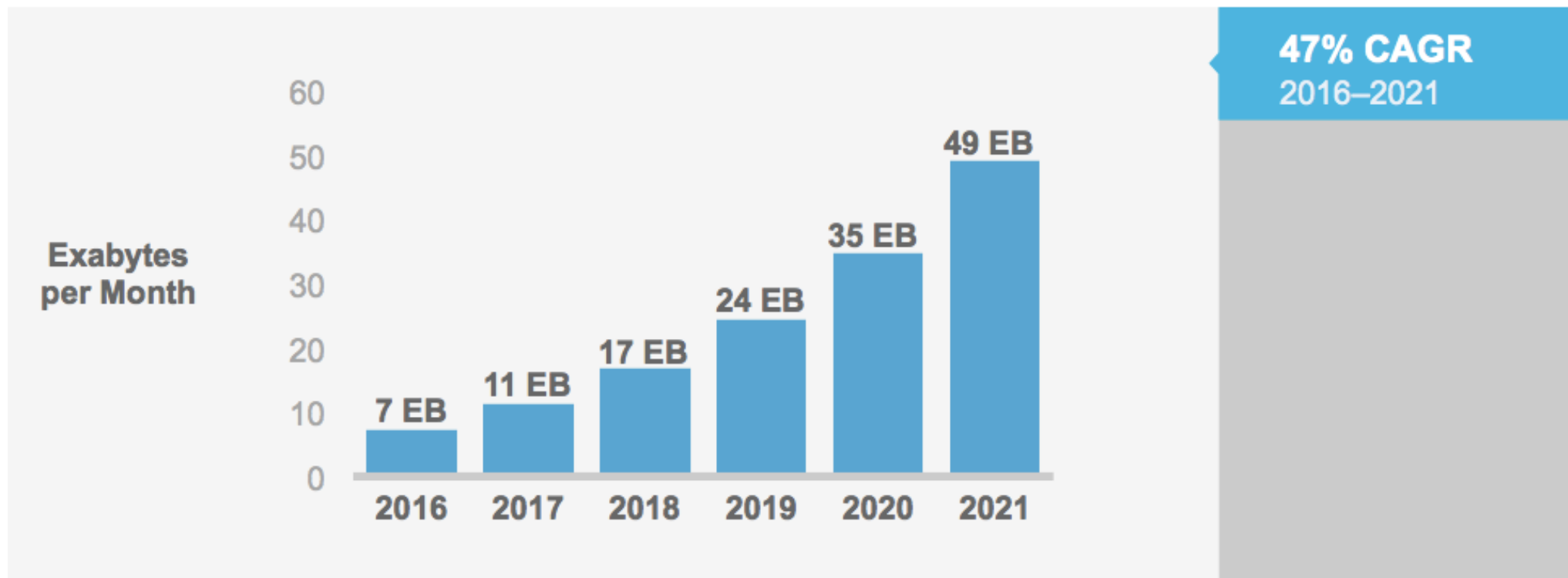


# 8. Komutacija u mobilnim telekomunikacionim mrežama

# Mobile Data cunami!!!!



Source: Cisco VNI Global Mobile Data Traffic Forecast, 2016–2021



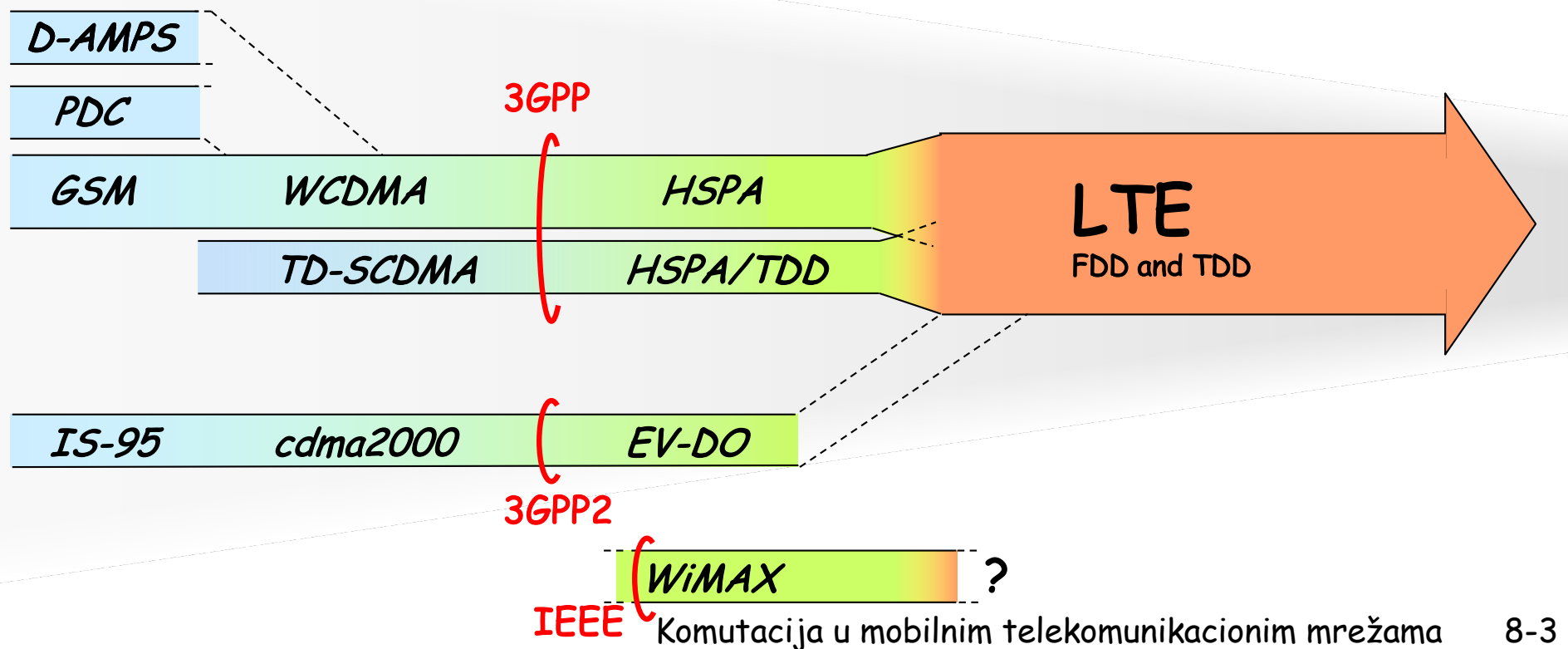
© 2017 Cisco and/or its affiliates. All rights reserved. Cisco Public

6

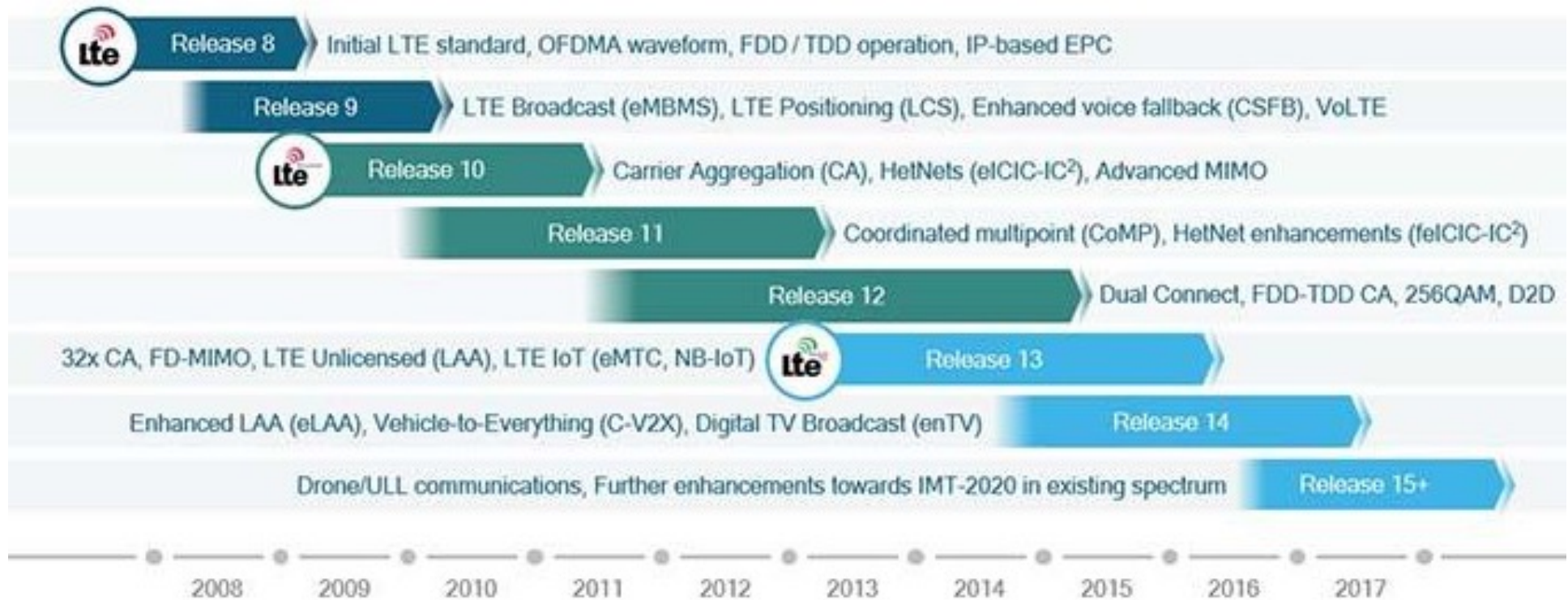
# Globalna konvergencija

LTE je trenutno vodeća mobilna širokopojasna tehnologija

- Konvergencija 3GPP i 3GPP2 tehnologija
- Konvergencija FDD i TDD u jednu tehnologiju



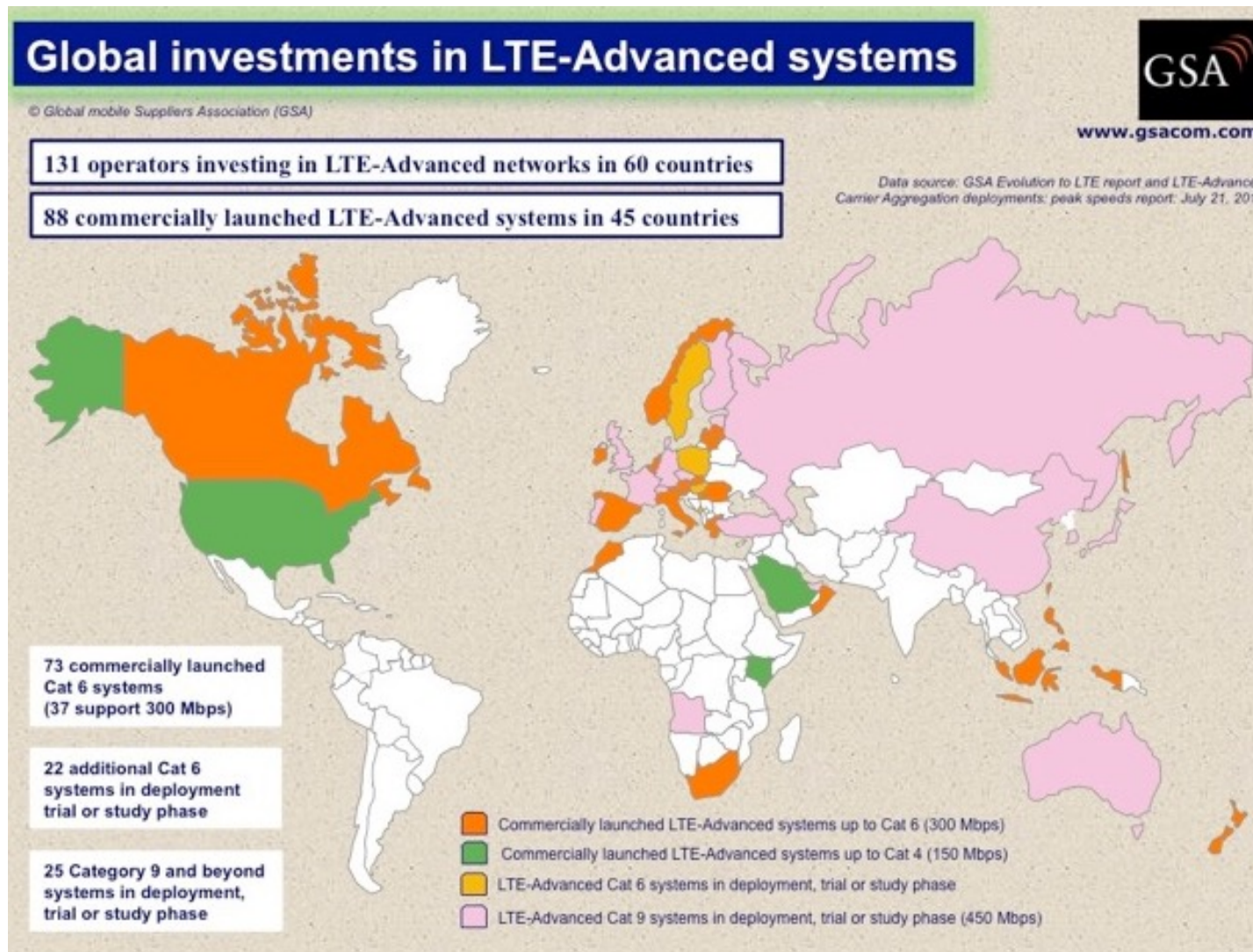
# Razvoj LTE



LTE  
LTE Advanced 4  
LTE Advance Pro

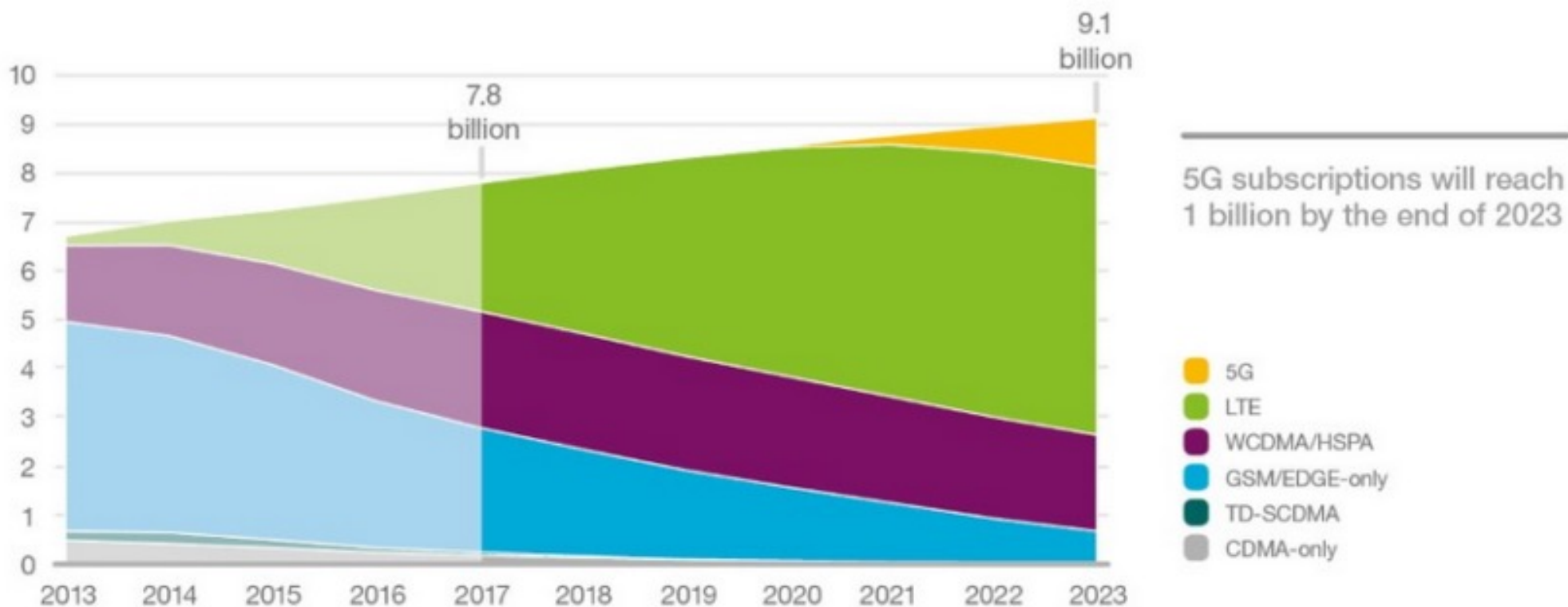


# LTE-advanced implementacija 89 komercijalnih mreža



# Broj pretplatnika po tehnologijama 2013-2023 (procjena)

Mobile subscriptions by technology (billion)



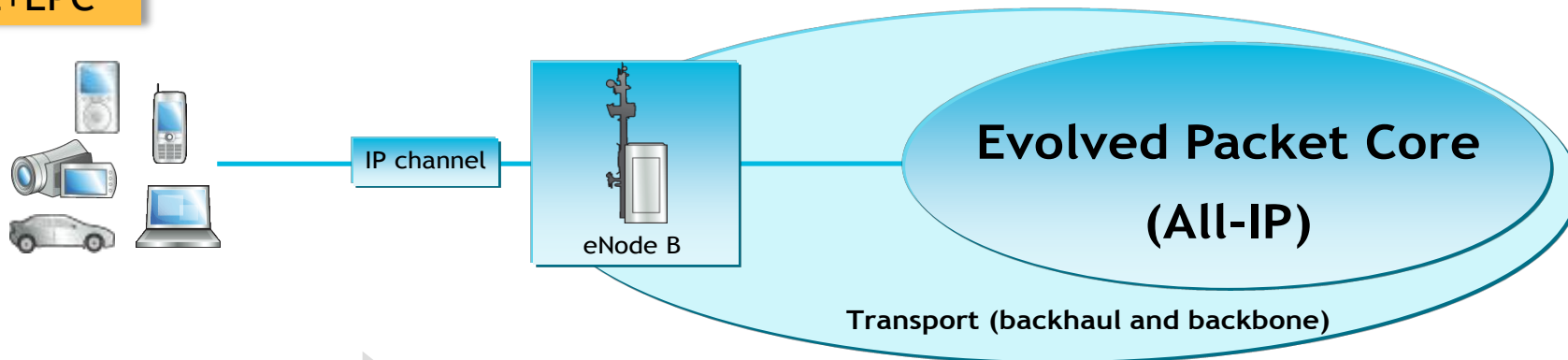
Note: IoT connections and Fixed Wireless Access (FWA) subscriptions are not included

Ericsson Mobility Report November 2017

# LTE mrežna arhitektura

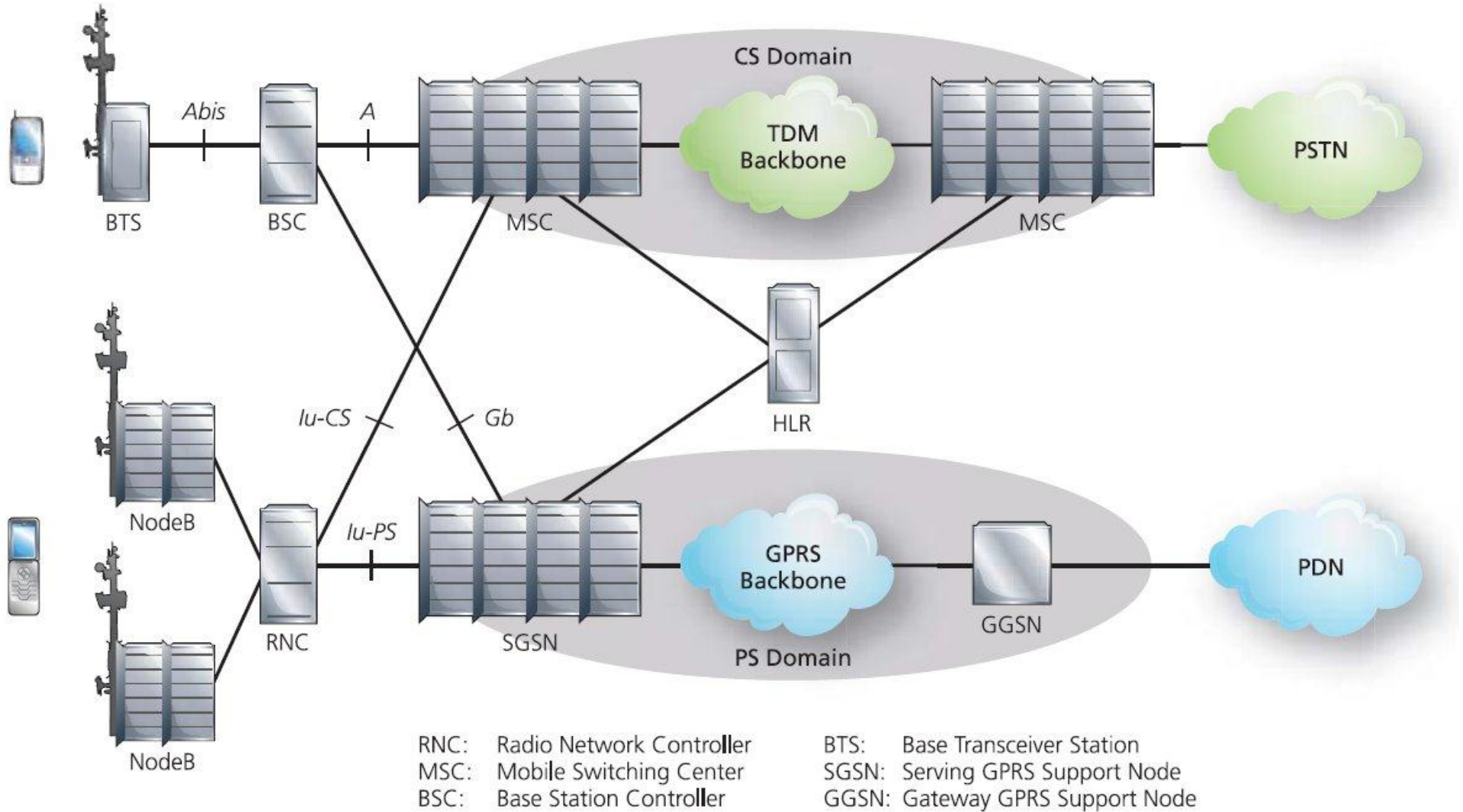
Evolved Packet Core (3GPP TS 23.401 V14.5.0 (2017-09))

