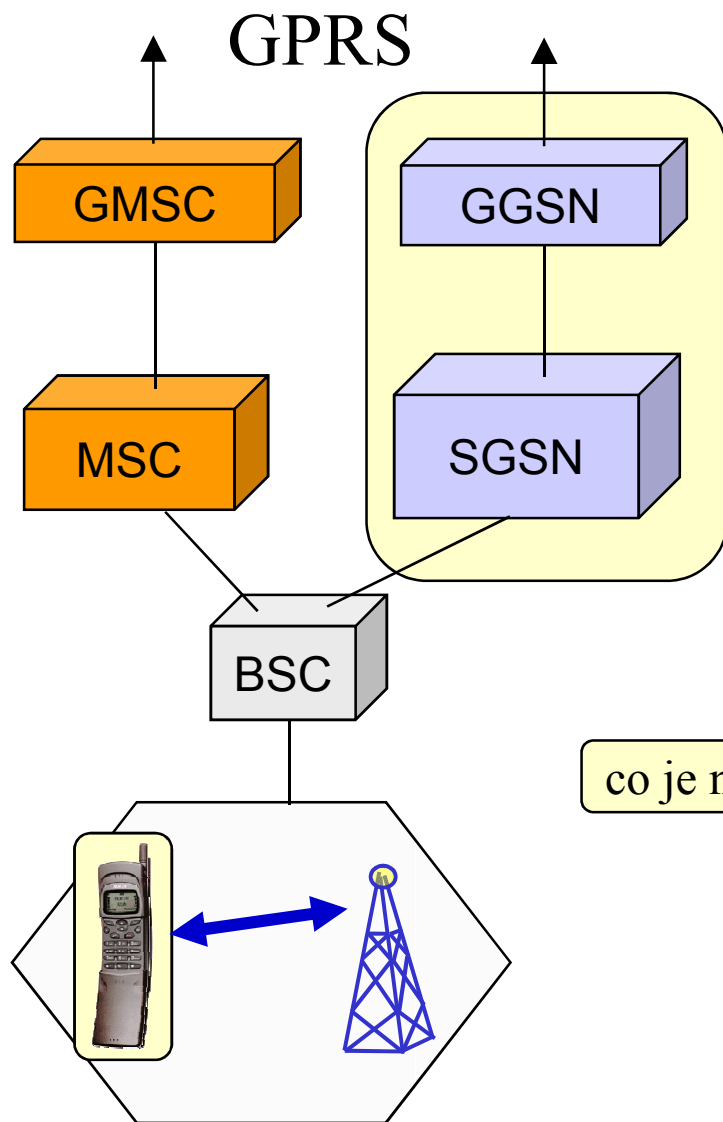
- mobilní operátor může nabízet více různých APN
 - s různými podmínkami
 - statická/dynamická IP, NAT, cena atd.

GPRS vs. EDGE (Enhanced GPRS)

