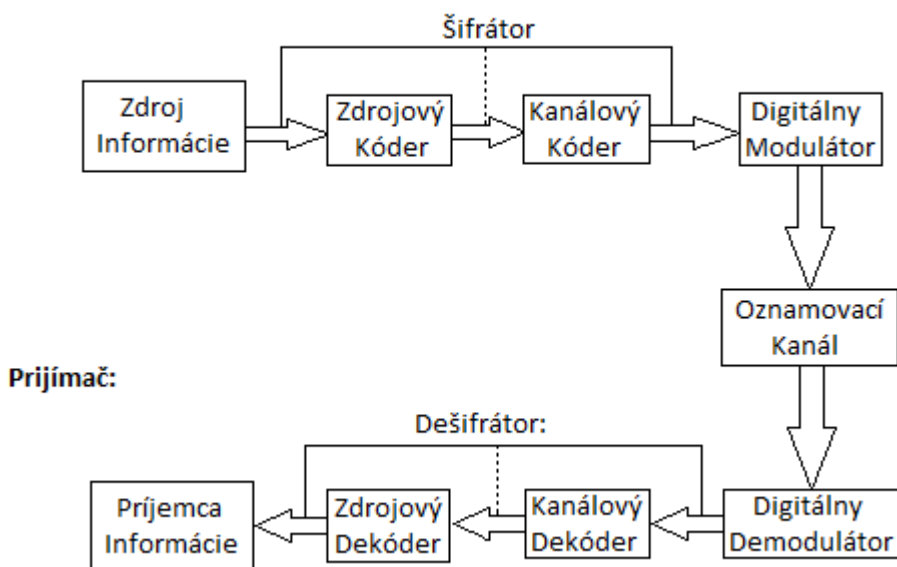


1. Bloková schéma digitálneho komunikačného reťazca a popis blokov:

Vysielač:



Zdroj informácie – redundancia signálu

Zdrojový kóder – komprimácia signálu – odstránenie redundancie

Kanálový kóder – pridá redundanciu – vloženie kódu = kódovanie

Digitálny modulátor – informačný signál zamodulovaný na nosný signál

Digitálny demodulátor – odstránim nosnú vlnu

Kanálový dekóder – opravím signál

2. Prenosová kapacita kanála:

Shannonov – Hartleyov vzťah:

$$c_k = B * \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) [b/s]$$

B – šírka frekvenčného pásma kanála

$\frac{S}{N}$ – pomer signál/šum

- Udáva maximálnu rýchlosť bezchybného prenosu

- optimálne kódovanie + modulácia

Reálny systém: možnosť sa len priblížiť k maximálnej C_k

Pr.:

B = 1 MHz

$$\frac{S}{N} = 1$$

$$c_k = 1 * 10^6 * \log_2(1 + 1) = 10^6 b/s$$

3. Poyntingov Vektor:

Je to vektor, ktorý svojou veľkosťou predstavuje hustotu toku energie, ktorú prenáša elektromagnetická vlna.

Inak povedané, ide o veličinu vyjadrujúcu koľko energie prenesie elektromagnetická vlna cez plochu s jednotkovým obsahom za jednotku času (plocha musí byť postavená kolmo na smer šírenia vlny).

$$P = E * H \text{ [W/m}^2\text{]}$$

E – vektor intenzity elektrického poľa

H – vektor intenzity magnetického poľa

Z fyzikálnych rozmerov E a H vyplýva, že rozmer Poyntingovho vektora je Watt na štvorcový meter.

4. Rovnica rádiového prenosu:

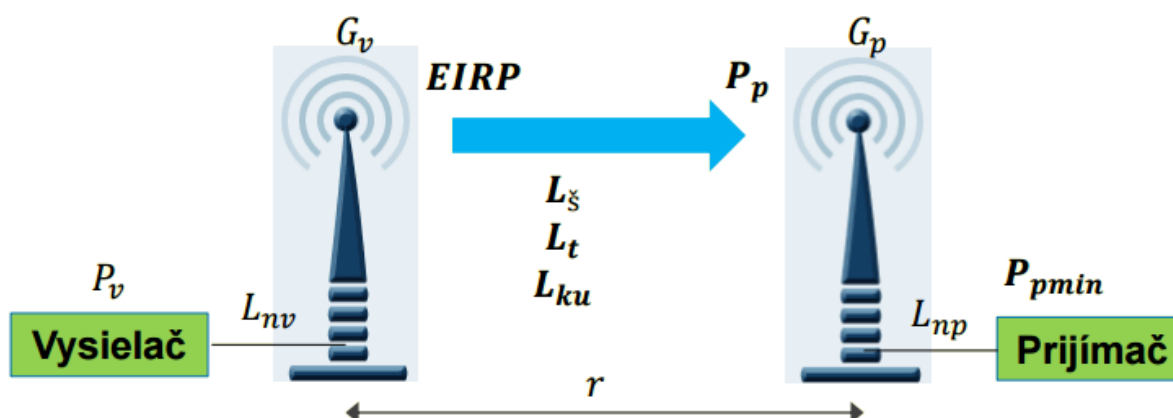
$$E_{ex} = \frac{\sqrt{30 * P}}{r} \text{ [V/m] [mV/m]}$$

- intenzita el. poľa

5. Friisov vzťah:

$$P_{pmin} = P_v * G_v * G_p * \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2 \text{ [W, W, m]}$$

- Friisov vzorec môžeme použiť len pre priamu viditeľnosť v otvorenom priestore



L_{Σ} - tlmenie šírením

L_t - tlmenie tienením

L_{ku} - tlmenie krátkodobým únikom

EIRP – celkový výkon, ktorý je nutné vyžiariť izotropnou anténou (vyžaruje do všetkých smerov priestoru rovnako) aby bolo v danom smere dosiahnutej istej intenzity žiarenia. [W]

P_p - prijímaný výkon

$$P_p = 10 \log P_v + 10 \log G_v + 10 \log G_p + 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)$$

$$P_p = P_v + G_v + G_p + 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)$$

[dBm][dBi][dBi]

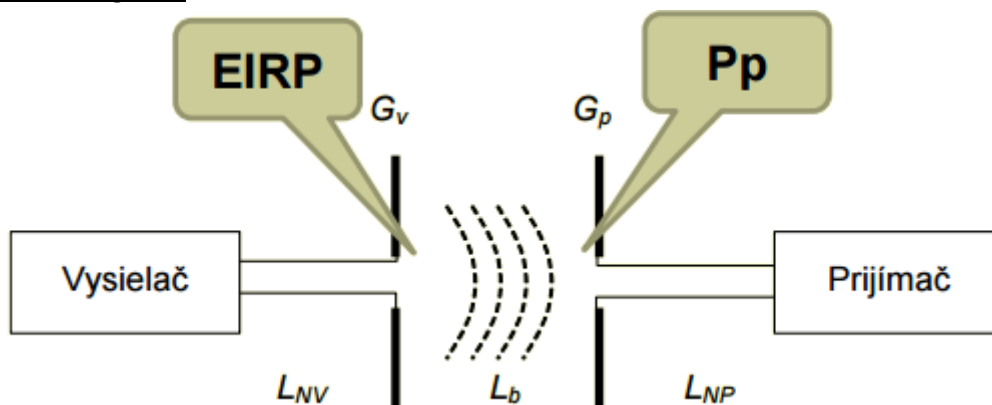
6. Výpočty parametrov spoja v dB, dBm , dBW (prijímaný výkon, EIRP, tlmenie spoja):

dBm – decibel miliwatt

dBW – decibel watt

dB_i – decibel isotropic

Tlmenie signálu:



$$L_B = \frac{P_{EIRP} [mW]}{P_p [mW]} \quad - \text{ o koľko krát menej [W]}$$

$$L_B = 10 \log P_{EIRP} - 10 \log P_p \quad [dBm]$$

$$L_B = P_{EIRP} - P_p \quad - \text{ o koľko menej [dB]}$$

EIRP/P_{EIRP}:

$$EIRP = P_v * G_v \quad [mW]$$

[mW][x]

$$EIRP = P_v * G_v \quad [dBm]$$

[dB][dBi]