LTE+EPC



- ❑ Jezgro mobilne mreže koje nudi *end-to-end* IP (all IP)
- ❑ Jasna podjela kontrolne ravni i ravni podataka
- ❑ Jednostavna flat IP arhitektura sa jednim jezgrom
- ❑ eNodeB=E-UTRAN
- ❑ Evolved Packet System=EPC+E-UTRAN
- ❑ Multi pristupna mreža
  - 3GPP radio pristup (LTE, 3G i 2G)
  - Ne 3GPP radio pristup (HRPD; WLAN i WiMAX)
  - Fiksni pristup (Ethernet, DSL, kablovska i optika)
- ❑ Tri ključne paradigme: mobilnost, zaštita i politika menadžmenta

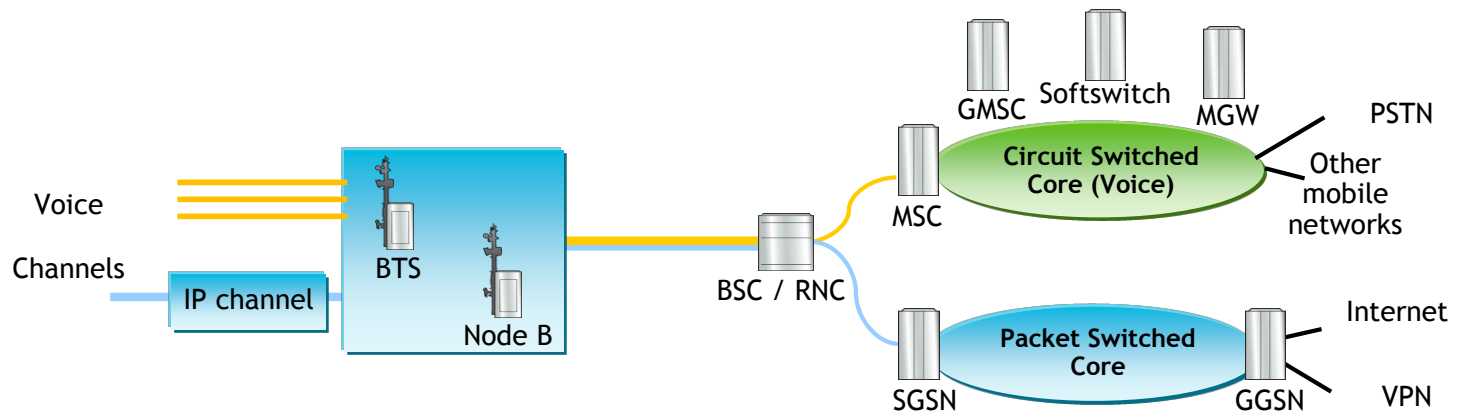
# Jezgra 2G/3G mreža



# EPC jezgro

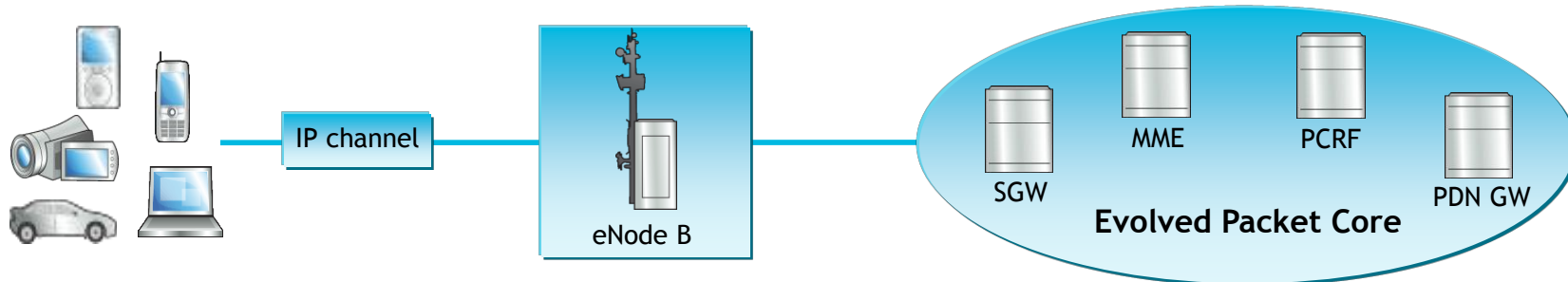
## 2G/3G

GSM  
GPRS  
EDGE  
UMTS  
HSPA



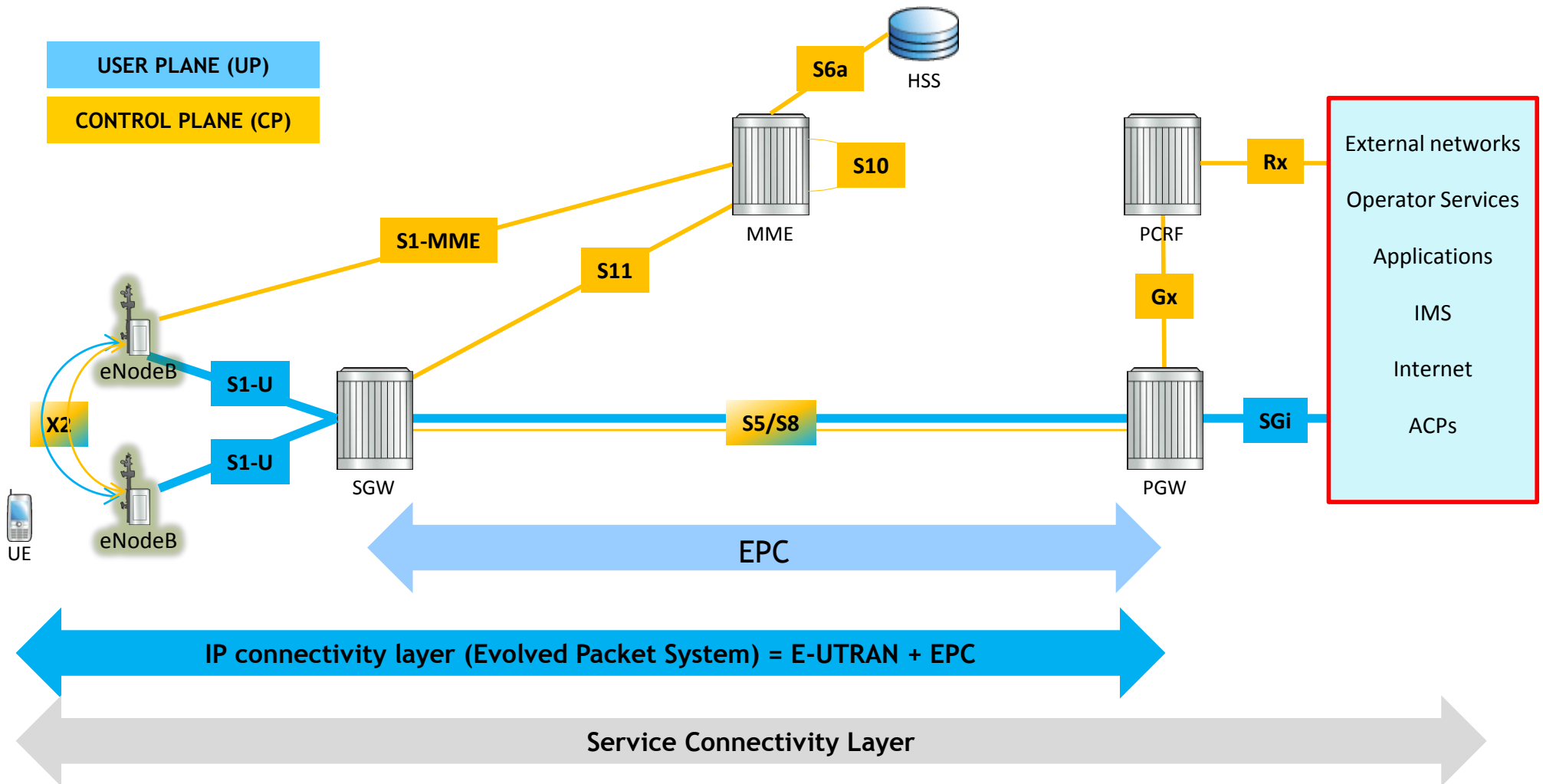
- Serving Gateway (SGW)
- Packet Data Network (PDN) Gateway (PGW)
- Mobility Management Element (MME)
- Policy and Charging Rules Function (PCRF)

## LTE/EPC



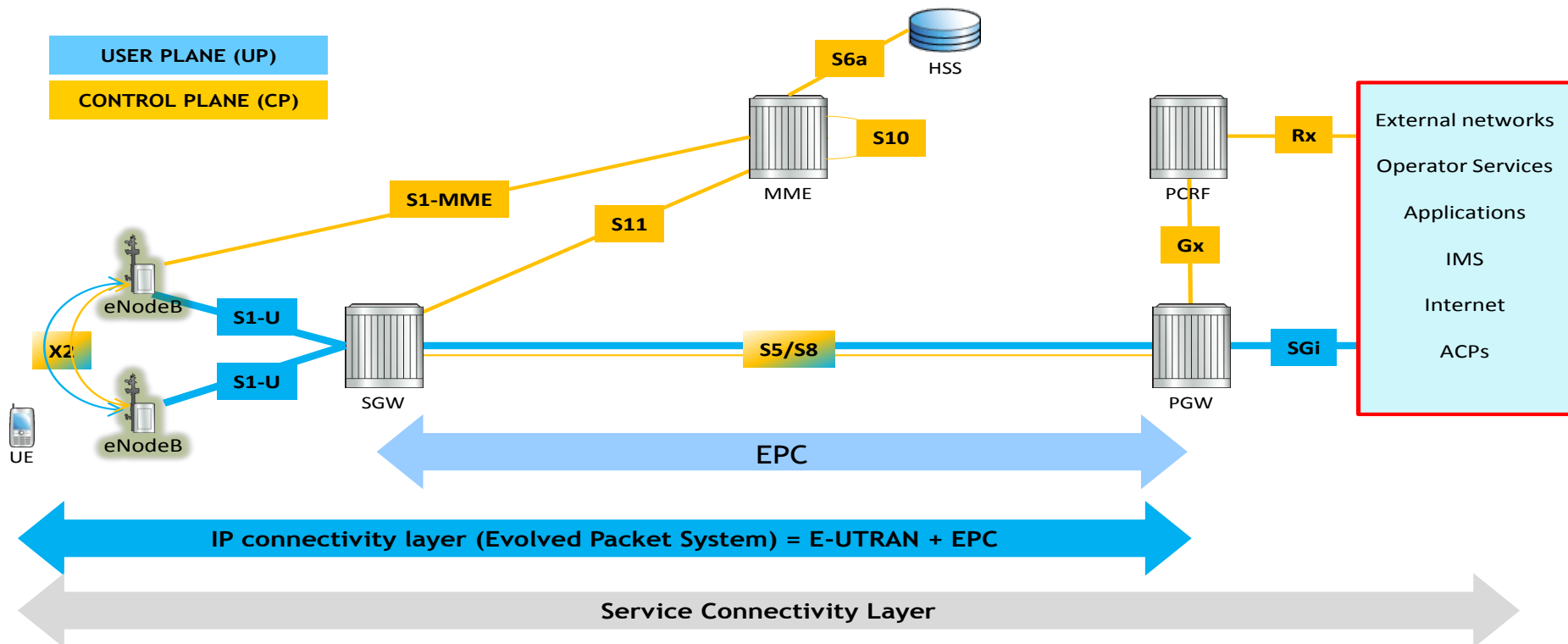


# EPC elementi i interfejsi



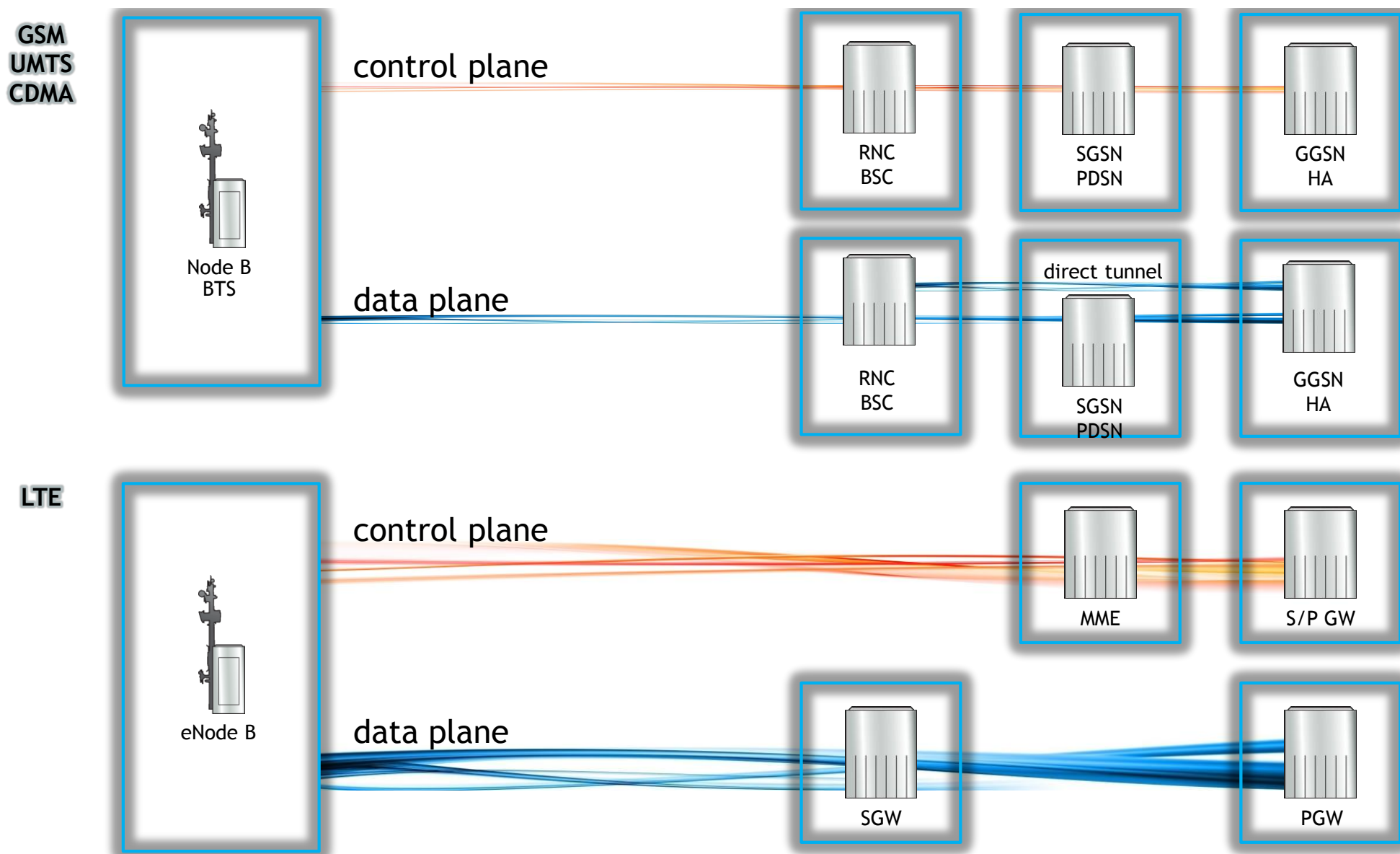
Serving Gateway (SGW)  
 Packet Data Network (PDN) Gateway (PGW)  
 Mobility Management Element (MME)  
 Policy and Charging Rules Function (PCRF)  
 Access Control Policy (ACP)  
 Home Subscriber Server (HSS)

# EPC elementi i interfejsi



- ❑ Serving Gateway (SGW) poslužuje veliki broj eNode-ova fokusirajući se na skalabilnost i zaštitu
- ❑ Packet Data Network (PDN) Gateway obavlja IP menadžment, povezivanje na eksterne mreže podataka, fokusira se na visoko skalabilno povezivanje i QoS podršku
- ❑ Mobility Management Element (MME) je element kontrolne ravnii, odgovoran za upravljanje velikim brojem konekcija i mobilnosti (hiljade eNodeB-ova)
- ❑ Policy and Charging Rules Function (PCRF) kontroliše tokove na nivou mreže: detekcija, tarifiranje na bazi QoS-a i tokova, autorizuju korišćenja QoS resursa mreže (upravljaju milionima tokova podataka)

# Flat IP = manje hijerarhije znači manje kašnjenje





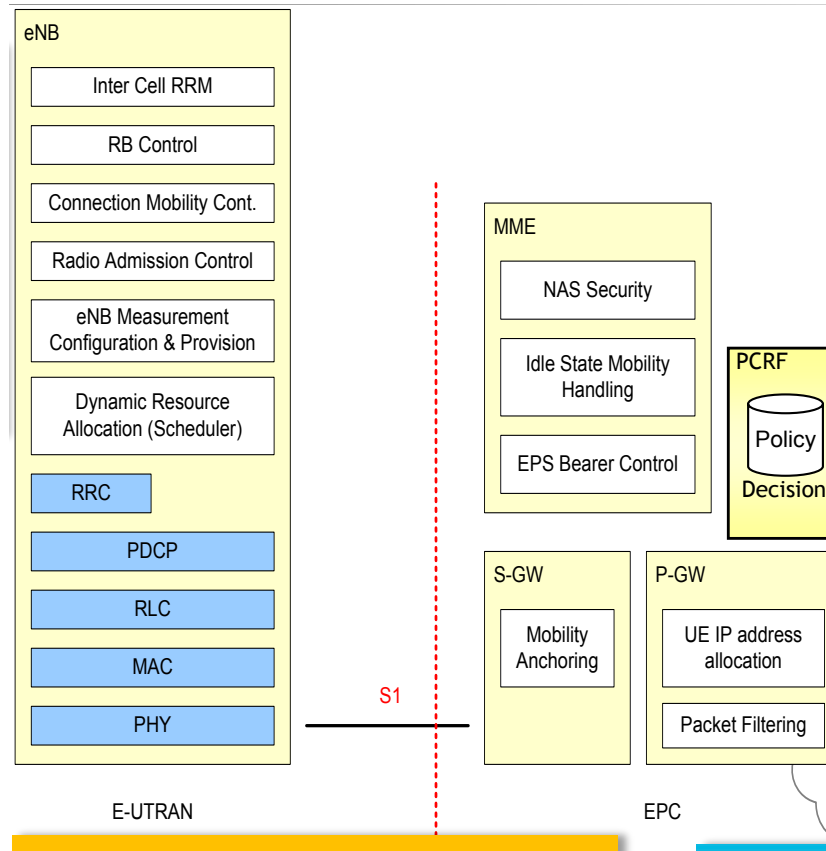
# Pregled EPC komponenti

## eNodeB: sve radio pristupne funkcije

- Kontrola radio pristupa
- Raspoređivanje UL i DL
- Raspoređivanje i prenos paging-a i sistemskog broadcast-a
- Kompresija IP zaglavlja (PDCP)
- Outer-ARQ (RLC)

## Mobility Management Entity

- Autentikacija
- Menadžment *tracking area list-a*
- Dostupnost UE koji je u idle modu
- Izbor S-GW/PDN-GW
- Signalizacija čvora unutar jezgra mreže za mobilnost između 2G/3G i LTE
- Funkcije menadžmenta nosioca



## Serving Gateway

- Anchor lokalne mobilnosti za inter-eNB handovere
- Anchoring mobilnosti za inter-3GPP handover-e
- Baferovanje DL paketa u idle modu
- Zakonsko presrijetanje
- Rutiranje i prosleđivanje