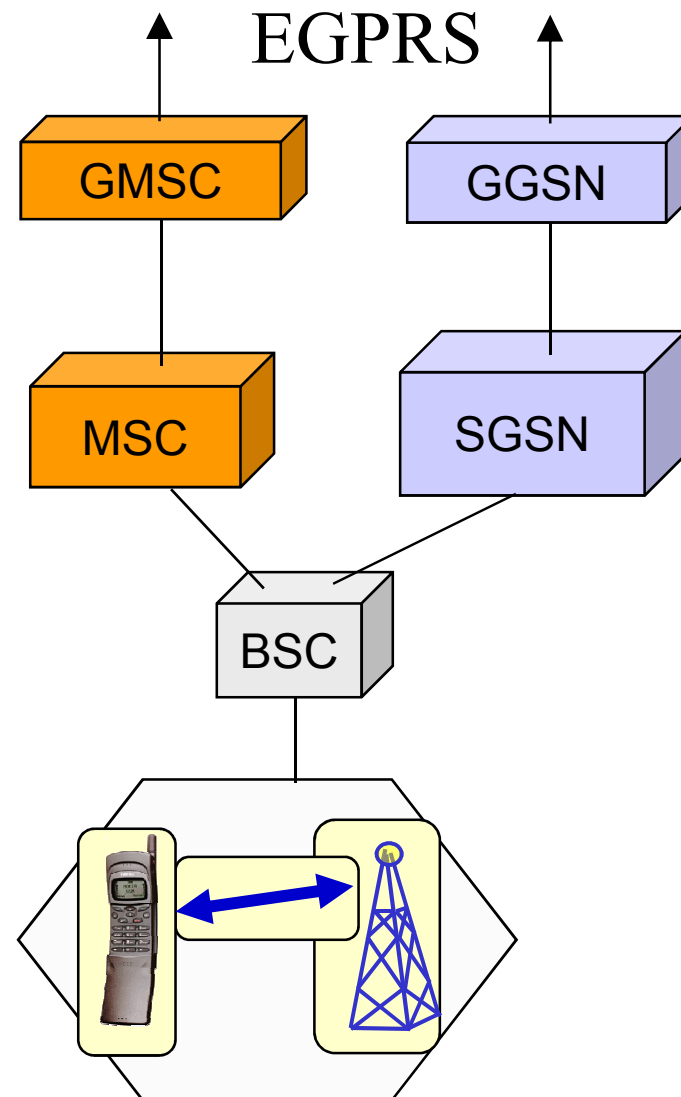
- GPRS (General Packet Radio Service)
 - zachovává rádiovou část komunikace
 - mezi MS a BTS
 - nemění rozdělení (FDMA) na kanály a jejich členění (TDMA) na timesloty
 - **nemění způsob kódování**
 - 2-stavová fázová modulace
 - » GSK (Gaussian Shift Keying)
 - » 1 změna = 1 bit
 - přidává nová kódovací schémata
 - neboli rozložení datového toku mezi užitečná data a režijní data
 - lze obvykle řešit jen SW upgradem BSS
 - přidává nové prvky do sítě
 - GSN (SGSN s GGSN)
 - "datovou páteř" – propojení SGSN a GGSN
- EDGE (Enhanced Data Rate for GSM Evolution)
 - týká se jak HSCSD
 - Enhanced HSCSD, EHSCSD
 - tak i GPRS
 - Enhanced GPRS, EGPRS
- EGPRS (Enhanced GPRS)
 - mění rádiovou část komunikace
 - nemění rozdělení (FDMA) na kanály a jejich členění (TDMA) na timesloty
 - **zavádí nový způsob kódování**
 - 8-stavová fázová modulace
 - » 1 změna = 3 bity
 - modulační rychlost zůstává stejná jako u GPRS
 - » ale rychlost přenosu se (potenciálně) zvyšuje 3x
 - přidává nová kódovací schémata
 - celkem 9
 - » 4x s původní 2-stavovou modulací
 - » 5x s novou 8-stavovou modulací
 - nutný HW upgrade transceiverů v každém sektoru BTS
 - **nemění GPRS síť**
 - pracuje se stejnými prvky (GSN, IP páteř) jako GPRS
 - "uvnitř sítě to funguje stejně, jako u GPRS"

v ČR spuštěno pouze EGPRS !!
(prezentováno jako EDGE = EGPRS)

