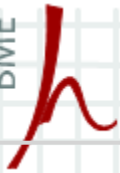


# LTE: A RENDSZER FELÉPÍTÉSE, MŰKÖDÉSE ÉS A RÁDIÓS INTERFÉSZ ALAPJAI.

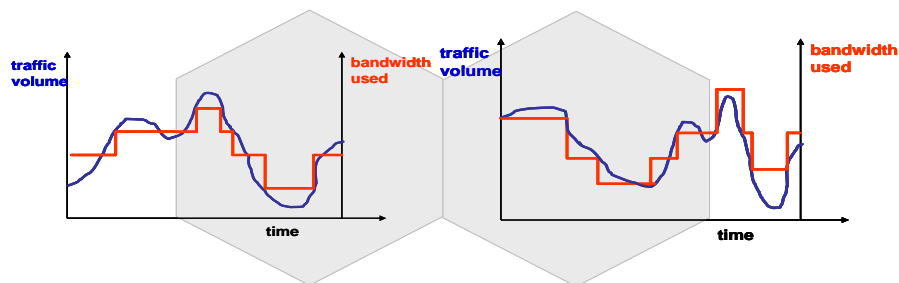


Sikeresnek bizonyult a „mobil Internet”

- hazánkban minden harmadik szélessávú Internet előfizetés
- világszerte dinamikus növekedés
- átviteli sebességek: néhány Mbps elérhető HSPA-val
  - csatornától, userek számától, stb. függ
- az Internet technológia minden lehetőségének kiszolgálására még nem alkalmas (pl. szélessávú video, IPTV)

### Új rádiós technológia kifejlesztése (előnyök)

- Korszerű rádióhálózat fejlesztésének lehetősége
- rugalmas frekvenciahasználat (különböző méretű és a 3G-nél szélesebb sávok használata)
- csomagkapcsolt forgalomhoz optimalizált
- a frekvenciasávon belül az erőforrás hatékony használata
- a pillanatnyi előfizetői forgalmi igényekhez való gyors és könnyű adaptáció
- a frekvencia-szelektív fadinghez való adaptáció lehetősége



### LTE rádiós követelmények

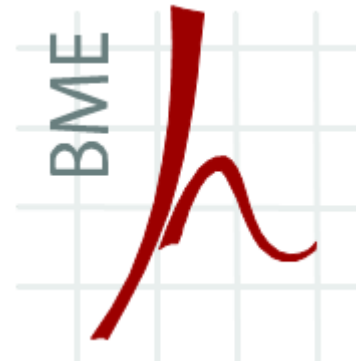
- legalább 100 Mbps DL és 50 Mbps UL átviteli csúcssebesség, 20 MHz használatával
  - nagyobb sáv szélességeken arányosan nagyobb
- FDD és TDD támogatása
- kis csomag késleltetés a rádiós hozzáférési hálózatban (max. 5 ms alacsony terhelésnél)
  - kis méretű IP csomag késleltetése egy irányban, ha csak 1 terminál kommunikál
- 5 MHz-en egyszerre legalább 200 előfizető kiszolgálása egy cellában
  - nagyobb sáv szélességen legalább 400
  - nem aktív mobilok számára nincs explicit követelmény, de tipikusan jóval nagyobb

### LTE rádiós követelmények

- többféle sáv szélesség támogatása (jelenleg: 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz)
- az alaphoz (HSDPA) képest követelt relatív javulás
  - átlagos előfizetői átviteli sebesség (per MHz): downlink 3-4x, uplink 2-3x
  - átviteli sebesség a cella szélén: uplink, downlink 2-3x
  - spektrális hatékonyság: downlink 3-4x, uplink 2-3x
- mobilitás: csúcs teljesítőképesség 15 km/h sebességű felhasználóknál
  - 120 km/h-ig nagy teljesítőképesség
  - 350 km/h-ig kapcsolat fennmaradása (handover esetén is)
- lefedettség: 5 km-ig a teljesítőképesség javulást tartani kell
  - 30 km-ig némi romlás megengedett, de mobilitásban nem

### LTE alapvető rádiós jellemzők

- OFDM alapú rádiós interfész
  - downlink: **OFDMA** (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)
  - uplink: **Single Carrier-FDMA** más néven DFTS-OFDM (Discrete Fourier Transform Spread OFDM) --- ez is OFDM alapú
  - lehetővé teszi a rugalmas sávhasználatot
  - frekvencia szelektív fading hatása elleni védekezés
  - a megvalósítása egyszerű IFFT-vel
- számos sáv szélességet és átviteli sávot támogat
- FDD és TDD támogatás
- adaptív moduláció és csatornakódolás
- gyors második rétegbeli újraküldés (HARQ)
- többantennás támogatás (max. 4x4)



# AZ LTE HÁLÓZAT: SAE

- Többféle hozzáférési hálózat támogatása
  - 3GPP és nem 3 GPP
  - fix hozzáférési rész
- Roaming
- Mobilitás a különféle hozzáférési hálózatok közt
- Any service IP alapon támogatása
- Interworking: PS és CS szolgáltatások közt



- Szigorú QoS biztosítása

- észrevehetetlen handover CS és PS beszédhálózat közt
- nincs adatvesztés fix és vezeték nélküli hozzáférés közti handovernél
- QoS : visszafelé kompatibilis 3GPP egyébvel (UMTS)

#### Fejlett biztonsági megoldások

- támadások ellen
- privacy különböző szintjeinek támogatása (kommunikáció, helyzet, azonosság), ugyanakkor törvényes lehallgatás lehetősége
- védve: tartalom, küldő, fogadó kiléte és helyzete

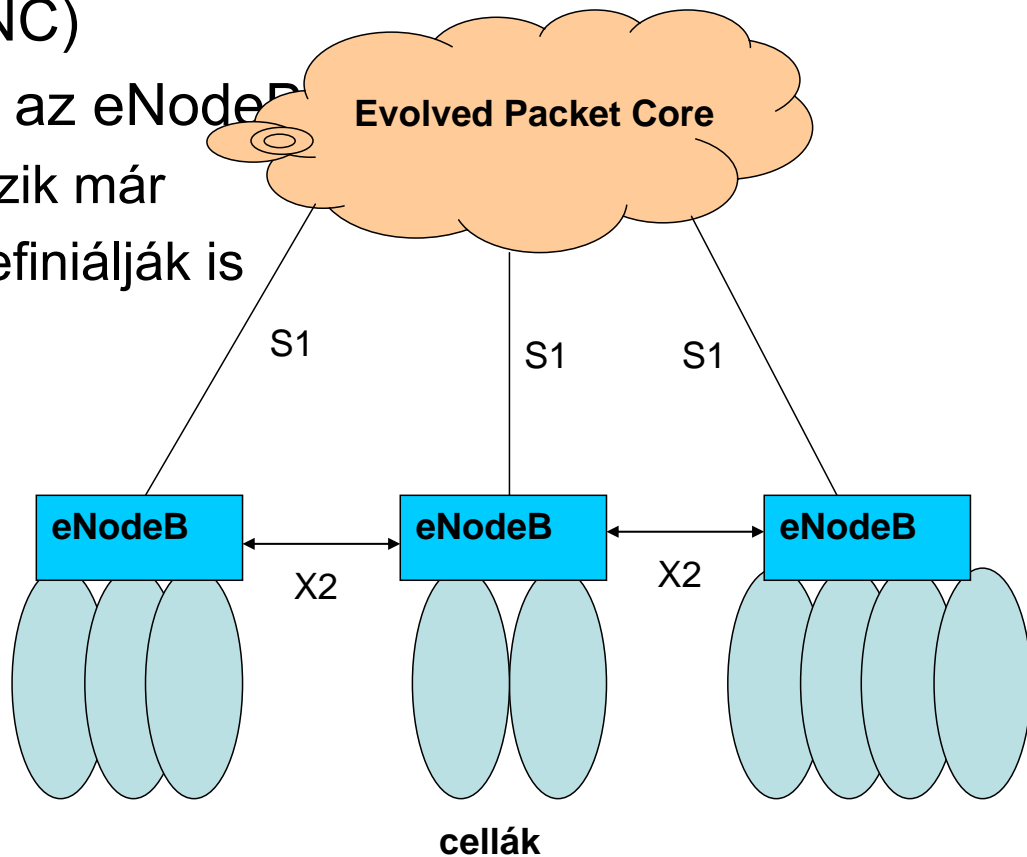
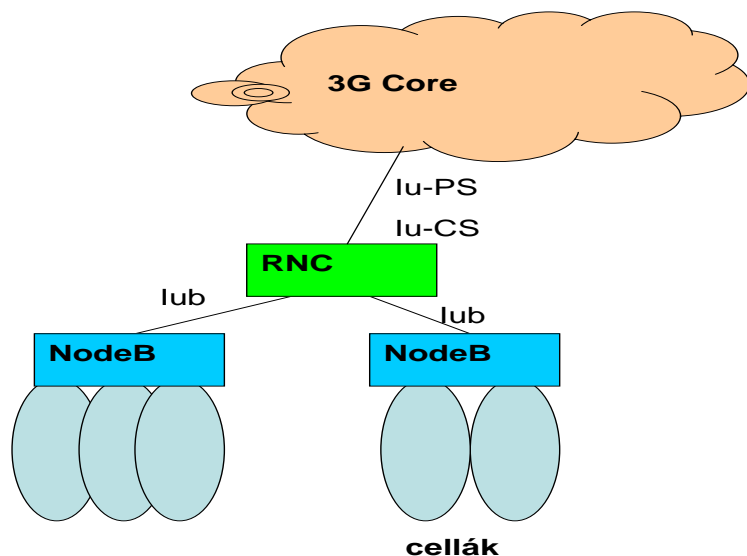
- Rendszer architektúra:
  - a működéshez szükséges funkciók logikai csomópontokhoz rendelve
  - interfészek a csomópontok közt
  - két fő blokk: maghálózat (Core Network, CN): **EPC**, **Evolved Packet Core**, rádiós hozzáférési hálózat (Radio Access network, RAN): **E-UTRAN**

