

# Analiza i modeliranje procesa preuzimanja poziva u LTE sustavima

---

**Matoš, Ante**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2015**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:644106>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-02**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -  
Institutional Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Ante Matoš**

**ANALIZA I MODELIRANJE PROCESA PREUZIMANJA  
POZIVA U LTE SUSTAVIMA**

**DIPLOMSKI RAD**

**Zagreb, 2015.**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**DIPLOMSKI RAD**

**ANALIZA I MODELIRANJE PROCESA PREUZIMANJA POZIVA U LTE SUSTAVIMA**

**ANALYSIS AND MODELLING OF HANDOVER PROCESS IN LTE SYSTEM**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

Student: Ante Matoš, 0135216810

Zagreb, rujan 2015.

# **ANALIZA I MODELIRANJE PROCESA PREUZIMANJA POZIVA U LTE SUSTAVIMA**

## **SAŽETAK**

LTE je četvrta generacija mobilnih mreža koja omogućuje bolje performanse mreže u odnosu na prethodnike u vidu brzine prijenosa podataka, propusnosti, pokrivenosti i kapaciteta. Svaka mreža se sastoji od više ćelija te korisnici u tijeku korištenja korisničke opreme prelaze iz područja jedne ćelije na područje druge ćelije. U trenutku prelaska s jedne ćelije na drugu, mreža mora pokrenuti proces preuzimanja poziva ili podataka i to treba učiniti na nesmetan način kako korisnik to ne bi niti primijetio u smislu degradacije kvalitete ili prekida usluge. Također korisnik sa svojom opremom može preći iz područja mreže koja koristi LTE tehnologiju na područje mreže koja koristi GPRS tehnologiju. Taj proces također mora proći nesmetano i neprimjetno za korisnika. U ovome radu je prikazan način preuzimanja poziva ili podatkovne sesije u trenutku prelaska iz jedne ćelije u drugu i u trenutku prelaska na mrežu druge pristupne tehnologije.

**KLJUČNE RIJEČI:** LTE, preuzimanje poziva, kvaliteta usluge

## **SUMMARY**

LTE is the fourth generation mobile networks that enables better network performance than its predecessor in the form of data transfer rates, bandwidth, coverage and capacity. Each network consists of multiple cells and users are moving from one cell area to another with their user equipment. At the time of switching from one cell to another, the network has to initiate the handover process and this should be done in unimpeded way so that the user would not even notice it in terms of quality degradation or interruption of service. Also users with their equipment can move from area network which uses LTE technology in the area of network using GPRS technology. This process also has to go smoothly and seamlessly for users. This thesis will explain handover process between two cells using same radio access technology and handover between different radio access technologies.

**KEYWORDS:** LTE, handover, Quality of Service

# Sadržaj

<b>1. Uvod</b> .....	1
<b>2. Arhitektura LTE mreže</b> .....	2
<b>2.1. Razvoj</b> .....	3
<b>2.2. Evoluirani paketni sustav</b> .....	6
2.2.1. Razvoj i standardizacija .....	6
2.2.2. Struktura mreže .....	7
2.2.2.1. <i>eNodeB</i> .....	8
2.2.2.2. <i>Mrežni entitet za upravljanje mobilnošću</i> .....	8
2.2.2.3. <i>Serving Gateway</i> .....	10
2.2.2.4. <i>Pristupnik za paketnu podatkovnu mrežu</i> .....	10
2.2.2.5. <i>Poslužitelj domaćih korisnika</i> .....	11
2.2.3. Sučelja i protokoli .....	11
<b>3. Proces preuzimanja poziva</b> .....	15
<b>3.1 Preuzimanje unutar E-UTRAN mreže</b> .....	16
3.1.1. Preuzimanje poziva temeljeno na X2 sučelju .....	16
3.1.1.1. <i>Preuzimanje poziva bez promjene S-GW-a temeljeno na X2 sučelju</i> .....	16
3.1.1.2. <i>Preuzimanje poziva sa promjenom S-GW-a temeljeno na X2 sučelju</i> .....	17
3.1.2. Preuzimanje poziva temeljeno na S1 sučelju .....	17
<b>3.2 Preuzimanje između različitih radijskih tehnologija</b> .....	18
<b>4. Analiza i modeliranje procesa preuzimanja poziva između baznih stanica u LTE mreži</b> .....	19
<b>4.1 Analiza i modeliranje preuzimanja poziva bez promjene S-GW-a temeljeno na X2 sučelju</b> .....	19
<b>4.2 Analiza i modeliranje preuzimanja poziva sa promjenom S-GW-a temeljeno na X2 sučelju</b> ..	22
<b>4.3 Analiza i modeliranje preuzimanje poziva temeljeno na S1 sučelju</b> .....	26
<b>5. Analiza i modeliranje procesa preuzimanja poziva između baznih stanica u heterogenom okruženju</b> .....	33
<b>6. Analiza kvalitete usluge u procesu preuzimanja poziva</b> .....	41
<b>7. Zaključak</b> .....	44
<b>LITERATURA</b> .....	45
<b>POPIS KRATICA</b> .....	46
<b>POPIS SLIKA I DIJAGRAMA</b> .....	49

## 1. Uvod

LTE tehnologija spada u četvrtu generaciju mobilnih tehnologija. Ona nudi nominalne brzine do 173 Mb/s na silaznoj vezi i 58 Mb/s na uzlaznoj vezi, što ju čini atraktivnom za krajnje korisnike. Tehnologija koristi frekvencijski spektar u području 1800 i 2600 Mhz što utječe na smanjenje dometa u odnosu na niže frekvencije. To znači i više ćelija na planiranom području pokrivenosti. Tu dolazi do izražaja važnost preuzimanja poziva ili podataka s jedne ćelije na drugu.

Svrha ovog diplomskog rada je analizirati procedure preuzimanja poziva primjenjive u 4G mreži te prikazati trenutna rješenja preuzimanja.

Cilj ovog diplomskog rada je primjenom UML dijagrama opisati i prikazati procese preuzimanja poziva između dvije ćelije u 4G mreži kao i preuzimanje poziva između različitih tehnologija.

Diplomski rad se sastoji od 7 poglavlja:

1. Uvod
2. Arhitektura LTE mreže
3. Proces preuzimanja poziva
4. Analiza i modeliranje procesa preuzimanja poziva između baznih stanica u LTE mreži
5. Analiza i modeliranje procesa preuzimanja poziva između baznih stanica u heterogenom okruženju
6. Analiza kvalitete usluge u procesu preuzimanja poziva
7. Zaključak

Diplomski rad sadržava opis arhitekture sustava LTE mreže u svom drugom poglavlju. Treće poglavlje opisuje proces preuzimanja poziva i glavne značajke vezane uz proces preuzimanja poziva. U četvrtom poglavlju detaljno je modeliran i analiziran proces preuzimanja poziva između baznih stanica u LTE mreži sa ili bez promjene određenih parametara u mreži. Peto poglavlje analizira i opisuje proces preuzimanja poziva u heterogenom okruženju, odnosno preuzimanje poziva između mreža sa različitom pristupnom tehnologijom.. Šesto poglavlje donosi kratak osvrt na kvalitetu usluge i bitne parametre vezane uz kvalitetu usluge u LTE mreži. Posljednje, odnosno sedmo poglavlje donosi zaključak i osvrt na razrađenu temu diplomskog rada.

## 2. Arhitektura LTE mreže

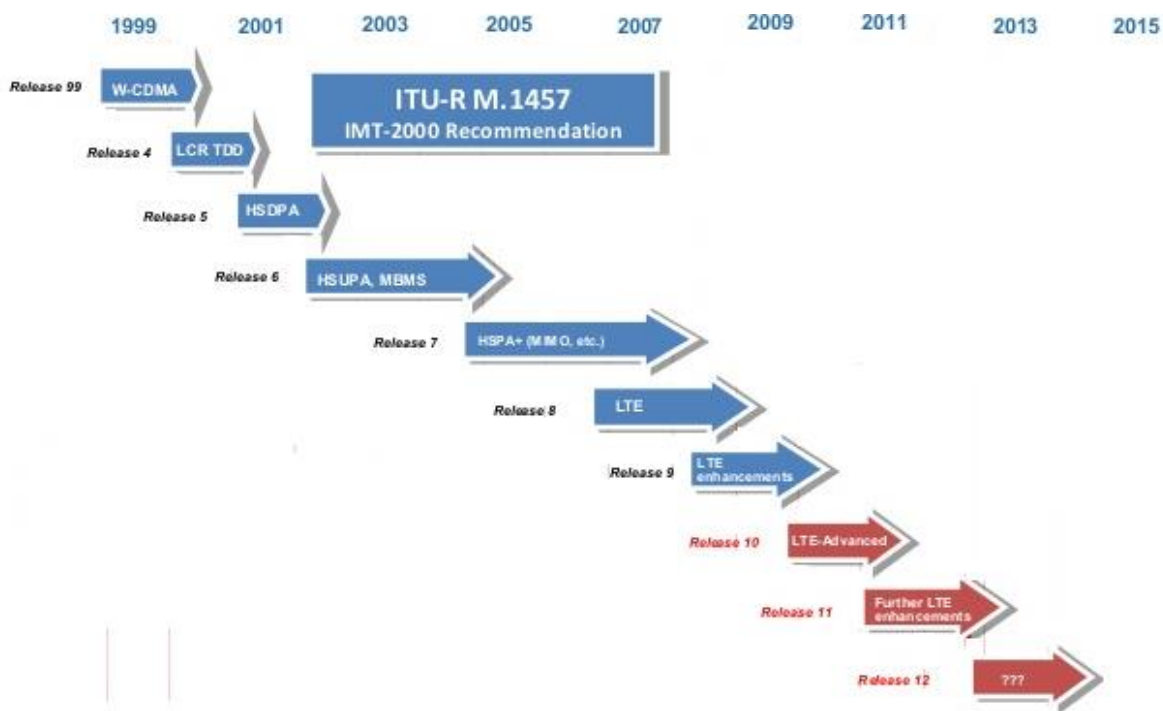
Današnja 3G tehnologija prijenosa podataka paketskim modom u pristupnom dijelu mreže, (HSPA – eng. *High Speed Packet Access*) nametnula se kao nositelj naglog širenja širokopojasnog mobilnog pristupa Internetu. Unatoč njenom konstantnom unapređivanju, zbog kapacitivnih ograničenja i limitiranih mogućnosti postizanja još viših performansi, kao i zbog zahtjeva za povećanjem efikasnosti upotrebe radijskih resursa i sniženjem troškova održavanja, krenulo se u razvoj nove tehnologije pod nazivom LTE (eng. *Long Term Evolution* – dugoročna evolucija 3G sustava). Navedeni zahtjevi proizlaze iz potrebe za podrškom novih naprednih usluga u mobilnom svijetu, od multimedijalne telefonije, preko prijenosa velike količine podataka kroz društveno umrežavanje do npr. prijenosa HDTV signala strujanjem (eng. *streaming*), a sve uz mogućnost istovremenog pružanja širokopojasnog pristupa velikom broju korisnika mobilne mreže.