GPRS vs. EGPRS

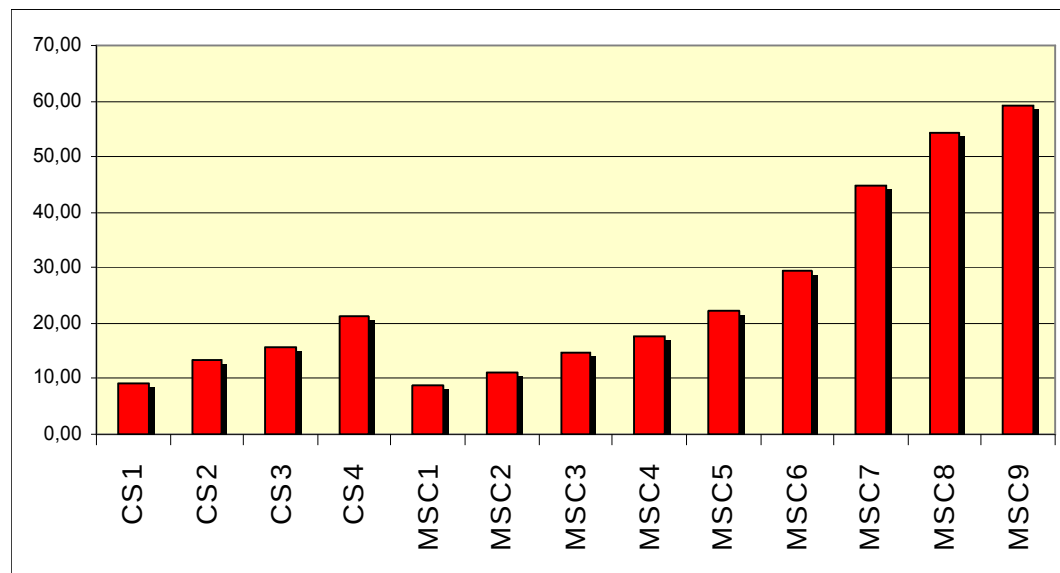


co je nové /jiné



EDGE – kódovací schémata

- volba kódovacích schémat v EDGE je dynamická
 - síť (a MS) rozhodují o tom, jaké schéma použít
 - link adaptation – volí takové schéma, které momentálně dává nejvyšší propustnost
 - incremental redundancy – nejprve se používají méně redundantní schémata (s menším podílem zabezpečovacích bitů), a teprve při chybě se redundance zvyšuje (tj. volí se více redundantní kódovací schéma)



GPRS

EDGE

schéma	Modulace	Max. rychlost [kb/s]
MCS-9	8-stavová fázová modulace (8PSK)	59.2
MCS-8		54.4
MCS-7		44.8
MCS-6		29.6 / 27.2
MCS-5		22.4
MCS-4	2-stavová fázová modulace GMSK	17.6
MCS-3		14.8 / 13.6
MCS-2		11.2
MCS-1		8.8

GPRS/EGPRS: rychlost a latence

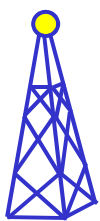
- latence je zpoždění datového přenosu
 - ovlivňuje hlavně RTT
 - Round Trip Time
- v sítích GPRS/EGPRS je latence velká
 - např. až 500-800 ms
 - v horším případě i přes 1 sec.
 - příčiny jsou rozloženy v celém řetězci od MS až k ISP:
 - v rámci MS
 - až 100 ms
 - alokace timeslotu
 - pro uplink typicky 400 ms
 - mezi SGSN a GGSN
 - jen desítky msec.
 - nehodí se např. pro IP telefonii
 - problém i s hraním on-line her
- celkově GPRS/EGPRS funguje stylem "best effort"
- přenosová rychlost GPRS/EGPRS je obecně dána aktuální kombinací "počet timeslotů x kódovací schéma"
 - obojí se ale dynamicky mění
 - rozhoduje o tom síť (a MS)
- lze stanovit teoretické maximální rychlosti
 - GPRS: 4x CS4 = cca 85 kbps
 - EDGE: 4x MSC9 = cca 240 kbit/s
 - pokud mobilní síť a MS využijí max. 4 timesloty
- v praxi dosahované hodnoty jsou nižší
 - EDGE: podle měření DSL.cz v 1Q2005
 - maximum: 209 kbit/s
 - průměr: pod 90 kbit/s

GPRS	Únor 2004	Březen 2004	Duben 2004
Eurotel	25,67 kb/s	25,91 kb/s	26,98 kb/s
Oskar	28,29 kb/s	28,11 kb/s	26,91 kb/s
T-Mobile	31,40 kb/s	31,21 kb/s	33,06 kb/s

zdroj: www.mobilmania.cz, podle měření www.dsl.cz

UMA (Unlicensed Mobile Access)

- mobilní operátoři nemají frekvenci nazbyt
 - v licenčním pásmu
- mohou mít problémy s pokrytím
 - "indoor", například v kancelářích
- snaha: využít k pokrytí i frekvence z bezlicenčních pásem
 - skrze dostupné technologie pro tato pásma
 - například Wi-Fi, Bluetooth, WiMAX
 - infrastruktura (např. Wi-Fi AP) nemusí být v majetku mobilního operátora
 - ale třeba koncového zákazníka
- idea:
 - jde o "roztažení" mobilní sítě i do bezlicenčních pásem
 - snaha přesunout hovory do bezlicenčního pásma
- princip fungování:
 - když je mobilní stanice (mobil) v dosahu základnové stanice v bezlicenčním pásmu, komunikuje přes ni
 - jinak komunikuje přes základnové stanice mobilní sítě v licenčním pásmu
 - mobilní síť musí vždy vědět, kde se mobil nachází
 - platí i pro bezlicenční pásmo
 - v síti přibývá nový řídicí prvek: UMA Network Controller (UNC)
 - obdoba BSC pro základnové stanice v bezlicenčním pásmu



?

↔

GSM



?

↔

Wi-Fi



koncept UMA - představa