## ▪ E-UTRAN

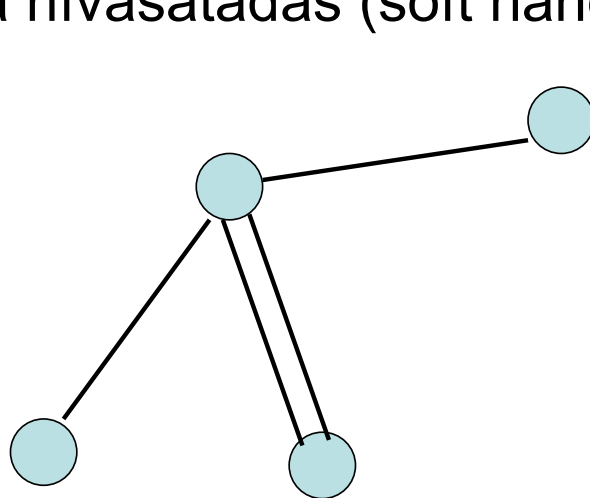
- handover: adattovábbításon alapul
- állomások közti kommunikáció szükséges: rádiós erőforrás menedzsment, interferencia kontroll
- erre szolgál az X2 interfész
  - régi eNodeB továbbítja az új eNodeB-nek a usernek szóló IP csomagokat handover után
- felépítése hasonló a 3G Iur-hez (RNC-k közti interfész)
- topológiai vonatkozások

## ■ E-UTRAN architektúra változások

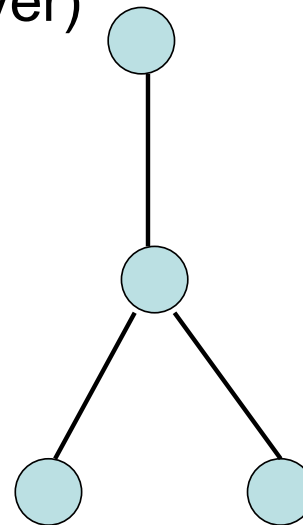
- nincs központi elem (RNC)
- a korábbi RNC funkciók az eNodeB-ban  
  - ilyen 3G NodeB is létezik már
  - HSPA+ szabványok definiálják is
- biztonsági problémák



- E-UTRAN architektúra változások
  - nincs makro diverziti
    - megoldható lenne, de nem hoz annyi nyereséget, mint komplexitást
  - nincs puha hívásátadás (soft handover)



makrodiverziti központi elem nélkül



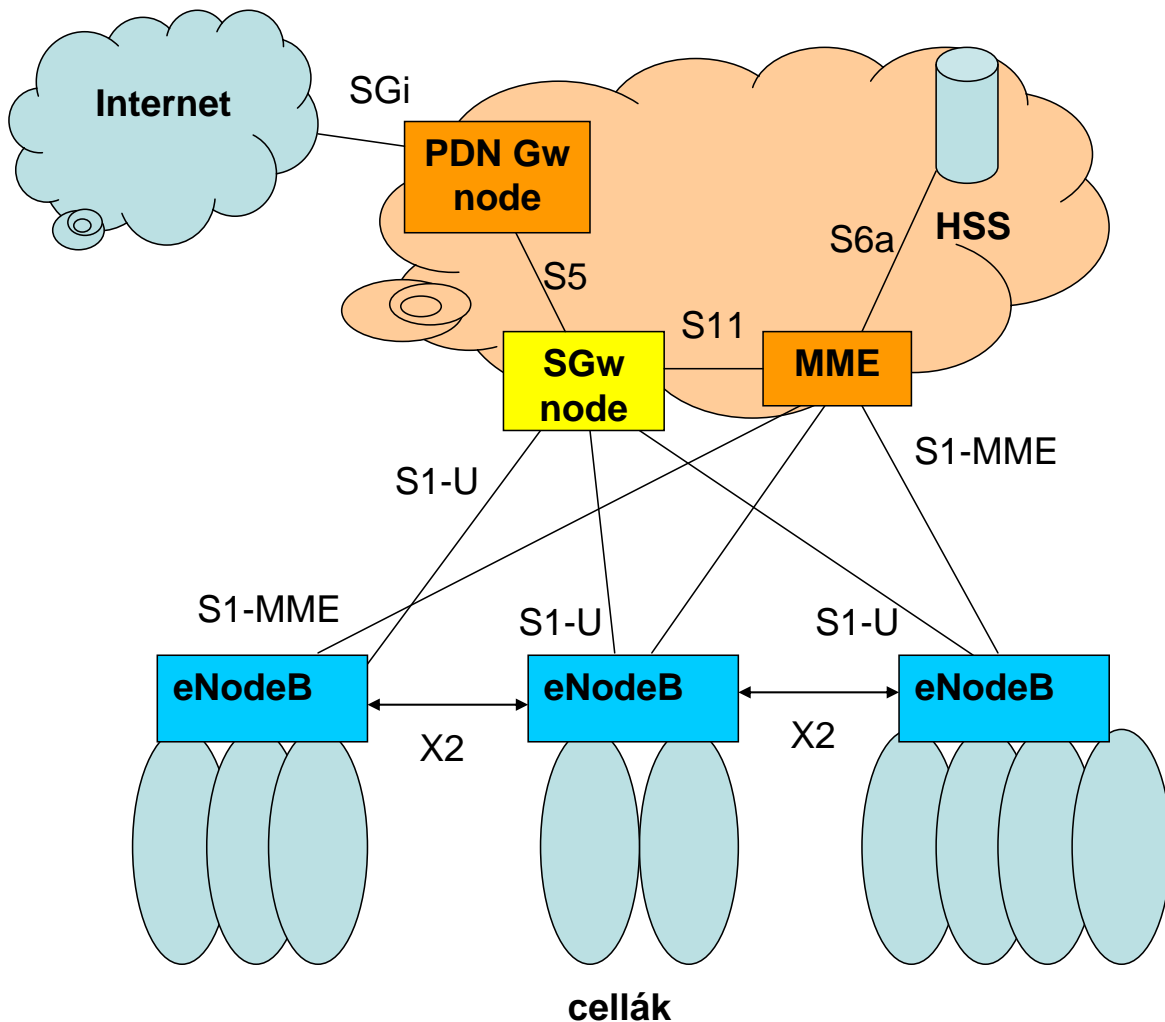
makrodiverziti központi elemmel

- RAN funkciók LTE, az eNodeB végzi
  - hibavédő kódolás, interleaving, keretezés, FFT/IFFT, moduláció, erősítés, detekció, felkeverés, szűrés, más fizikai réteg funkciók;
  - ARQ, HARQ, fejléc tömörítés, ütemezés, keretezés, szegmentálás/keretösszevonás, stb. egyéb második réteg funkciók;
  - rádiós erőforrás menedzsment, handover stb., rádiós kapcsolat vezérlése, más rádiós erőforrás kontroll funkciók
  - biztonsági funkciók: titkosítás, adat integritás megőrzése

- Fejlett csomagkapcsolt maghálózat
- EPC Evolved packet Core
  - funkcionális architektúra: egy csomópont végez minden maghálózati funkciót
  - akár fizikailag is lehetne egy berendezés
  - gyakorlati szempontból nem megvalósítható
  - + HSS (=HLR+AuC) megmaradt a korábbi hálózatokból
  - EPC-HSS között S6
  - EPC-Internet között SGi