LTE se razvija kao novi globalno prihvaćeni 3GPP (eng. *Third Generation Partnership Project*) standard za evoluiranu UTRAN (eng. *UMTS Terrestrial Radio Access Network*) mrežu (E-UTRAN) uz istodobnu podršku u evoluiranoj jezgrenoju mreži (EPC – eng. *Evolved Packet Core*) proizašoj iz 3GPP studije evolucije arhitekture sustava (SAE – eng. *System Architecture Evolution*). Ključne tehnologije kojima se omogućuje postizanje visokih brzina prijenosa uključuju radijsko sučelje temeljeno na OFDM (eng. *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) pristupu, upotrebu više-antenskih rješenja (MIMO – eng. *Multiple Input, Multiple Output*) te fleksibilnost upotrebe frekvencijskog spektra [1].

## 2.1. Razvoj

Razvoj suvremenih mobilnih tehnologija praćeno kroz protekla tri desetljeća hvata sve brži zamah pojavom svake nove tehnološke generacije. Prve mobilne ćelijske mreže (npr. NMT, AMPS i TACS, danas poznate i kao prva generacija, tj. 1G) zasnovane na analognom FDMA (eng. *Frequency Division Multiple Access*) pristupu i govornim uslugama, razvijane su sedamdesetih godina prošlog stoljeća, a komercijalno su pokrenute početkom osamdesetih (npr. NMT 1981.). Već kod mreža druge generacije (GSM, D-AMPS, PDC, IS-95) korištenih za digitalni prijenos govora i podataka korištenjem TDMA ili CDMA pristupa, ciklus razvoja se skraćuje na ispod 10 godina. Tako je standardizacija GSM tehnologije započela 1982., dok se prve GSM mreže se pojavljuju 1991. Slijedeći unaprjeđenja nastala uvođenjem paketskog prijenosa podataka u 2G mrežama (u početku GPRS, kasnije i EDGE) te temelje postavljene od strane Međunarodne telekomunikacijske unije (ITU - *International Telecommunications Union*) kroz okvir za globalne 3G standarde (IMT-2000), tijekom devedesetih se intenzivno standardiziraju i 3G tehnologije. Tako se krajem 1998.g. formira Projekt partnerstva za treću generaciju (3GPP – eng. *Third Generation Partnership Project*) – kolaboracija više telekomunikacijsko-standardizacijskih tijela iz svih dijelova svijeta, koja razvija tehničke specifikacije za WCDMA (eng. *Wideband Code Division Multiple Access*) pristup u FDD (eng. *frequency division duplex*) i TDD (eng. *time division duplex*) modu UMTS sustava. Prve komercijalne 3G mreže pokrenute su 2001.godine u Japanu i 2003. u Europi. Danas se svjedoči o uspješnoj evoluciji WCDMA mreža uvođenjem brzog paketskog pristupa (HSPA –eng. *High Speed Packet Access*) kroz kontinuirana unaprjeđenja koja donose nova izdanja 3GPP specifikacija (Release 5: HSDPA, Release 6: HSUPA, Release 7 i 8: HSPA+). Upravo je 3GPP standardizacijsko tijelo koje je odgovorno za nastanak i razvoj LTE standarda kao nove tehnologije na putu k mobilnim mrežama četvrte generacije (4G) [1]. Slika 1 prikazuje evoluciju 3GPP tehnologija.



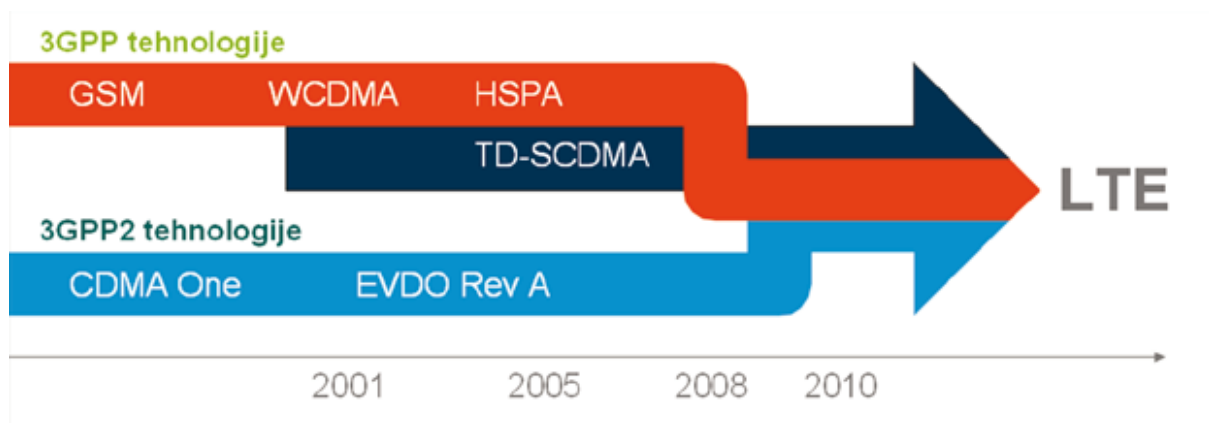


Slika 1. Evolucija 3GPP tehnologija, [2].

U studenom 2004. godine, 3GPP grupa za tehničke specifikacije radijskih sučelja (TSG RAN, eng. *Technical Specifications Groups Radio Access Network*) organizira prvu radionicu na temu dugoročne evolucije 3G radijskog sučelja. Ta radionica predstavlja polazišnu točku u razvoju LTE standarda. Preko 50 istraživačkih instituta, operatora i proizvođača opreme, a među njima i Ericsson, iznijelo je svoje poglede i prijedloge vezane uz evoluciju UMTS zemaljske radijske pristupne mreže. Već tada su definirani osnovni zahtjevi: smanjeni troškovi po bitu informacije, visoke brzine prijenosa uz malo kašnjenje, poboljšano pružanje velikog broja usluga, fleksibilnost upotrebe različitih frekvencijskih opsega, pojednostavljena arhitektura, otvorena sučelja, umjerena potrošnja snage u terminalima. Zaključeno je i da evoluirana mreža mora donijeti znatna unaprjeđenja kako bi opravdala standardizacijske napore.

Na temelju zaključaka ove radionice te uz široku podršku članica 3GPP-a, krajem iste godine pokrenuta je studija izvodivosti čiji je cilj bio razvoj okvira za evoluciju postojeće 3GPP radijske pristupne tehnologije prema novoj tehnologiji visokih brzina prijenosa i niskog kašnjenja, optimiziranoj za paketni prijenos. U proljeće 2005.godine 3GPP grupa za tehničke specifikacije arhitekture sustava (TSG SA, eng. *Technical Specifications Groups Service and System Aspects*) pokrenula je prateće istraživanje, budući da je zaključeno kako će novo radijsko LTE sučelje zahtijevati i odgovarajuću evoluiranu arhitekturu sustava (SAE – eng. *System Architecture Evolution*). Paralelno s intenzivnim istraživanjima predvođenim 3GPP

radnim grupama (RAN WG1-5, SA WG2), pokrenuta je i inicijativa za mobilne mreže slijedeće generacije (NGMN – eng. *Next Generation Mobile Networks*), koje provodi sedam velikih svjetskih mrežnih operatora. Cilj te inicijative je definiranje usklađene vizije tehnološke evolucije nakon 3G za konkurentno pružanje širokopojasnih bežičnih usluga. Početkom 2006. godine ova inicijativa izašla je sa svojim prioritetima ključnih karakteristika, preporukama i detaljnim zahtjevima na buduće tehnologije, uz veliki naglasak na troškove vezane za intelektualna prava (IPR – eng. *Intellectual Property Rights*). Tijekom 2007. LTE tehnologija je napredovala od studije izvodivosti prema prvom izdanju tehničkih specifikacija – pokrenuta je nova (36.) serija specifikacija pod nazivom "*Evolved UTRA (LTE) aspects*". Prvi ključni korak razvoja LTE standarda predstavljalo je odobravanje specifikacija fizičkog sloja (zračnog sučelja) zasnovanog na OFDMA pristupu. Koncem 2008. konačno je odobreno "zamrzavanje" LTE standardiziranih funkcionalnosti kao dijela 8. Izdanja (Release 8) 3GPP specifikacija, čime su one postale dovoljno stabilne za komercijalnu izvedbu. Niz operatora pokazao je veliku opredijeljenost za upotrebu LTE tehnologije pa je efikasan i brz ciklus razvoja novog standarda (svega 5 godina) omogućio realizaciju planova rane implementacije već krajem 2009. godine. Ovdje je bitno je naglasiti da po prvi puta postoji prilika da zaživi jedan stvarno globalni telekomunikacijski standard. Naime, čak i operatori koji koriste 3G tehnologije izvan 3GPP svijeta (npr. CDMA 2000 u Americi i Aziji ili TD-SCDMA u Kini) prihvaćaju LTE kao tehnologiju za evoluciju svojih mreža. Slika 2 to prikazuje.



Slika 2. LTE – globalno prihvaćen standard [1].

Kako se razvoj tehnologije nastavlja ubrzavati, tako se i 3GPP fokusira na daljnje poboljšavanje LTE standarda radi osiguravanja njegove optimalne učinkovitosti u budućnosti. To uključuje i razvoj novih specifikacija za LTE-Advanced (kao dio 10. izdanja specifikacija, Release 10, izdana početkom 2011.) čija daljnja unaprjeđenja zapravo odgovaraju četvrtoj

generaciji mobilnih sustava (4G) prema zahtjevima koje ITU postavlja pod nazivom "*IMT Advanced*"[1].

## 2.2. Evoluirani paketni sustav

Kako bi odgovorili na kontinuirani rast prijenosa mobilnih podataka i rezultirajuće potražnje za bržim prijenosom i povećanjem kapaciteta, 3GPP je osmislio evolucijskog nasljednika široko popularne UMTS tehnologije treće generacije. Ciljevi 3GPP organizacije bili su dizajnirati tehnologiju koja bi uvelike nadmašila postojeće standarde. Novonastala tehnologija nazvana je Evoluirani paketni sustav (EPS eng. *Evolved Packet System*).