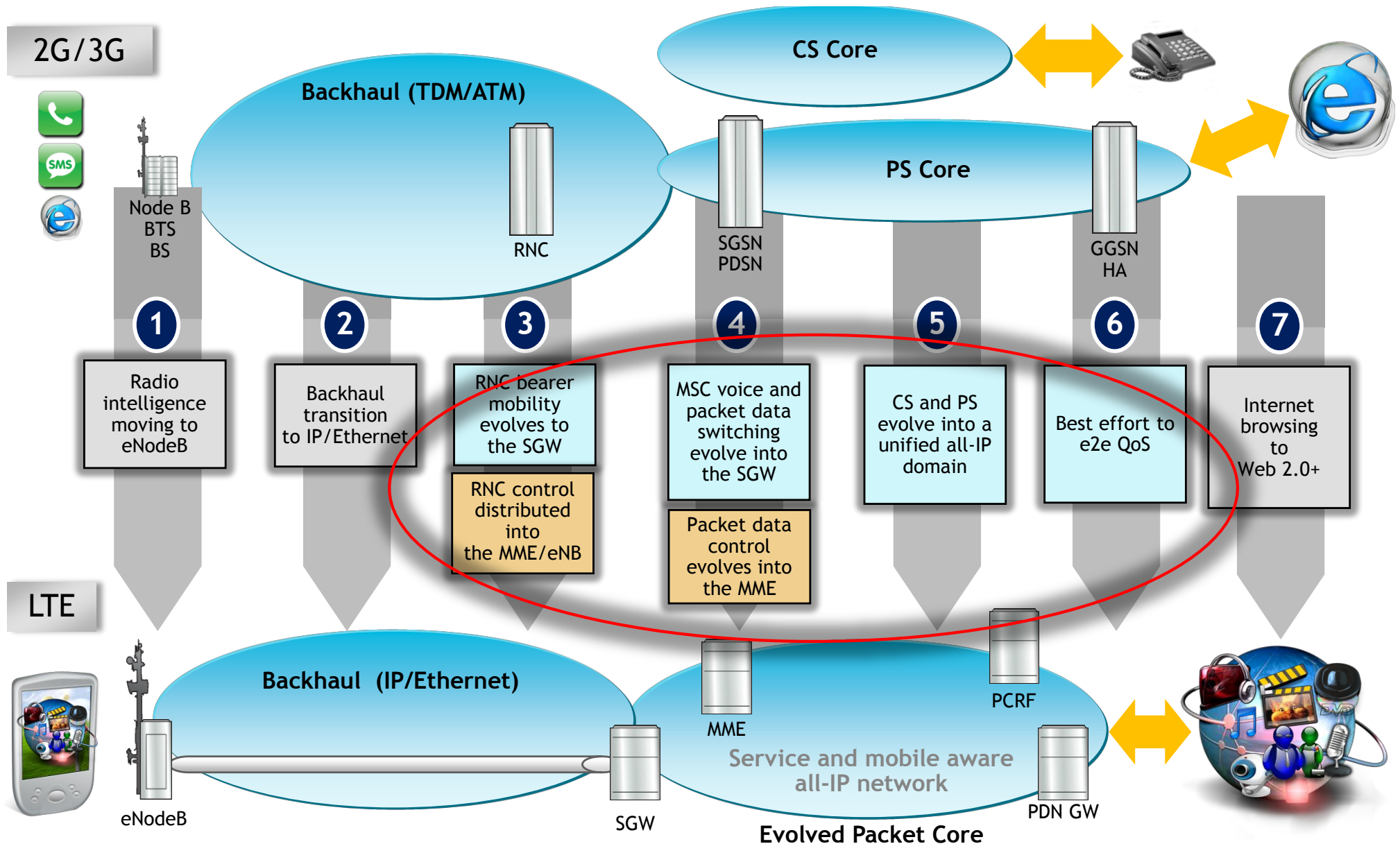
## Policy, Charging & Rules Function

- Mrežna kontrola SDF-a, detekcija, tarifiranje QoS i tokova
- Odlučivanje dinamičke politike u tretiranju toka servisnih podataka u PCEF (xGW)
- Autorizacija QoS resursa

## PDN Gateway

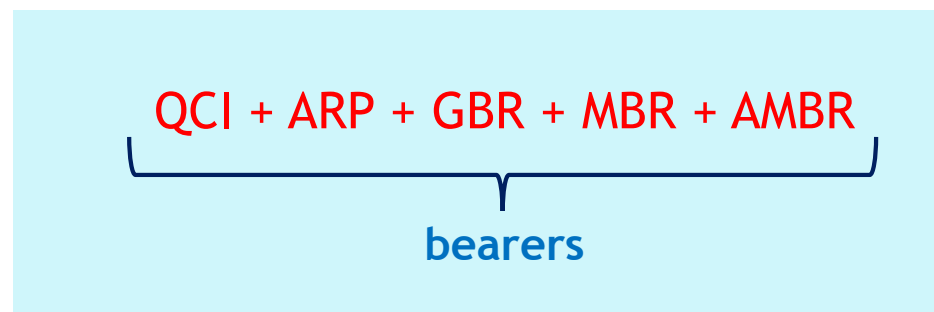
- IP anchor tačka za nosioce
- Alokacija IP adrese UE
- Filtiranje paketa po korisniku
- Povezivanje na paketsku mrežu

# All-IP mobilna transformacija



# LTE QoS terminologija

- ❑ Service Data Flow = IP flow
- ❑ SDF-ovi se mapiraju u nosioce od strane IP gateway-ja
- ❑ QoS Class Identifier (QCI)
  - ❑ Broj koji se koristi kao referenca za specifične parametra čvora koji kontroliše prosleđivanje paketa (težinski faktori raspoređivača, pragovi kontrole pristupa, pragovi kontrole bafera,...) koji su prekonfigurisani od operatora vlasnika pristupnog čvorišta
- ❑ Allocation and Retention Priority (ARP)
  - ❑ Primarna namjena ARP-a odlučivanje da li uspostavljanje/modifikacija zahtjeva može biti prihvaćeno ili odbijeno u slučaju limitiranosti resursa
- ❑ Guaranteed Bit Rate (GBR)
- ❑ Maximum Bit Rate (MBR)
- ❑ Aggregate Maximum Bit Rate (AMBR) (za ne-GBR nosioce)



# LTE QCI

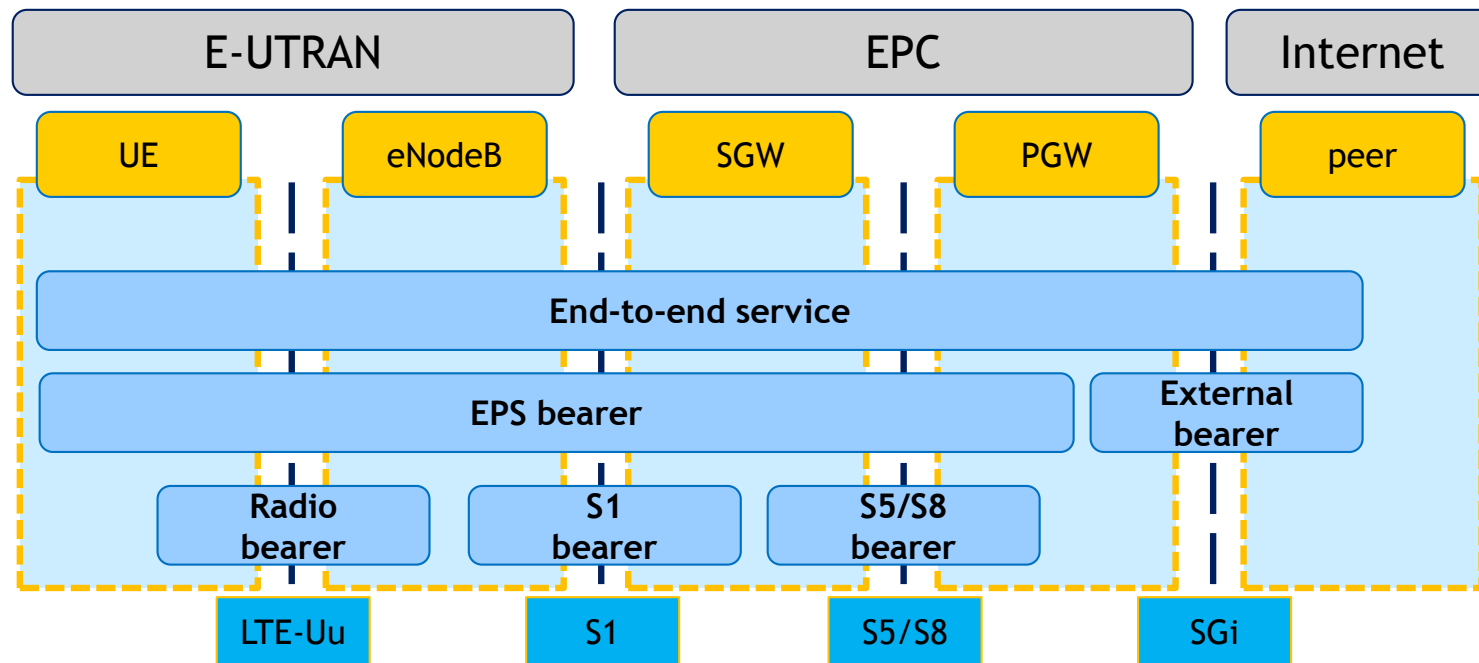
## (QoS Class Identifier, 3GPP TS23.203, rel 14)

5QI	Tip resursa	Nivo prioriteta	Kašnjenje paketa	Vjerovatnoća greške po paketu	Veličina prozora	Primjer servisa
1	GBR	2	100ms	$10^{-2}$	TBD	Konverzacioni govor
2		4	150ms	$10^{-3}$	TBD	Konverzacioni video (Live streaming)
3		3	50ms	$10^{-3}$	TBD	Igre u realnom vremenu, V2X poruke
4		5	300ms	$10^{-6}$	TBD	Ne-konverzacioni video (buffered streaming)
65		0,7	75ms	$10^{-2}$	TBD	MCPTT govor korisničke ravni
66		2	100ms	$10^{-2}$	TBD	Ne MCPTT govor korisničke ravni
75		2,5	50ms	$10^{-2}$	TBD	V2X poruke
5		Ne GBR	1	100ms	$10^{-6}$	N/A
6	6		300ms	$10^{-6}$	N/A	Video (buffered streaming) i TCP saobraćaj
7	7		100ms	$10^{-3}$	N/A	Govor, Video Live Streaming, Interaktivne igre
8	8		300ms	$10^{-6}$	N/A	Video (buffered streaming) i TCP saobraćaj
9	9		300ms	$10^{-6}$	N/A	Video (buffered streaming) i TCP saobraćaj. Tipični default bearer
69	0,5		60ms	$10^{-6}$	N/A	MCPTT signalizacija osjetljiva na kašnjenje
70	5,5		200ms	$10^{-6}$	N/A	MCPTT prenos podataka (slično kao QCI 6/8/9)
79	6,5		50ms	$10^{-2}$	N/A	V2X poruke

# EPC bearer menadžment

Ravan podataka mora da podrži finu granularnost QoS i izvršavanje funkcija iznad transportnog nivoa i nivoa nosioca

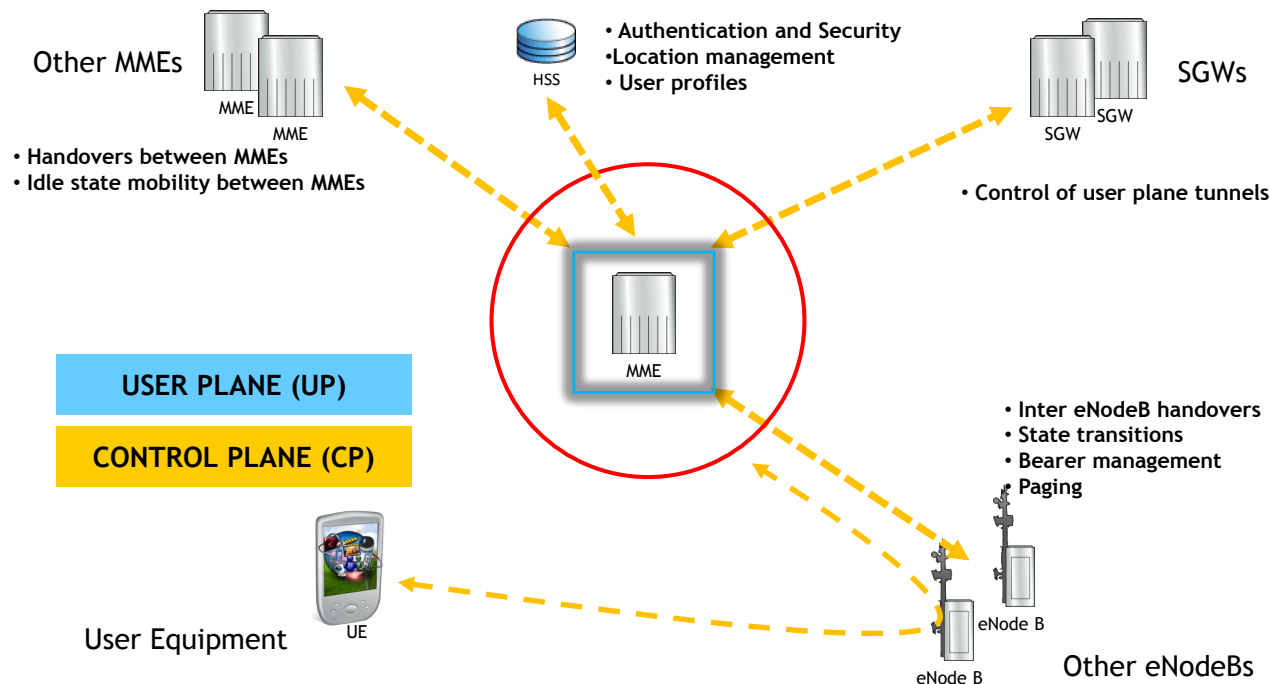
- ❑ UL i DL filteri paketa se definišu za svaki nosilac
- ❑ QoS funkcije (*policing*, oblikovanje, raspoređivanje,...) su implementirane
- ❑ PGW kao *Policy and Charging Enforcement Function* (PCEF) tačka nadzire QoS / SLA za svaki od nosioca (i SDF-ove)



# Mobility Management Entity

MME kontroliše kako UE interaguje sa mrežom preko non-access stratum (NAS) signalizacije

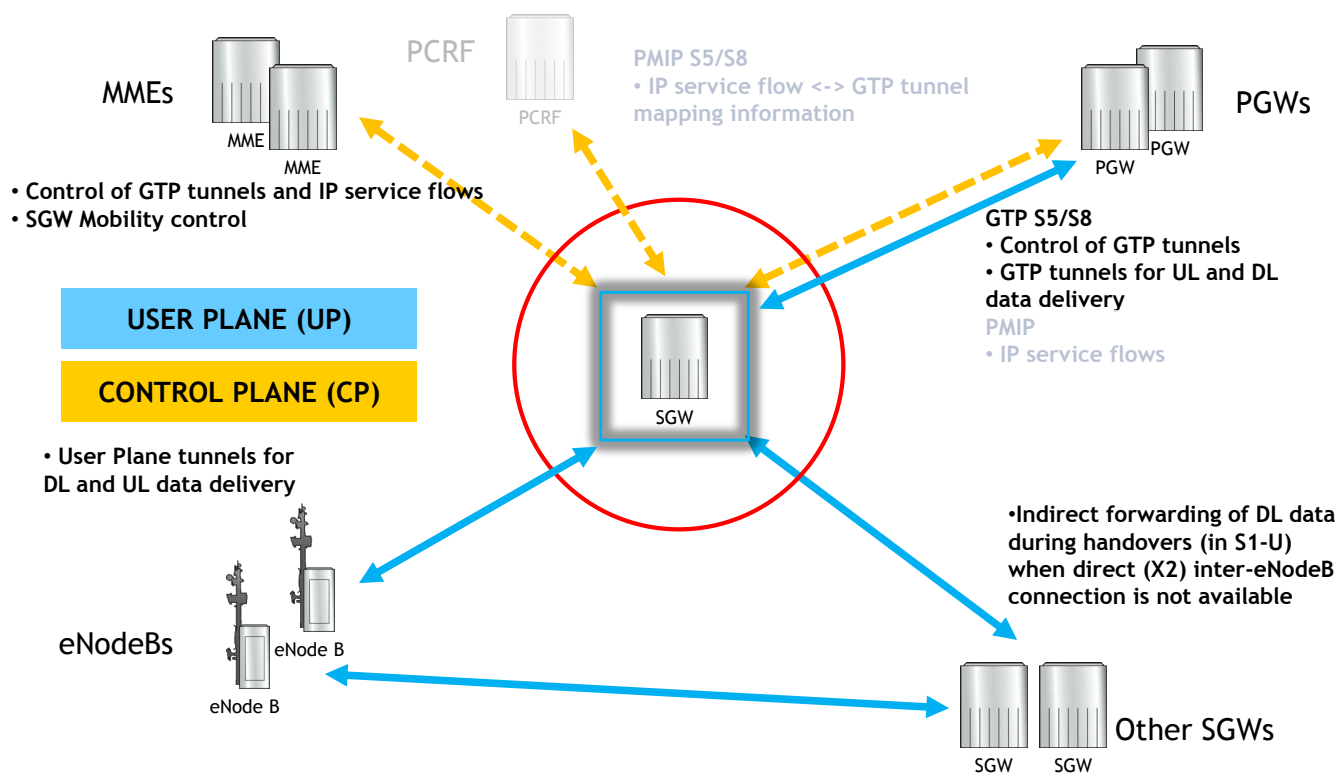
- ❑ Autentikacija UE i kontroliše pristup mrežnim konekcijama
- ❑ Kontroliše attribute uspostavljenog pristupa (dodjela mrežnih resursa)
- ❑ Nadzire stanja EPS Mobility Management (EMM) za sve UE's radi podrške paging-u, roaming-u i handover-u
- ❑ Upravlja stanjima ECM (EPS Connection Management)



# Serving Gateway

SGW je anchor lokalne mobilnosti

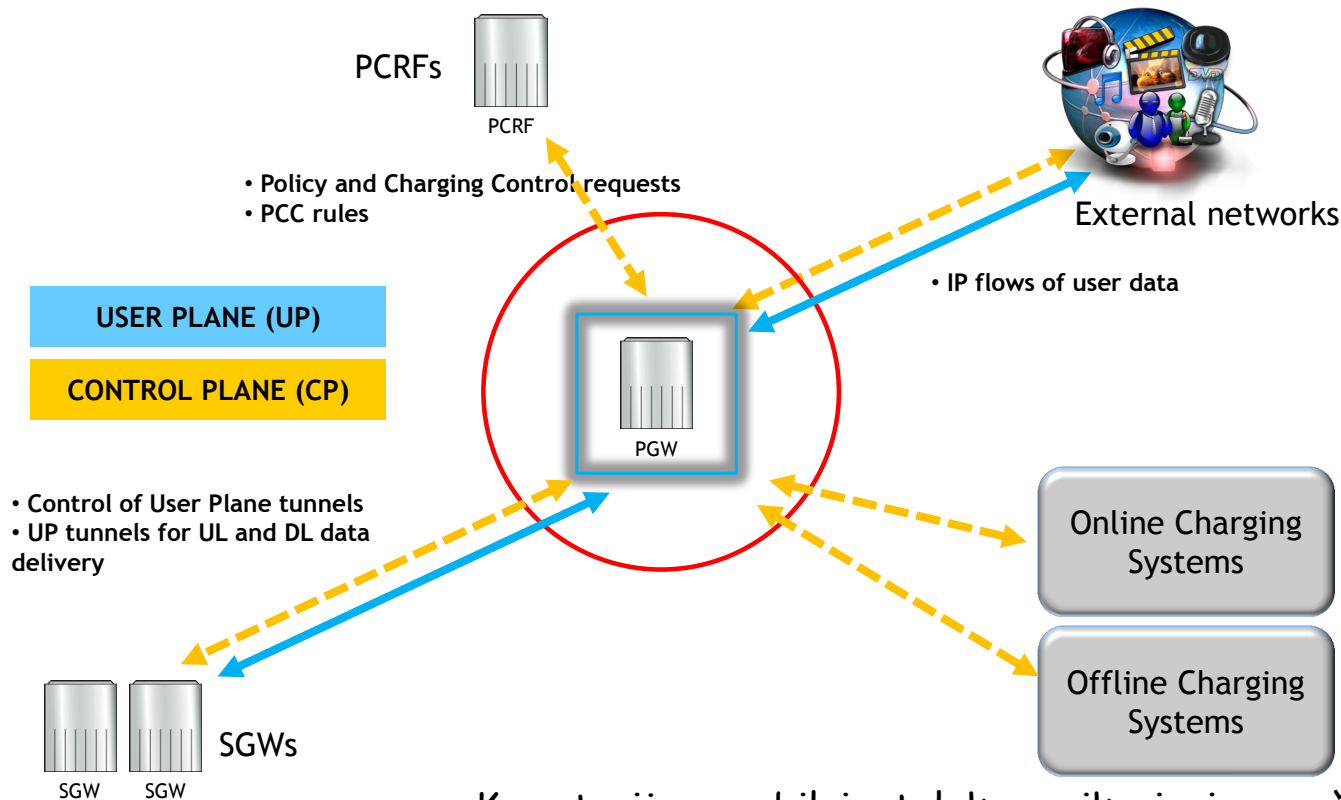
- ❑ Terminira (S1-U) interface prema E-UTRAN
- ❑ Lokalna *anchor* tačka za inter-eNB handover i inter-3GPP mobilnost
- ❑ Podrška ECM-idle mode DL baferovanju paketa i od mreže iniciranom zahtjevu servisa
- ❑ IP rutiranje i prosleđivanje