Prijímaný výkon:

$$P_p = P_{pmin} - G_p \quad [dB]$$

[dBm][dBi]

Prepočet výkonu na dBm a dBW:

dBm = počet dB nad 1 mW

dBW = počet dB nad 1 W

$$P[dBm] = 10 * \log * P[mW]$$

$$P[dBW] = 10 * \log * P[W]$$

$$P = 100 \text{ mW}$$

$$P = 10 * \log 100 = 10 * 2 = 20 \text{ dBm}$$

$$P = 1000 \text{ W}$$

$$P = 10 * \log 1000 = 10 * 3 = 30 \text{ dBW}$$

Príklad:

$$P_v = 100 \text{ mW}$$

$$G_v = 20 \text{ dBi} = 10^{\frac{20}{10}} = 10^2 = 100x$$

$$EIRP = ?$$

$$EIRP = P_v * G_v = 100 * 100 = 10\,000 \text{ mW}$$

$$EIRP = 10 \log P_v + 10 \log G_v$$

$$EIRP = 10 \log 100 + 20$$

$$EIRP = 10 * 2 + 20 = 40 \text{ dBm}$$

$$40 \text{ dBm} = 10^{\frac{40}{10}} = 10^4 = 10\,000 \text{ mW}$$

Príklad na skúške:

$$P_v = 100 \text{ mW} = 10 \cdot \log 100 = 10 \cdot 2 = 20 \text{ dBm}$$

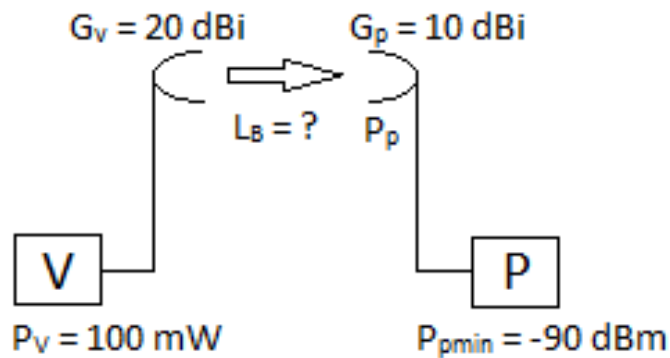
$$G_v = 20 \text{ dBi}$$

$$G_p = 10 \text{ dBi}$$

$$P_{pmin} = -90 \text{ dBm} \text{ (citlivosť prijímača)}$$

$$L_B = ? \text{ dB}$$

$$P_p = 10 \text{ dBm}$$



$$P_{EIRP} = P_v + G_v = 20 + 20 = 40 \text{ dBm}$$

$$P_p = P_{pmin} - G_p = -90 - 10 = -100 \text{ dBm}$$

$$L_B = P_{EIRP} - P_p = 40 + 100 = 140 \text{ dB}$$

7. Fresnelové zóny

- je to priestor, ktorým sa pri šírení na priamu viditeľnosť šíri elmag. pole
- v tejto zóne by nemali byť žiadne prekážky

Pravidlo:

Max. 40% priemeru 1.FZ môže byť blokovaných prekážkou.

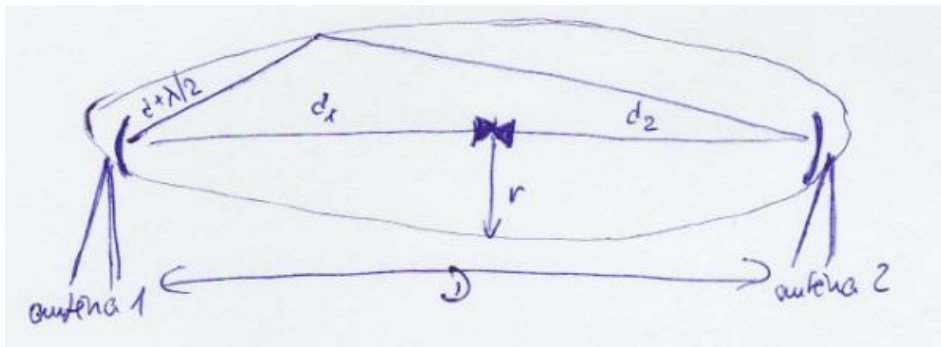
Polomer n-tej FZ:

$$r_n = \sqrt{n \cdot \lambda \cdot \frac{d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2}}$$

λ – vlnová dĺžka

d_1 – vzdialenosť od jednej antény

d_2 – vzdialenosť od druhej antény

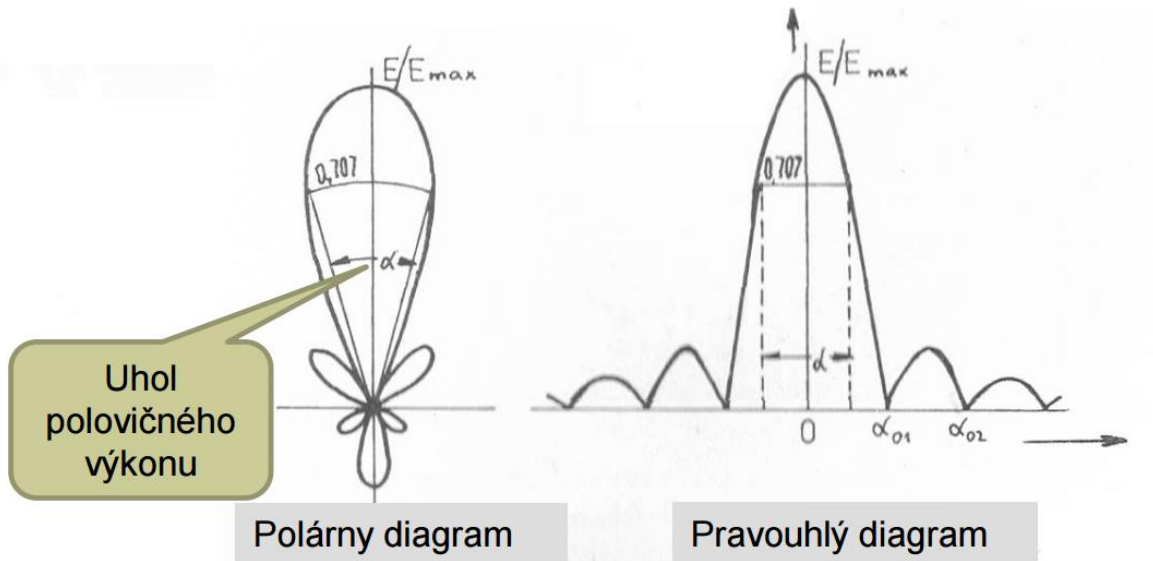


1. FZ prenáša asi 50% celkovej energie !!!

8. Vyžarovací diagram antény a jeho parametre:

Polárny Diagram:

Pravouhlý Diagram:



- Hlavný lalok
- postranné laloky
- zadný lalok

E_{max} - maximálna intenzita el. poľa

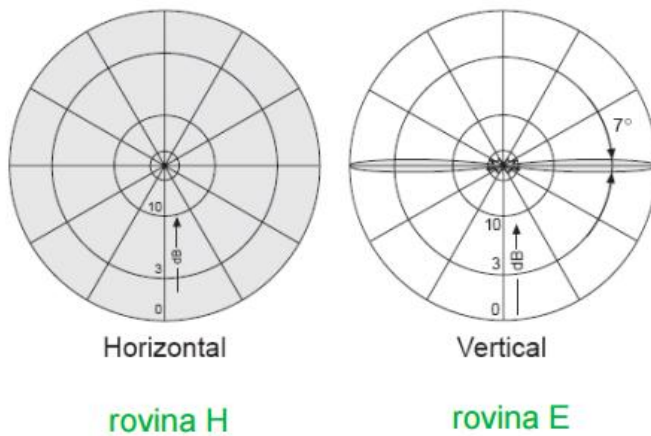
Zobrazenie:

- vertikálna smerová funkcia (rovina E) – elektrické pole
- horizontálna smerová funkcia (rovina H) – magnetické pole

Všesmerová anténa:

- Všesmerová anténa

Radiation diagrams with relative field strength

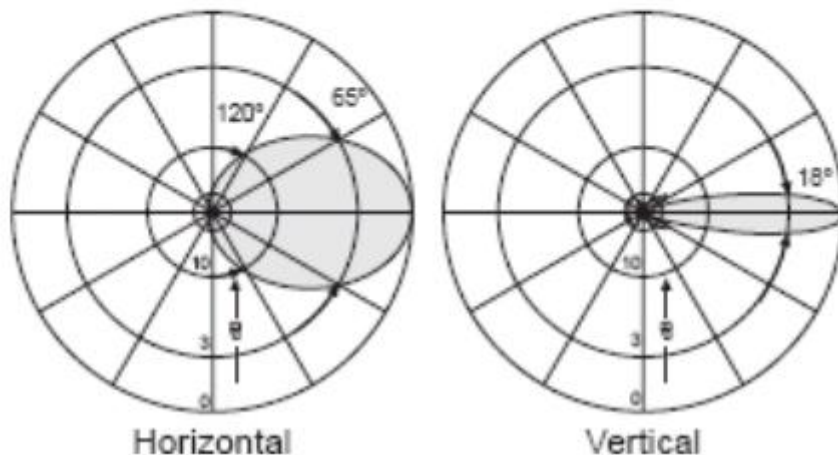


870 – 960 MHz

Panelová anténa(GSM):

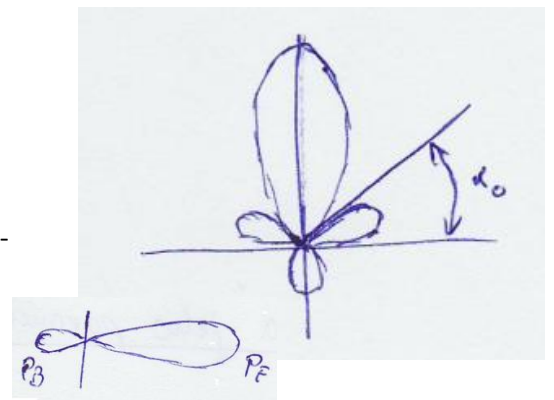
▪ Panelová anténa (GSM)

Radiation diagrams with relative field strength



Parametre:

- Šírka hlavného laloka = uhol polovičného výkonu:
 - uhol α_H v rovine H
 - uhol α_E v rovine E
 - Nulový uhol α_0 - nič nevyžaruje/neprijíma
- Koeficient spätného žiarenia (predo-zadný pomer „Front-toBack ratio“)
 - $R_{FB} = 10 \log \frac{P_F}{P_B}$ [dB]
 - Kvalitná antena: 40 dB (10 000 krát viac)
- Koeficient bočného žiarenia (predno-bočný pomer „Front-toSide ratio“) (predošlý pomer)
 - $R_{FS} = 10 \log \frac{P_F}{P_B}$ [dB]
- Účinnosť antény:
 - $\mu = \frac{P_{vyž}}{P_{vst}} = \frac{P_{vyž}}{P_{vyž} + P_{str}} * 100$ [%]
 - vyžarovaný výkon \neq vstupný výkon => straty v anténe



9. Zisk a smerovosť antény:

Smerovosť antény (D) je schopnosť antény sústrediť vyžarovanie do určitého smeru.

Zisk antény (G):

$$G = D * \mu$$

$$G[\text{dB}] = 10 \log G$$

$$40 \text{ dB} = 10 \frac{\text{dB}}{10} = 10 \frac{40}{10} = 10\,000$$

Čím ma anténa väčší zisk, tým ma väčšiu smerovosť. dBi (izotropická antény), dBd (dipol)

$G[\text{dBi}]$ = zisk antény v porovnaní so všesmerovou (izotropickou) anténou, kt. má $G = 1$ (0 dB)

10. Viacnásobný prístup ku kanálu a duplexné metódy

Spôsoby vysielania:

- jednosmerné vysielanie (Broadcasting)
- obojsmerné vysielanie (Duplex) = musia byť 2 kanály
- obojsmerné vysielanie so striedavým prenosom (Simplex)

Viacnásobný prístup ku kanálu:

Metódy viacnásobného prístupu ku kanálu umožňujú viacerým účastníkom prístup k fyzickému prenosovému médiu na využitie jeho prenosovej kapacity. Základom je multiplex.

- FDMA – viacnásobný prístup s frekvenčným delením
- TDMA – viacnásobný prístup s časovým delením
- CSMA – viacnásobný prístup s kódovým delením

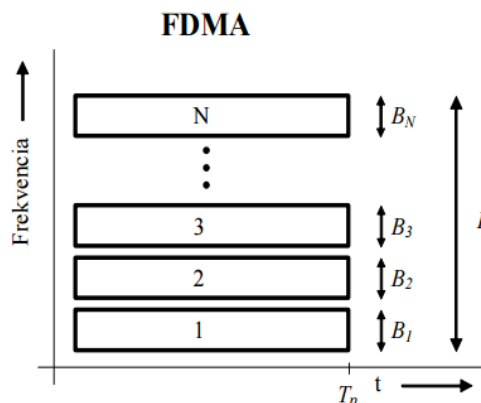
Rozdiel medzi multiplexom a viacnásobným prístupom:

Vysielacia stanica = multiplex (vie obslúžiť viac kanálov naraz)

účastníci = viacnásobný prístup (prístup k jednotlivým kanálom)

Ortogonalne metódy: v určitej oblasti, keď prideliť časové okno v určitej frekvencii, tak toto okno už nik iný nemôže dostať

FDMA:



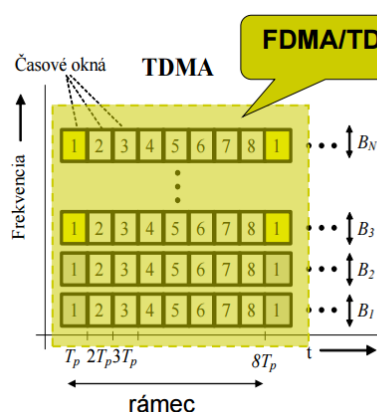
Nevýhodou tohto prístupu je, že kanál je pridelený aj vtedy, keď nič nevysielať.