# SAE EPC architektúra

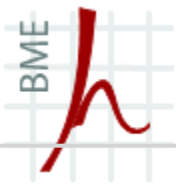
- Funkcionális entitások az EPC-ben
- **Mobilitás kezelő** egység: Mobility Management Entity (MME)
- **Kiszolgáló átjáró** egység: Serving Gateway
- **Adathálózati átjáró** egység: Packet Data Network (PDN) Gateway





# SAE EPC architektúra

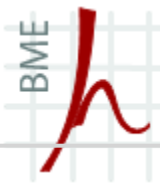
- Funkcionális entitások az EPC-ben
- **Mobility Management Entity (MME)**
  - a vezérlő sík megvalósítója az EPC-ben
  - mobilitás támogatás
  - előfizető helyének lekérdezése
  - paging megfelelő helyre küldése
  - útvonalválasztás az előfizető pozíciójának megfelelően
  - minden egyéb vezérlési feladat: hordozó felépítése, autentikáció, titkosítási kulcsok cseréje, stb.
  - kontroll sík az S1 interfészen: S1-MME
    - nagyon hasonló a 3G hálózat Iu-PS vezérlési síkjához



# SAE EPC architektúra

---

- Funkcionális entitások az EPC-ben
- **Serving Gateway (SGw)**
  - az előfizetői adatok továbbítója az EPC és az eNodeB között
  - az S1-U nagyban hasonlít a 3G Iu-PS –hez
  - S1-U működése
    - felhasználó IP csomagjának továbbítása „alagúton” az eNodeB felé/től
    - alagút: új IP protokoll fejléc, új címmel, az előfizető helyének megfelelően
    - a cím meghatározza hova menjen a csomag

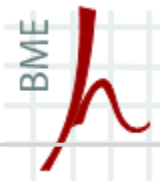


# SAE

## EPC architektúra

---

- Funkcionális entitások az EPC-ben
- **PDN Gateway (PDN Gw)**
  - az interfész a külső csomagkapcsolt hálózatok felé
    - Internet, más szolgáltató hálózata, nem LTE hálózat
  - az LTE mobilitás gyökere
    - egy kapcsolat alatt a külső hálózati forgalom egy PDN Gw berendezésen keresztül megy, akárhová mozog is az előfizető
    - azonban az SGw továbbítja az IP csomagokat a kiszolgáló eNodeB felé
    - a maghálózatban látszik a mobilitás
    - minden cellaváltásnál új „alagútban” megy a forgalom az eNodeB felé/től
    - ez nagy különbség a 3G-hez képest, ahol az RNC elfedte a lokális mobilitást (RNC-ig kellett az IP alagutat vezetni)



# SAE

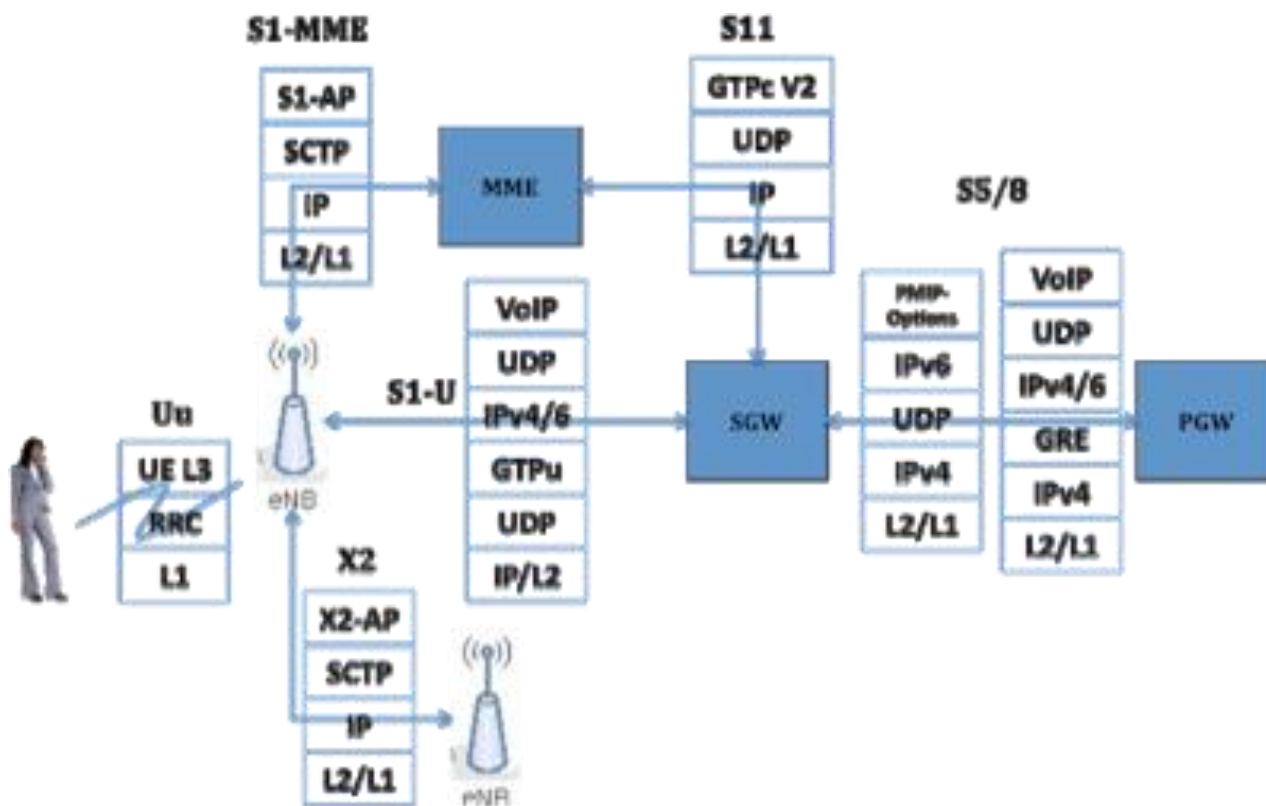
## Architektúra

---

- Még egy entitás
- PCRF Policy and Charging Rules Function
  - az előfizetői kapcsolatokat érintő szabályok és eljárások
  - a számlázási szabályok
- Rugalmasság
- S1 flex
  - egy eNodeB csatlakozhat több S1 interfészen több Sgw-hez is
  - robosztusság, rugalmasság
  - hálózati infrastruktúra megosztása (közös eNodeB, saját EPC)