# Packet Data Network Gateway

PGW je IP anchor za nosioce

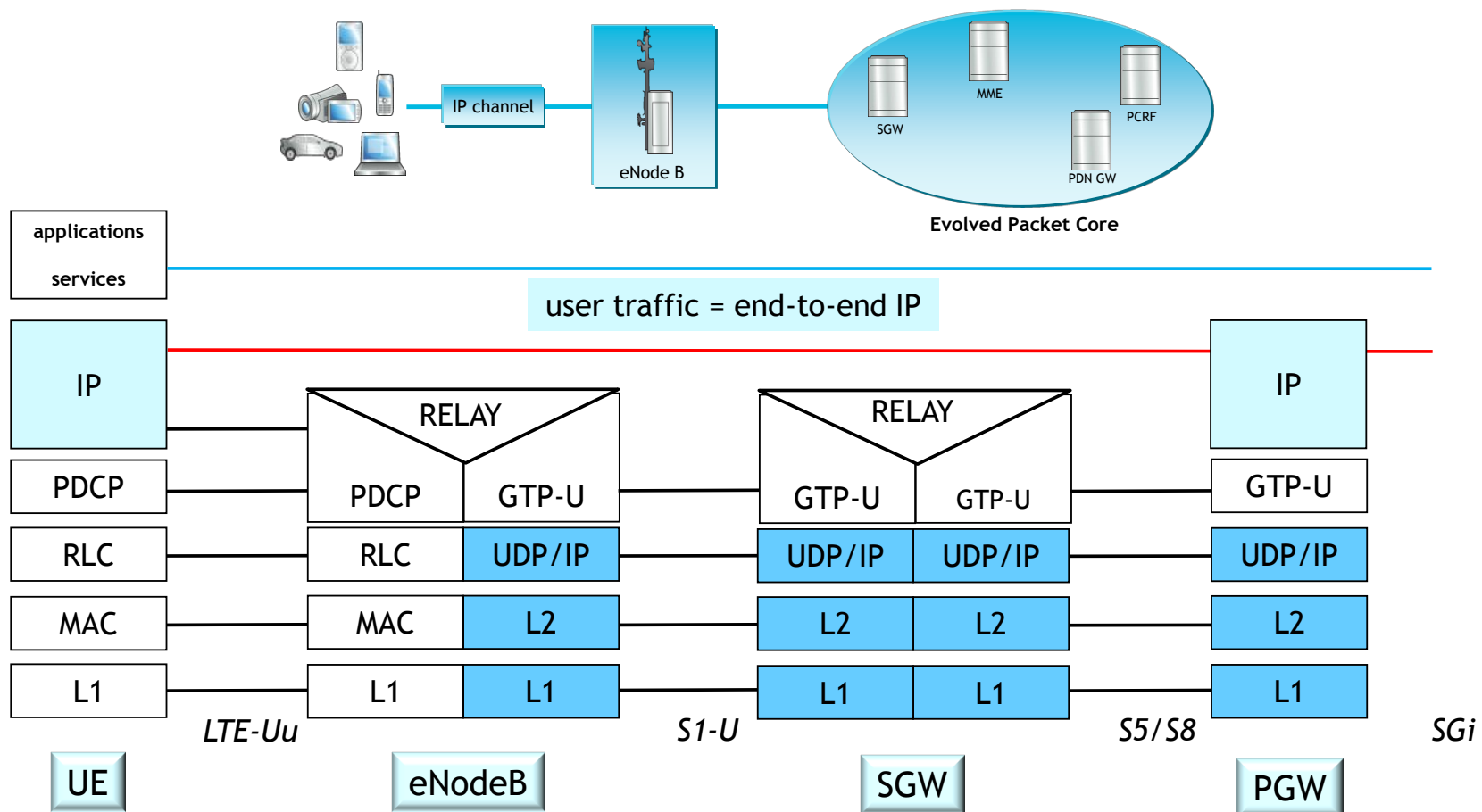
- ❑ Terminira (SGi) interface prema PDN
- ❑ Obezbjeđuje alokaciju IP adresa
- ❑ Obezbjeđuje *Policy and Charging Enforcement Function (PCEF)*
- ❑ Filtriranje paketa na bazi SDF
- ❑ Interface prema *Online i Offline* sistemima tarifiranja





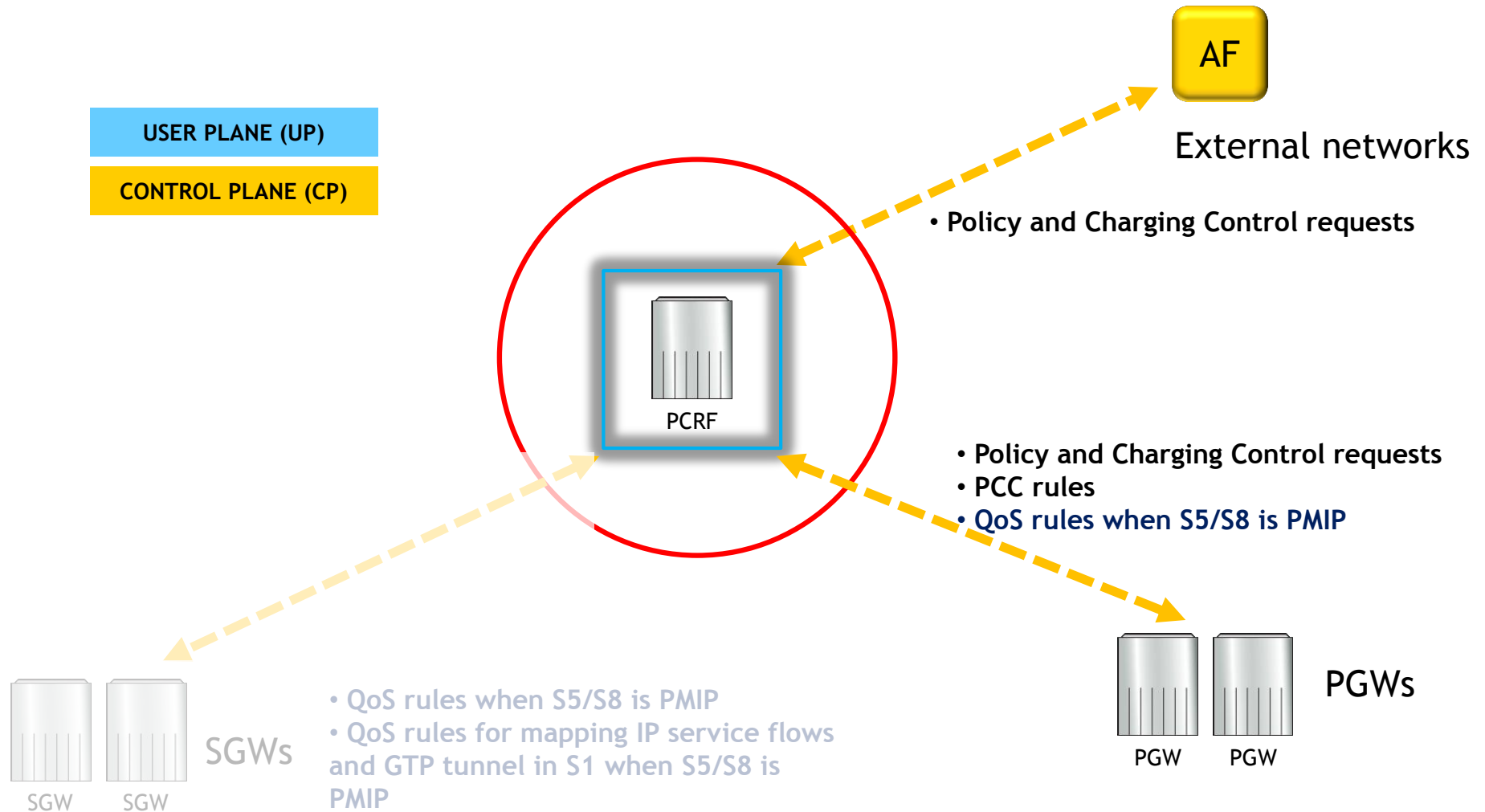
# End-to-end protocol stack korisničke ravni

Ključna uloga SGW i PGW je upravljanje korisničkom ravni (*bearer saobraćaj*)

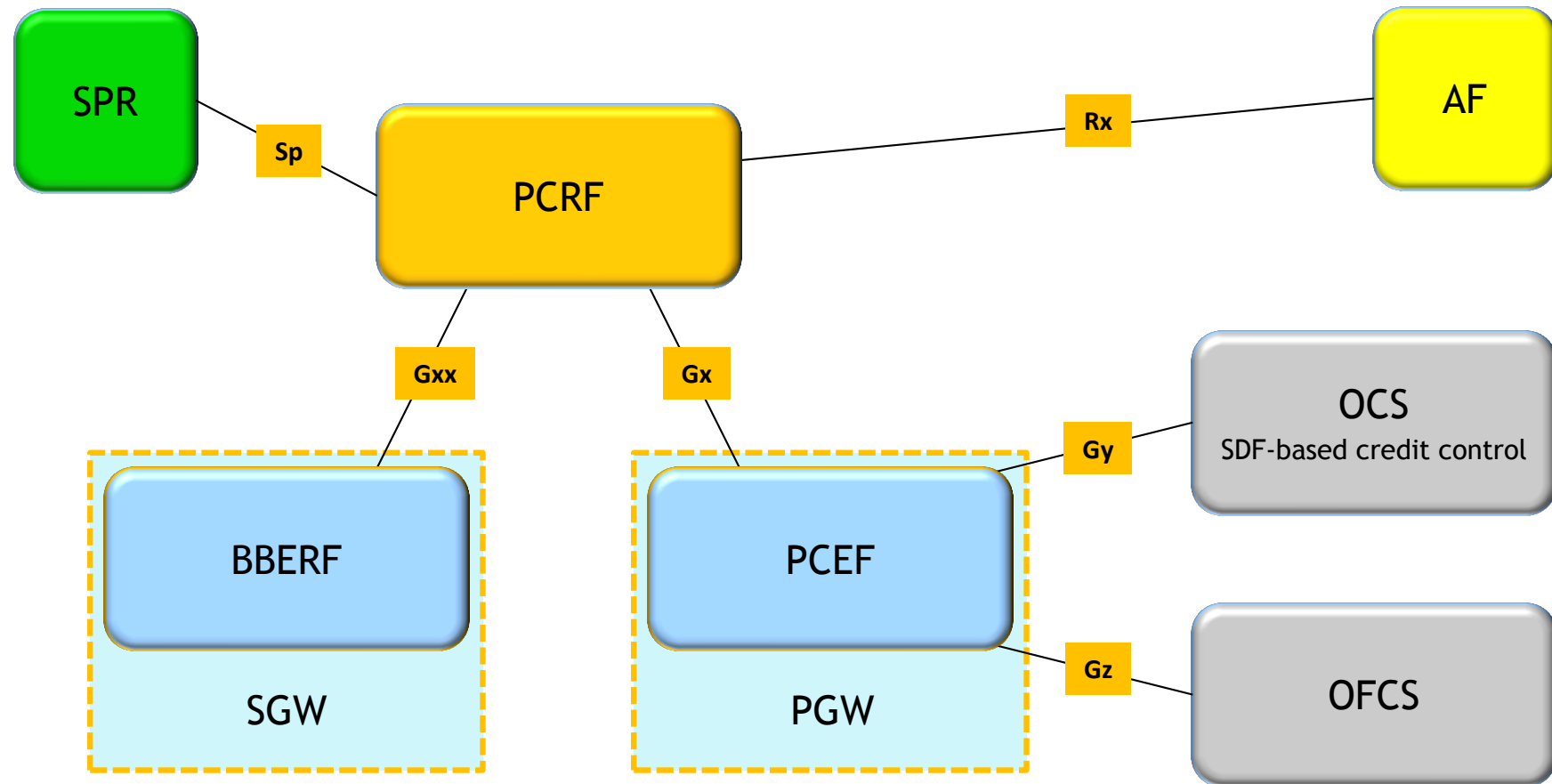


\* S5/S8 reference point between S-GW and PDN-GW can also be GTP based

# PCRF (Policy, Charging & Rules Function)

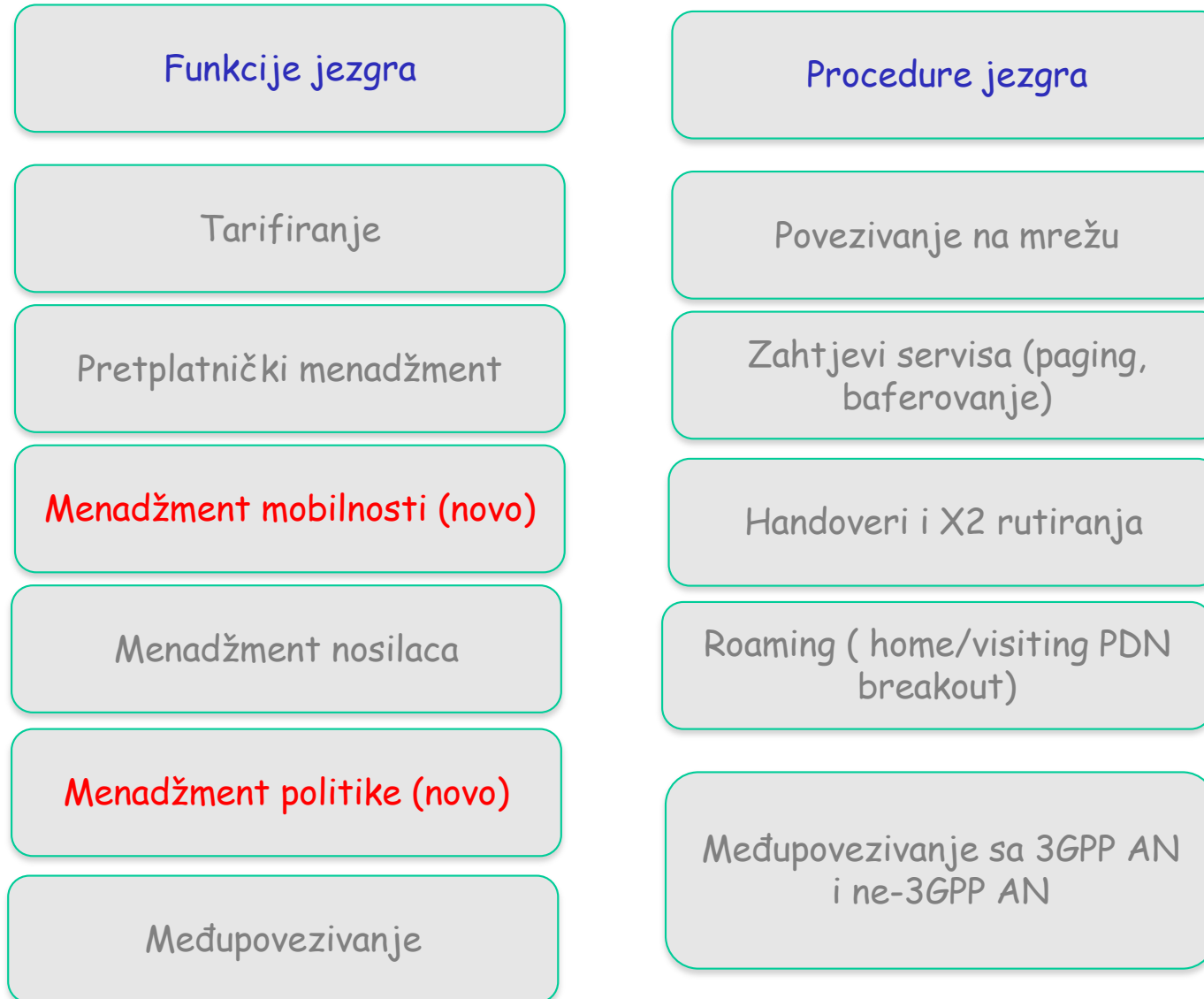


# Policy Charging and Control (PCC) arhitektura



BBERF = Bearer Binding and Event Reporting Function  
OCS = Online Charging System  
OFCS = Offline Charging System  
PCEF = Policy and Charging Enforcement Function  
SPR = Subscription Profile repository

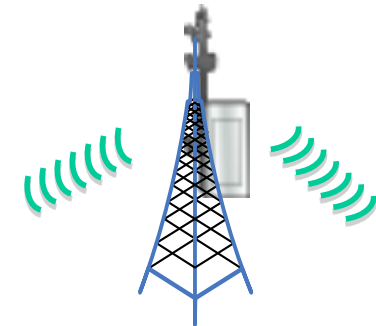
# EPC: Funkcije i procedure jezgra



# Procedura pristupa

- Traženje ćelije
  - Bazna stanica broadcastuje sinhronizacione signale i informaciju o ćeliji
  - UE dobija informaciju fizičkog nivoa
    - UE određuje frekvenciju i sinhronizuje se sa ćelijom
    - Određuje vrijeme početka downlink frejma
    - Određuje identitet ćelije
- Slučajni pristup za uspostavljenje radio linka

Bazna stanica



UE 1



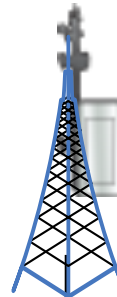
UE 2

# Slučajni pristup

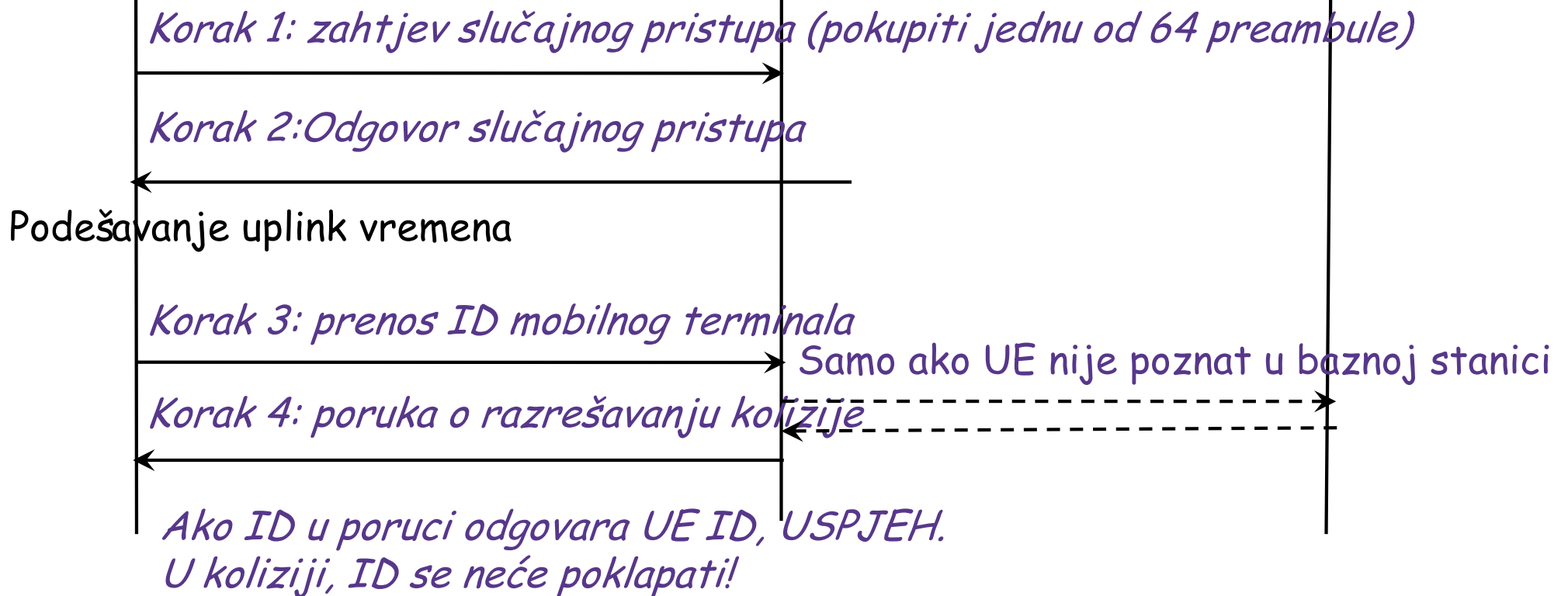
Klijent



Bazna stanica



Jezgro mreže



# Slučajni pristup

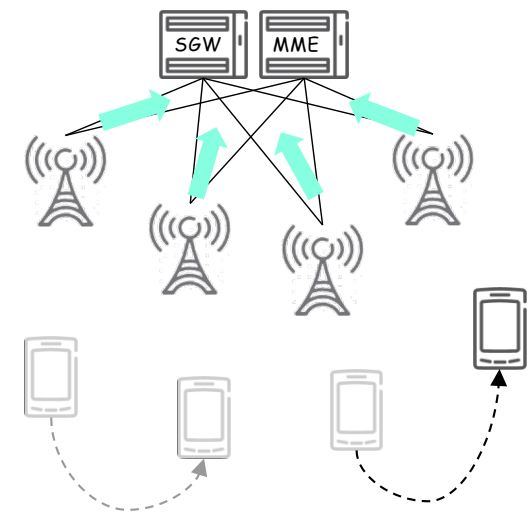
Zašto ne detekcija nosioca kao kod WiFi?