Pridelené frekvenčné pásmo sa rozdelí na frekvenčné kanály, pričom každému účastníkovi je pridelený vlastný kanál, na ktorom môže bez obmedzení vysilať, pričom šírka pásma vysielaného kanála nesmie prekročiť šírku kanálu (systém s obmedzenou šírkou pásma).

B – frekvenčné pásmo

B1 – frekvenčný kanál

TDMA:



- Kombinácia FDMA a TDMA

- Výhodou je, že na jednej frekvencii môže komunikovať viac účastníkov (v určených časových oknách)

Čisté TDMA:

- účastník má k dispozícii celú šírku pásma, ale len na určitý čas = časové okno.

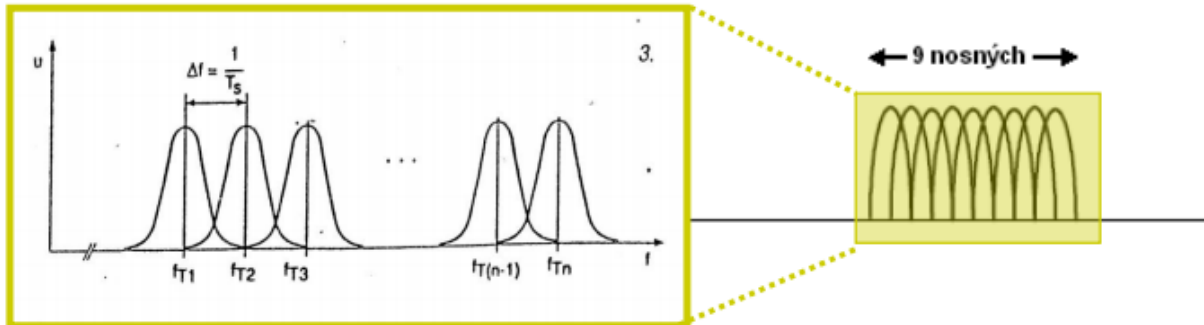
Kombinované TDMA/FDMA:

- Lepšie využitie šírky pásma
- využíva väčšina digitálnych mobilných telefónov 2. Generácie = GSM
- každý kanál je založený na FDMA a ďalej delený na TDMA

OFDMA:

- FDMA + je ortogonálny

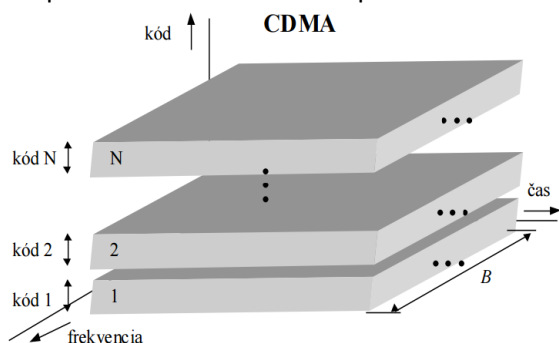
Vstupný tok dát je rozdelený do niekoľko paralelných sub-tokov prenesených v čase. Každý sub-tok je modulovaný a prenášaný v separátnej ortogonálnej nosnej vlně.



CDMA:

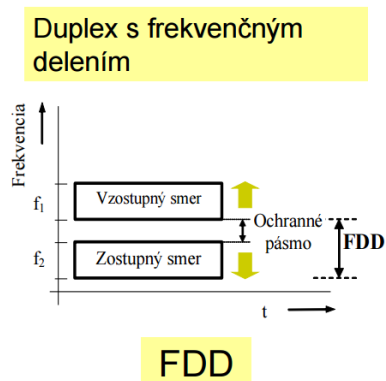
V tom istom čase na jednej frekvencii môže komunikovať viacero účastníkov naraz = ortogonalita kanálov = rôzne kódy.

- rozprestrenie frekvenčného spektra

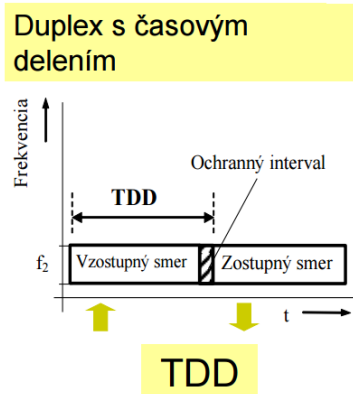


Duplexné metódy:

FDD – duplex s frekvenčným delením



TDD – duplex s časovým delením

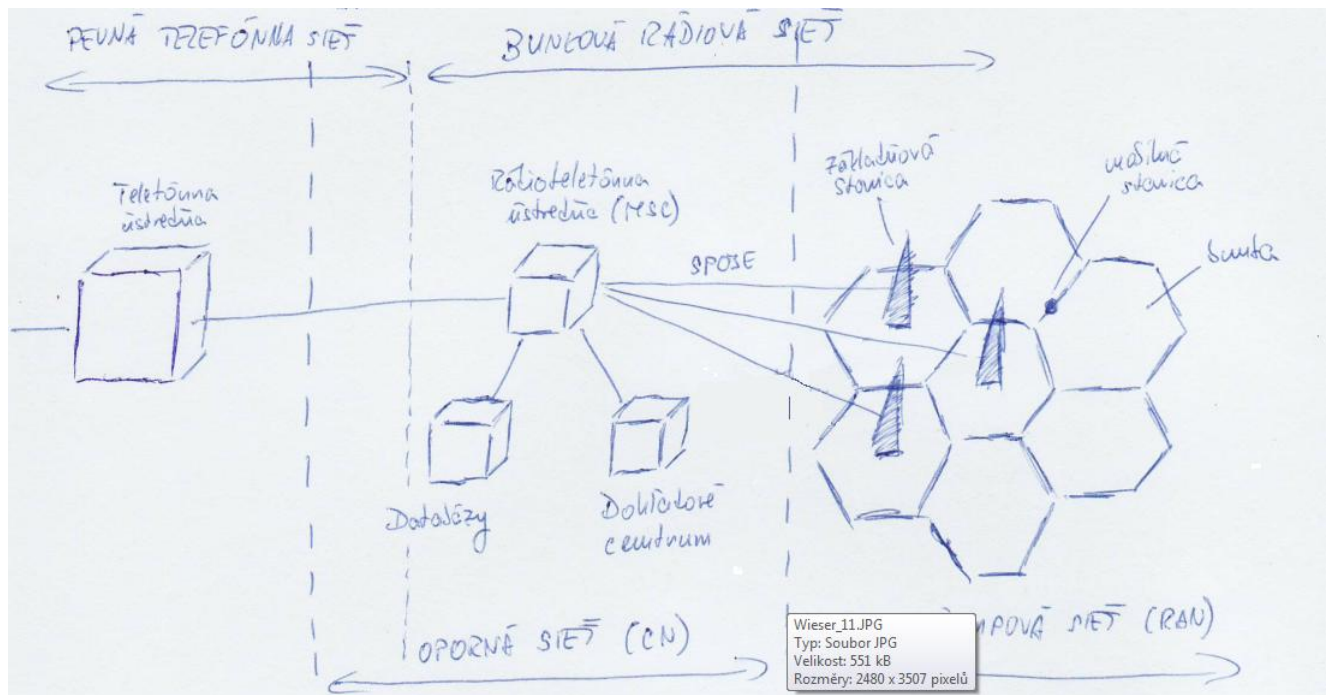


Potrebujeme 2 frekvenčné kanály:

- vysielacie
- prijímacie

Stačí nám jedna frekvencia – v čase je rozdelená na downlink a uplink. Nie je to skutočný duplex !