Neke od glavnih promjena koje su uvedene u EPS su tzv. *all-IP nature* i *flat* arhitektura, kao i potpuno nova i efikasna radijska pristupna tehnologija nazvana LTE. Način prijenosa komutacijom kanala se smatrao nepotrebnim, pa mreža pruža samo konekcije za čiji prijenos se koristi mod komutacija paketa. Ovo poglavlje opisuje osnovnu funkcionalnost EPS mreže i tehnologije iza nje. Prvo, dan je kratak osvrt na razvoj i standardizaciju, a zatim su opisani i objašnjeni glavni mrežni elementi i njihove funkcionalnosti . Također su opisana i objašnjena sučelja i protokoli između elemenata [1].

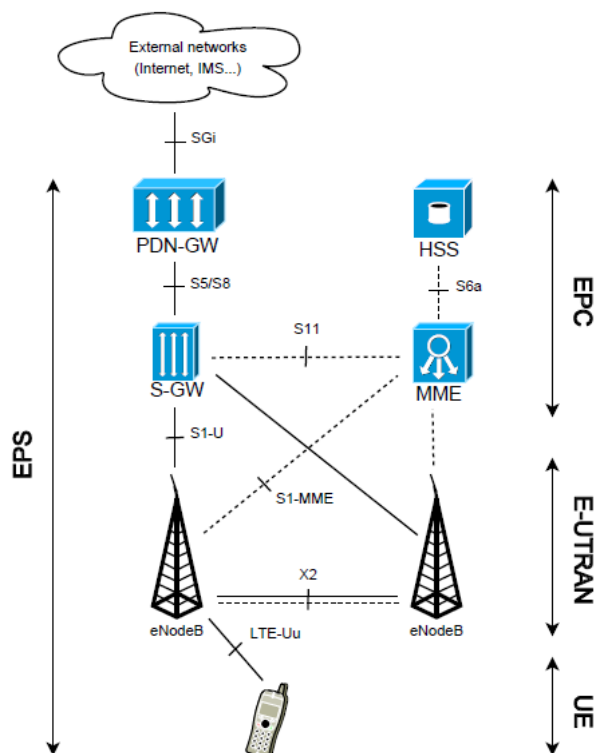
### 2.2.1. Razvoj i standardizacija

Standardizacijski proces EPS-a započeo je 2004. godine. U to vrijeme mobilni operateri nisu uvrstili čak ni HSDPA tehnologiju u svoje UMTS mreže. Standardizacijski proces naime može potrajati dugo vremena i prvo upotpunjeno izdanje od strane 3GPP organizacije predstavljajući kompletni EPS sustav, izdanje 8, završeno je u prosincu 2008. godine.

EPS se može podijeliti u dva različita funkcionalna dijela: radijska pristupna mreža *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN)* i jezgrena mreža, *Evolved Packet Core (EPC)*. Ti dijelovi su dizajnirani unutar različitih radnih skupina 3GPP organizacije. E-UTRAN je razvijen unutar radne skupine nazvane *Long Term Evolution*, odakle je i nova radijska pristupna tehnologije E-UTRAN dobila svoje ime u svakodnevnoj terminologiji. Radna skupina zadužena za EPC je nazvana *System Architecture Evolution (SAE)* [1].

## 2.2.2. Struktura mreže

Jedna od metoda korištena za poboljšanje performansi EPS-a u usporedbi s prijašnjim sustavima je nova struktura jezgrene mreže. *Radio Access Network (RAN)* i *Core Network (CN)* su obnovljeni u odnosu na UMTS. Glavni aspekt ove obnove je taj da se arhitektura mreže što više izravna. To smanjuje kašnjenje uzrokovano višestrukim elementima koji procesuiraju signal i tokove podataka. Još jedan veliki zahtjev za mrežu je *all-IP* funkcionalnost. Ta funkcionalnost omogućuje mnogo bolje iskorištenje resursa, jer nema potrebe za rezervacijom istih, već su resursi korišteni samo kada je to potrebno. Dakle, EPC jezgrene mreža i EPS sustav generalno gledano, ne sadrži dio za prosipanje kanala.



Slika 3. EPS mrežna arhitektura [1]

Mreža se sastoji od 4 velika logička dijela. Korisnička oprema (eng. User Equipment, UE), Evolved *Universal Terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN), Evolved *Packet Core* (EPC) i uslužni sloj. Uslužni sloj sadrži pristup Internetu kao i neke specifične usluge operatera kao što je IMS (eng. *IP Multimedia Subsystem*). IMS je okvir (eng. *framework*) korišten kako bi se korisnicima LTE mreže pružila multimedijaska usluga. Ovaj okvir je neophodan za primjerice glasovne pozive i glasovne usluge, budući da EPS ne sadrži izravnu podršku za taj tip komunikacije. Logički dijelovi zajedno s njihovim mrežnim elementima i sučeljima su prikazani

na slici 3. U nastavku teksta opisane su funkcionalnost svih pojedinih dijelova prikazanih na slici 3 [1].

#### 2.2.2.1. eNodeB

Jedini element u LTE radijskoj pristupnoj mreži E-UTRAN je evoluirani NodeB (eNodeB), češće spominjan kao bazna stanica. Ovaj element odgovara *NodeB*-u i *Radio Network Controller*-u (RNC) u UMTS mreži. Funkcionalnosti ovih dvaju čvorova spojena su kako bi se izravnala arhitektura i time smanjilo mrežno kašnjenje. eNodeB čvorovi formiraju E-UTRAN međusobnim spajanjem preko X2 sučelja.

ENodeB upravlja svime vezanim za radio funkcionalnost u LTE-u za dio korisničke ravnine i kontrolne ravnine. Njegova glavna uloga je pružiti pristup korisničkoj opremi prema IP jezgi radeći kao prenosnik sloja 2 (eng. *layer 2 bridge*). Odgovoran je za postavljanje *Radio Resource Connections* (RRC) i upravljanje njima, kao i raspoređivanje radio resursa prema korisnicima. RRC je opisan u nastavku teksta. Raspoređivanje uključuje određivanje prioriteta korisnika i provedbu kvalitete usluge (QoS). ENodeB također obrađuje kriptiranje i dekriptiranje korisničkih podataka kao i sažimanje IP zaglavlje kako bi se minimalizirala količina redundantnih podataka koji se šalju preko radijskog sučelja.

ENodeB je važan element u upravljanju mobilnošću (eng. *Mobility Management*, MM), budući da je odgovoran za odlučivanje o tome je li potrebno pokrenuti proces preuzimanja (eng. *Handover*). Odluka se donosi na temelju izmjerenih podataka poslanih od strane korisničke opreme. ENodeB je odgovoran za provedbu preuzimanja koje je obrađeno u nastavku rada [3].

#### 2.2.2.2. Mrežni entitet za upravljanje mobilnošću

Mrežni entitet za upravljanje mobilnošću (eng. *Mobility Management Entity*, MME) povezan je s eNodeB-om preko S1-MME sučelja. MME je glavna signalizacijska komponenta u mreži i može se smatrati kao središte „inteligencije“ i kontrole. Uloga MME-a može se usporediti sa čvorom koji podržava paketski prijenos podatka (eng. *Serving General Packet Radio Service Support Node*, SGSN) u UMTS mreži. Velika razlika u usporedbi sa SGSN-om je ta

da je MME u potpunosti element kontrolne ravnine. UMTS standard definira sličnu opciju koja se zove direktni tunel (eng. *Direct Tunnel*) koja omogućuje korisničkoj ravnini izravno preusmjeravanje iz RNC-a na *Gateway GPRS Support Node (GGSN)* umjesto da ide preko SGSN-a.

Funkcionalnosti MME-a uključuju i rukovanje praćenja lokacije korisničke opreme kao i kontrolu procedure pozivanja korisnika (eng. *Paging Procedure*). MME pohranjuje lokaciju korisničke opreme sa točnošću područja praćenja (eng. *Tracking Area, TA*) u slučaju da je korisnik u stanju mirovanja ili s točnošću ćelije u slučaju aktivne veze.

Područje praćenja se definira kao područje unutar kojeg se korisnik može slobodno kretati bez potrebe za izmjenom MME-a. TA je izraz koji se koristi u LTE mrežama. Mreža alocira popis s jednog ili više područja praćenja za pojedinog korisnika [11].

Tijekom preuzimanja unutar sustava, MME je odgovoran za kontrolu preuzimanja na putu korisničke ravnine od *Serving Gateway-a (S-GW)* prema novom eNodeB-u na njegov zahtjev. To znači da MME prati svaki proces preuzimanja koji se događa unutar njegovog području djelovanja. Također služi kao signalna točka sidrenja mobilnosti (eng. *Signalling anchor point*) za preuzimanje prema GSM i UMTS sustavima.

Kada se korisnička oprema spaja na mrežu, MME je odgovoran za provjeru autentičnosti, pomoću poslužitelja domaćih korisnika (eng. *Home Subscriber Server, HSS*). MME obavlja autorizaciju, odnosno provjeru ima li dati pretplatnik pravo na korištenje mreže. Uz autentifikaciju, MME upravlja sigurnosnim funkcijama između korisničke opreme i mreže.

MME je odgovoran za upravljanje i prekid *Non-Access-Stratum (NAS)* signalizacije. NAS poruke se izmjenjuju između korisničke opreme i MME-a. Ova signalizacija se koristi za EPS upravljanje mobilnošću (eng. *EPS Mobility Management, EMM*) i EPS upravljanje sesijom (eng. *EPS Session Management, ESM*). Procedure izvede sa EMM-om uključuju spajanje i odspajanje (eng. *attach/detach*), ažuriranje područja praćenja i autentifikacija. ESM upravlja uspostavom nositelja iniciranom od strane korisničke opreme i procedurama modifikacija [3].

### 2.2.2.3. Serving Gateway

*Serving Gateway* (S-GW) je glavni element korisničke ravnine u jezgrenoj mreži. Njegova osnovna funkcija je upravljanje konekcijama koje prolaze kroz korisničku ravninu te njihov prijenos na odgovarajući element u mreži.

S-GW obavlja funkciju sidrenja mobilnosti u *inter-eNodeB* procesu preuzimanja. U trenutku kada korisnička oprema prelazi na područje novog e-NodeB čvora, MME daje upute S-GW-u za prebacivanje puta korisničke ravnine prema novom e-NodeB čvoru. Isti S-GW tada i dalje služi novi e-NodeB čvor. Međutim, ako je novi e-NodeB čvor na području djelovanja drugog S-GW-a, novi S-GW mora biti odabran od strane MME-a. S-GW također obavlja funkciju sidrenja mobilnosti i u međudjelovanju sa GSM i UMTS sustavima.