- Bazna stanica pokriva znatno veći prostor od WiFi AP
- UE se ne "vide"
- Kako bazna stanica prima signale od UE?
- Prijemnici bazne stanice su mnogo senzitivniji i skuplji



# Connected mod

- ❑ Koristi se tokom komunikacije
- ❑ Signalna konekcija postoji između mreže i UE
- ❑ CN i RAN prate stanje UE
- ❑ UE lokacija se prati na nivou ćelije
  - Potrebno za predaju podataka
- ❑ Mrežno kontrolisana mobilnost

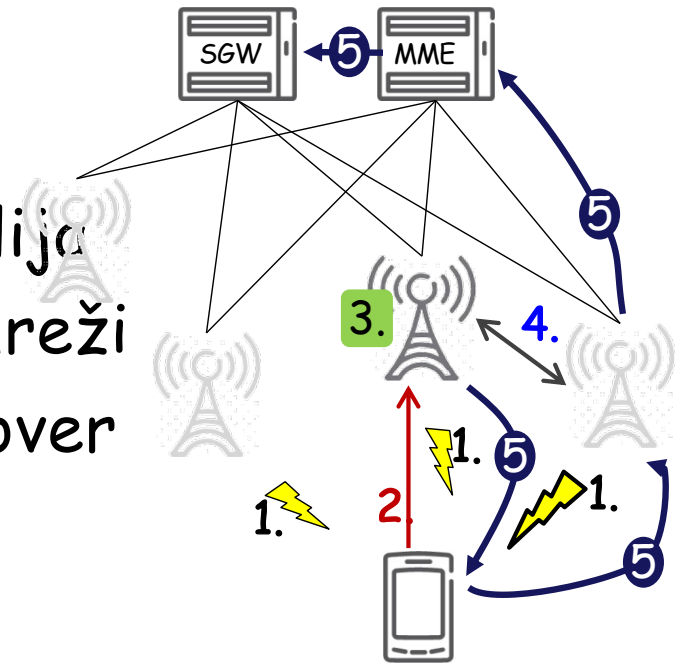




# Mrežno kontrolisana mobilnost

## □ Procedura

1. UE mjeri snagu signala okolnih ćelija
2. UE šalje izvještaj o mjerenjima mreži
3. Mreža odlučuje i kontroliše handover
4. Mreža priprema handover
5. Handover se izvršava

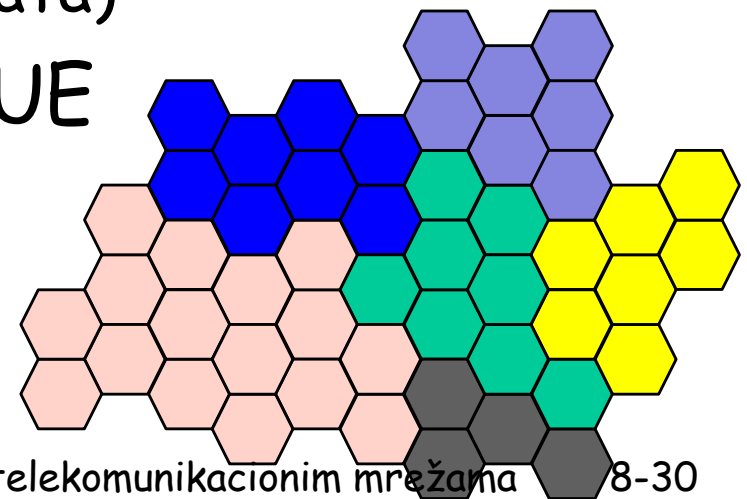


Razlog: Dozvoliti mreži podešavanje handovera

1. Selektovati odgovarajuću ćeliju
2. Mreža ima dodatne informacije za odluku o handoveru
3. Prikuplja i analizira podatke za ćelijsko planiranje i administraciju
4. Sprečava ping-pong efekat
5. Sprečava povezivanje brzih UE na mikroćelije
6. "Disanje" ćelije

# Idle mod

- ❑ Koristi se kada UE ne komunicira
- ❑ UE lokacija se prati na nivou *Tracking Area (TA)*
  - eNodeB-vi oglašavaju svoje TA
  - UE periodično osluškuje oglašavanja (svakih nekoliko sekundi)
  - UE šalje Tracking Area Update prema MME, kada se TA mijenja
  - TAU periodično šalje (svakih 2 sata)
- ❑ eNodeB stanje se ne čuva za UE
- ❑ Kada stigne saobraćaj za UE, UE se šalje *signalizacija*

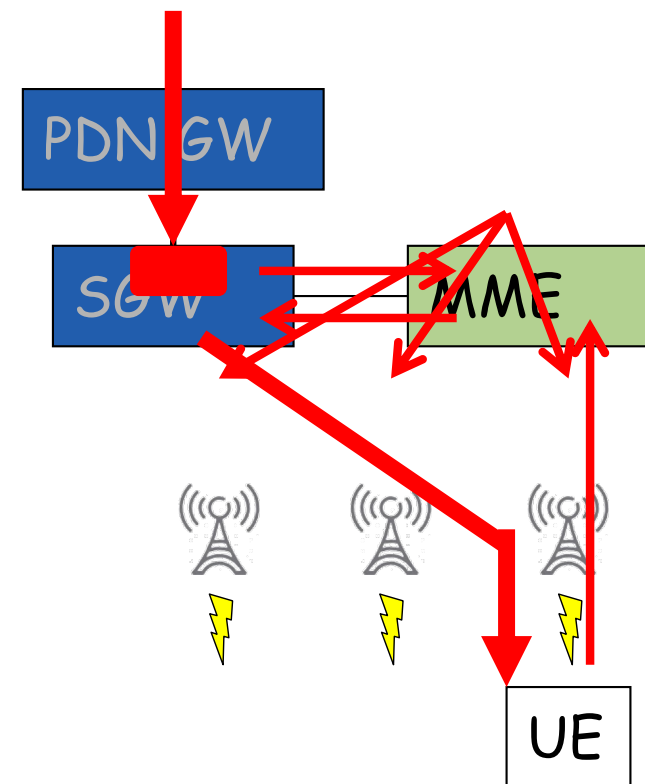


# PAGING

- UE periodično provjerava ako su dostupni podaci
  - Wakes up, (re)izbor ćelije, sa broadcast i paging kanala
  - Isti pseudo-slučajni timing za svakog UE

Ako paket stiže na SGW...

- ...baferuje paket
- ...informiše MME.
- MME šalje Paging Request na sve eNodeB-ove u TA gdje je UE
- eNodeBo-ovi notifikuje UE preko njihovog paging slota
- UE odgovara sa Service Request...
- ...eNodeB stanje se podiže...
- ...i UE prelazi u povezano stanje.

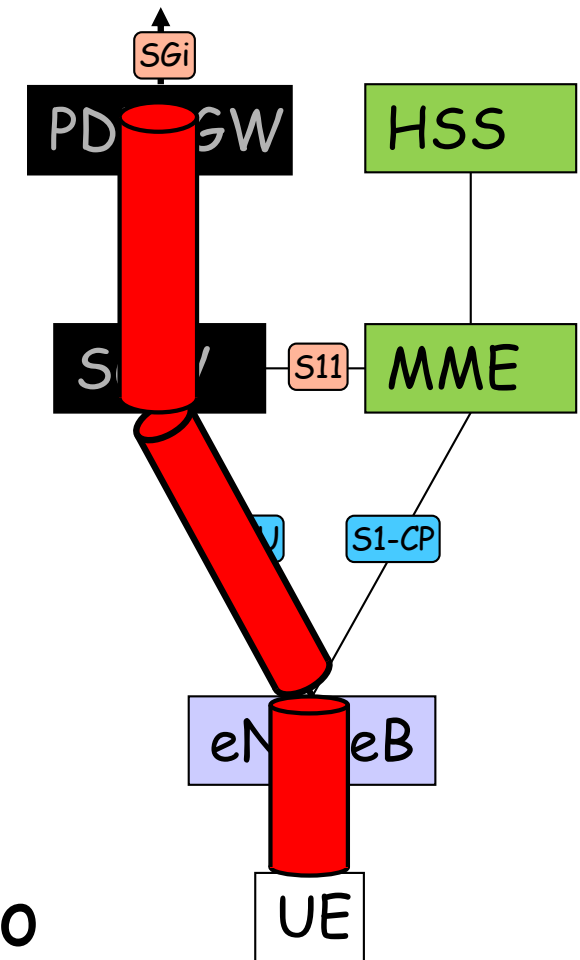


# QoS

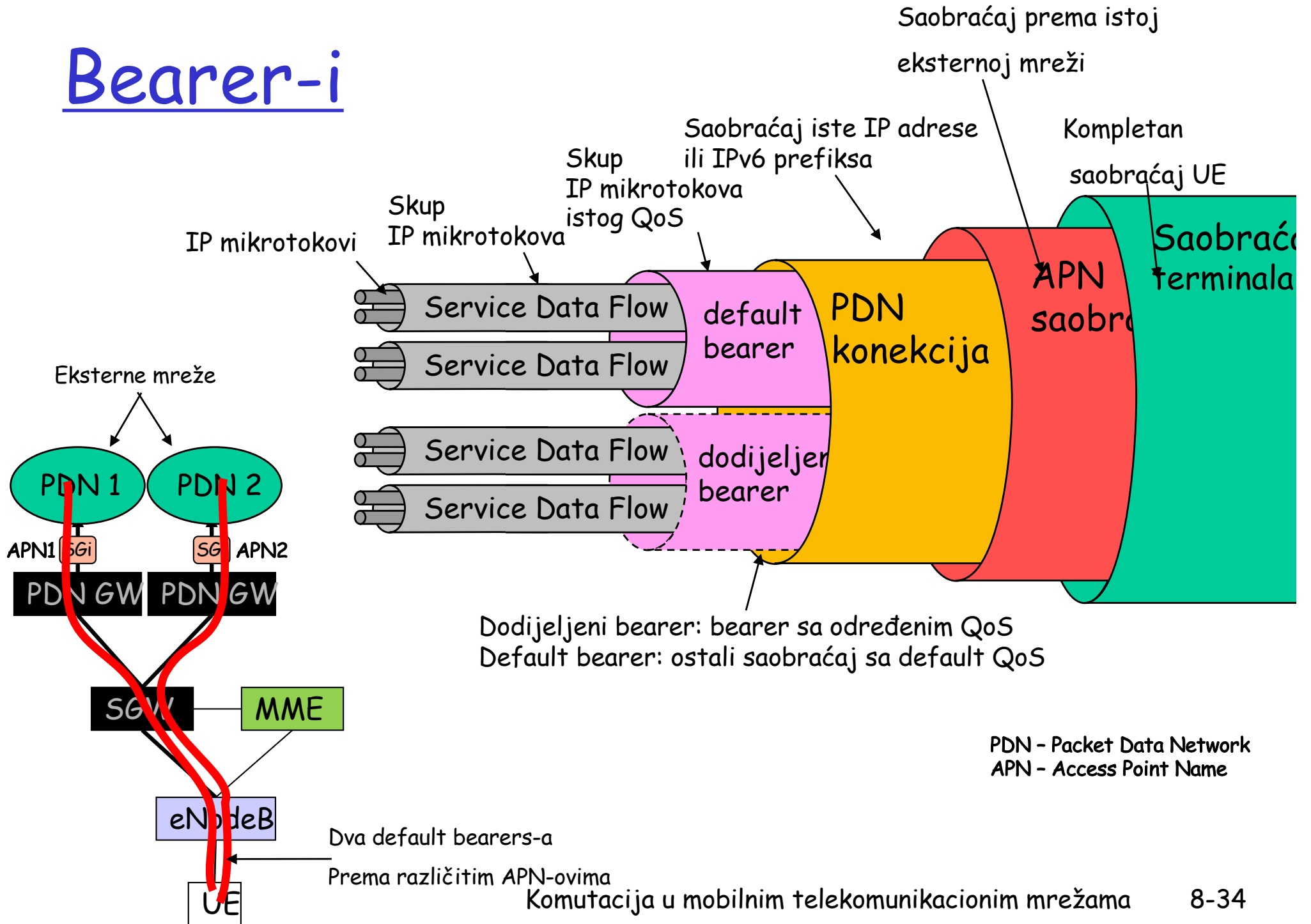
- ❑ Over-provisioning je neizvodljiv
  - Nedostatni resursi (nekoliko desetina MHz)
  - Skup spektar i oprema
- ❑ Sve je mnogo komplikovanije
  - Veća kašnjenja
  - Primarne aplikacije osjetljive na kašnjenje
- ❑ Novac
  - Korisnici hoće nešto više da plate
  - Postoji infrastruktura
  - Razlika u servisima i cijenama

# Bearer-i

- Bearer je L2 transmisioni kanal podataka
  - ...prema eksternoj PDN,
  - ...koristi određenu IP adresu/prefiks,
  - ...nosi skup IP tokova,
  - ...obezbjeduje određeni QoS.
- U 2G/3G poznat kao "PDP Context"
- Uspostavljanje Bearer se eksplicitno signalizira
  - U LTE jedan bearer je uvijek uspostavljen

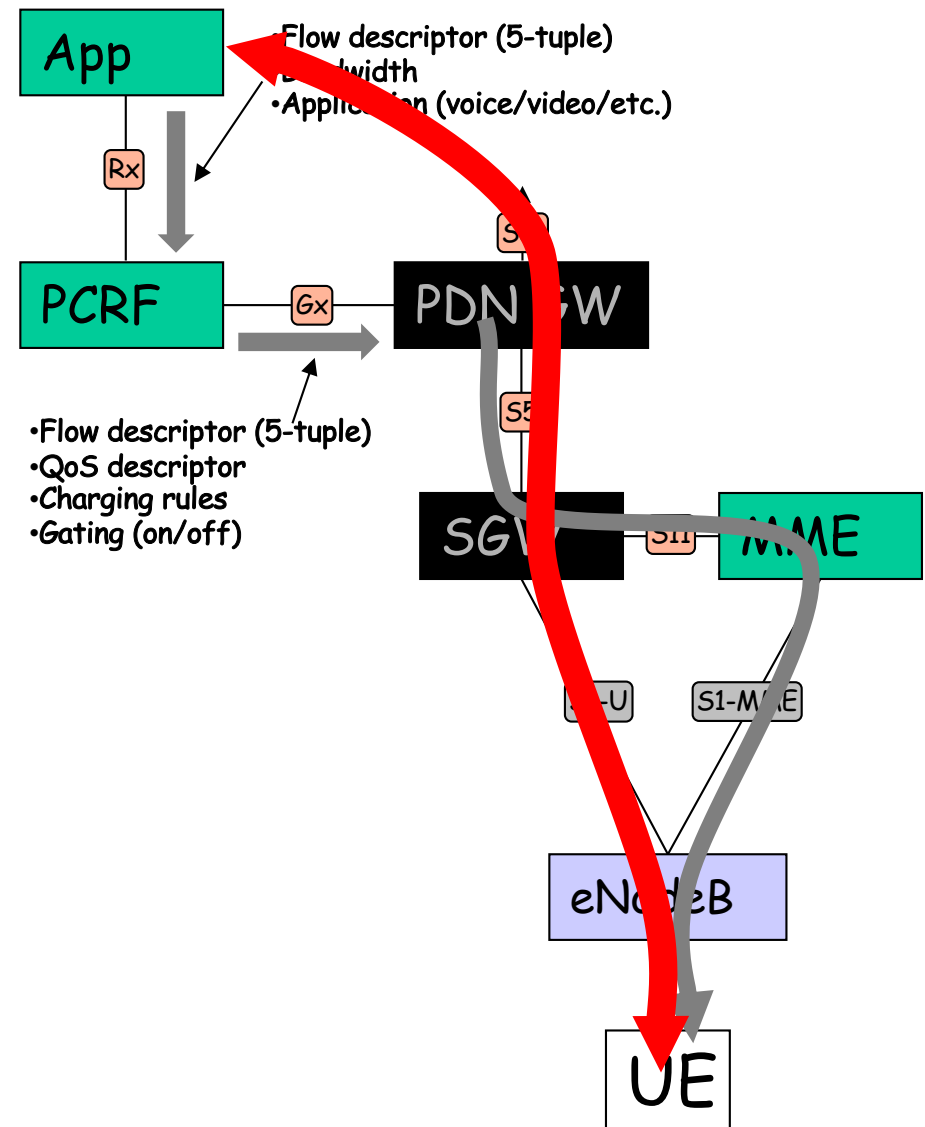


# Bearer-i



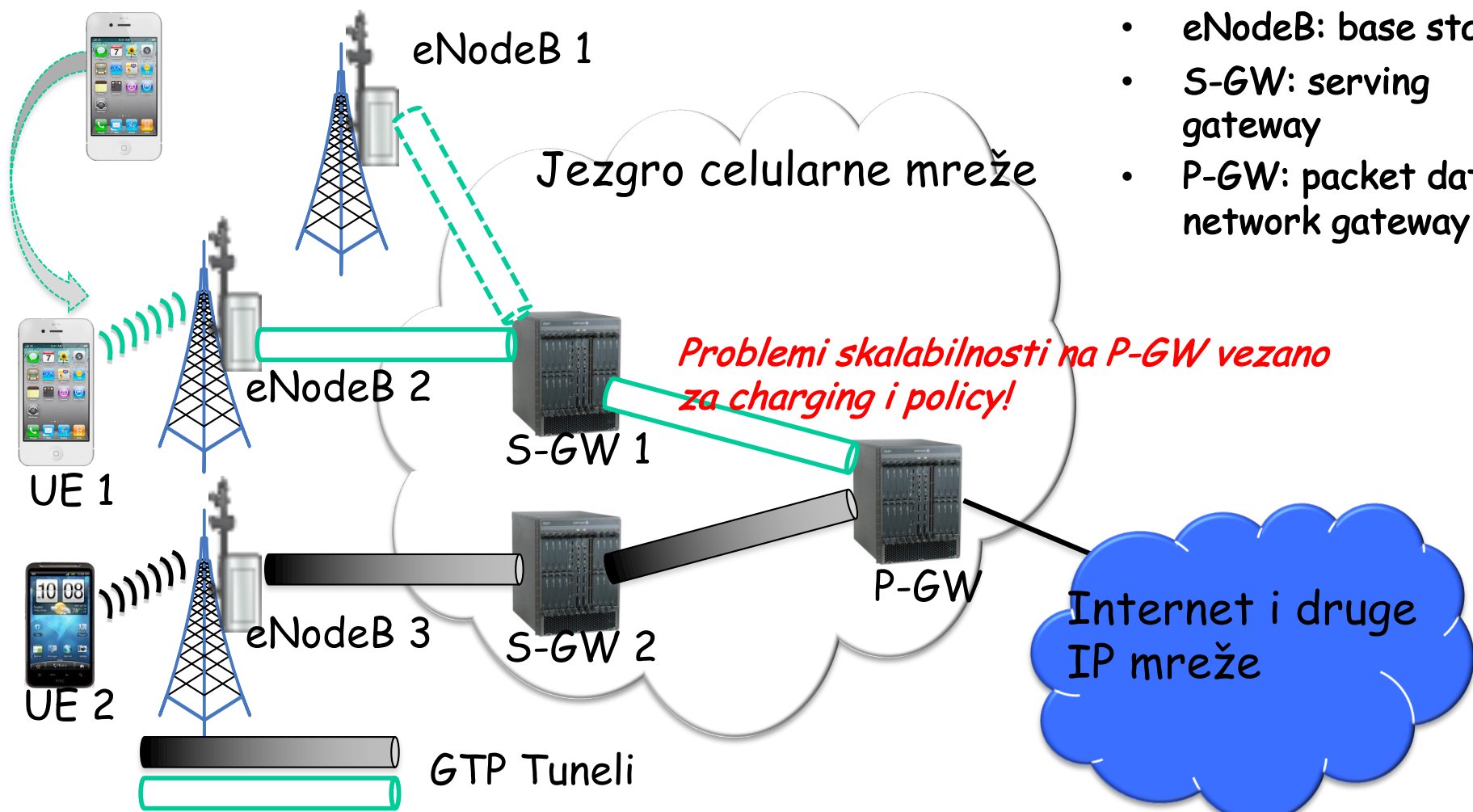
# Policy i Charging

- Policy i Charging funkcije
  - Odlučuju o QoS i Charging
  - Kontrolišu povezivanje
  - Service Policy bazirano na
    - Zahtjevu
    - Korisnikovim podacima
  - Ne prave odluke o resursima



# LTE ravan podataka je previše centralizovana

- ❑ Ravan podataka je previše centralizovana

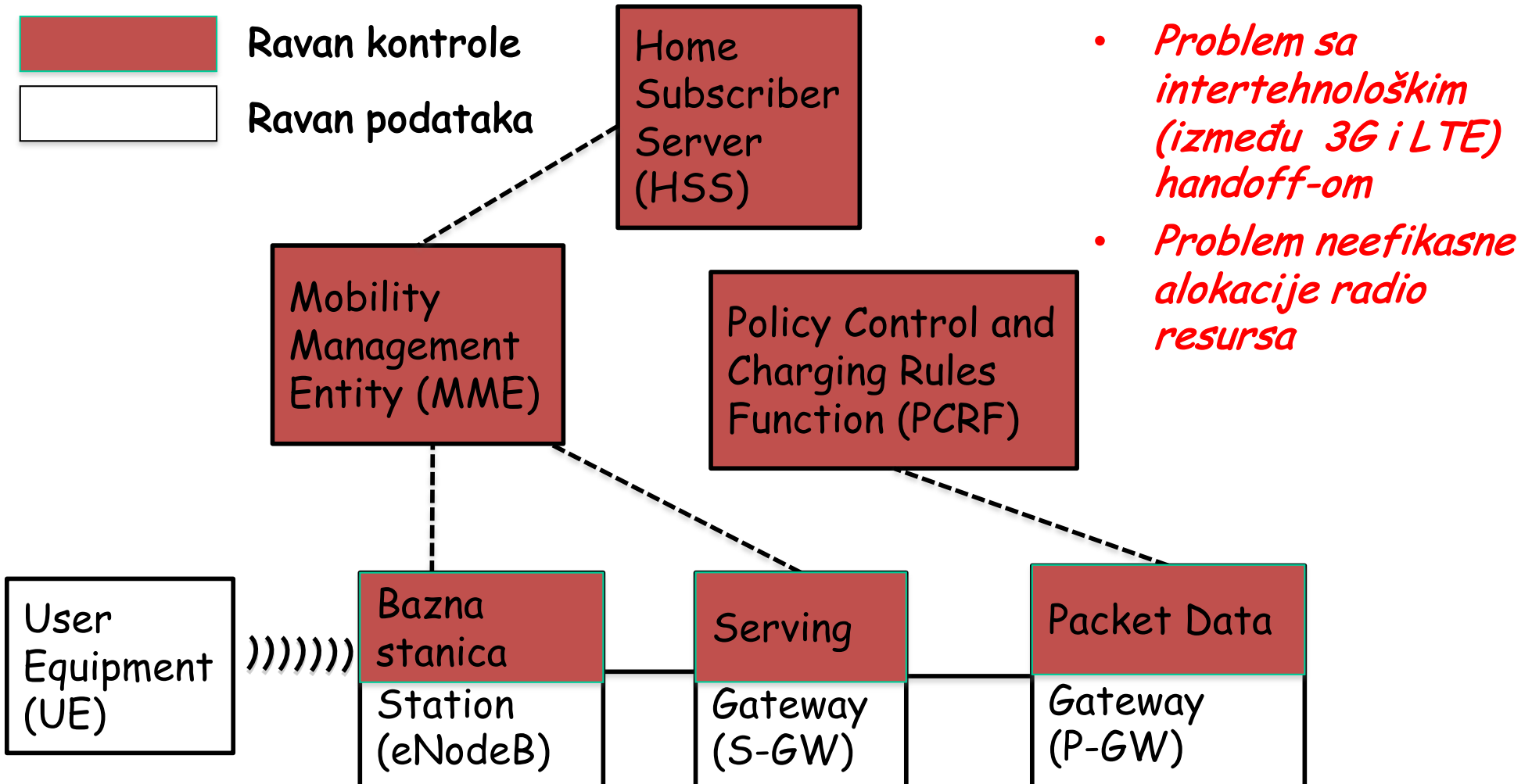


- UE: user equipment
- eNodeB: base station
- S-GW: serving gateway
- P-GW: packet data network gateway