11. Všeobecná architektúra bunkovej rádiovej siete



Mobilná Stanica (MS) – mobilná telefónna stanica sa skladá z riadiacej časti, vysielача, prijímača, antény a zdroja

Základňová stanica (ZS) – zabezpečuje spojenie medzi rádiatelefónnou ústredňou a mobilnými stanicami. Skladá sa z riadiacej jednotky, zo zariadení jednotlivých kanálov, antén, napájacieho systému a dátových terminálov.

Rádiatelefónna ústredňa (RTF ústredňa) – je centrálnym koordinačným prvkom celej bunkovej siete (všetkých základňových staníc) a obsahuje bunkový procesor a prepájaciu časť. Zabezpečuje prepojenie bunkovej siete s pevnou telefónnou sieťou, ovláda obsluhu hovorov a zabezpečuje ich účtovanie.

Databázy – slúžia na evidenciu mobilných staníc, registráciu predplatených služieb a prevádzkových oblastí a predstavujú základný informačný prvok pri lokalizácii účastníka.

Dohľadové centrum – realizuje technický a organizačný dozor nad sieťou

Spoje bunkovej siete – rádiové a vysokorýchlostné dátové spoje prepojujú vyššie uvedené zložky bunkovej siete

12. Základné princípy bunkovej architektúry

4 základné princípy:

- 1) Vysielače s malým výkonom
- 2) Opakované využitie rádiových kanálov
- 3) Delenie a sektorizácia buniek
- 4) Prepnutie hovoru počas prechodu hranicou bunky (hand over)

1),2) Vysielače s malým výkonom a opakované využitie rádiových kanálov

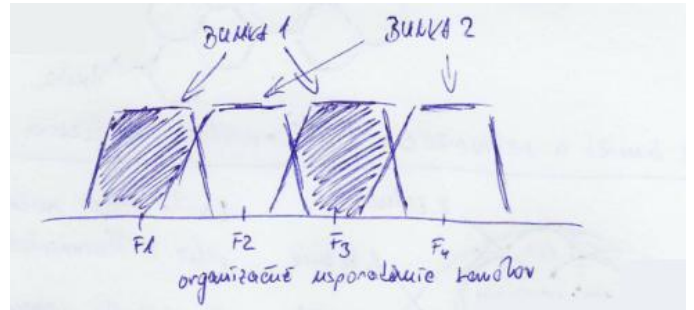
V bunkových rádiových sieťach existuje niekoľko druhov riešenia :

- **Riešenie zo susedného kanála** – nastane vtedy, keď informácia vysielaná v jednom rádiovom kanáli sa súčasne objaví aj v kanáli susednom, kde spôsobí rušenie „užitočného“ signálu.

Zníženie vplyvu tohto rušenia sa rieši týmito spôsobmi:

- Filtrovanie signálu
- Organizačné usporiadanie kanálov

- **Rušenie zo zhodného kanála** – toto rušenie sa vyskytuje v rovnakom frekvenčnom pásme ako užitočný signál = nemôže byť odstránené filtrovaním.

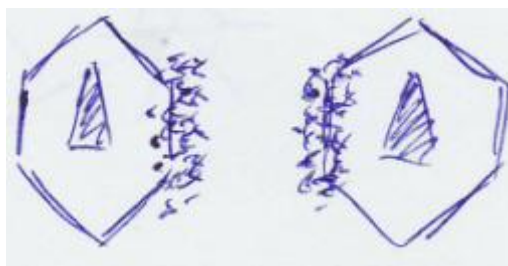


Pomer signál/rušenie (S/I) je základným činiteľom na aplikovanie modelu opakovania rádiových kanálov.

Na mobilnú stanicu pohybujúcu sa v blízkosti hraníc oboch buniek by vplývalo silné rušenie = nemôžu byť použité rovnaké rádiové kanály v susedných bunkách.



Hranice bunky musia byť určené tak, aby sa nenachádzali v rušivej zóne.



Počet buniek K, ktoré spoločne používajú kompletnú sadu všetkých pridelených kanálov sa nazýva **zväzok buniek = cluster**. Ak je tento zväzok použitý M-krát v celej sieti, tak celkový počet kanálov C predstavuje **kapacitu siete**.

S – počet kanálov

k – počet buniek vo zväzku

počet kanálov na bunku = $k = S/K$

$C = M * S$

\Leftarrow počet opakovaní zväzku

Príklad:

S = 400 kanálov

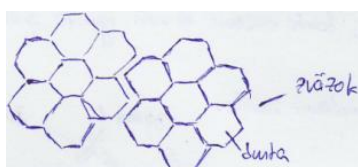
K = 4

$k = 400/4 = 100$ kanálov na bunku

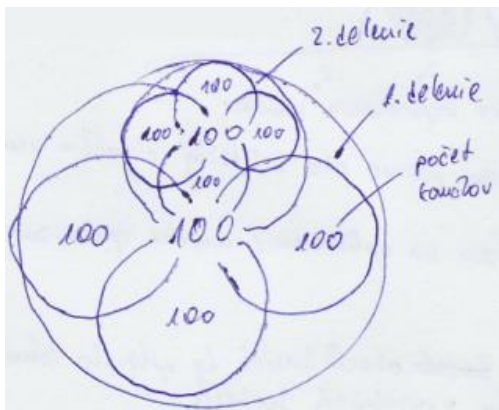
M = 1000

$C = 1000 * 400 = 400\,000$ kanálov

- naraz dokážem obslúžiť toľkoto ľudí



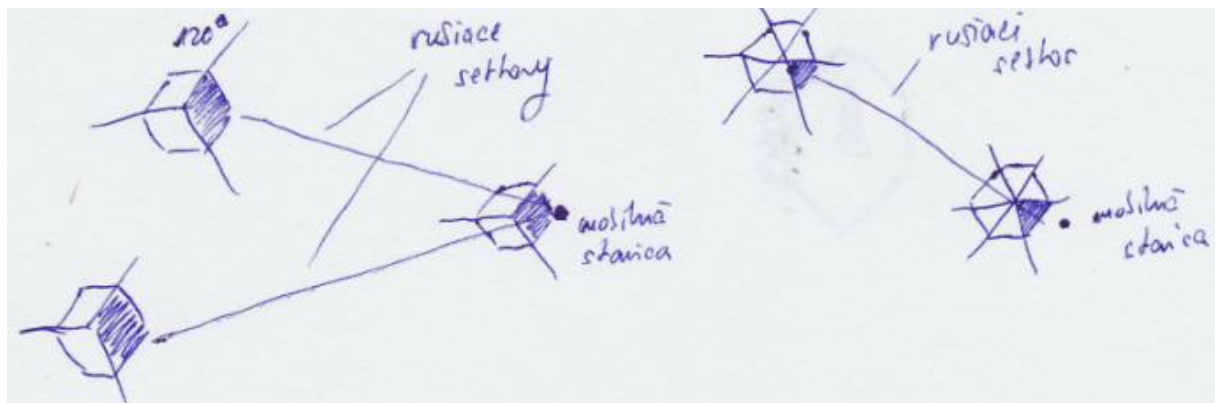
3) Delenie buniek a sektorizácia buniek



Každé zmenšenie polomeru bunky o 50% vedie k 4-násobnému zväčšeniu prenosovej kapacity.

Na začiatku pracuje bunková sieť s bunkami s pôvodným polomerom, v ktorom existujúci počet rádiových kanálov pridelených bunkou už nemôže zabezpečiť požadovanú službu, potom je táto bunka rozdelená na určitý počet menších buniek – je potrebné regulovať ich výkon v novovytvorených základňových staniciach.