Također može doći do situacije kada je korisnička oprema u stanju mirovanja, a time i bez aktivne veza s mrežom, a podaci počnu teći prema njoj. Tada S-GW pohranjuje nadolazeće pakete i zahtjeva od MME-a početak procedure pozivanja zadanog korisnika. Nakon što je otvoren put za korisničku opremu. S-GW prosljeđuje pohranjene pakete kao i one koje još nadolaze [3].

### 2.2.2.4. Pristupnik za paketnu podatkovnu mrežu

Kao što mu samo ime govori, Pristupnik za paketnu podatkovnu mrežu (eng. *Packet Data Network Gateway*, PDN-GW) je pristupnik prema drugim IP mrežama. To ne moraju biti javne mreže poput Interneta, već to mogu biti i privatne mreže i mreže u vlasništvu operatora, poput IMS-a. PDN-GW dodjeljuje IP adresu korisničkoj opremi za svaku pojedinu mrežu na koju je spojen. U usporedbi s UMTS jezgrenom mrežom, PDN-GW ima sličnu ulogu kao GGSN.

PDN-GW je odgovoran za mapiranje dolaznih IP paketa prema odgovarajućem nosiocu u EPC te njihovo daljnje prosljeđivanje, kao i za prikupljanje podataka o naplati. Na temelju ovih funkcionalnosti, protok podataka za različite korisnike može biti odvojen te se mogu identificirati usluge koje zahtijevaju poseban QoS, kao što VoIP (eng. *Voice over IP*) pozivi.

Budući da je PDN-GW krajnji element u EPS, također je i najviša razina sidrenja mobilnosti na raspolaganju. S-GW se može promijeniti tijekom aktivne sesije, ali dokle god je

korisnička oprema spojena na određene vanjske mreže, PDN-GW ostaje nepromijenjen bez obzira na mobilnost unutar mreže operatora [3].

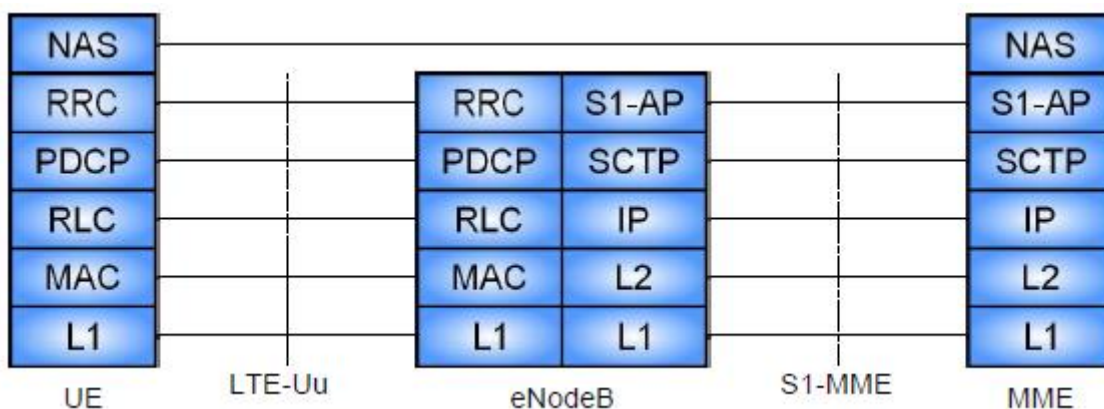
### 2.2.2.5. Poslužitelj domaćih korisnika

Poslužitelj domaćih korisnika (eng. *Home Subscriber Server*, HSS) je ekvivalent EPS registru domaćih korisnika (eng. *Home Location Register*, HLR) prijašnjih 3GPP mreža. Sadrži profile pretplatnika koje sadrže podatke kao što su dopuštena roaming područja i dostupne PDN konekcije. HSS također prati položaj svake NG s točnošću MME-a. Osim toga, HSS sadrži glavni ključ za svaku pretplatu iz kojeg se generiraju svi ostali sigurnosni ključevi [3].

### 2.2.3. Sučelja i protokoli

Protokolarna struktura EPS-a se znatno razlikuje od prijašnjih 3GPP tehnologija. To proizlazi iz toga što je EPS orijentiran na prospajanje paketa. Skup protokola signalizacijski sustav broj 7 (eng. *Signalling System 7*, SS7) je izbačen iz specifikacije. Umjesto SS7, EPS se oslanja na već poznatu IP arhitekturu za prijenos poruka kontrolne ravnine. Većina protokola koji se koriste u EPS-u, osim protokola zračnog sučelja, je odredio *Internet Engineering Task Force* (IETF).

Slika 4 prikazuje strukturu signalizacijskog protokola kontrolne ravnine od korisničke opreme prema MME-u. LTE-Uu se odnosi na zračno sučelje, a S1-MME je sučelje između eNodeB i MME. Protokolarna struktura u LTE-Uu se razlikuje od ostalih veza, jer obrađuje radio prijenos i sve vezano uz radio prijenos. U nastavku je kratki opis i objašnjenje protokola u LTE-Uu.



Slika 4. Protokolarna struktura korisničke ravnine između korisničke opreme i MME-a [3]

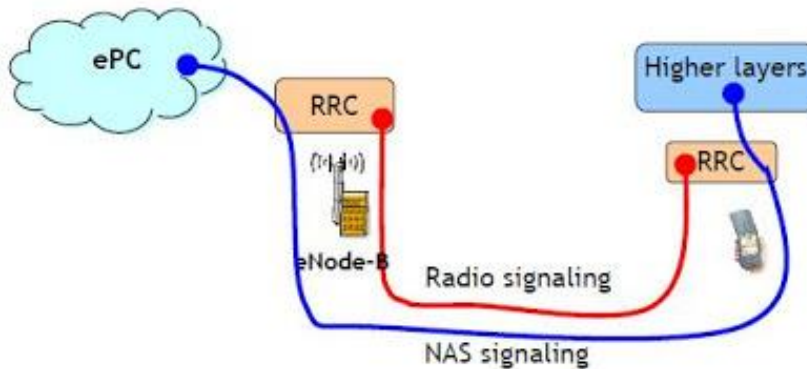


- L1 (*Layer 1*) se odnosi na korišteni prijenosni medij i povezane funkcionalnosti. U ovom slučaju uključuje npr. metodu višestrukog pristupa, modulaciju, kodiranje kanala, itd.
- MAC (*Medium Access Control*) je odgovoran za ispravljanje pogrešaka putem retransmisije i raspoređivanje korisnika prema prijenosnim kanalima.
- RLC (*Radio Link Control*) je odgovoran za dostavu paketa u redosljedu i otkrivanje duplih setova podataka na zračnom sučelju. Također upravlja različitim zadacima koji se odnose na segmentiranje i ulančavanje poslanih paketa.
- PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*) se koristi za prijenos podataka više razine. Provodi kompresiju robusnog IP zaglavlja za smanjenje opterećenja i sekvencijalno numeriranje (eng. *Sequence numbering*) za praćenje poslanih ili primljenih podataka. To je od posebne važnosti tijekom procesa preuzimanja. PDCP također obrađuje sigurnosne funkcionalnosti kao što su šifriranje i zaštitu cjelovitosti.
- RRC (*Radio Resource Control*) upravlja radio resursima koje koriste korisnička oprema i e-NodeB. To je izuzetno važno s gledišta mobilnosti, budući da pruža alate za upravljanje i informacije potrebne za procesa preuzimana i izbor ćelije. Također pruža izmjenu signalizacijskih poruka između korisničke opreme i eNodeB čvora te prosljeđuje signalizacijske poruke primljene od jezgrene mreže [10].

S1-MME sučelje slijedi IP model. Kratak opis protokola prikazanih na slici 4 se nalazi u nastavku teksta.

- L1 se najčešće implementira s nekim oblikom fiksnog kabliranja, kao što su optička vlakna.
- L2 je odabrana srednja pristupna tehnologija, obično *Ethernet*.
- IP (*Internet Protocol*) se koristi za rutiranje signalizacijskih i korisničkih podataka poruka kroz okosnicu (eng. *Backbone*) i jezgrene mrežu.
- SCTP (*Stream Control Transmission Protocol*) je prijenosni protokol dizajniran od strane IETF za prijenos signalnih poruka javne telefonske mreže (eng. *Public Switched Telephone Network* PSTN) preko mreže temeljena na IP-u. Između ostalog, pruža i pouzdanu isporuku poruka aplikacijskog dijela.
- S1-AP je aplikacijski protokol koji služi za prenošenje signalnih poruka između čvora e-NodeB i MME-a. Uključuje i procedura kao što su preuzimanje i konfiguracija radijskih nositelja.

- NAS (*Non-Access Stratum*). O ovom protokolu je bilo riječi i u poglavlju 2.2.2.2.. To je skup protokola u evoluiranom paketskom sustavu [12]. Upravlja *EPS Mobility Management*-om uključujući i procedure kao što su spajanje i odspajanje (eng. *attach/detach*), ažuriranje područja praćenja i autentifikacija. NAS signalizacija „teče“ između korisničke opreme i MME-a. ENodeB samo prenosi poruke bez da ih obradi. Slika 5 prikazuje tok NAS signalizacije.

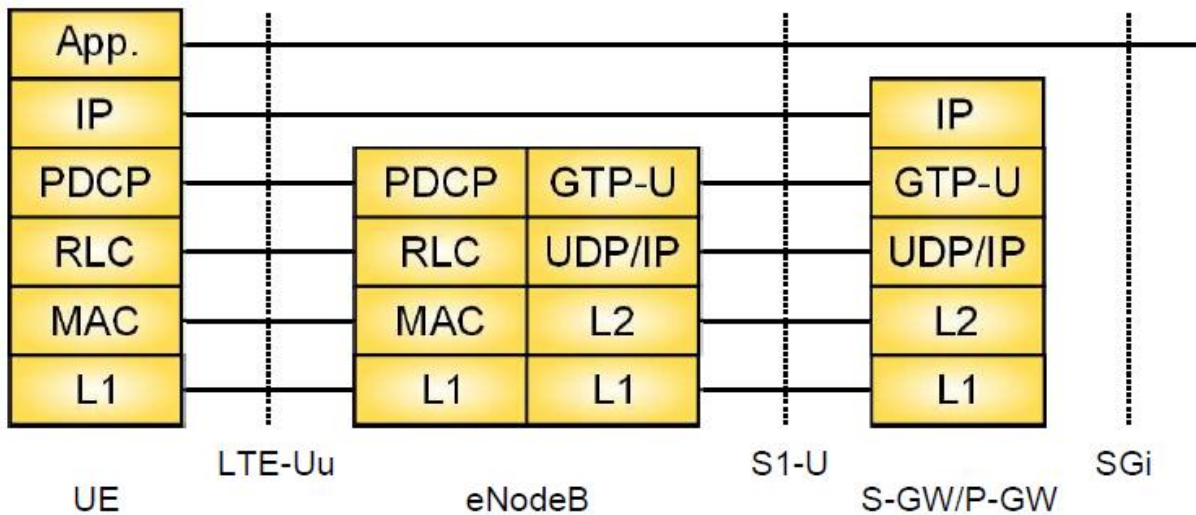


Slika 5. RRC protokol [10]

Slika 6 prikazuje sučelja i protokolarnu strukturu podataka korisniče ravnine. S-GW i PDN-GW su u kombinaciji radi pojednostavljenja.