# LTE kontrolna ravan je previše distribuirana

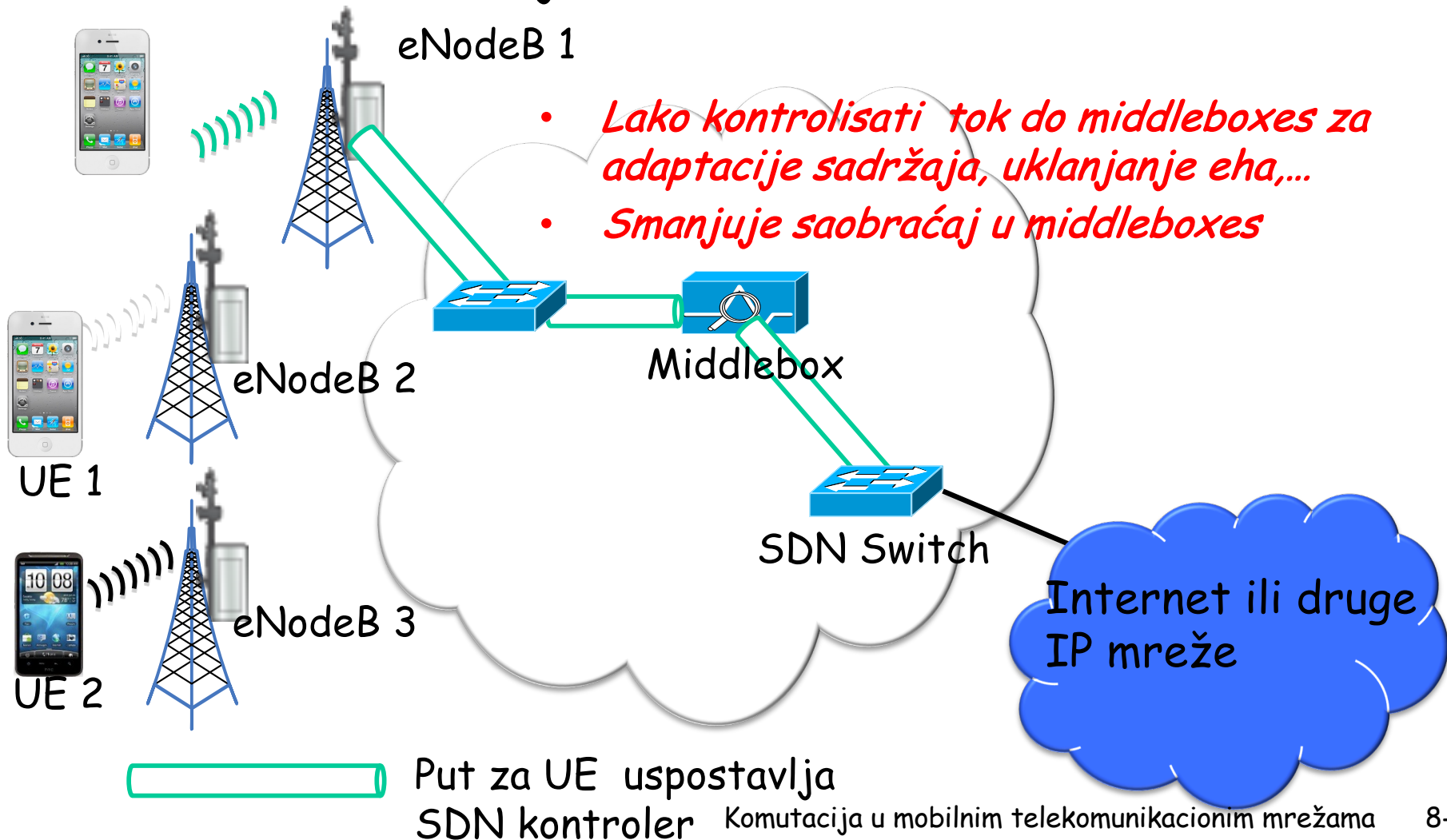
- Nema jasne podjele na ravan kontrole i ravan podataka



- *Problem sa intertehnološkim (između 3G i LTE) handoff-om*
- *Problem neefikasne alokacije radio resursa*

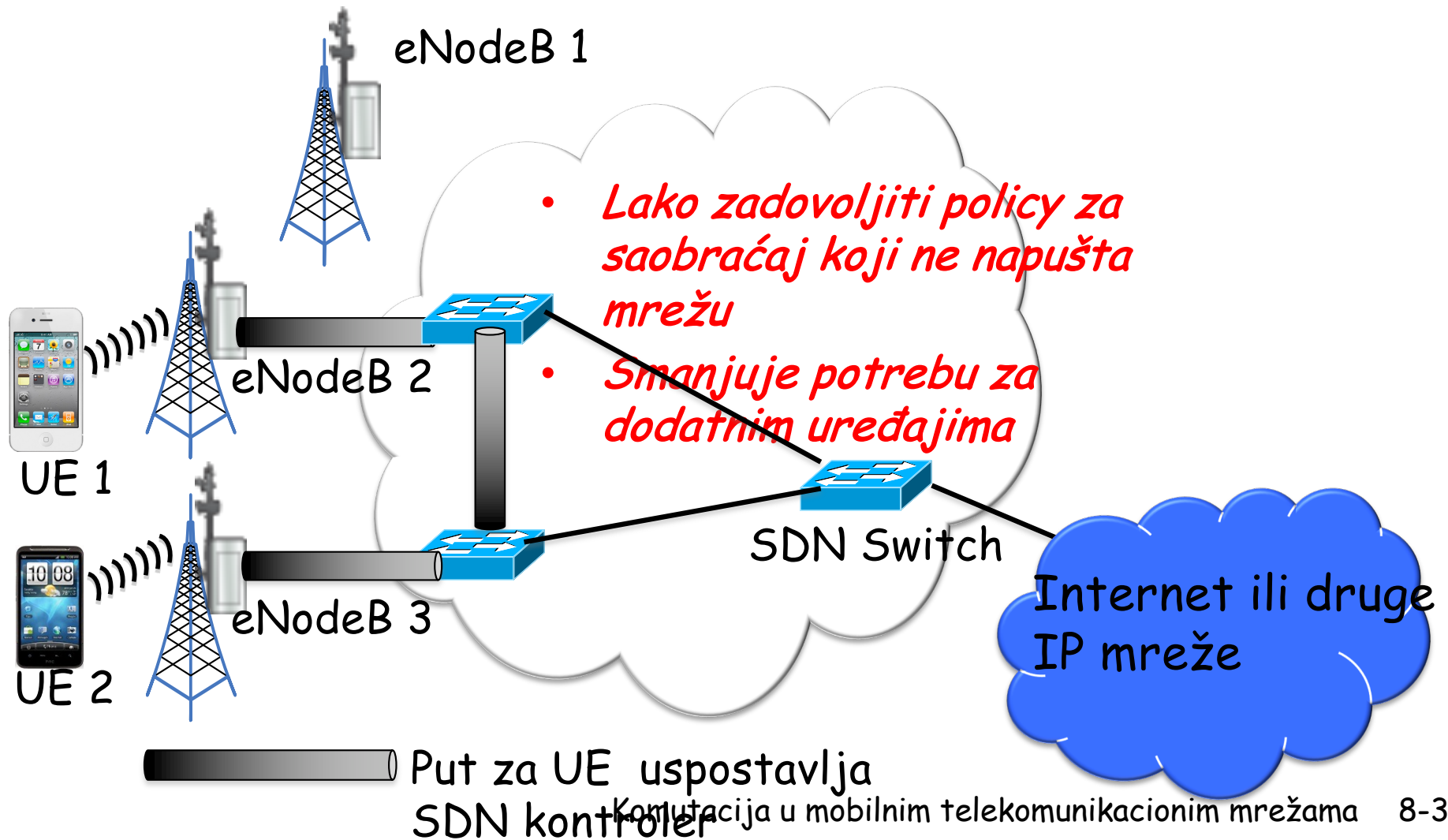
# Podrška fleksibilnim Middlebox-ovima

- SDN omogućava fino podešavanje klasifikacije paketa i fleksibilno rutiranje

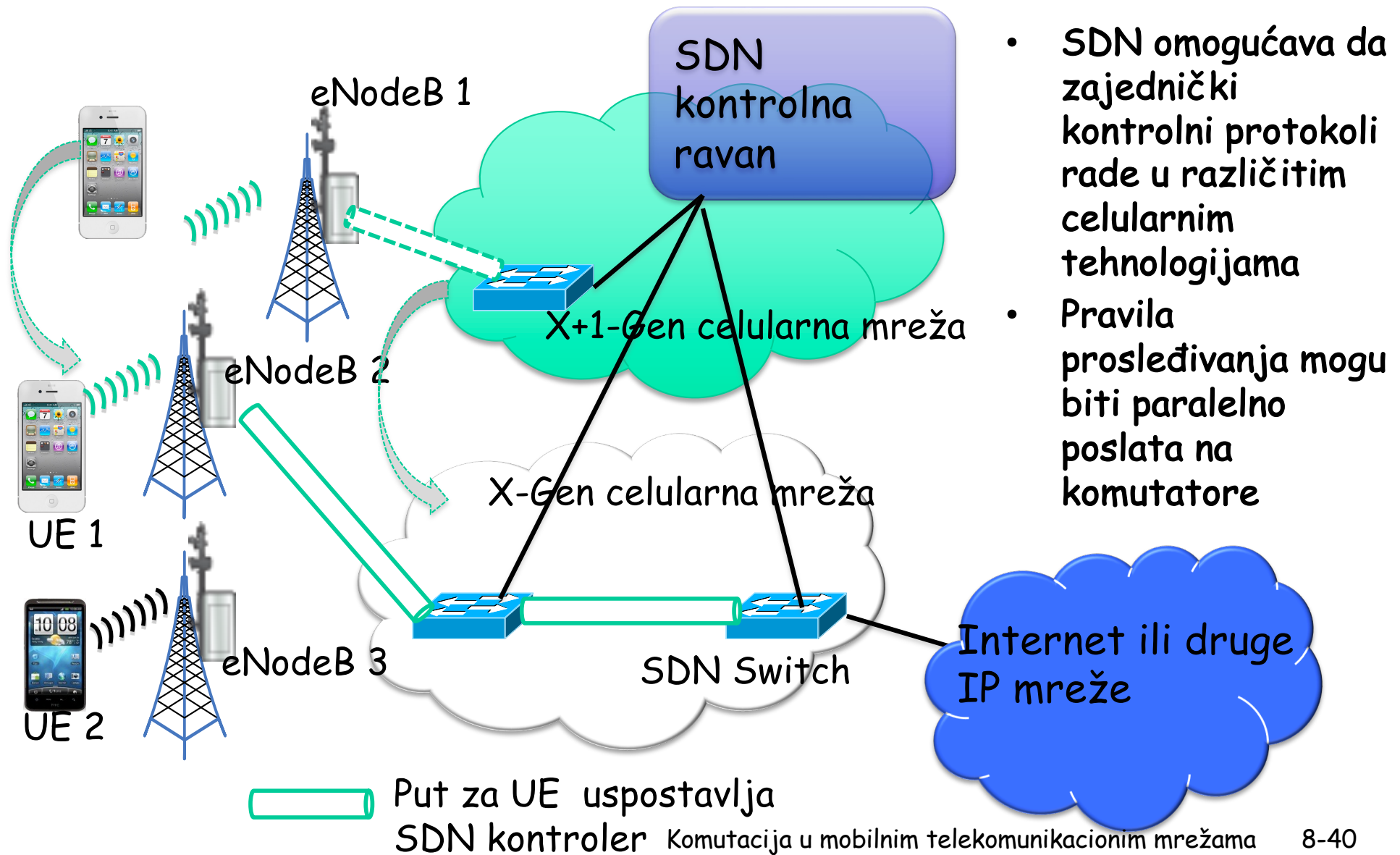


# Podrška fleksibilnim Middlebox-ovima

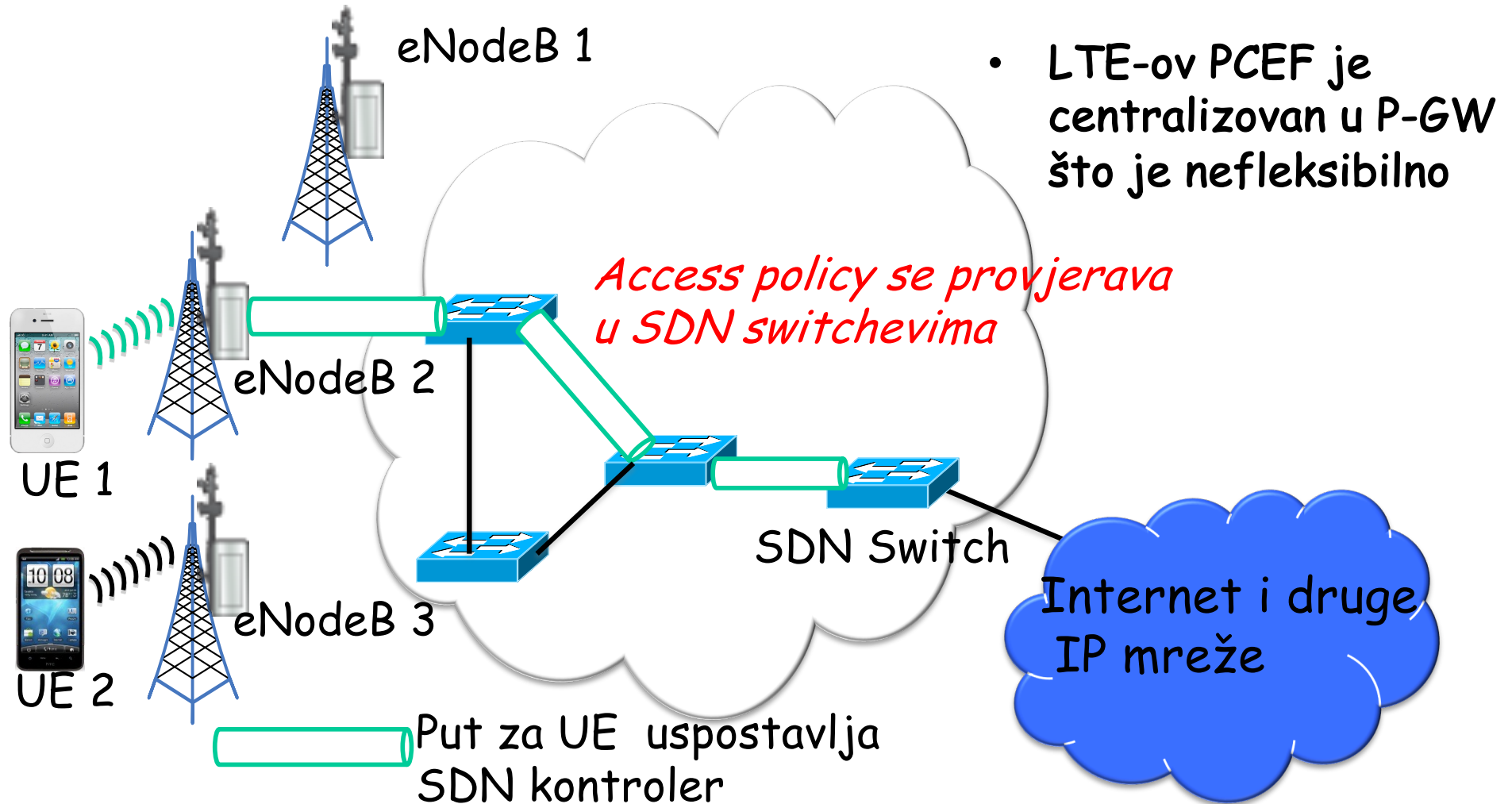
- SDN switch može podržati neke funkcionalnosti middlebox-a