Rušenie zo zhodného kanála môže byť redukované nahradením všesmerových antén v ZS niekoľkými smerovými anténami, z ktorých každá vyžaruje v určenom sektore bunky. V tomto usporiadaní je bunka rozdelená na 3 alebo 6 sektorov.



4) Prepnutie hovoru pri prechode hranicou bunky (handover)

V susedných bunkách sa využívajú odlišné skupiny rádiových kanálov, hovory musia byť presúvané medzi rôznymi rádiovými kanálmi = handover (prepnutie).

Prepnutie hovoru podľa počtu komunikujúcich základňových staníc:

Tvrdé prepnutie = Hard handover

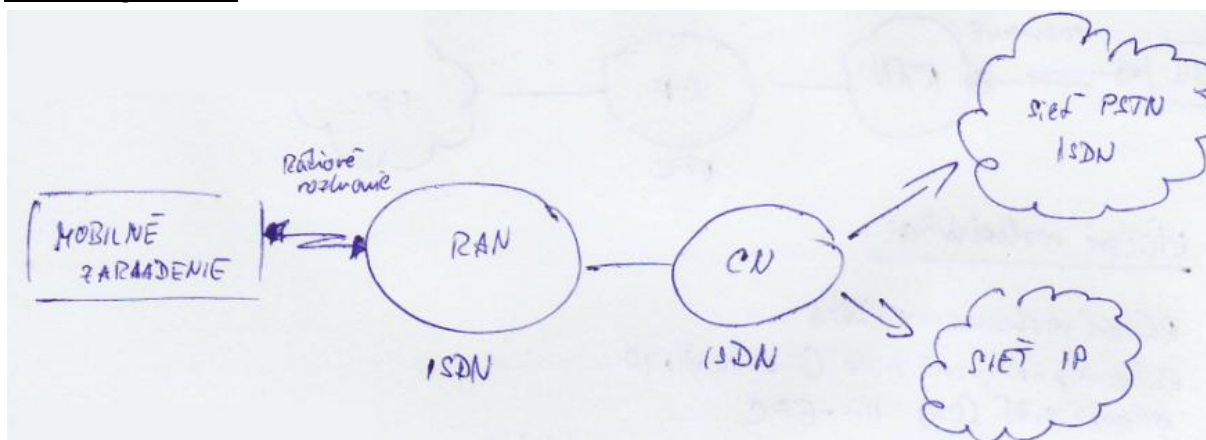
- preruš spojenie
- nadviaž nové spojenie
- FDM

Mäkké prepnutie = Soft handover

- nadviaž nové spojenie
- preruš staré spojenie
- CDMA

13. Topológie mobilných rádiových sietí a kľúčové rozhodnutia ich výstavby (GSM, GPRS, EDGE, UMTS, LTE)

GSM = 2. generácia



Kľúčové rozhodnutia:

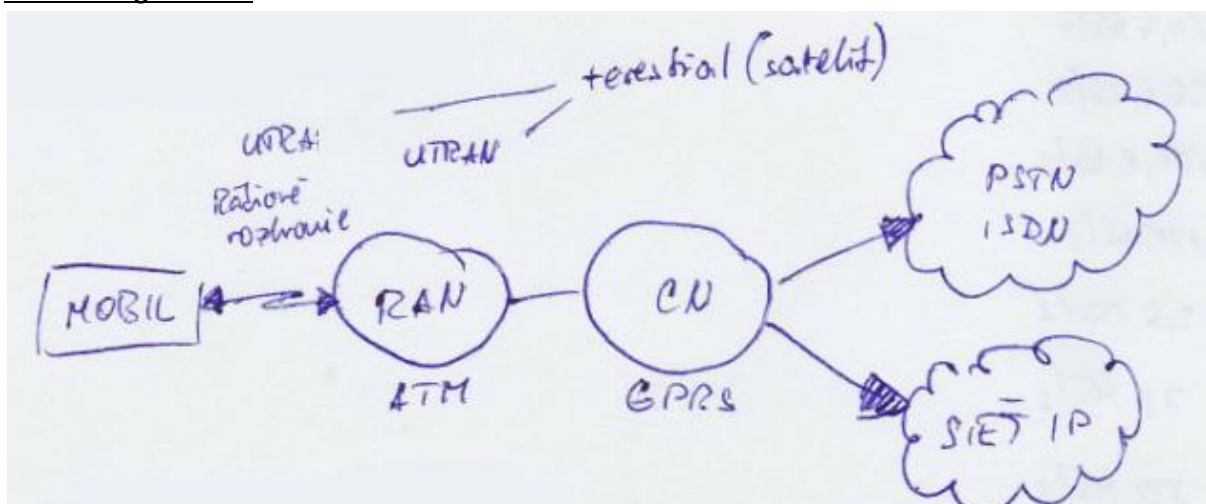
- rádiové rozhranie = FDMA + TDMA
- rádiová prístupová sieť RAN: ISDN (64 kbit/s – kanál)
- oporná sieť CN = ISDN (signalizácia SS7)

GPRS = 2.5 generácia

- paketový prenos (bod – bod)
- okamžité spojenie (always – on)
- väčšia prenosová rýchlosť
- prístup k IP sieťam (protokol TCP-IP)

EDGE = 2.5 generácia

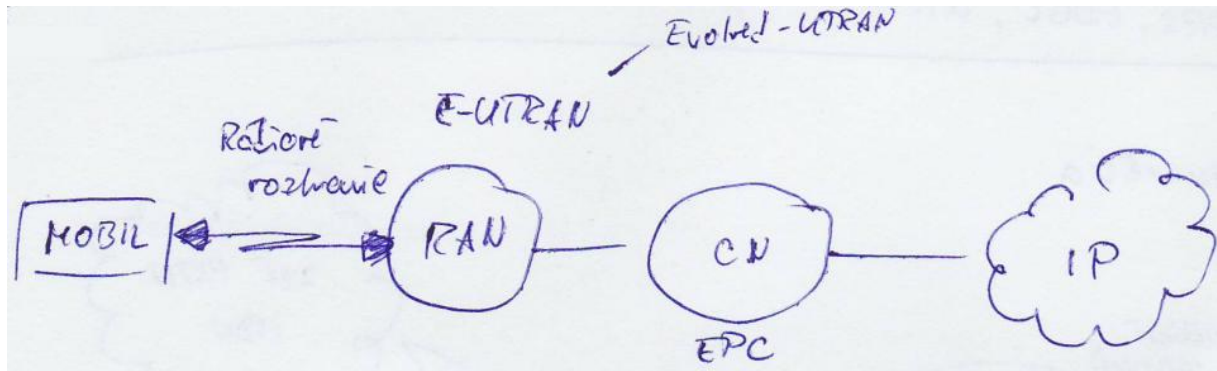
UMTS = 3. generácia



Kľúčové rozhodnutia:

- Rádiové rozhranie: CDMA
- Rádiová prístupová sieť: ATM
- Oporná sieť CN: GSM 2,5(GPRS)

LTE



Kľúčové rozhodnutia:

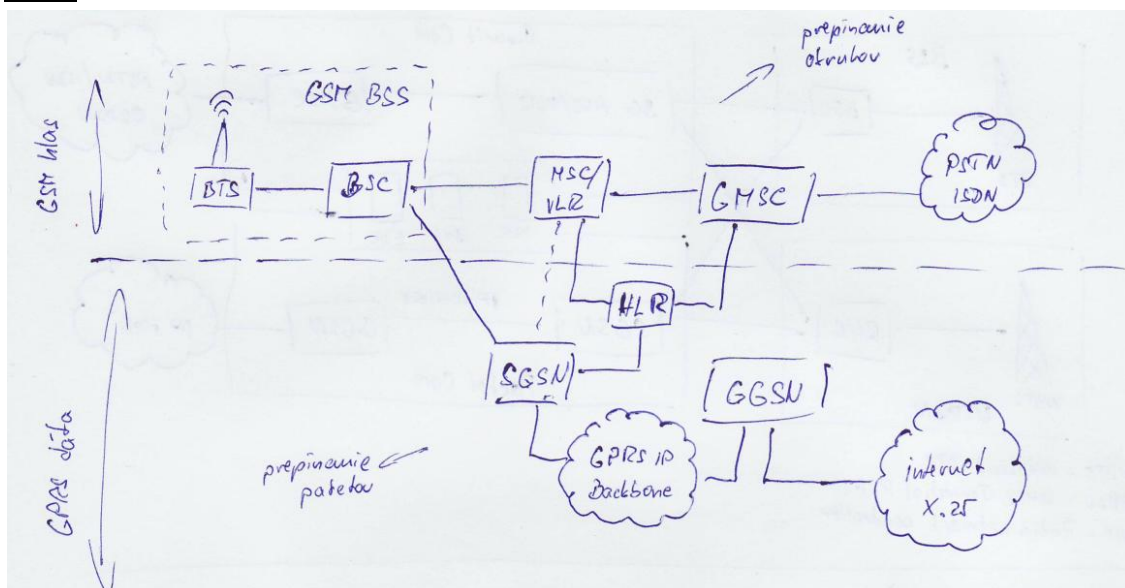
- Rádiové rozhranie: OFDMA
- Rádiová prístupová sieť (E-UTRAN) : IP
- Oporná sieť CN: IP-EPC (Evolved Packet Core)

Tabuľka rýchlostí jednotlivých technológií:

Technológia	Download	Upload
GSM	14,4 kb/s	14,4 kb/s
GPRS	53,6 kb/s	26,8 kb/s
EDGE	217,6 kb/s	108,8 kb/s
UMTS	384 kb/s	128 kb/s
HSPA	7,2 Mb/s	3,6 Mb/s
HSPA+	336 Mb/s	72 Mb/s
LTE	326 Mb/s	50 Mb/s
LTE-A	1 Gb/s	500 Mb/s

14. Architektúra siete GPRS, UMTS, LTE

GPRS:



BTS – Base Transition Station
BSS – Base Station Subsystem
VLR – Visitors Location Register
SGSN – Serving GPRS Support Node
GMSC – Gateway MSC

BSC – Base Station Controller
MSC – Mobile Switching Centre
HLR – Home Location Register
GGSN – Gateway GPRS Support Node

SGSN:

Slúži pre komunikáciu medzi rádiovou časťou siete a dátovým uzlom GGSN. V reálnej sieti je SGSN uzlov viacero. Úlohy SGSN:

- šifrovanie, kontrola IMEI a autentifikácia
- mobilita manažmentu
- prenos a smerovanie paketov
- spoplatnenie prenesených dát

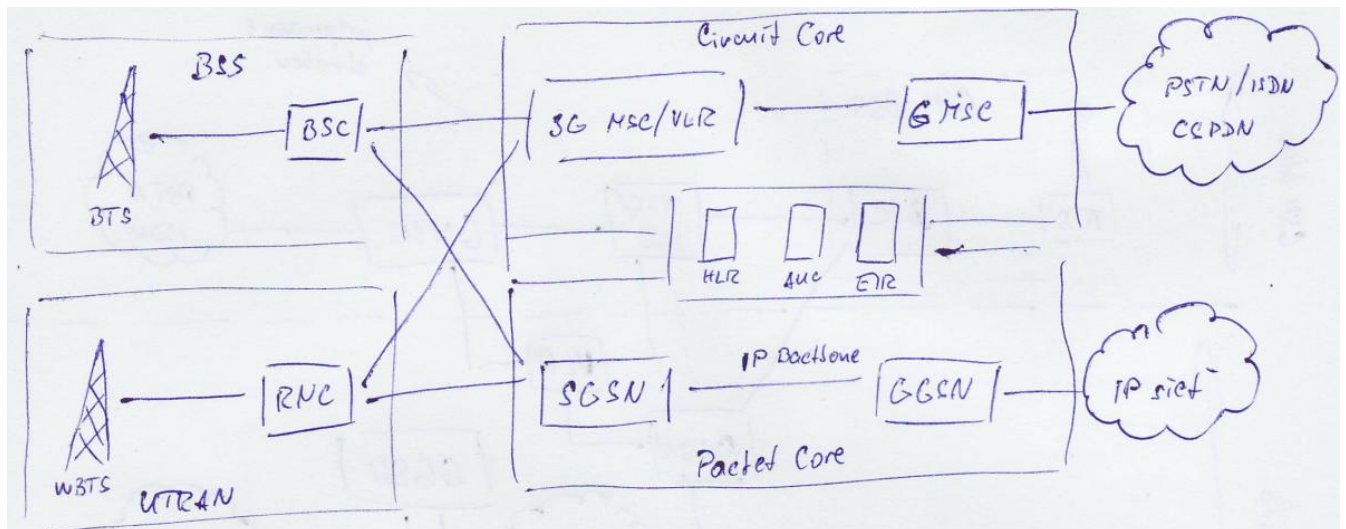
GGSN:

Slúži pre komunikáciu s vonkajšou sieťou. V princípe je to brána, ktorá zabezpečuje spojenie medzi GPRS sieťou a inou dátovou sieťou. Úlohy GGSN:

- konverzia paketov
- aktuálna adresa SGSN
- profil účastníka

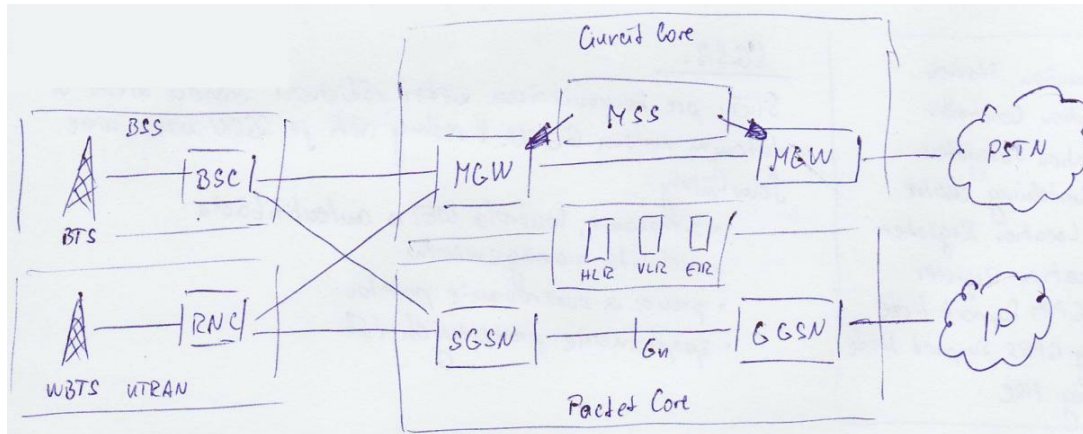
UMTS:

1. Etapa (Release 99)



WBTS – WideBand BTS
UTRAN – UMTS Terrestrial RAN
RNC – Radio Network Controller

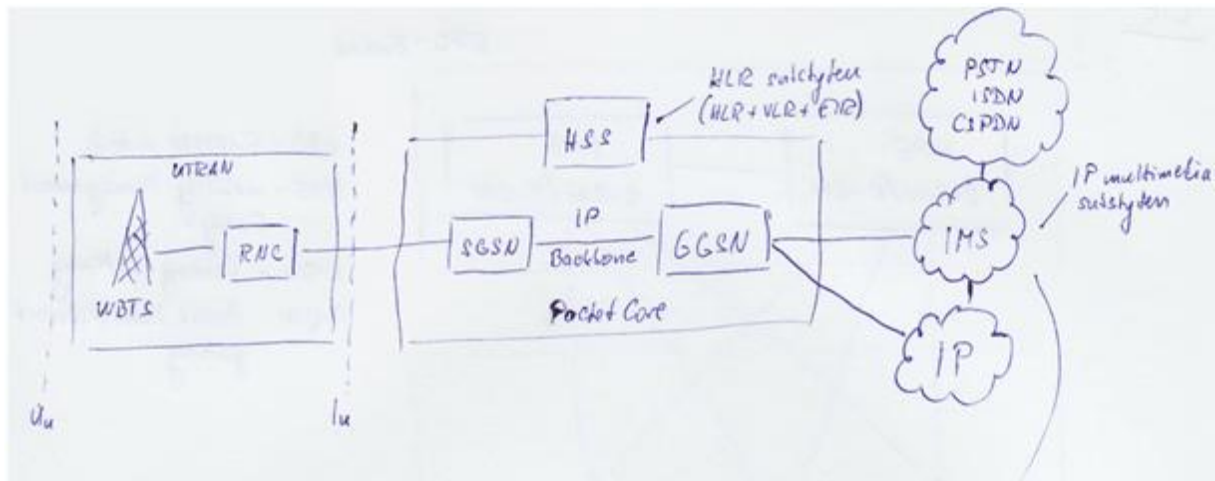
2. Etapa (Release 4)



MGW – Multimedia Gateway

MSS – MSC Server

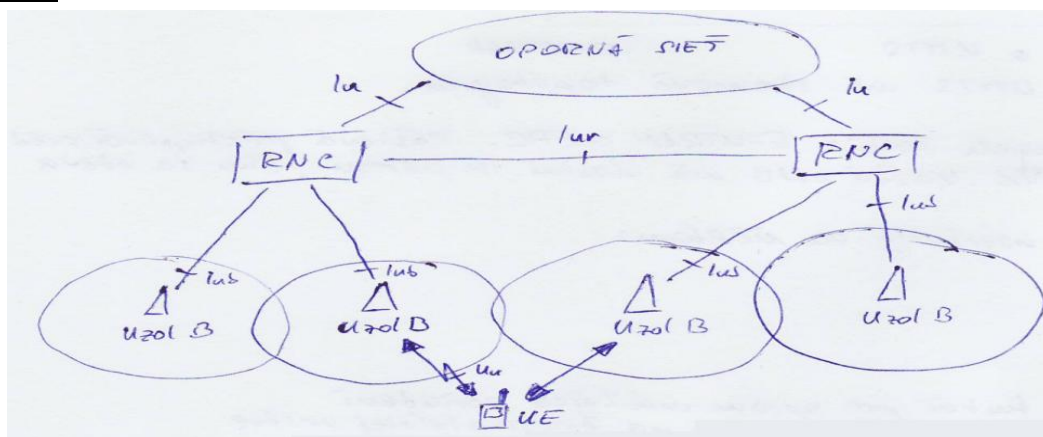
3. Etapa (Release 5)



Prenos Paketov v reálnom čase:

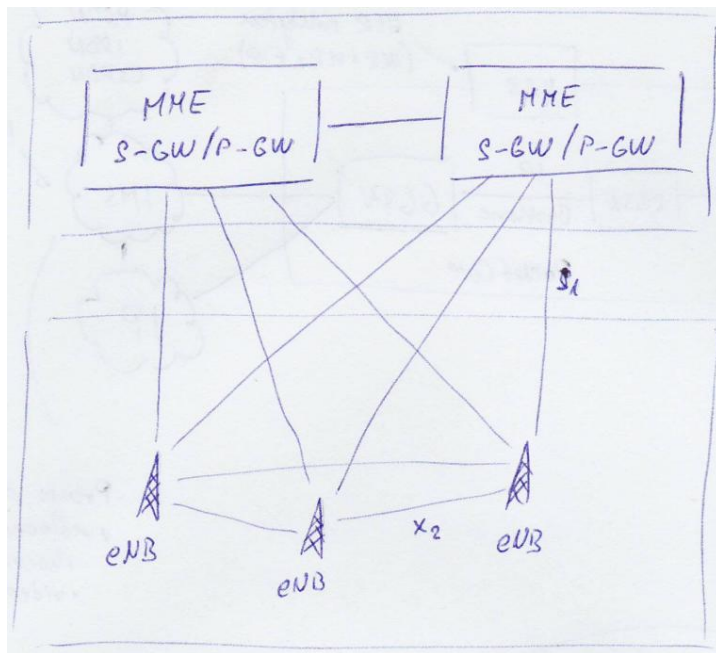
- hovor
- videohovor

Sieť UTRAN:



UTRAN sa skladá z tzv. subsystémov rádiovej siete – RNS, čo sú ekvivalenty GSM BSC. Každý RNS obsahuje jeden RNC (ekvivalent GSM BSC), ktorý by mal byť pripojený len ku jednej základnej sieti, a to cez lu rozhranie. Každý RNC ovláda niekoľko uzlov B (ekvivalent GSM BTS). Uzly B sú k RNC pripojené cez lub rozhranie. Rádiové rozhranie medzi uzlom B a UF je označené ako Uu. Novým prvkom, ktorý v GSM nefiguroval je rozhranie Iur medzi jednotlivými RNC. Slúžia na zabezpečenie prehodenia bez prerušenia aj pri vysokých prenosových rýchlostiach.

LTE:



EPC – Evolved packet core

eNB – E-UTRAN node B

MME – Mobility management entity

S-GW – Serving gateway

P-GW – Packet Data Network Gateway

← E-UTRAN

Rozdiel medzi architektúrou siete LTE a UMTS je v tom, že LTE je full mesh a UMTS má stromovú topológiu.

Systém **LTE pozostáva** z 2 základných častí, E-UTRAN a EPC. Rádiová prístupová sieť pozostáva zo základných staníc eNB. Každá eNB má vlastnú IP adresu, čím sa stáva súčasťou IP siete.

EPC predstavuje jednotný IP systém navrhnutý za účelom:

- vysoké prenosové rýchlosti
- menšie oneskorenia
- optimalizácia toku paketov

MME:

- Zodpovedá za podporu viacerých funkcií pre správu mobilných zariadení
- riadi zostavenie jednotlivých prenosových tunelov na používateľskej vrstve

S-GW:

- Zachovanie spojenia počas odovzdávania hovoru v rámci toho istého eNB, medzi rôznymi eNB
- smerovanie paketov medzi P-GW a E-UTRAN

P-GW:

- základný smerovač pre používateľské terminály

eNB:

- riadenie rádiových spojov
- kompresia hlavičiek IP paketov a kryptovanie používateľských dát
- plánovanie a pridelovanie zdrojov na rádiovom rozhraní
- koordinácia odovzdávania hovoru susediacim eNB