# LTE Hálózat, protokollok

példa: VoIP átvitel LTE fölött

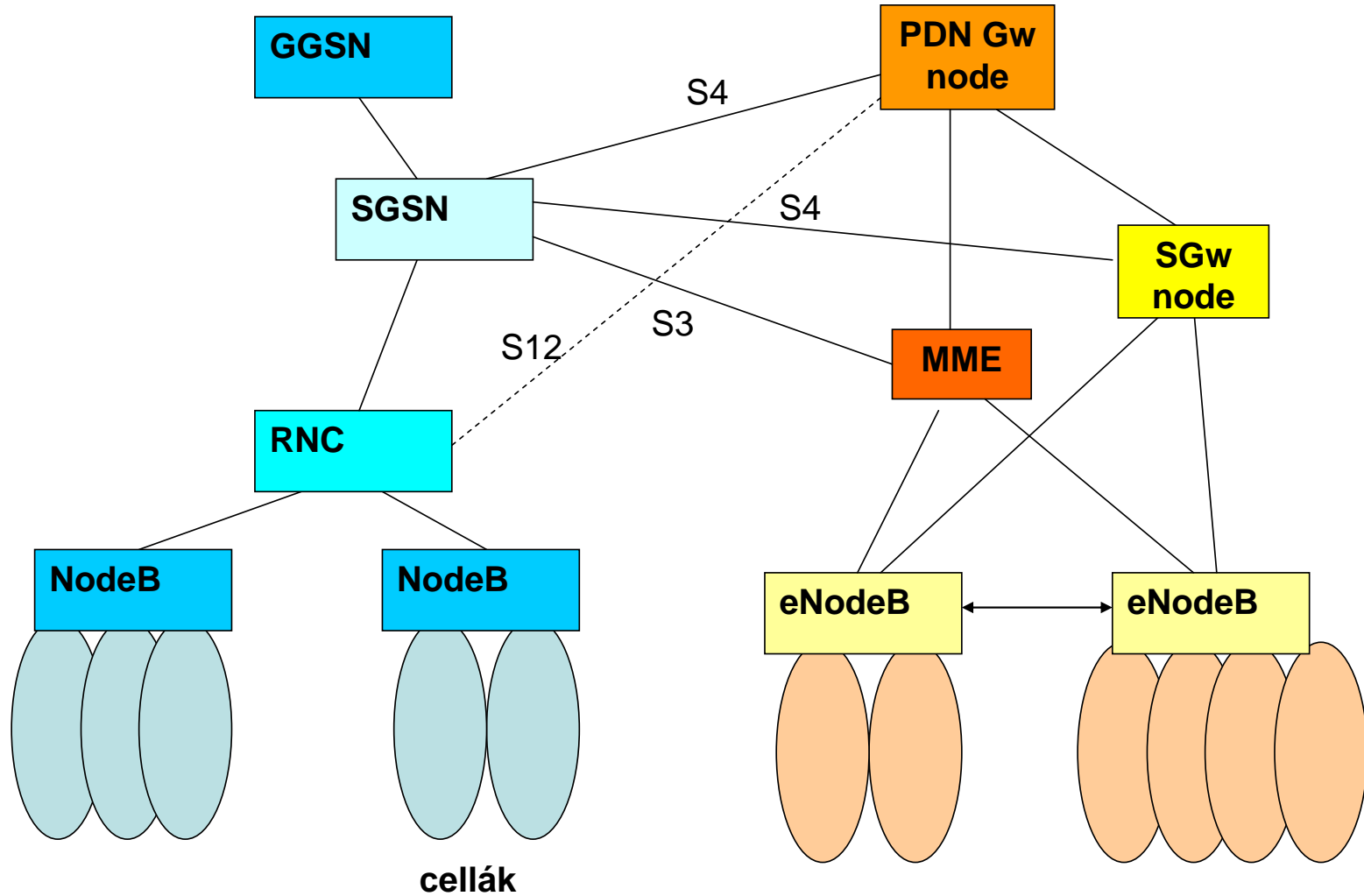




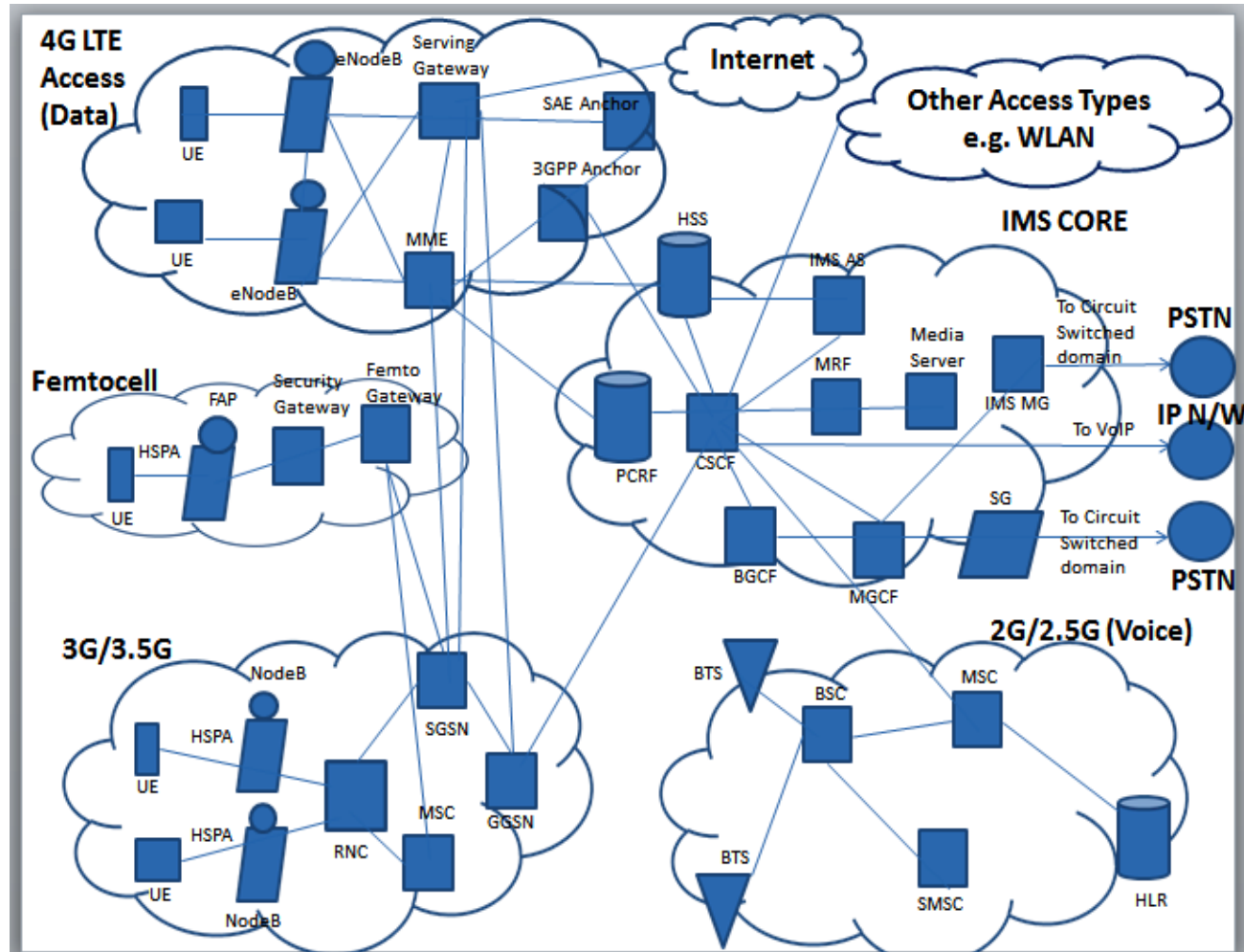
- Követelmény
- Hálózatok közti handover 3G és LTE között
  - előfizető nem tudja milyen hálózatban, milyen készüléssel van
  - lokális LTE indulás
  - kétmódú készülékek kellene

## Megoldás

- az SGSN „bekötése” az EPC-be
- a PDN Gw viselkedik GGSN-ként
- vagy: S12 interfész a PDN Gw és az RNC között
  - GGSN nem szerepel az átvitelben



# Total network picture

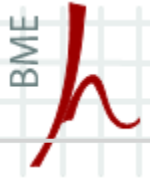




# Interworking between EPC and other

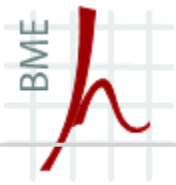
---

- Attach other network to EPC
  - 3GPP: UMTS, LTE, GSM
- Non-3GPP: (WLAN, WiMAX)
  - It can be over a trusted network or connection: owned by the operator itself
  - Not trusted: e.g. public Internet
- There is a special function to help terminals discover and select the possible access networks
  - ANDSF Access Network Discovery and Selection Function



# Interworking between EPC and other

- WLAN offloading: WiFi carries significant amount of radio traffic
- WiFi interface in phones
- provide service over WiFi
  - controlled by the operator
- already in 3GPP Release 6
  - 3GPP TS 23.234 "3GPP system to Wireless Local Area Network (WLAN) interworking; System description"
  - 3GPP TS 24.234 "3GPP System to Wireless Local Area Network (WLAN) interworking; WLAN User Equipment (WLAN UE) to network protocols; Stage 3"
- **3GPP Rel. 9:** Data offloading, 3GPP and WLAN can be used but not in parallel,
- **3GPP Rel. 10:** IP Flow Mobility (IFOM) –IP data flow is over EPC and WLAN