LTE-UU sučelje je slično zračnom sučelju kontrolne ravnine s izuzetkom IP podatkovnih paketa na mjestu RRC i NAS signalizacije. S1-U sučelje je nešto drugačije. U nastavku je kratki opis S1-U na dijelovima koji razlikuju od slike 4.

- UDP / IP (*User Datagram Protocol over IP*). UDP je minimalan, nepouzdan transportni protokol bez elemenata za redosljednu dostavu, otkrivanje duplih paketa i kontrolu zagušenja. Pretpostavka je da te zadatke provodi protokol više razine.
- GTP-U (*GPRS Tunneling Protocol User plane*) se koristi za tuneliranje korisničkih IP paketa kroz EPC. On također nosi informacije vezane za QoS, naplatu i mobilnost.



**Slika 6. Protokolarna struktura korisničke ravnine između korisničke opreme i S-GW/P-GW [3]**

Za razliku od drugih EPC protokola, GTP je specificiran od strane 3GPP-a kako bi odgovarao potrebama mobilne jezgre. Prvi put je predstavljen u GPRS paketnoj mreži. GTP se suočavao s nekim otporom tijekom procesa EPS standardizacije, jer svi ostali protokoli su IETF standarda. Otpora je bilo uglavnom zbog činjenice pošto je GTP protokol načinjen od strane 3GPP-a, možda neće raditi ispravno s drugim pristupnim mrežama koje nisu 3GPP standarda

Treba napomenuti da se UDP / IP protokol na slici 6 koristi za usmjeravanje samo u EPC-u. Stvarni korisnički IP podatkovni paket je tuneliran na vrhu GTP-U protokola prema PDN-GW-u. Od tamo se šalje dalje na vanjsku mrežu preko SGi sučelja.

Slika 4 prikazuje X2 sučelja između dva eNodeB čvora. Kontrolna ravnina X2 sučelja koristi se za pripremu i obavljanje preuzimanja. Također se koristi za koordinaciju interferencije između dva susjedna eNodeB čvora. Ove funkcionalnosti su dostupne preko X2-AP protokola. SCTP preko IP protokola se koristi za prijenos signalizacijskih poruka između dva eNodeB čvora.

X2 korisnička ravnina je potrebna za prosljeđivanje podataka po silaznom linku tijekom procesa preuzimanja. Osnovna ideja je prihvatiti silazne podatke koji dolaze od S-GW-a prema izvornom eNodeB čvoru i proslijediti ih prema odredišnom eNodeB čvoru nakon što je korisnička oprema promijenila baznu stanicu. Kada se tok podataka iz S-GW-a prebaci na novi eNodeB čvor, prosljeđivanje je prekinuto. Taj proces je poznat i kao proces preuzimanja bez gubitaka (*lossless handover*) [3].

### 3. Proces preuzimanja poziva

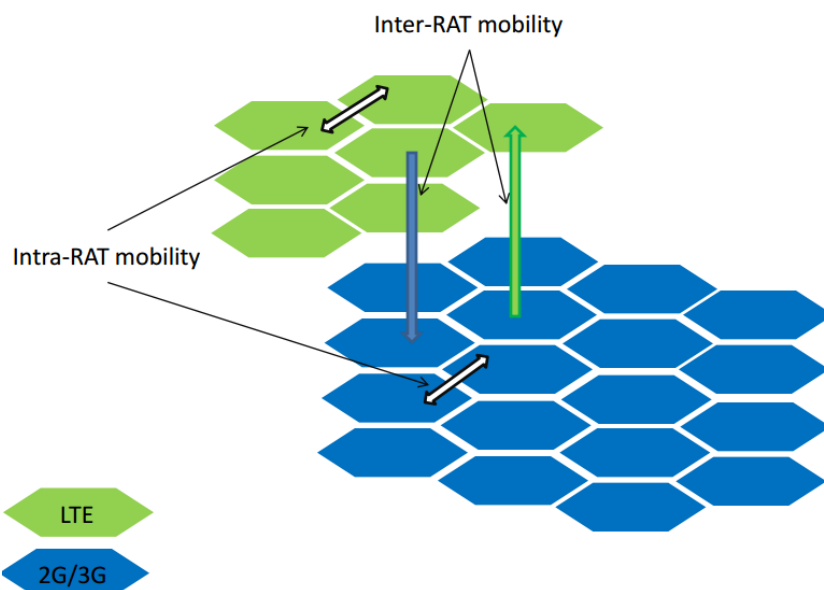
Glavni ciljevi procesa preuzimanja poziva su da se održi razina QoS-a ne samo neposredno prije i poslije tog procesa, već i tijekom samog procesa. Bitno je da proces previše ne utječe na pražnjenje baterije korisničke opreme i da će se održati kontinuitet usluge. Također je bitno da se tijekom preuzimanja prema drugoj tehnologiji (3G/2G/CMDA) usluga ostane neprekinuta.

Odluka o preuzimanju se može obaviti na dva načina. Prvi način je da mreža donese odluku o preuzimanju, a drugi način je da korisnička oprema donese odluku o preuzimanju i o tome obavijesti mrežu. U ovom slučaju, konačnu odluku ipak donosi mreža, temeljem *Radio Resource Management*-a.

U 3G i LTE mrežama, hibridni pristup se koristi za odlučivanje o preuzimanju. U tom slučaju, korisnička oprema će pomoći u odluci mjerenjem susjednih ćelija i slanjem izvještaja o mjerenju mreži, koja pak odlučuje o trenutku kada će obaviti preuzimanje i ciljanoj ćeliji ili čvoru. Mreža odlučuje o parametrima za mjerenje i izvješćivanje [4].

U LTE sustavima postoje tri vrste procesa preuzimanja:

- Intra-LTE: Proces se odvija unutar trenutnog LTE čvora
- Inter-LTE: Proces se odvija prema drugim LTE čvorovima
- Inter-RAT: Proces između mreža različitih pristupnih radio tehnologija, kao što je prikazano na slici 7.



Slika 7. Inter-RAT preuzimanje sesije

### 3.1 Preuzimanje unutar E-UTRAN mreže

Ova procedura opisuje proces preuzimanja poziva od izvorišnog prema odredišnom eNodeB čvoru.

#### 3.1.1. Preuzimanje poziva temeljeno na X2 sučelju

Ova procedura se koristi za predaju korisničke opreme od izvorišnog eNodeB čvora prema odredišnom eNodeB čvoru koristeći X2 referentnu točku, vidljivo na slici 3. koja prikazuje arhitekturu mreže. Tijekom te procedure MME ostaje nepromijenjen. Dva su postupka definirana ovisno o tome ostaje li S-GW nepromijenjen ili je premješten. Osim X2 referentne točke između izvorišnog i odredišnog eNodeB čvora, procedure se oslanjaju na prisutnost S1-MME referentne točke između MME-a i izvorišnog eNodeB čvora kao i između MME-a i odredišnog eNodeB čvora.

Kada korisnička oprema koja primi naredbu o preuzimanju, uklonit će sve EPS nositelje za koje nije dobila odgovarajuće EPS radio nositelje u odredišnoj ćeliji. U okviru izvršenja preuzimanja, silazni i po potrebi uzlazni paketi biti će proslijeđeni od izvorišnog eNodeB čvora prema odredišnom. Kada korisnička oprema stigne na odredišni eNodeB čvor, silazni podaci mogu joj se odaslati proslijeđeni od izvorišnog eNodeB čvora prema odredišnom. Uzlazni podaci sa korisničke opreme mogu biti isporučeni putem (izvorišnog) S-GW-a prema PDN GW-u ili se prema potrebi prosljeđuju od izvorišnog eNodeB čvora prema odredišnom. Potencijalna promjena S-GW-a može utjecati samo na završnu fazu procesa preuzimanja, dok su pripremna i izvršna faza procesa identični [5].

##### *3.1.1.1. Preuzimanje poziva bez promjene S-GW-a temeljeno na X2 sučelju*

Ova procedura se koristi za predaju korisničke opreme od izvorišnog eNodeB čvora prema odredišnom eNodeB čvoru pomoću X2 kada je MME nepromijenjen i odluči da S GW također ostaje nepromijenjen. Pretpostavljena je prisutnost IP povezanosti između S-GW-a i izvorišnog eNodeB čvora, kao i između S-GW-a i odredišnog eNodeB čvora [5].

### 3.1.1.2. Preuzimanje poziva sa promjenom S-GW-a temeljeno na X2 sučelju

Ova procedura se koristi za predaju korisničke opreme od izvorišnog eNodeB čvoru prema odredišnom eNodeB čvoru pomoću X2 kada je MME nepromijenjen i odluči da će S-GW biti promijenjen. Pretpostavljena je prisutnost IP povezanosti između izvorišnog S-GW-a i izvorišnog eNodeB čvora, kao i između izvorišnog S-GW-a i odredišnog eNodeB čvora, kao i IP povezanost između izvorišnog i odredišnog S-GW-a [5].

### 3.1.2. Preuzimanje poziva temeljeno na S1 sučelju

Preuzimanje poziva temeljeno na S1 sučelju se koristi kada se ne može koristiti preuzimanje poziva temeljeno na X2 sučelju. Izvorišni eNodeB čvor inicira preuzimanje slanjem *Handover Required* poruke preko S1-MME referentne točke, ovaj postupak može promijeniti MME i/ili S-GW. Izvorišni MME odabire odredišni MME. MME ne bi trebao biti promijenjen tijekom procedure preuzimanja sesije između eNodeB čvorova (*inter-eNodeB handover*), osim u slučaju kada korisnička oprema napušta područje posluživanja MME-a. MME (odabrani odredišni MME) određuje treba li S-GW biti promijenjen i donosi odluku o promjeni.

Izvorišni eNodeB čvor odlučuje koji EPS nositelji su subjekti za prosljeđivanje paketa od izvorišnog eNodeB čvora prema odredišnom eNodeB čvoru. EPC ne mijenja odluku donesenu od strane RAN čvora. Prosljeđivanje paketa se može odvijati bilo izravno od izvorišnog eNodeB čvora prema odredišnom eNodeB čvoru ili posredno preko S-GW-a.