# Jednostavna mobilnost korisnika

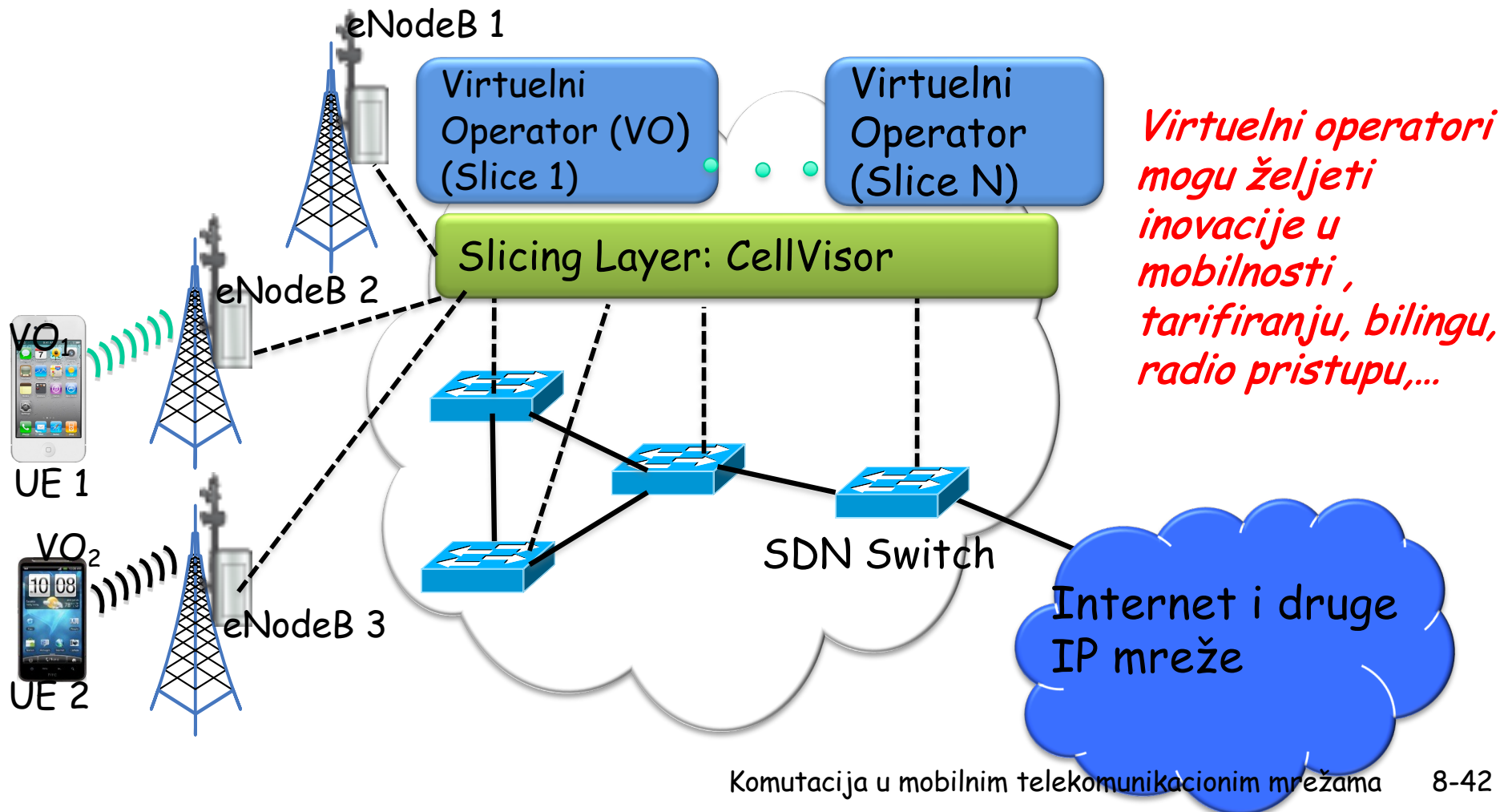


# Distribuirani QoS i ACL



# Virtuelni operatori

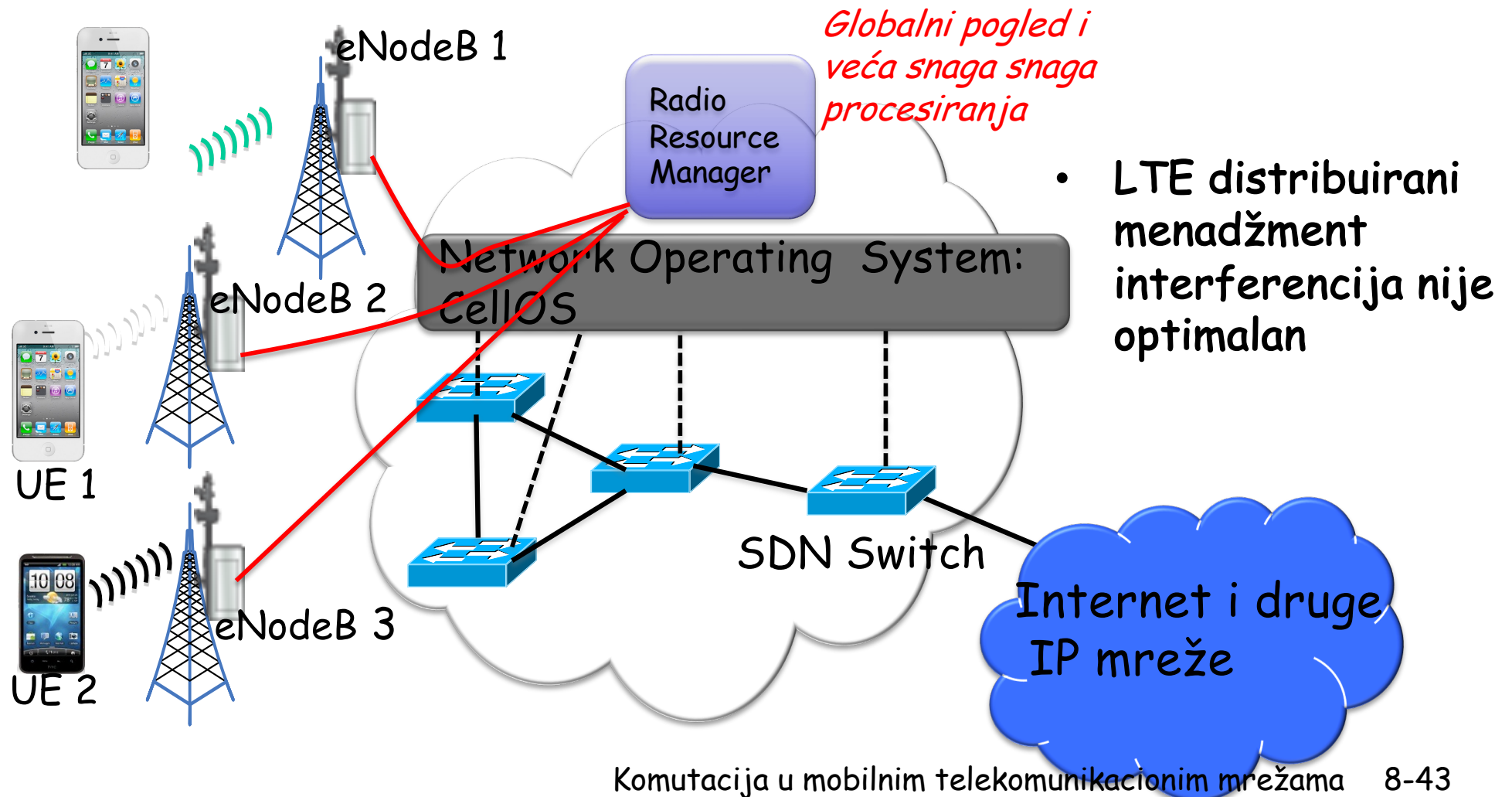
- Fleksibilna virtuelizacija dijeljenjem prostora tokova





# Inter-Cell menadžment interferencije

## □ Centralizovana kontrola baznih stanica

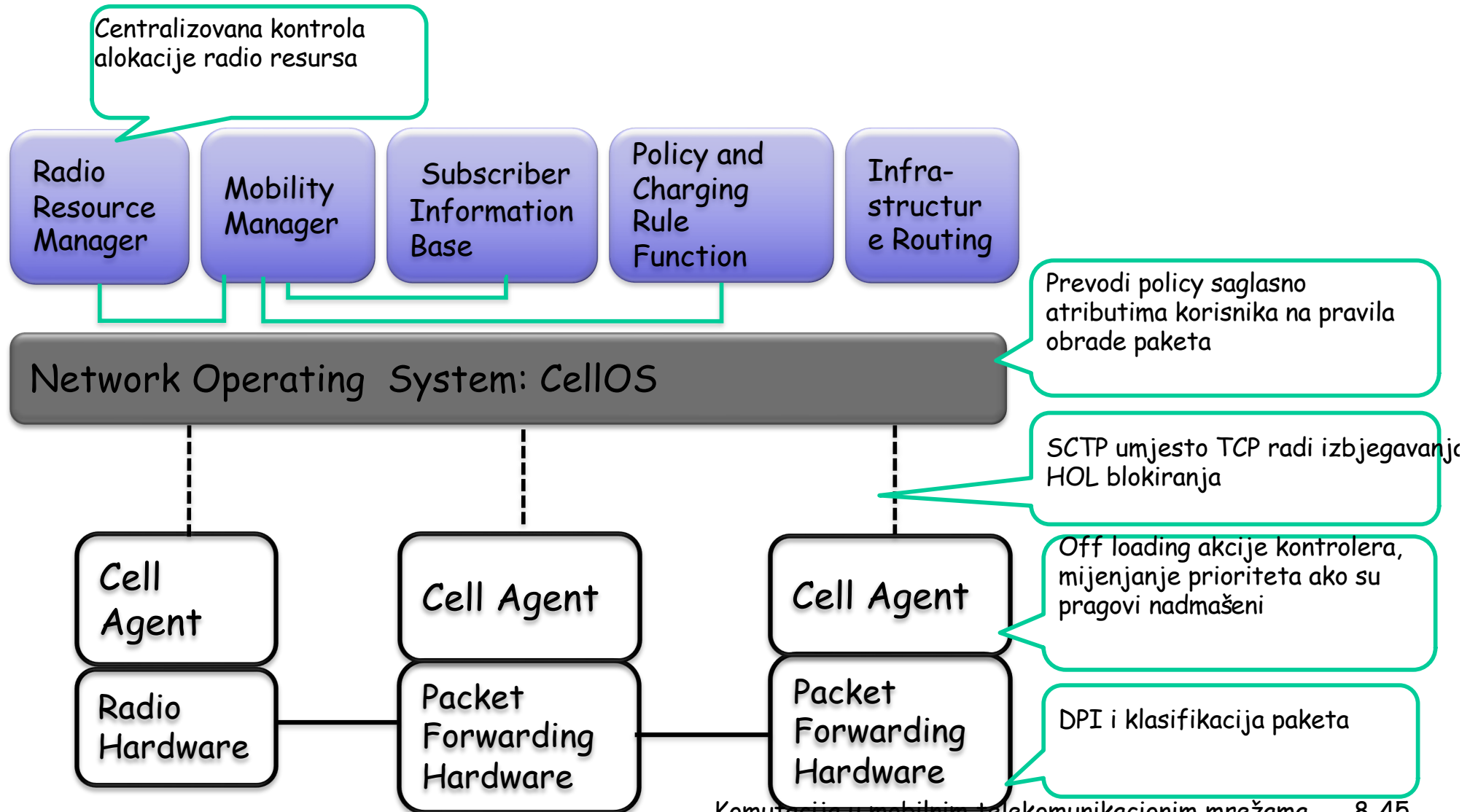


# CellSDN Arhitektura

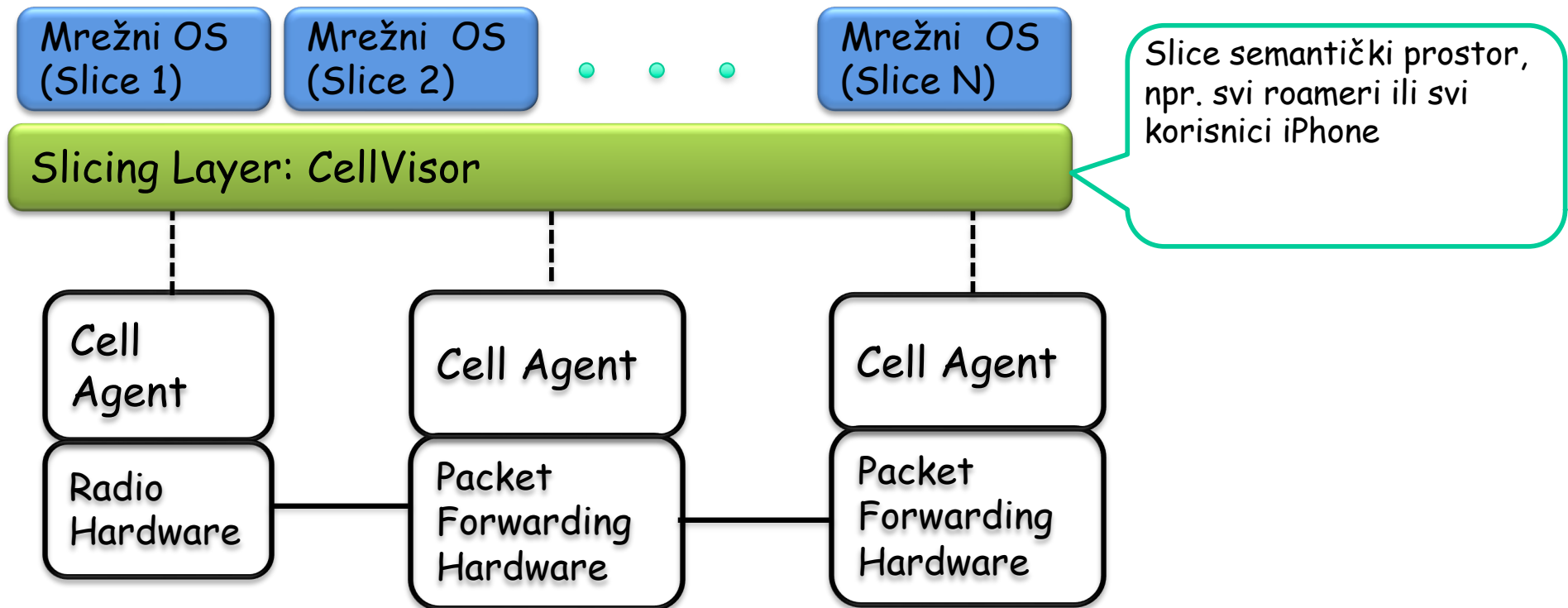
- CellSDN omogućava skalabilnu, fino podešenu kontrolu u realnom vremenu sa dodacima:
  - kontroler: *fino podešene* policy saglasno atributima korisnika
  - Switch software: lokalni kontrolni agenti koji unapređuju *scalability* kontrolne ravni
  - Switch hardware: *fino podešeno* procesiranje paketa radi podrške DPI
  - Bazne stanice: udaljena kontrola i virtuelizacija radi fleksibilnog menadžmenta radio resursa u realnom *realnom vremenu*



# CellSDN Arhitektura



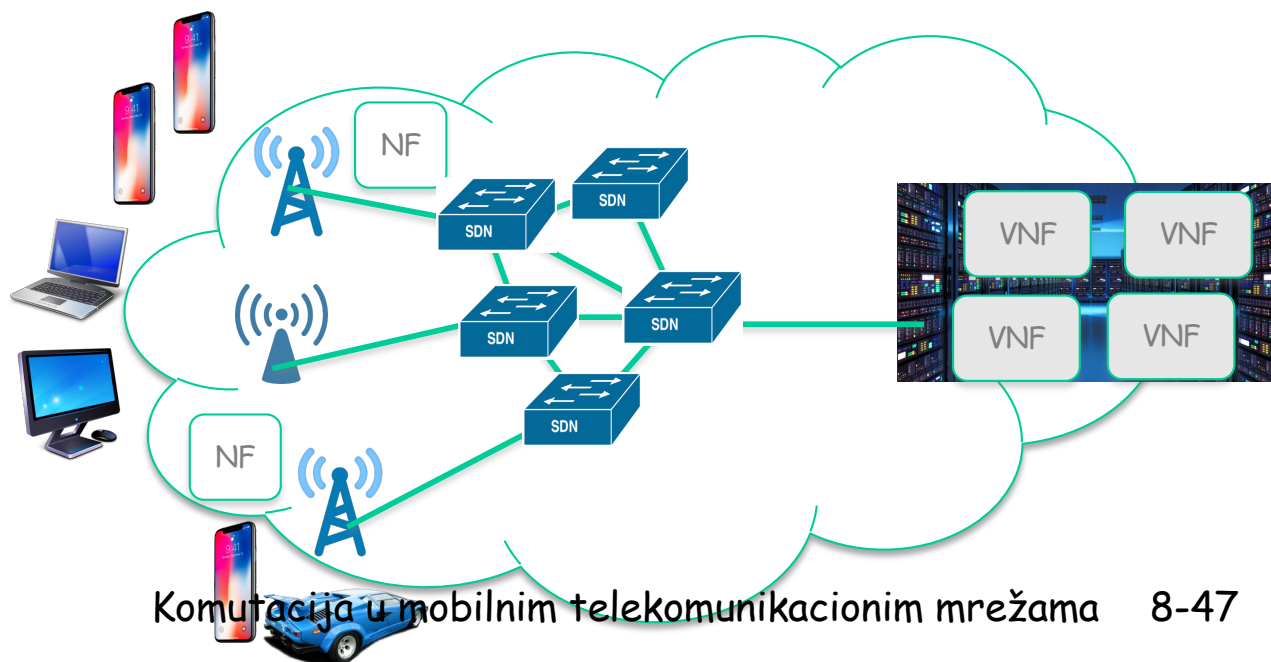
# CellSDN virtuelizacija



# 5G mreža

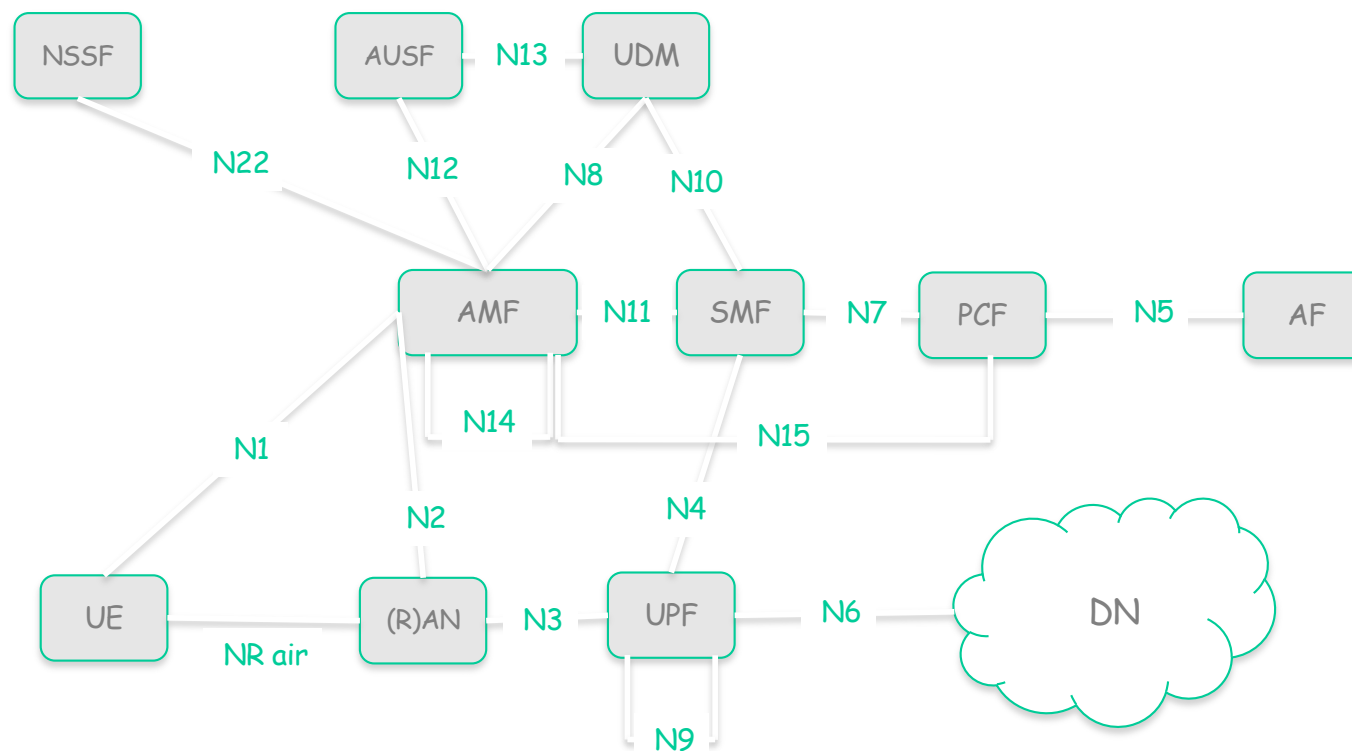
## NFV/SDN middleware

- Distribuirana heterogena infrastruktura
  - Fizičke komponente
  - Heterogeni data centri
  - Povezane mreže (pristupne, okosnice, kompanijske, ...)
- Generičke mrežne funkcije implementirane u softveru koji se izvršava na virtuelnim mašinama (vEPC, vVPN, vNAT, vIMS, ...)
- Middleware funkcionalnosti:
  - Razumijevanje zahtjeva servisa i njihova transformacija u parametre mreže
  - Dijeljenje zajedničkih resursa (računari, storage i mreža) između više servisa
  - Garantovanje SLA od kraja do kraja uslovima dinamičkih izmjena saobraćaja i mreže



# 5G jezgro mreže

3GPP TS 23.501

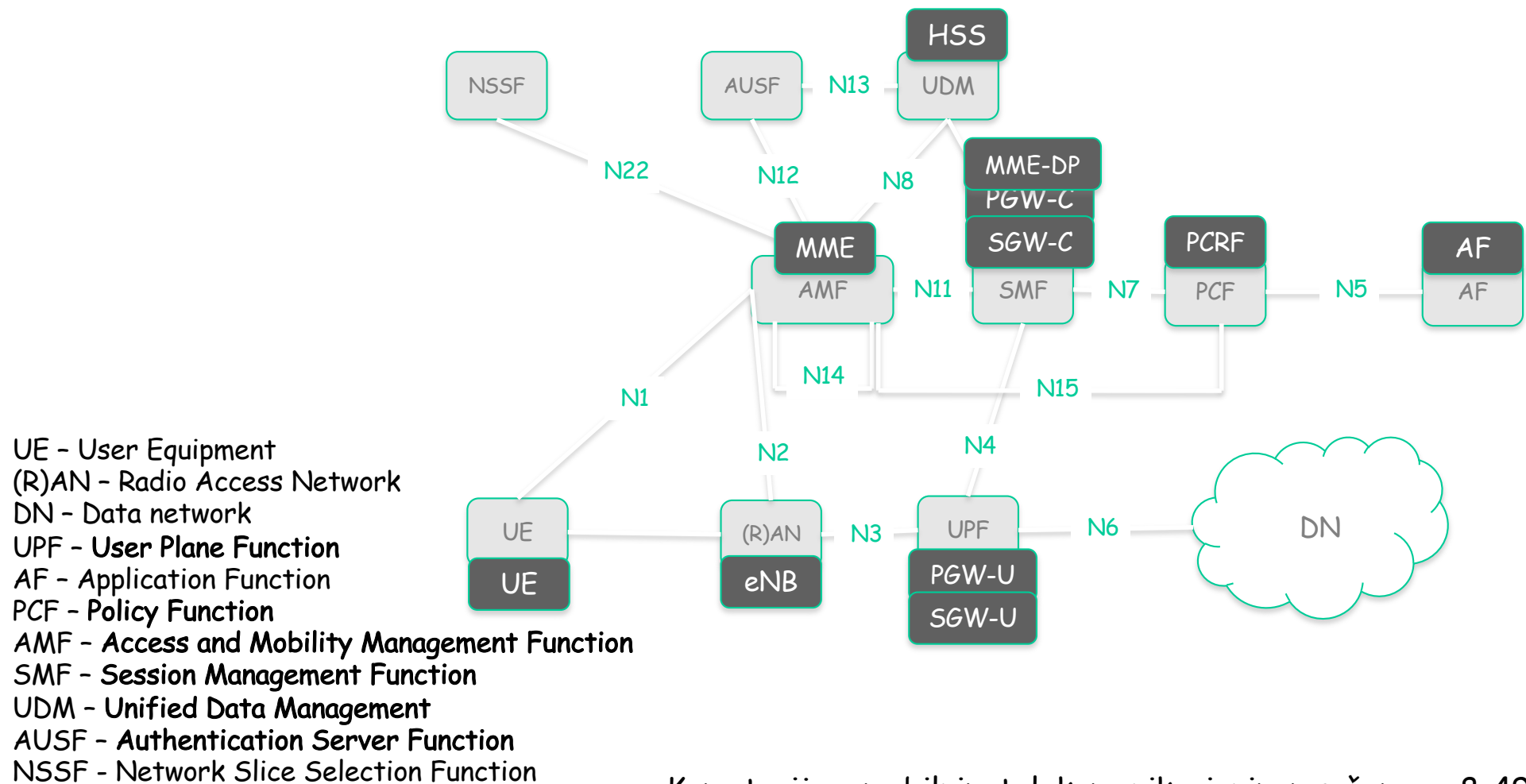


UE - User Equipment  
(R)AN - Radio Access Network  
DN - Data network  
UPF - User Plane Function  
AMF - Access and Mobility Management Function  
SMF - Session Management Function  
PCF - Policy Function  
UDM - Unified Data Management  
AUSF - Authentication Server Function  
NSSF - Network Slice Selection Function  
AF - Application Function