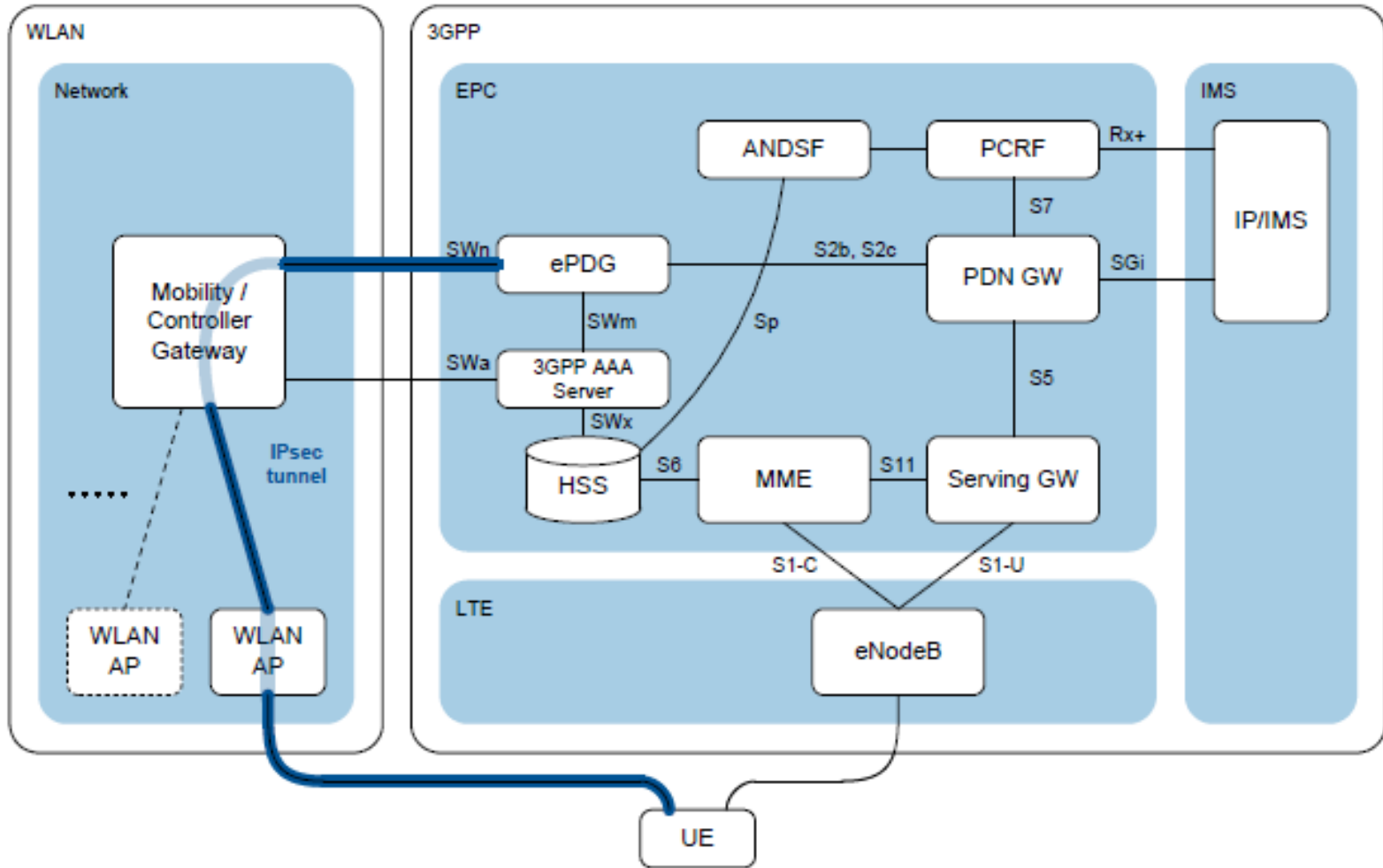


# Interworking between EPC and other

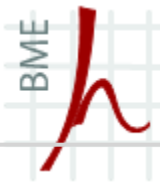
---

- Untrusted connection
  - there is a device for this in the EPC, called ePDG, evolved Packet Data Gateway
  - ePDG is connected to PDN Gw
  - main role of ePDG is to
    - process authentication of the subscriber, using the 3GPP AAA server and HSS
    - create secured IP transmission between the subscriber and ePDG

# Interworking between EPC and other



Forrás: Rohde & Schwarz: WLAN Traffic Offload in LTE

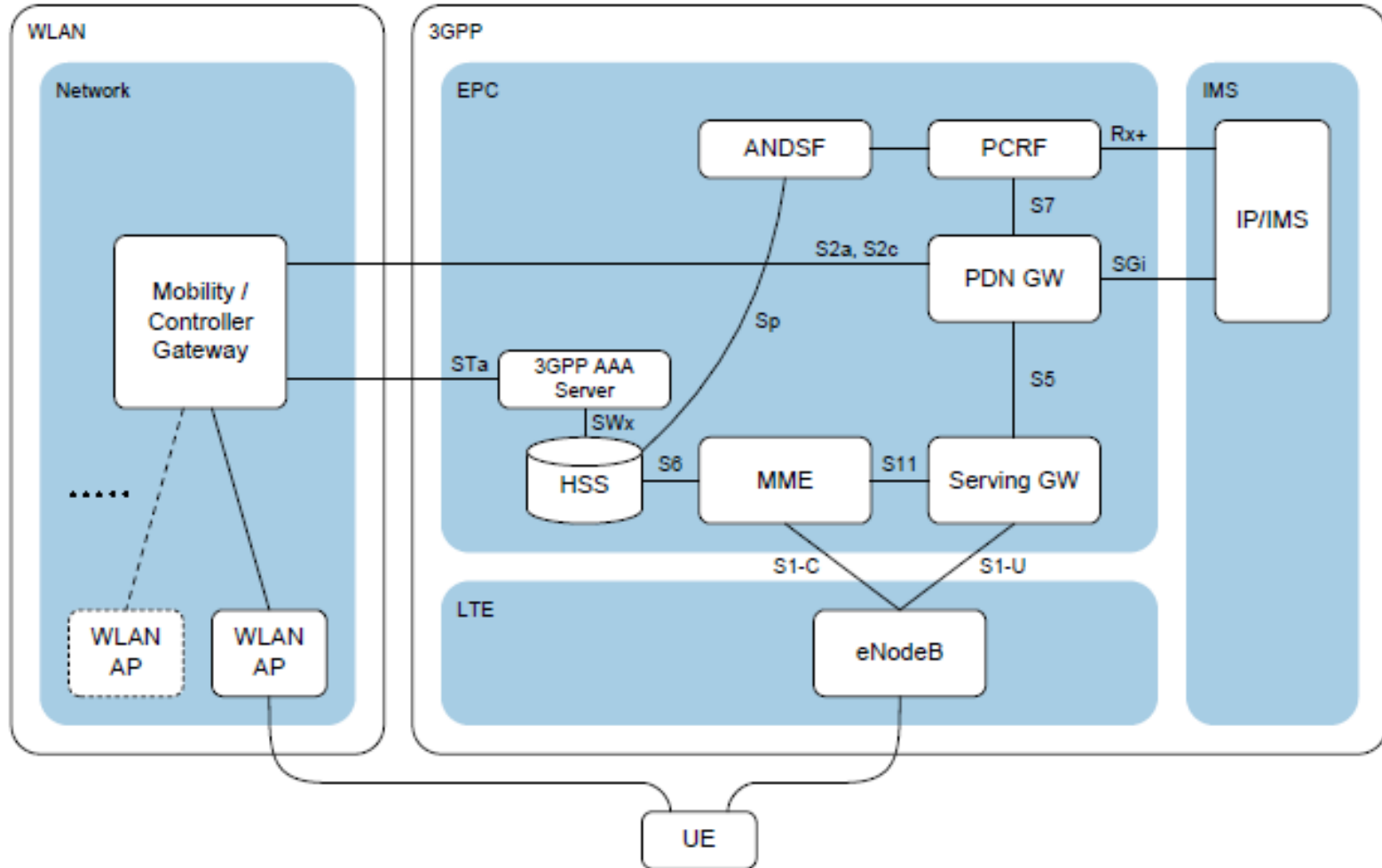


# Interworking between EPC and other

---

- Trusted connection
  - no need for IPSec tunnels, hence no ePDG
- For bot trusted and untrusted:
  - authentication is independent of WLAN radio
  - it is the authentication of the USIM, using HSS
  - „normal” authentication