Dostupnost direktnog puta prosljeđivanja se određuje unutar izvorišnog eNodeB čvora te se taj podatak prenosi odredišnom eNodeB čvoru. Ako je X2 povezanost dostupna između izvorišnog i odredišnog eNodeB čvora, direktni put prosljeđivanja je dostupan.

Ukoliko direktni put prosljeđivanja nije moguć, koristit će se indirektni put prosljeđivanja. MME (izvorišni i odredišni) koristi konfiguracijske podatke kako bi utvrdio hoće li se uspostaviti indirektni put za prosljeđivanje paketa. Ovisno o konfiguracijskim podacima, izvorišni MME određuje i upućuje odredišni MME hoće li se uspostaviti indirektni put prosljeđivanja paketa. Na temelju tih pokazatelja i konfiguracijskih podataka odredišni MME određuje hoće li se uspostaviti indirektni put za prosljeđivanja podataka [5].

## 3.2 Preuzimanje između različitih radijskih tehnologija

Pomoću EPC, neprekidna komunikacija je moguća, čak i kada se korisnička oprema prebacuje iz jednog sustava u drugi sustav koji koristi drugačiji radijski pristup.

Tijekom preuzimanja poziva između različitih radijskih tehnologija može se koristiti indirektno prosljeđivanje za silazne podatke kao dio procedure. Iz njegovih konfiguracijskih podataka MME zna hoće li se koristiti indirektno prosljeđivanje i alocira put prosljeđivanja silaznih podataka na S-GW za indirektno prosljeđivanje. Iz konfiguracijskih podataka S4 SGSN zna hoće li se koristiti indirektno prosljeđivanje i alocira put prosljeđivanja silaznih podataka na S-GW za indirektno prosljeđivanje. Podaci o tome hoće li se indirektno prosljeđivanje silaznih podataka koristiti uvijek ili se neće koristiti konfigurirano je unutar MME-a i S4 SGSN-a [5].

## **4. Analiza i modeliranje procesa preuzimanja poziva između baznih stanica u LTE mreži.**

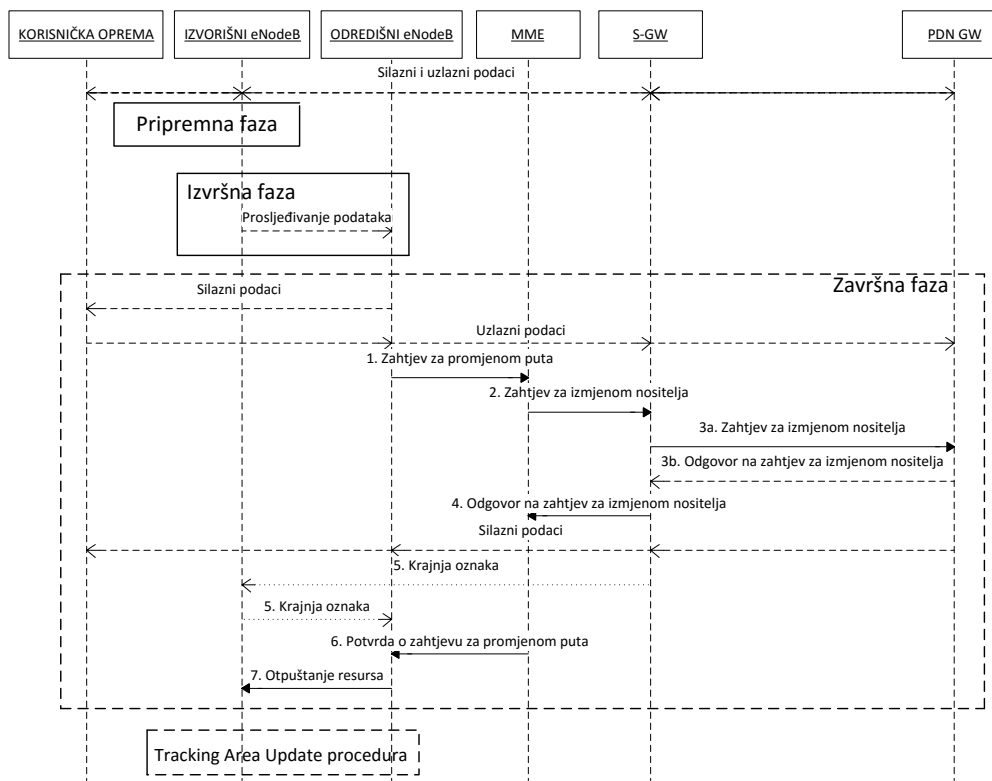
Ovo poglavlje donosi detaljnu analizu procesa preuzimanja poziva između baznih stanica u LTE mreži temeljenom na X2 i S1 sučelju.

Proces preuzimanja mora biti detaljno isplaniran i jednoznačno definiran, stoga će se za razmjenu signalizacijskih poruka u procesu preuzimanja poziva koristiti UML dijagrami. Oni nude skup dobro određenih grafičkih prikaza i omogućavaju dobro razumijevanje strukture i ponašanja nekog sustava. Za opis ove vrste procesa posebno su pogodni UML dijagrami međudjelovanja jer daju naglasak na vremenski redoslijed kojim se odvija međudjelovanje sudionika u sustavu.

### **4.1 Analiza i modeliranje preuzimanja poziva bez promjene S-GW-a temeljeno na X2 sučelju**

Dijagram 1 prikazuje preuzimanje poziva bez promjene S-GW-a temeljeno na X2 sučelju, što je detaljno opisano u ovom poglavlju. U nastavku teksta objašnjeni su koraci u izvođenju procesa preuzimanja sesije između baznih stanica u LTE mreži temeljenom na X2 sučelju bez promjene S-GW-a.





**Dijagram 1. Preuzimanja poziva bez promjene S-GW-a temeljeno na X2 sučelju**

Izvor: [6]

1. Odredišni eNodeB čvor šalje poruku zahtjeva za promjenom puta (eng. *Path Switch Request*) MME-u kako bi ga obavijestio da je korisnička oprema prešla na područje druge ćelije, uključujući i TAI (eng. *Tracking Area Identifier*) i ECGI (eng. *E-UTRAN Cell Global Identifier*) podatke o odredišnoj ćeliji i popis EPS nositelja koji će biti promijenjeniji.

MME utvrđuje da S-GW može nastaviti posluživati korisničku opremu.

2. MME šalje poruku zahtjeva za izmjenom nositelja (eNodeB adrese i TEID (eng. *The Tunnel Endpoint ID*) informacije za silazne podatke korisničke ravnine, ISR aktivan(eng. *Idle Mode Signaling Reduction*)) po vezi javne podatkovne mreže (PDN, eng. *Public Data Network*) prema S-GW-u za svaku pojedinu PDN vezu gdje je zadani nositelj prihvaćen od strane odredišnog eNodeB čvora. Ako PDN GW zatraži podatke o lokaciji korisničke opreme, MME će ih uključiti u poruci. Ako se vremenska zona korisničke opreme promijenila, MME će podatke o vremenskoj zoni korisničke opreme uključiti u poruku. Ako je ISR bio aktiviran prije početka

procedure, MME će ga održavati aktivnim. Korisnička oprema je informirana o ISR statusu u dijelu procedure ažuriranja područja praćenja (eng. *Tracking Area Update*).

MME koristi popis EPS nositelja koji će biti promijenjeni, primljen u prvom koraku kako bi odredio je li neki od namijenjenih nositelja u kontekstu korisničke opreme odbijen od strane odredišnog eNodeB čvora. MME otpušta odbijene nositelje okidanjem procedure za otpuštanje nositelja. Ako S-GW primi silazne pakete odbijenih nositelja, odbacit će te pakete i neće poslati obavijest o silaznim podacima MME-u.

Ako zadani nositelj PDN veze nije prihvaćen od strane odredišnog eNodeB čvora i ako je više PDN veza aktivno, MME će smatrati sve nositelje te PDN veze odbačenim i otpustit će tu PDN vezu okidanjem procedure MME zahtjeva za odspajanjem PDN veze.

Ako niti jedan od zadanih EPS nositelja nije prihvaćen od strane odredišnog eNodeB čvora, MME će postupiti prema koraku 6.

3. Ako je S-GW primio podatke o lokaciji korisnika i/ili o vremenskoj zoni iz koraka 2., S-GW obavještava PDN GW o tim podacima kako bi se one mogle koristiti u svrhu npr. naplate slanjem poruke zahtjeva o izmjeni nositelja po PDN vezi prema PDN GW-u na kojeg se to odnosi. Poruka o zahtjevu za izmjenom nositelja šalje se natrag S-GW-u.

4. S-GW počinje slati silazne pakete odredišnom eNodeB čvoru koristeći novoprimljene adrese i TEID podatke. Poruka odgovora na zahtjev za izmjenom nositelja se šalje natrag MME-u

5. Kako bi pomogao u funkciji preslagivanja u odredišnom eNodeB čvoru, S-GW šalje jedan ili više paketa s krajnjom oznakom na stari put odmah nakon promjene puta.

6. MME potvrđuje poruku zahtjeva za promjenom puta slanjem poruke potvrde o zahtjevu za promjenom puta. Ukoliko se AMBR (eng. *Aggregate Maximum Bit Rate*) korisničke opreme promijenio, primjerice ako su svi EPS nositelji povezani na isti APN (eng. *Access Point Name*) odbijeni u odredišnom eNodeB čvoru, MME će dostaviti ažuriranu vrijednost AMBR-a korisničke opreme u poruci potvrde o zahtjevu za izmjenom puta.

Ako neki od nositelja nisu uspješno izmijenjeni u jezgrenoj mreži, MME će navesti u ovoj poruci koji nositelji nisu uspostavljeni i za njih pokrenuti proceduru otpuštanja nositeljakako bi

otпустиo resurse jezgrene mreže neuspješno izmijenjenih zadanih EPS nositelja. Odredišni eNodeB čvor će obrisati odgovarajuće nositelje kada dobije obavijest da ti nositelji nisu uspostavljeni u jezgrenoj mreži.

Ako ni jedan od zadanih EPS nositelja nije izmijenjen uspješno u jezgrenoj mreži ili nisu prihvaćeni od strane odredišnog eNodeB čvora, MME će poslati poruku o neuspješnom zahtjevu za promjenom puta odredišnom eNodeB čvoru. MME zatim obavlja eksplicitno odspajanje korisničke opreme.