# 5G jezgro mreže

Poređenje sa 3GPP EPC (4G jezgrom mreže)

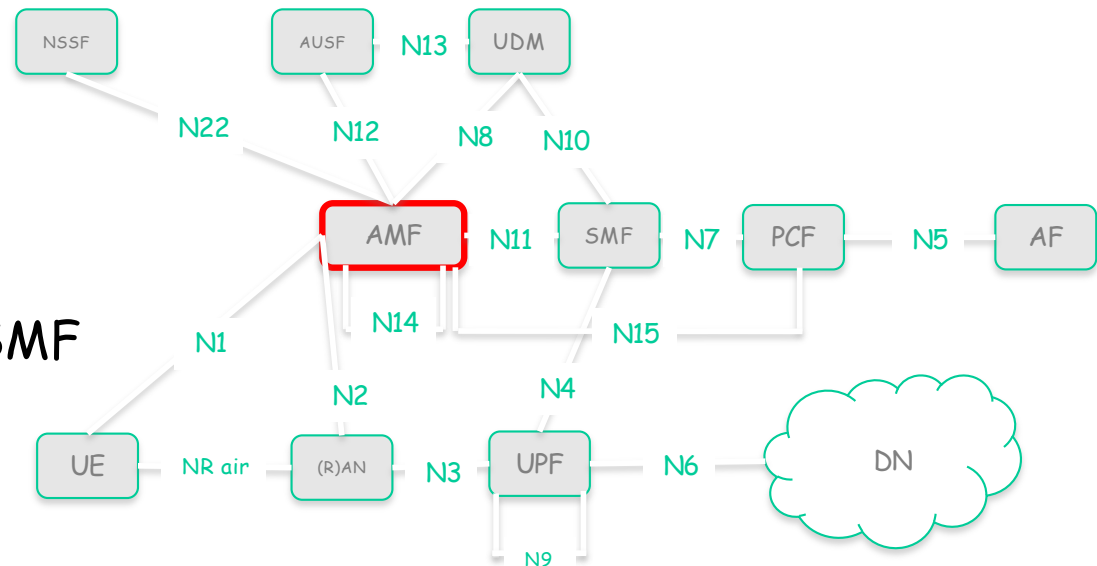
5G predstavlja evoluciju postojeće mreže prema sofverskoj mreži



# 5G jezgro mreže

*Access and Mobility Management Function (AMF)* je ključni kontrolni entitet

- Terminacija RAN i NAS interfejsa
- Menadžment registracije
- Menadžment konekcije
- Menadžment mobilnosti
- Menadžment dostupnosti
- Transport SM poruka prema SMF
- Autentikacija pristupa
- Autorizacija pristupa
- Prenos SMS poruka
- Security anchor funkcija
- Menadžment konteksta zaštite
- Zakonsko presrijetanje poziva

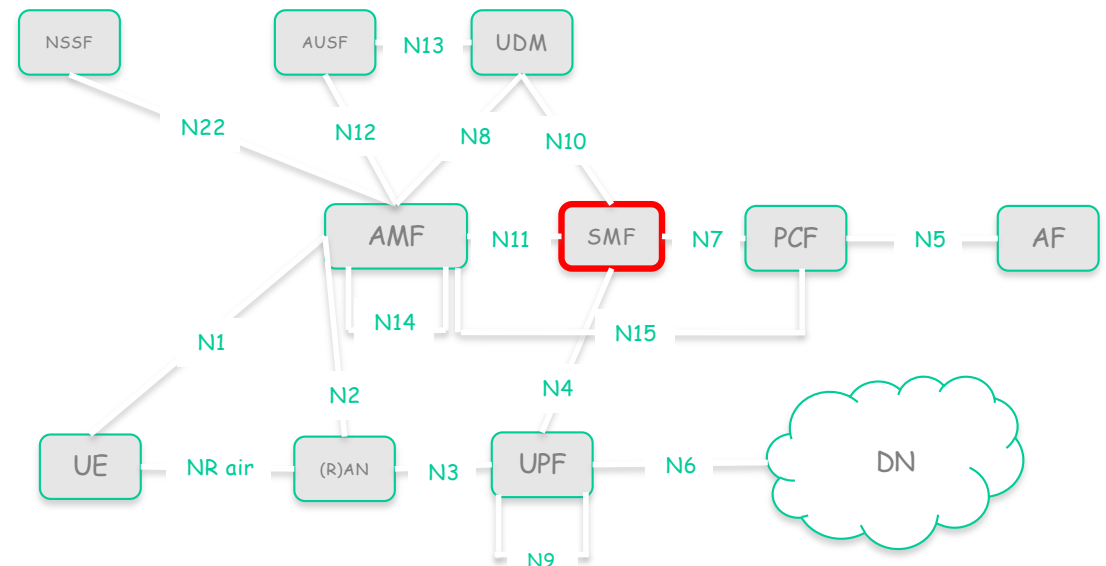


UE - User Equipment  
(R)AN - Radio Access Network  
DN - Data network  
UPF - User Plane Function  
AF - Application Function  
PCF - Policy Function  
AMF - Access and Mobility Management Function  
SMF - Session Management Function  
UDM - Unified Data Management  
AUSF - Authentication Server Function  
NSSF - Network Slice Selection Function

# 5G jezgro mreže

*Session Management Function (SMF)* predstavlja odvojene funkcije za sesije

- ❑ Menadžment sesije (uspostavljanje, modifikacija, raskidanje i nadzor)
- ❑ Dodjela IP adrese korisničkom terminalu
- ❑ Izbor i kontrola funkcija korisničke ravni
- ❑ Konfiguracija upravljanja saobraćaja na UPF
- ❑ Terminacija interfejsa prema PCF
- ❑ Terminacija SM dijela NAS poruka
- ❑ Inicijator AN specifičnih SM informacija
- ❑ Downlink data notifikacija

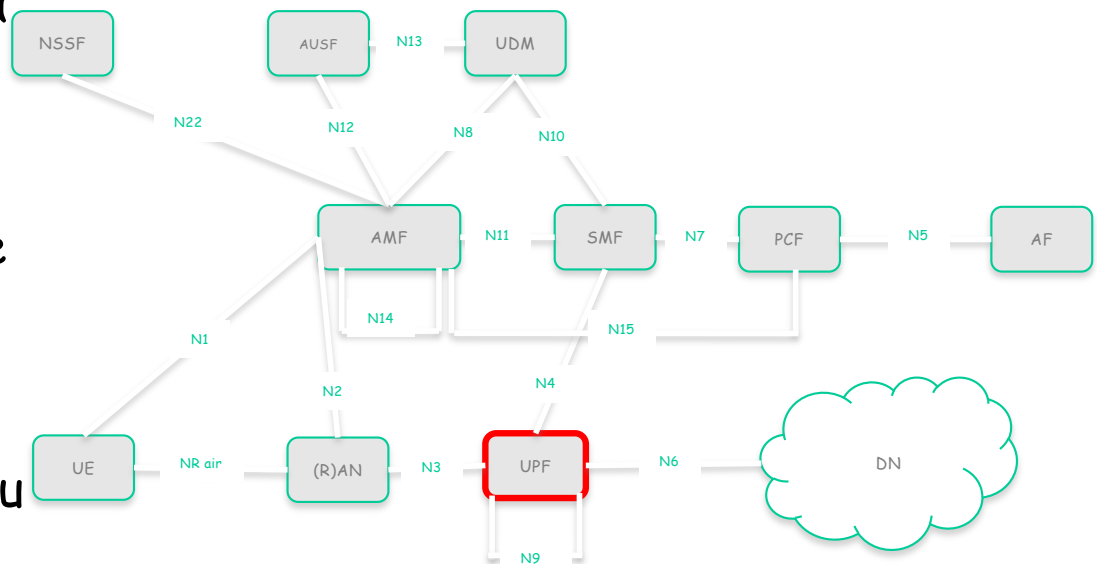


UE - User Equipment  
(R)AN - Radio Access Network  
DN - Data network  
UPF - User Plane Function  
AF - Application Function  
PCF - Policy Function  
AMF - Access and Mobility Management Function  
SMF - Session Management Function  
UDM - Unified Data Management  
AUSF - Authentication Server Function  
NSSF - Network Slice Selection Function

# 5G jezgro mreže

*User Plane Function (UPF)* sadrži funkcije korisničke ravni

- Rutiranje i prosleđivanje paketa
- Zakonsko presrijetanje poziva
- Izvještavanje o korisničkom saobraćaju
- Inspekcija paketa i sprovođenje pravila politika korisničke ravni
- Podrška QoS
- Markiranje paketa
- Baferovanje paketa na downlinku
- Verifikacija uplink saobraćaja
- Uplink klasifikator prema DN
- ...



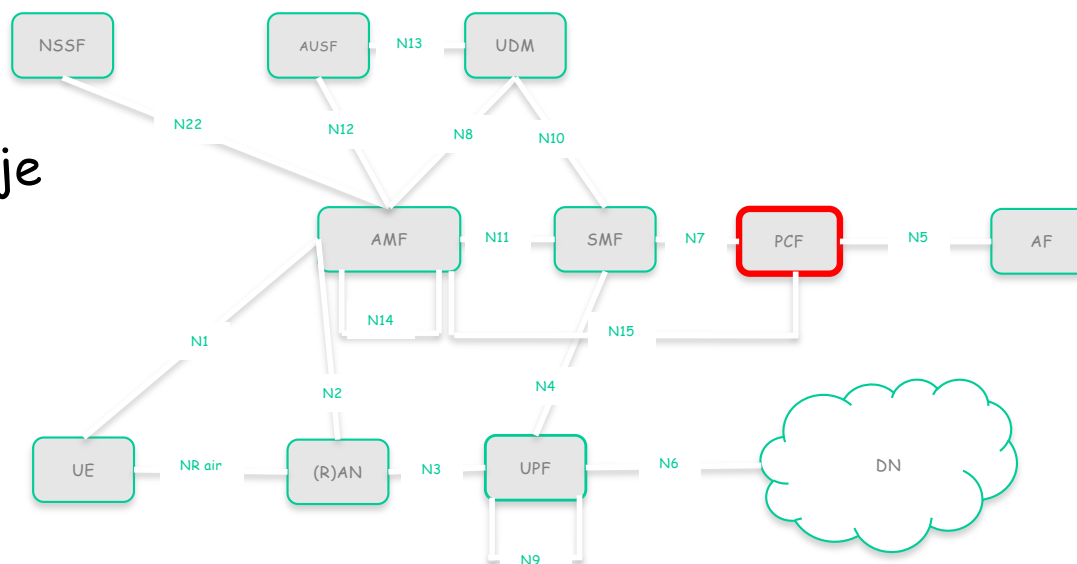
UE - User Equipment  
(R)AN - Radio Access Network  
DN - Data network  
UPF - User Plane Function  
AF - Application Function  
PCF - Policy Function  
AMF - Access and Mobility Management Function  
SMF - Session Management Function  
UDM - Unified Data Management  
AUSF - Authentication Server Function  
NSSF - Network Slice Selection Function



# 5G jezgro mreže

*Policy Function (PCF)* sadrži funkcije bazirane na administrativnoj politici

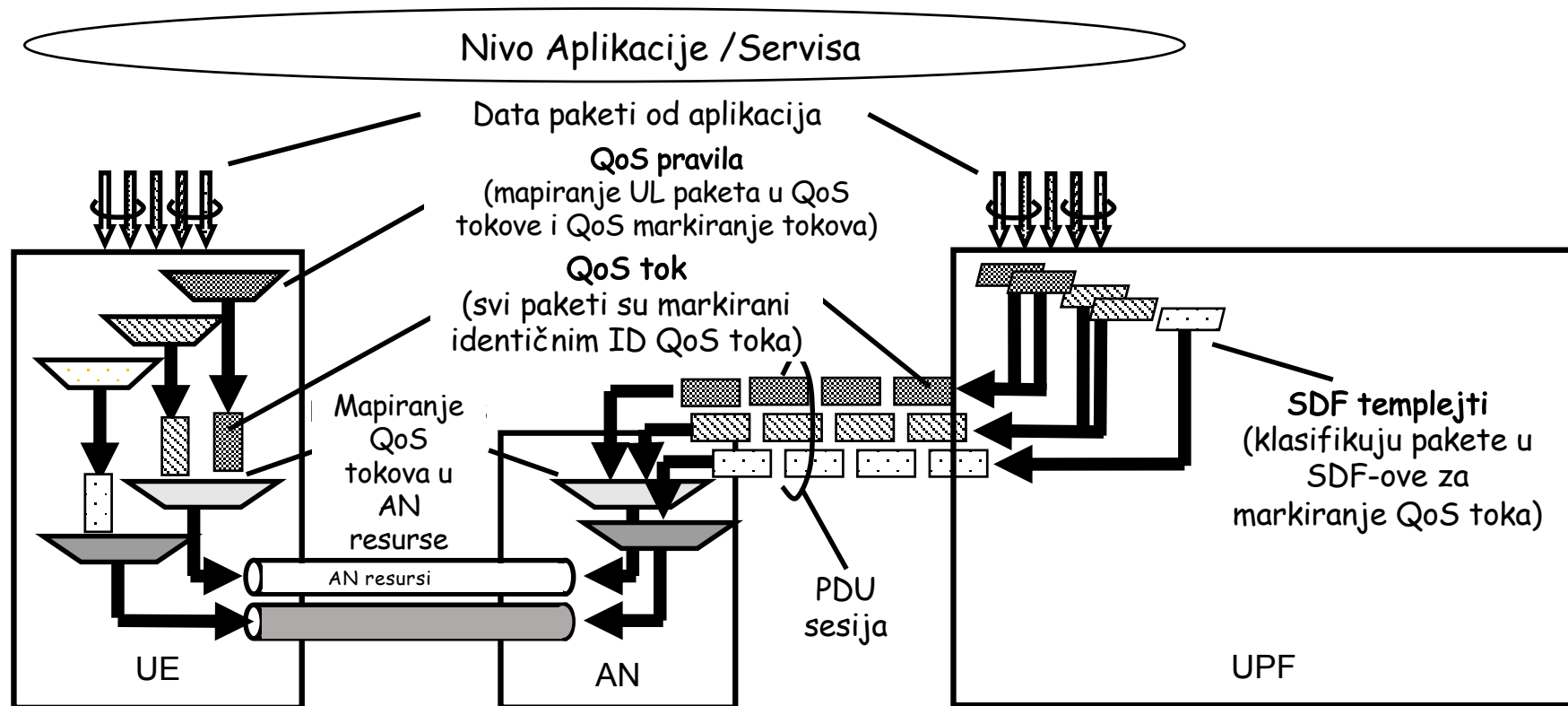
- ❑ Podržava unificirani okvir za praćenje ponašanja mreže
- ❑ Obezbjeđuje pravila za funkcije kontrolne ravni
- ❑ Implementira front end za informaciju o pretplatnikovom pristupu koja je relevantna za donošenje odluka u UDM



UE - User Equipment  
(R)AN - Radio Access Network  
DN - Data network  
UPF - User Plane Function  
AF - Application Function  
PCF - Policy Function  
AMF - Access and Mobility Management Function  
SMF - Session Management Function  
UDM - Unified Data Management  
AUSF - Authentication Server Function  
NSSF - Network Slice Selection Function

# 5G jezgro mreže

## QoS principi

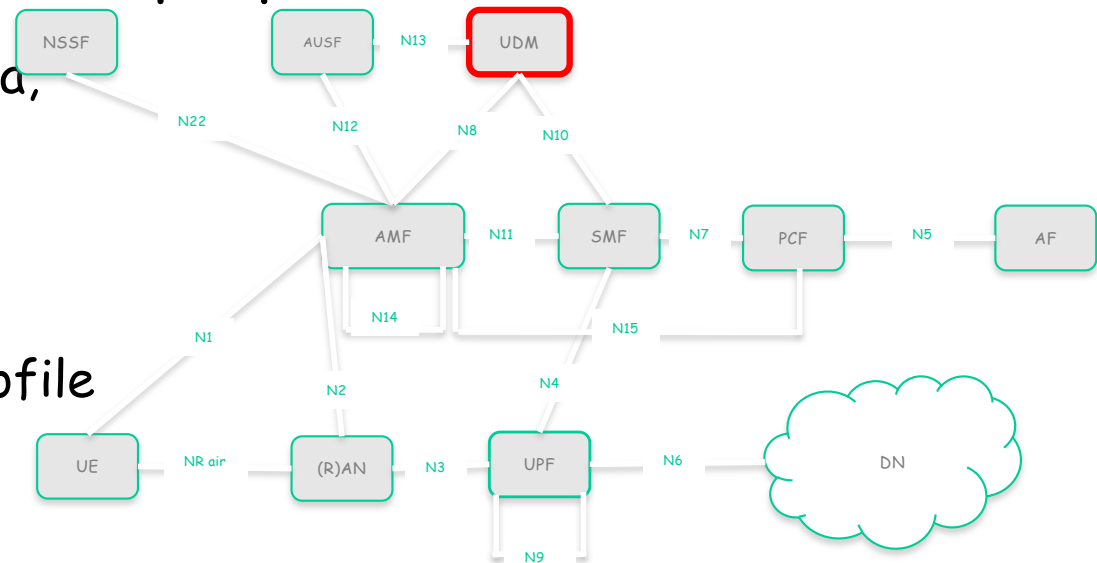


SDF - Service Data Flow  
PDU - Protocol Data Unit

# 5G jezgro mreže

*Unified Data Management (UDM) sadrži pretplatničku bazu*

- ❑ Front End (obrada kredencijala, menadžment lokacije, menadžment pretplate,...)
- ❑ Repozitorijum korisničkih podataka sadrži podatke potrebne za UDM-FE i PCF profile
- ❑ Autentifikacija obrade kredencijala
- ❑ Identifikacija korisnika
- ❑ Autorizacija pristupa
- ❑ Menadžment registracije/mobilnosti
- ❑ Menadžment pretplate

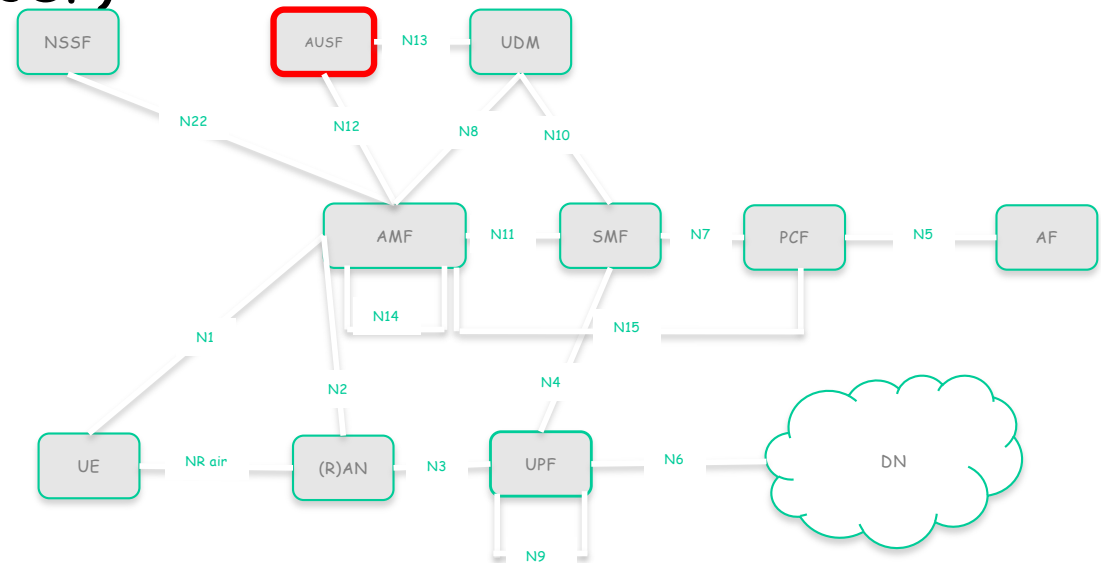


UE - User Equipment  
(R)AN - Radio Access Network  
DN - Data network  
UPF - User Plane Function  
AF - Application Function  
PCF - Policy Function  
AMF - Access and Mobility Management Function  
SMF - Session Management Function  
UDM - Unified Data Management  
AUSF - Authentication Server Function  
NSSF - Network Slice Selection Function

# 5G jezgro mreže

## *Authentication Server Function (AUSF)*

- ❑ Front-end za UDM kako bi odradio odgovarajuću autentifikaciju
- ❑ Definisan od SA3 u 3GPP



UE - User Equipment  
(R)AN - Radio Access Network  
DN - Data network  
UPF - User Plane Function  
AF - Application Function  
PCF - Policy Function  
AMF - Access and Mobility Management Function  
SMF - Session Management Function  
UDM - Unified Data Management  
AUSF - Authentication Server Function  
NSSF - Network Slice Selection Function

# 5G jezgro mreže

## Servisno bazirana arhitektura

### *Network Exposure Function (NEF)*

- ❑ Omogućava umrežavanje sa funkcionalnostima treće strane
- ❑ "Otvara" servise 3GPP mrežne funkcije trećoj strani
- ❑ Prevođenje informacija koje se razmjenjuju između AF i internih mrežnih funkcija
- ❑ Služi kao storage za informacije

### *NF Repository Function (NRF)*

- ❑ Služi kao network discovery funkcija za dinamičku mrežnu infrastrukturu
- ❑ Podržava service discovery funkciju
- ❑ Nadzire informacije o dostupnim NF instancama i njihovim podržanim servisima