# Interworking between EPC and other

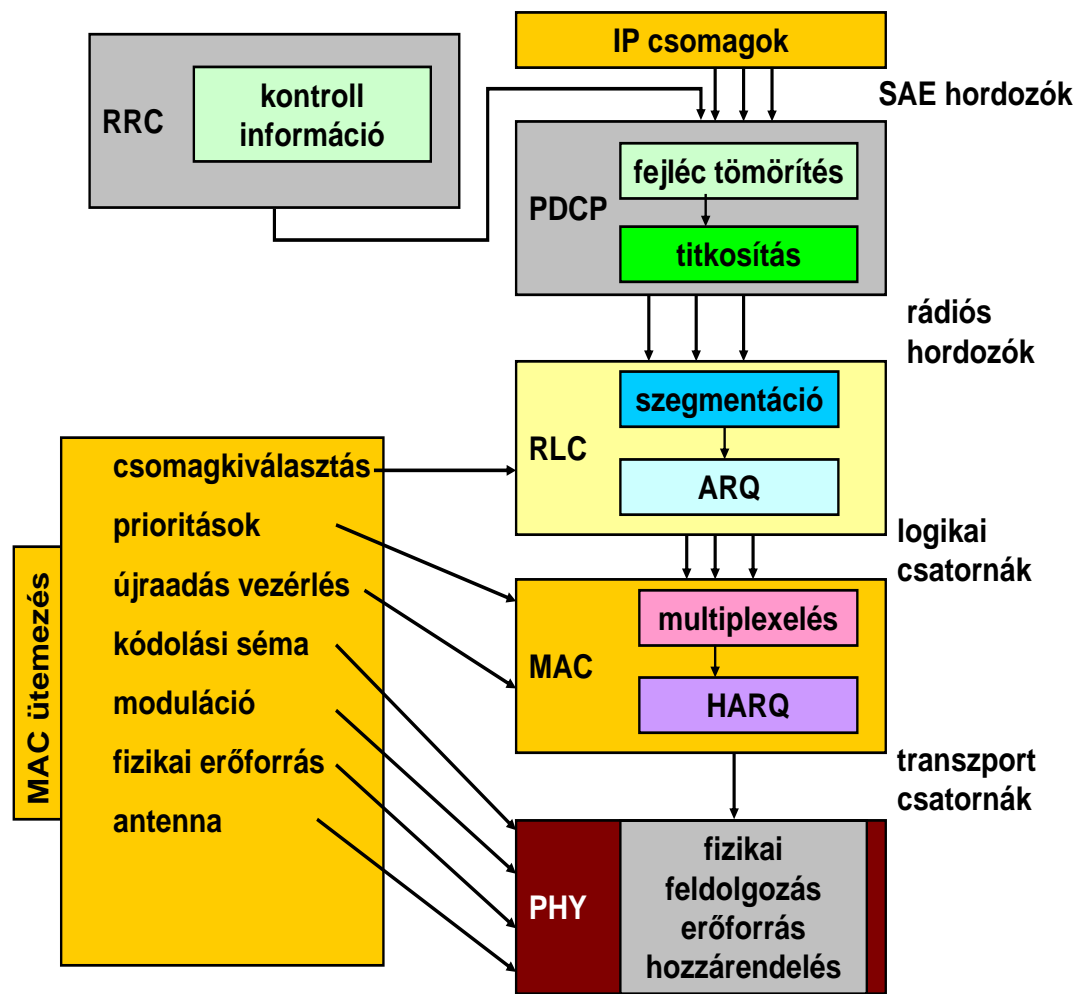


Source: Rohde & Schwarz: WLAN Traffic Offload in LTE

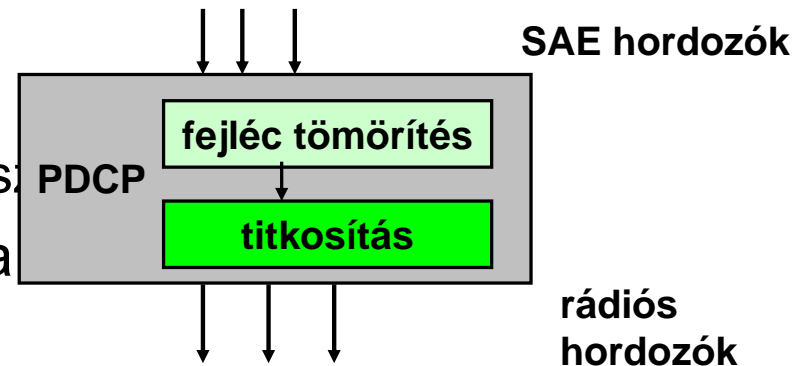
# LTE protokollok

## LTE rádiós protokollok

- Packet Data Convergence Protocol (PDCP)
- Radio Resource Control (RRC)
- Radio Link Control (RLC)
- Medium Acces Control (MAC)
- Physical (PHY)
- PHY – MAC: transzport csatornák
- MAC – RLC: logikai csatornák
- RLC – PDCP: rádiós hordozó
- PDCP – hálózat: SAE hordozó



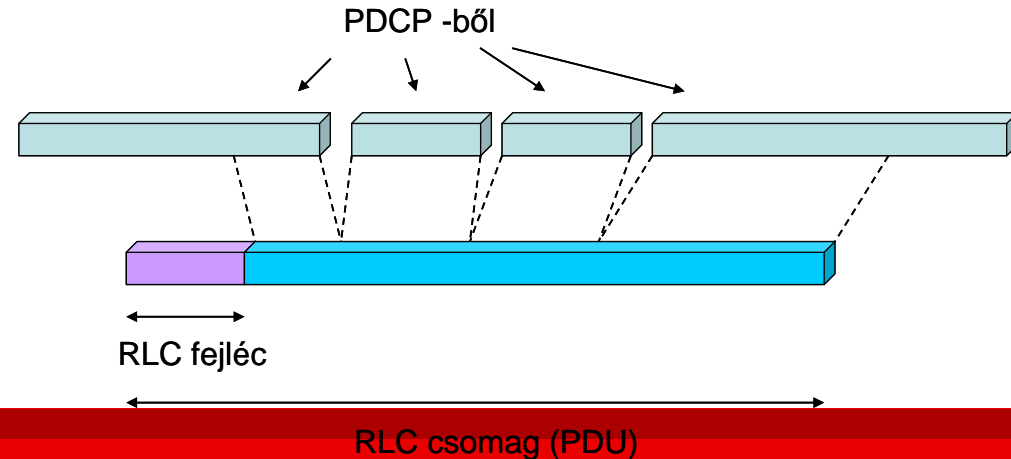
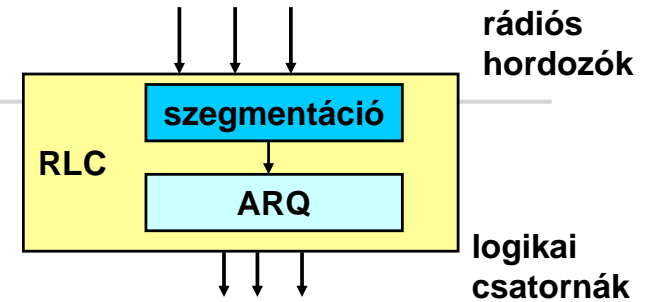
- Packet Data Convergence Protocol (PDCP)
  - IP fejléc tömörítés, szabványos algoritmus (Robust Header Compression, ROHC)
    - pl. IP fejléc 40 byte, UDP fejléc 20 byte, VoIP tartalom 20 byte
  - titkosítás, adat integritás megőrzése
  - egy PDCP entitás rádiós hordozónként egy készülékben
  - szabvány alapján:
    - eNodeB-ben helyezkedik el
    - gyártói megoldásként: külön es
  - bemenet: előfizető IP csomagja
  - kimenet: PDCP csomag





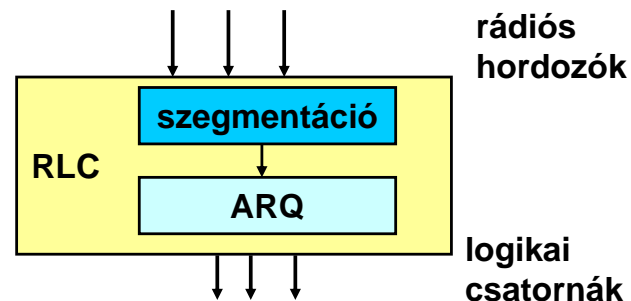
### ■ Radio Link Control (RLC)

- adat feldarabolás-összefűzés: RLC csomagok előállítása
  - dinamikusan változó méretű lehet
- sorrendhelyes továbbítás a felsőbb réteg felé
- újraküldés vezérlés
- fejléc tartalma
  - sorszám: sorrendhelyességhez, újraküldéshez
  - keretezési információ
  - hossz
  - kontroll adat
  - nyugtázás/kérés



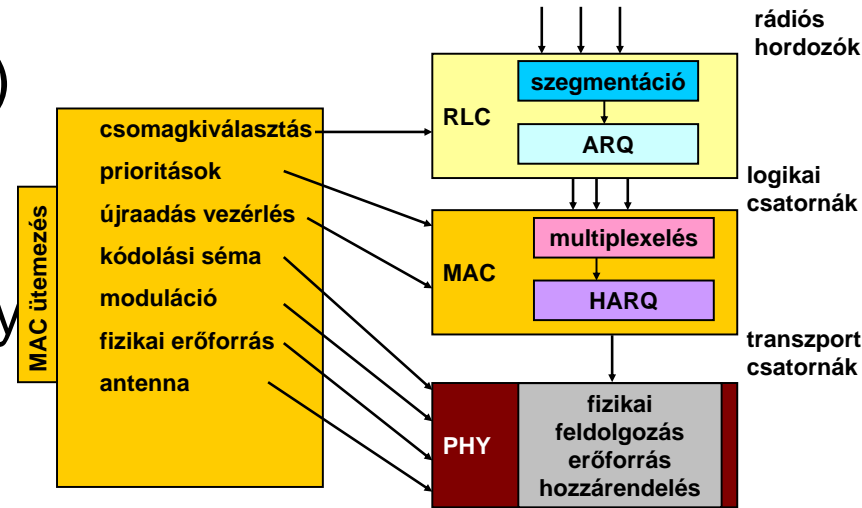
### ▪ Radio Link Control (RLC)

- a 3G-vel ellentétben az RLC a bázisállomásban
  - kisebb késleltetések
- rádiós hordozók (bearer) a PDCP felé
- nyugtázott mód
  - hiányzó PDUk kérése, pl. TCP-hez
- nyugtázatlan mód
  - UDP-hez (pl. VoIP)
  - multicast forgalomhoz
- átlátszó mód
  - kontroll logikai csatornákhöz
  - véletlen hozzáférési üzenethez
- egy RLC entitás rádiós bearerenként egy UE-ben