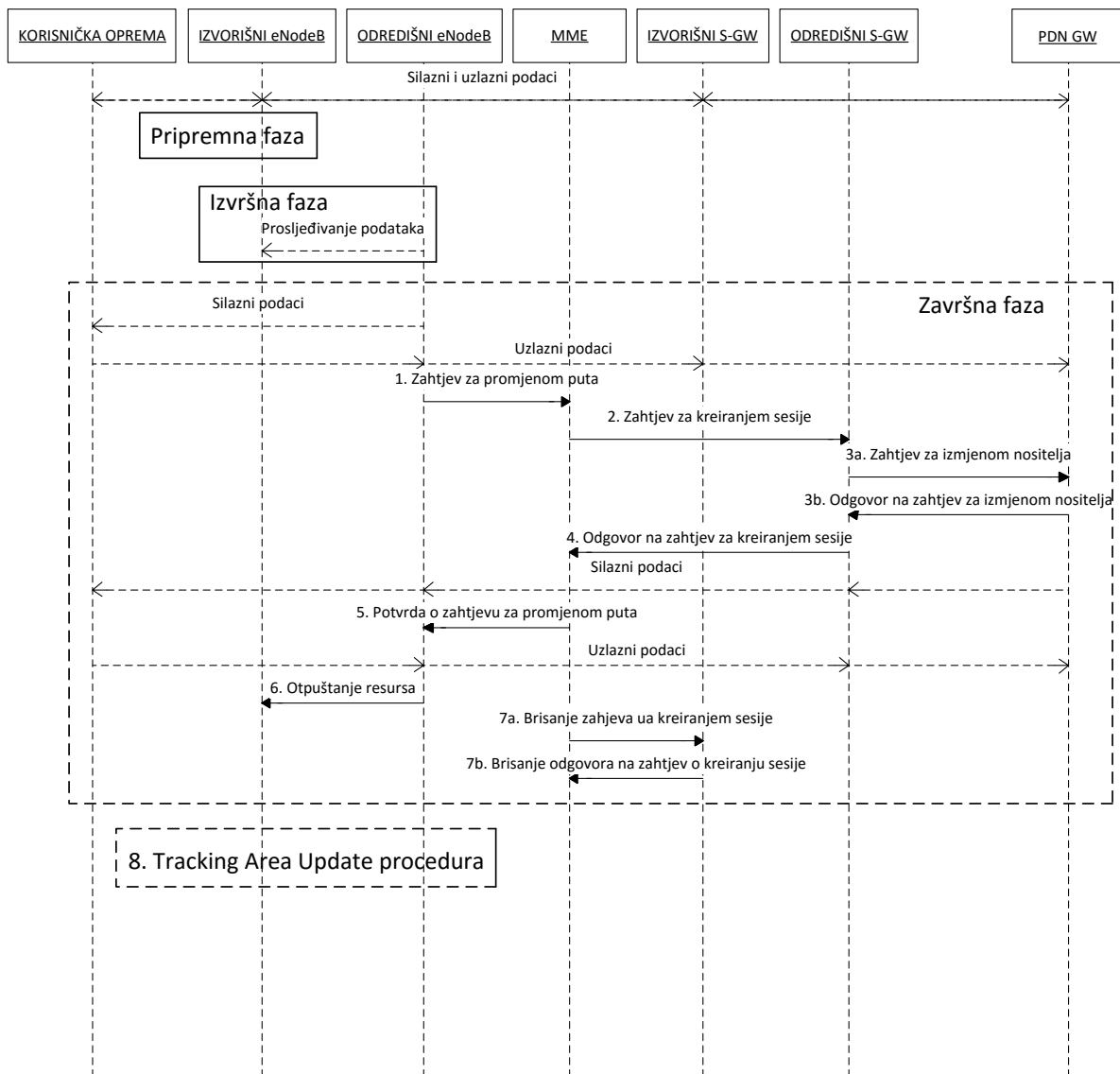
7. Slanjem poruke za otpuštanjem resursa odredišni eNodeB čvor obavještava o uspješno obavljenom preuzimanju i aktivira oslobađanje resursa.

8. Korisnička oprema inicira proceduru ažuriranja područja praćenja [6].

#### **4.2 Analiza i modeliranje preuzimanja poziva sa promjenom S-GW-a temeljeno na X2 sučelju**

Dijagram 2 prikazuje preuzimanje poziva sa promjenom S-GW-a temeljeno na X2 sučelju, što je detaljno opisano u ovom poglavlju. U nastavku teksta objašnjeni su koraci u

izvođenju procesa preuzimanja sesije između baznih stanica u LTE mreži temeljenom na X2 sučelju sa promjenom S-GW-a.



**Dijagram 2. Preuzimanja poziva sa promjenom S-GW-a temeljeno na X2 sučelju**

Izvor: [7]

1. Odredišni eNodeB čvor šalje poruku zahtjeva za promjenom puta (eng. *Path Switch Request*) MME-u kako bi ga obavijestio da je korisnička oprema prešla na područje druge ćelije,

uključujući i ECGI (eng. *E-UTRAN Cell Global Identifier*) podatke o određenoj ćeliji i popis EPS nositelja koji će biti promijenjeni.

MME utvrđuje da je došlo do promjene S-GW-a i odabire novi S-GW.

2. MME šalje poruku zahtjeva za kreiranjem sesije po PDN vezi prema određenoj S-GW-u za svaku PDN vezu za koju je zadani nositelj prihvaćen od strane određenog eNodeB čvora. Određeni S-GW alocira SGW adrese i TEID informacije za uzlazni promet preko S1-U sučelja (jedan TEID po nositelju). Tip protokola (eng. *The Protocol Type*) određuje koji će se protokol koristiti preko S5/S8 sučelja. Ako P-GW zatraži podatke o lokaciji korisničke opreme, MME će te podatke uključiti u poruku.

MME koristi popis EPS nositelja koji će biti promijenjeni, primljen u prvom koraku kako bi odredio je li neki od namijenjenih nositelja u kontekstu korisničke opreme odbijen od strane određenog eNodeB čvora. MME otpušta odbijene nositelje okidanjem procedure za otpuštanje nositelja preko određenog S-GW-a. Ako S-GW primi silazne pakete odbijenih nositelja, odbacit će te pakete i neće poslati obavijest o silaznim podacima MME-u.

Ako zadani nositelj PDN veze nije prihvaćen od strane određenog eNodeB čvora i ako je više PDN veza aktivno, MME će smatrati sve nositelje te PDN veze odbačenim i otpustit će tu PDN vezu okidanjem procedure MME zahtjeva za odspajanjem PDN veze.

Ako niti jedan od zadanih EPS nositelja nije prihvaćen od strane određenog eNodeB čvora, MME će postupiti prema koraku 5.

3. Određeni S-GW dodjeljuje adrese i TEID informacije za silazni promet od PDN-GW-a. S-GW alocira silazne TEID informacije i za odbijene nositelje. Također šalje poruku zahtjeva za izmjenom nositelja. S-GW uključuje i informacije o lokaciji korisnika i/ili vremenskoj zoni ako su prisutne u koraku 2. PDN-GW ažurira svoja polja sadržaja i vraća odgovor na zahtjev za izmjenom nositelja S-GW-u. MSISDN (eng. *Mobile Station International Subscriber Directory Number*) je također uključen ako ga PDN GW ima pohranjenog u sadržaju korisničke opreme. PDN-GW počinje slati silazne pakete prema određenoj S-GW-u koristeći novoprimljene adrese i TEID informacije. Ti silazni podaci koristit će novi silazni put preko određenog S-GW-

a prema određišanom eNodeB čvoru. S-GW će alocirati TEID informacije za neuspješno uspostavljene nositelje i obavijestiti MME o tome.

4. Odredišni S-GW šalje poruku odgovora na zahtjev o kreiranju sesije povratno MME-u. MME pokreće brojač koji će se koristiti u koraku 7.

5. MME potvrđuje poruku zahtjeva za promjenom puta slanjem poruke potvrde o zahtjevu za promjenom puta. Ukoliko se AMBR (eng. Aggregate Maximum Bit Rate) korisničke opreme promijenio, primjerice ako su svi EPS nositelji povezani na isti APN (eng. Access Point Name) odbijeni u određišanom eNodeB čvoru, MME će dostaviti ažuriranu vrijednost AMBR-a korisničke opreme u poruci potvrde o zahtjevu za izmjenom puta. Odredišni eNodeB čvor počinje koristiti nove S-GW adrese i TEID informacije za prosljeđivanje nadolazećih silaznih paketa.

Ako neki od nositelja nisu uspješno izmijenjeni u jezgrenoj mreži, MME će navesti u ovoj poruci koji nositelji nisu uspostavljeni i za njih pokrenuti proceduru otpuštanja nositelja kako bi otpustio resurse jezgrene mreže neuspješno izmijenjenih zadanih EPS nositelja. Odredišni eNodeB čvor će obrisati odgovarajuće nositelje kada dobije obavijest da ti nositelji nisu uspostavljeni u jezgrenoj mreži.

Ako ni jedan od zadanih EPS nositelja nije izmijenjen uspješno u jezgrenoj mreži ili nisu prihvaćeni od strane određišanog eNodeB čvora, MME će poslati poruku o neuspješnom zahtjevu za promjenom puta određišanom eNodeB čvoru. MME zatim obavlja eksplicitno odspajanje korisničke opreme.