### ■ *Medium Access Control (MAC)*

- hibrid-ARQ újraadás
- uplink és downlink ütemezés
- ütemezés az eNodeB-ben, egy MAC entitás per cella, uplink/downlink
  - prioritások biztosítása UEk, logikai csatornák között



- Radio Resource Control (RRC) funkciók
  - broadcast rendszerinformáció küldése
    - beleértve az idle állapotban lévő UE-nek szóló információt
    - pl. cella (újra)választási paraméterek
    - szomszédos cella paraméterek
    - aktív állapotban lévő UE-nek szóló információk
    - pl. csatornaconfiguráció
  - RRC kapcsolat vezérlés
    - paging
    - RRC kapcsolat felépítése/bontása/módosítása
    - UE azonosító (C-RNTI) kijelölése/módosítása
    - jelzésinformációt vivő rádiós hordozók (signalling radio bearer) kezelése
  - dedikált kontroll információk továbbítása, feldolgozása

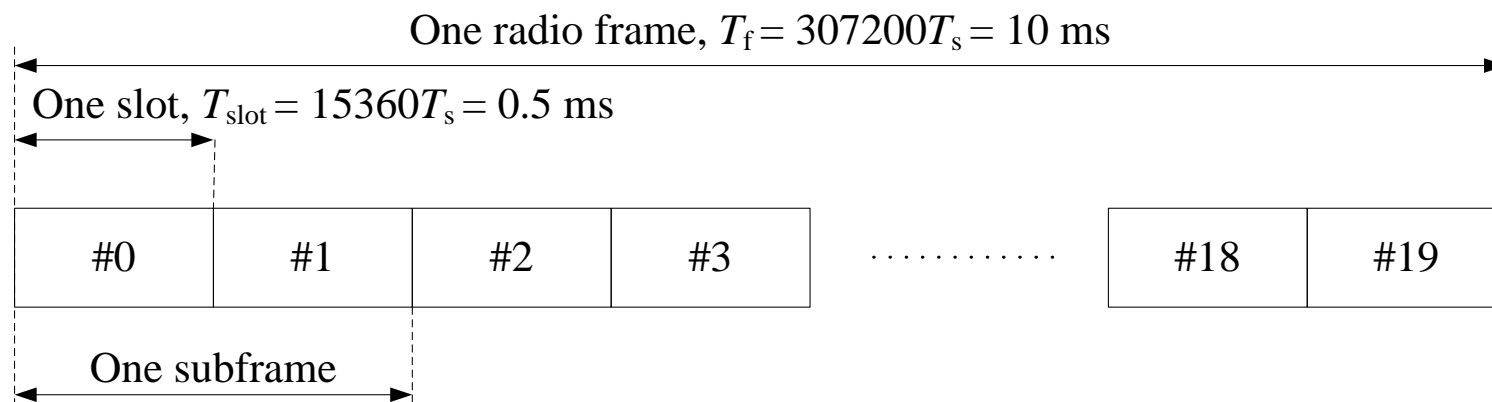
- Radio Resource Control (RRC) funkciók
  - RRC kapcsolat vezérlés
    - biztonsági funkciók aktiválása
    - kapcsolat mobilitás vezérlése: handover, hozzá tartozó biztonsági funkciók (pl. kulcscsere)
    - adatot szállító rádiós hordozók kezelése
    - rádiós konfiguráció vezérlése, pl. ARQ konfiguráció hozzárendelése, szakaszos vétel konfigurálása
    - QoS vezérlés, pl. közel állandó ütemezés kijelölése, prioritások és rádiós hordozókhoz tartozó adatsebességek kijelölése
    - rádiós link megszakadása után a kapcsolat újraélesztése
  - különböző rádióhálózatok közti mobilitás kezelése

### ▪ Radio Resource Control (RRC) funkciók

- mérési konfigurálás és riportolás
  - mérések kezdeményezése, pl.
  - mérési intervallumok kijelölése
  - mérési riportok feldolgozása
- egyéb funkciók
  - pl. nem 3GPP szabvány szerinti hálózati információk továbbítása
  - közös hálózat támogatása (több hálózat egy fizikai infrastruktúrán)
  - UE rádiós képesség információ továbbítása
- általános protokoll hibakezelés
- önkonfiguráció és önoptimalizáció támogatása

### Alap időzítés

- alap időegység  $T_s = 1/(15000 \times 2048)$  másodperc
  - mintavételi idő, órajel periódus alapja
  - minden ennek többszöröseként definiálva a szabványban
- Keretszerkezet FDD módban
- 10 ms keret, 10 db 1 ms alkeret, 20 db 0.5 ms időrés



### OFDM szimbólumok

- 6 vagy 7 szimbólum egy időrésben
- fizikai jelzési sebesség sebesség: 12 vagy 14 kszimbólum/sec

### ■ Moduláció

- QPSK, 16 QAM és 64 QAM (2, 4, 6 bit információ per szimbólum per segédvívő)
- fizikai kontroll információ QPSK

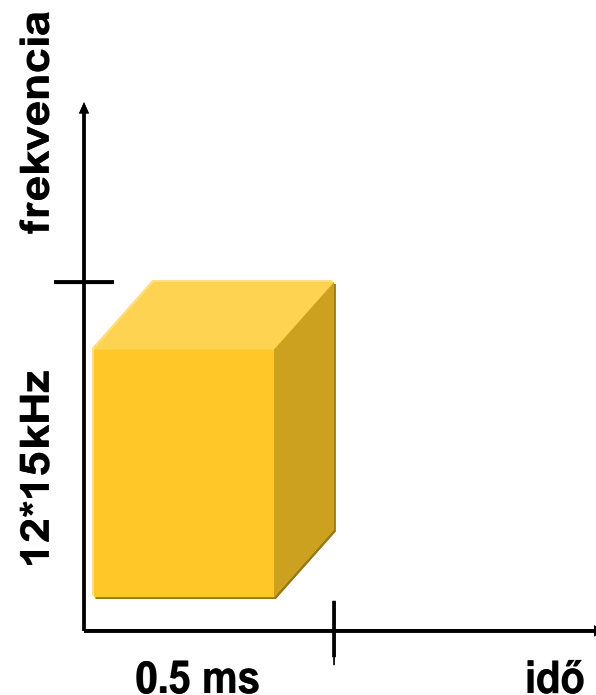
### ■ Hibavédő kódolás

- 1/3 arányú turbo kódolás (1 bit -> 3 bit), erős hibavédelem
- ha nincs szükség ilyen erősre: lyukasztás (~törölt bitek)
  - a csatorna minőségétől függően



- Adaptív moduláció és kódolás
  - jó csatorna -> nagy állapotszámú moduláció, gyenge hibavédelem (kevés redundancia) -> nagy hasznos átviteli sebesség
  - rossz csatorna -> alacsony állapotszámú moduláció, erős hibavédelem (sok redundancia) -> alacsony hasznos átviteli sebesség
  - csatornaméréseken (referenciajelek alapján) és csatornaállapot jelentéseken alapszik
- Hibrid újraküldés
  - növelt redundancia: az újraküldés erősebb hibavédő kódolással
  - chase combining: az újraküldött és a sérült csomagot kombinálja

- Fizikai szintű rádiós erőforrás
  - fizikai erőforrás blokk (Physical Resource Block, PRB)
  - 12 segédvivő ( $12 \cdot 15 \text{ kHz} = 180 \text{ kHz}$ )
  - egy időrésben (0.5 ms)
  - a legkisebb egység, ami egy előfizetőnek adható
  - $12 \cdot 6 =$  vagy  $12 \cdot 7$  szimbólum időrésenként
  - kiosztás: egy előfizetőnek egy PRB egy alkeretben (2 időrés)
  - összesen 144 vagy 168 szimbólum alkeretenként



- Fizikai szintű pillanatnyi átviteli sebességek egy PRB-vel

	rövid prefix	hosszú prefix
QPSK	336 kbps	288 kbps
16 QAM	672 kbps	576 kbps
64 QAM	1008 kbps	864 kbps

- Sávszélesség kérdése

- egy bázisállomásnak minimum 6 PRB-t kell tudni kezelni
  - ez védősávokkal, DC vivővel 1.4 MHz

Sávszélesség [MHz]	1.4	3	5	10	15	20
PRB-k száma	6	15	25	50	75	100

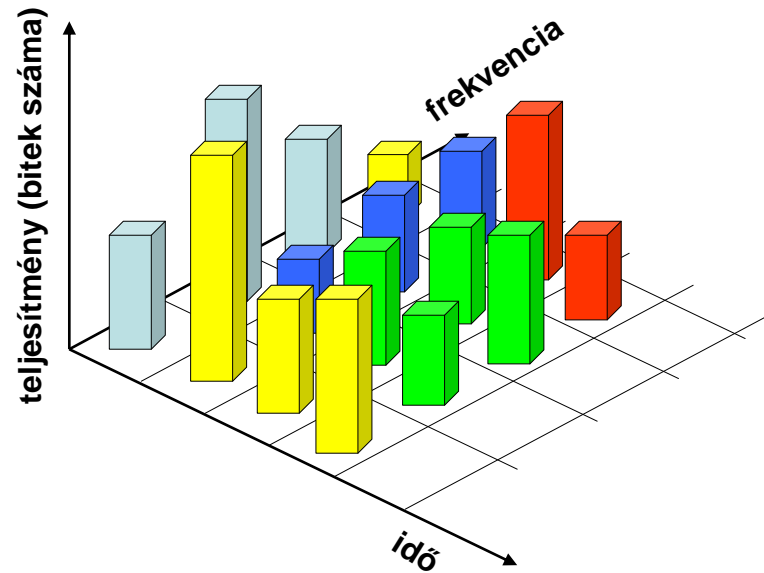
elvi maximális fizikai sebesség  
100.8 Mbps

### ■ Osztott csatorna megközelí

- erőforrás rács: frekvencia
  - idő-frekvencia rács
- a bázisállomás ütemezője
- nem szabványos

### ■ Ütemezési feladat

- melyik PRB-t
- melyik időrésben
- mekkora adóteljesítmén  
jel/zaj viszony  $\rightarrow$  kisebb redundancia, magasabb állapotú moduláció  $\rightarrow$  több hasznos bit/PRB)
- melyik előfizető részére
- összes adóteljesítmény, PRB-k száma, időrések száma korlátos

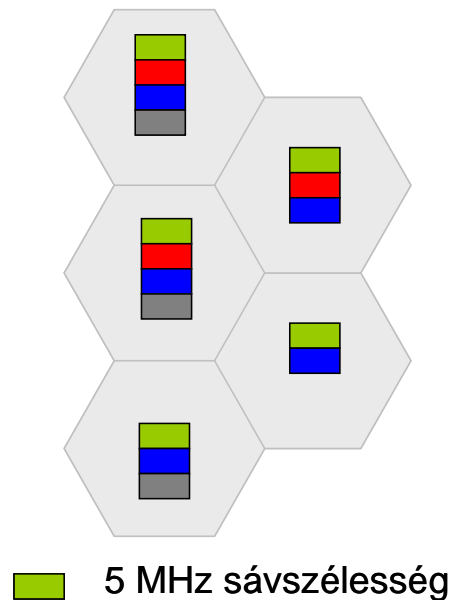


Hogyan legyenek a sávok kiosztva?

- különböző várható forgalom különböző sáv szélességeket igényel cellánként

Frekvenciatervezés?

- különféle szélességű sávok elhelyezése úgy, hogy ne zavarják egymást
- iparági igény, hogy ne kelljen
- várhatóan nem lesz akkora sáv szélesség hogy megoldható legyen
- tetszőleges sáv (tipikus 20 MHz) minden cellába (reuse 1)
- a rendszer oldja meg, hogy a szomszédos cellák azonos sávot használjanak, de ne legyen két azonos PRB egyszerre kiosztva két előfizetőnek, akik zavarnák egymást



A rendszer gondoskodjon az interferencia elkerüléséről!

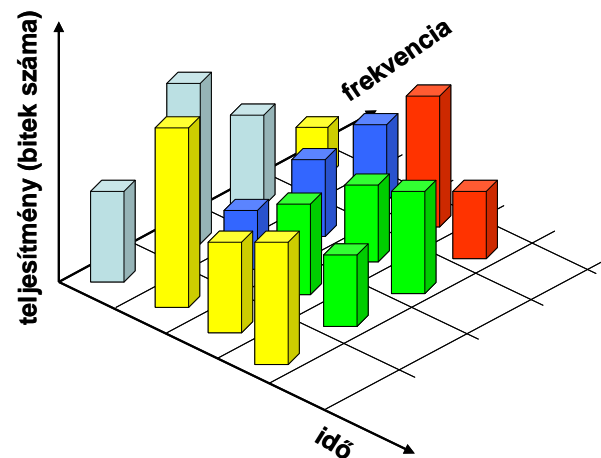
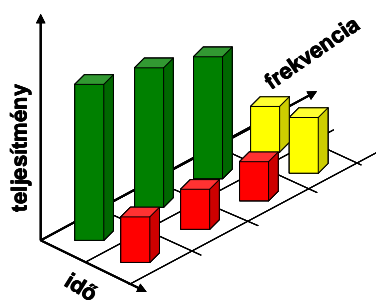
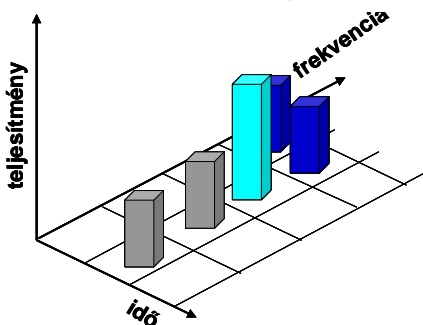
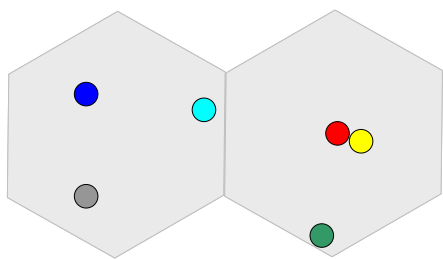
Elosztott ütemezés: ütemező az eNodeB-kben

- koordinált működés: a szomszédos cellák ne, vagy csak kis teljesítménnyel használják ugyanazt a PRB-t
- X2 interfész az eNodeB-k között
- szomszédnak okozott interferencia:
  - kisebb SINR -> kisebb adatsebesség/PRB
  - ütközések minimalizálása
  - igények kielégítése, fairness, QoS, átviteli sebesség és cellaátvitel maximalizálása

Elosztott ütemező: 3 dimenziós erőforrás kiosztása

- minden bázisállomás ugyanazt az erőforrás-rácsot használja

Közeli termináloknak kis teljesítménnyel azonos PRB kiosztható



Általánosan: reuse 1 a közeli terminálok számára  
reuse n a távoliaknak

- QoS osztályok
  - forgalmi osztályok
  - garantált és nem garantált bitsebességű osztályok
    - Guaranteed Bit Rate (GBR) or non-Guaranteed Bit Rate (non-GBR),
  - késleltetés és adatvesztési osztályok, prioritások
  - QoS Class Identifier (QCI) határozza meg a forgalom kezelésének módját
  - a hálózatban a rádiós interfésztől a PDNGw-ig ennek megfelelően kell kezelni
  - IP transzport a hálózatban:
    - LTE QCI-nek megfelelő QCI -> Differentiated Services Code Point (DSCP) leképezés



QCI	Resource Type	Priority Level	Packet Delay Budget	Packet Error Loss Rate (NOTE 2)	Example Services	
1 (NOTE 3)	GBR	2	100 ms (NOTE 1)	$10^{-2}$	Conversational Voice	
2 (NOTE 3)		4	150 ms (NOTE 1)	$10^{-3}$	Conversational Video (Live Streaming)	
3 (NOTE 3)		3	50 ms (NOTE 1)	$10^{-3}$	Real Time Gaming	
4 (NOTE 3)		5	300 ms (NOTE 1)	$10^{-6}$	Non-Conversational Video (Buffered Streaming)	
65 (NOTE 9)		0.7	75ms (NOTE 7, NOTE 8)	$10^{-2}$	Mission Critical user plane Push To Talk voice (e.g., MCPTT)	
66		2	100 ms (NOTE 1, NOTE 8)	$10^{-2}$	Non-Mission-Critical user plane Push To Talk voice	
5 (NOTE 3)	Non-GBR	1	100 ms (NOTE 1)	$10^{-6}$	IMS Signalling	
6 (NOTE 4)		6	300 ms (NOTE 1)	$10^{-6}$	Video (Buffered Streaming) TCP-based (e.g., www, e-mail, chat, ftp, p2p file sharing, progressive video, etc.)	
7 (NOTE 3)		7	100 ms (NOTE 1)	$10^{-3}$	Voice, Video (Live Streaming) Interactive Gaming	
8 (NOTE 5)		8	9	300 ms (NOTE 1)	$10^{-6}$	Video (Buffered Streaming) TCP-based (e.g., www, e-mail, chat, ftp, p2p file sharing, progressive video, etc.)
9 (NOTE 6)						
69 (NOTE 9)		0.5	60 ms (NOTE 7)	$10^{-6}$	Mission Critical delay sensitive signalling (e.g., MC-PTT signalling)	
70		5.5	200 ms (NOTE 7)	$10^{-6}$	Mission Critical Data (e.g. example services are the same as QCI 6/8/9)	