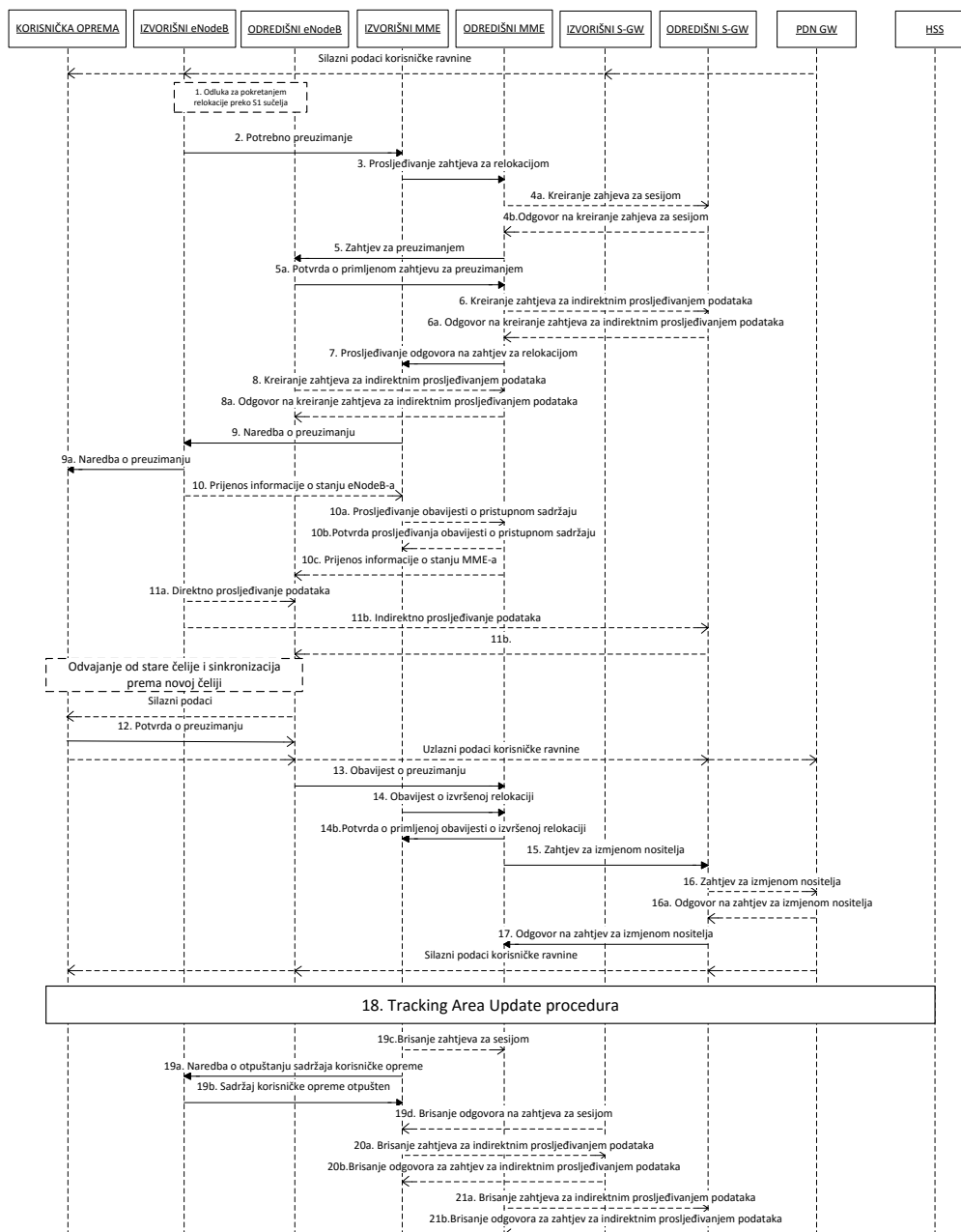
6. Slanjem poruke za otpuštanjem resursa određišni eNodeB čvor obavještava o uspješno obavljenom preuzimanju i aktivira oslobađanje resursa.

7. Kada istekne brojač iz koraka 4, izvorišni MME otpušta nositelje u izvorišnom S-GW-u šaljući poruku brisanja zahtjeva za kreiranjem sesije. Ta poruka ukazuje izvorišnom S-GW-u da izvorišni S-GW neće inicirati proceduru brisanja prema PDN-GW-u. Izvorišni S-GW to potvrđuje porukom brisanja odgovora na zahtjev o kreiranju sesije.

8. Korisnička oprema inicira proceduru ažuriranja područja praćenja kada je to potrebno [7].

### 4.3 Analiza i modeliranje preuzimanje poziva temeljeno na S1 sučelju

Dijagram 3 prikazuje preuzimanje poziva temeljeno na S2 sučelju, što je detaljno opisano u ovom poglavlju. U nastavku teksta objašnjeni su koraci u izvođenju procesa preuzimanja sesije između baznih stanica u LTE mreži temeljenom na S2 sučelju.



Dijagram 3. Preuzimanje poziva temeljeno na S1 sučelju

Izvor: [8]

1. Izvorišni eNodeB čvor odlučuje pokrenuti preuzimanje poziva temeljeno na S1 sučelju prema odredišnom eNodeB čvoru. Ono se može pokrenuti ukoliko nema X2 konekcije prema odredišnom eNodeB čvoru ili dobivanjem povratne informacije o neuspjelom preuzimanju poziva temeljenom na X2 sučelju ili pomoću dinamičkih informacija dobivenih od strane izvorišnog eNodeB čvora.

2. Izvorišni eNodeB čvor šalje poruku izvorišnom MME-u da je potrebno preuzimanje poziva. Izvorišni eNodeB čvor označava koji nositelji su subjekti prosljeđivanja podataka. Dostupnost puta za direktno prosljeđivanje (eng. *Direct Forwarding Path Availability*) ukazuje na to je li direktno prosljeđivanje podataka dostupno između izvorišnog i odredišnog eNodeB čvora. Odredišni TAI podaci šalju se MME-u kako bi se olakšao izbor odredišnog MME-a.

3. Izvorišni MME izabire odredišni MME i ako je odlučio ponovno locirati MME, šalje poruku prosljeđivanja zahtjeva za ponovnim lociranjem.

Izvorišni MME obavit će kontrolu pristupa provjerom CSG (eng. Closed Subscriber Group) pretplate kada je CSG ID pružen od strane odredišnog eNodeB čvora. Takva provjera se vrši u slučaju da je ćelija u koju korisnička oprema ulazi CSG vrste.

4. Ako je MME relociran, odredišni MME provjerava može li izvorišni S-GW nastaviti posluživati korisničku opremu. Ukoliko ne može, odabire novi S-GW. Ako MME nije relociran, izvorišni MME donosi odluku o promjeni S-GW-a.

Ako izvorišni S-GW nastavlja posluživati korisničku opremu, u ovom koraku se ne šalje nikakva poruka. Ukoliko se odabire novi S-GW, odredišni MME šalje poruku o kreiranju zahtjeva za sesijom po PDN vezi prema odredišnom S-GW-u. Odredišni S-GW alocira S-GW adrese i TEID informacije za uzlazni promet na S1\_U referentnoj točki. Odredišni S-GW šalje poruku odgovora na kreiranje zahtjeva za sesijom odredišnom S-GW-u.

5. Odredišni MME šalje poruku zahtjeva za preuzimanjem poziva odredišnom eNodeB čvoru. Ova poruka kreira sadržaj korisničke opreme u odredišnom eNodeB čvoru uključujući informacije o nositeljima i sigurnosni sadržaj.

Odredišni eNodeB šalje poruku potvrde o primljenom zahtjevu za preuzimanjem poziva odredišnom MME-u. Ukoliko se AMBR korisničke opreme promijenio, primjerice ako su svi EPS



nositelji povezani na isti APN odbijeni u odredišnom eNodeB čvoru, MME će dostaviti ažuriranu vrijednost AMBR-a korisničke opreme odredišnom eNodeB čvoru. Ako niti jedan od zadanih EPS nositelja nije prihvaćen od strane odredišnog eNodeB čvora, odredišni MME će odbaciti preuzimanje poziva.

6. Ako je nastupilo indirektno prosljeđivanje i S-GW je promijenjen, odredišni MME postavlja parametre za prosljeđivanje šaljući poruku za kreiranja zahtjeva za tunelom za indirektno prosljeđivanje podataka S-GW-u. S-GW šalje poruku odgovora na kreiranje zahtjeva za tunelom za indirektno prosljeđivanje podataka odredišnom MME-u. Ukoliko nije došlo do promjene S-GW-a, indirektno prosljeđivanje se može postaviti u koraku 8.

7. Ako je MME promijenjen, odredišni MME šalje poruku prosljeđivanja odgovora na zahtjev za ponovnim lociranjem izvorišnom MME-u. Za indirektno prosljeđivanje ova poruka uključuje i S-GW adrese i TEID informacije za indirektno prosljeđivanje. Pokazatelj promjena S-GW-a (eng. *Serving GW change indication*) pokazuje da je novi S-GW izabran.

8. Ako je nastupilo indirektno prosljeđivanje, izvorišni MME šalje poruku kreiranja zahtjeva za tunelom za indirektno prosljeđivanje podataka S-GW-u. Ako je S-GW promijenjen, poruka sadrži i identifikator tunela (eng. *tunnel identifier*) odredišnom S-GW-u. S-GW odgovara slanjem poruke odgovora na kreiranje zahtjeva za tunelom za indirektno prosljeđivanje podataka odredišnom MME-u.

9. Izvorišni MME šalje poruku naredbe o preuzimanju poziva izvorišnom MME-u koja uključuje popis nositelja koji su subjekti prosljeđivanja i listu nositelja koji će biti otpušteni.

9a. Poruka se prosljeđuje korisničkoj opremi koja po primitku poruke otpušta EPS nositelje koji su na popisu da budu otpušteni.

10. Izvorišni eNodeB čvor prenosi poruku o stanju eNodeB preko MME-a kako bi prikazao PDCD i HFN status E-RAB-a za koje vrijedi očuvanje PDCP statusa. Izvorišni eNodeB čvor može izostaviti slanje ove poruke ako za niti jedan E-RAB korisničke opreme ne vrijedi očuvanje PDCP statusa.

Ako dođe do promjene MME-a, izvorišni MME šalje tu informaciju odredišnom MME-u porukom prosljeđivanja obavijesti o pristupnom sadržaju koju odredišni MME potvrđuje.

Izvorišni MME ili odredišni MME u slučaju da je MME promijenjen šalje tu informaciju odredišnom eNodeB čvoru preko poruke o stanju eNodeB-a

11. Izvorišni eNodeB čvor će započeti prosljeđivanje silaznih podataka od izvorišnog ka odredišnom eNodeB čvoru preko nositelja koji su određeni za prosljeđivanje podataka. To može biti izravno prosljeđivanje (korak 11a) ili indirektno prosljeđivanje (korak 11b).

12. Nakon uspješne sinkronizacije korisničke opreme na odredišnu ćeliju, šalje se poruka potvrde preuzimanja, odredišnom eNodeB čvoru. Silazni podaci prosljeđeni iz izvorišnog eNodeB mogu se poslati korisničkoj opremi. Također, uzlazni podaci mogu se poslati od korisničke opreme i biti će prosljeđeni odredišnom S-GW-u, te prema PDN GW.

13. Odredišni eNodeB čvor poruku obavijesti o preuzimanju (TAI+ECGI) odredišnom MME-u

14. Ako je došlo do promjene MME-a, odredišni MME šalje poruku obavijesti o izvršenom ponovnom lociranju izvorišnom MME-u. Izvorišni MME odgovara slanjem poruke potvrde o primljenoj obavijesti o izvršenom ponovnom lociranju odredišnom MME-u. Bez obzira je li MME promijenjen ili ne, u izvorišnom MME-u se pokreće brojač kako bi nadzirao kada su resursi u izvorišnom eNodeB čvoru otpušteni i je li promijenjen S-GW.

15. MME šalje poruku zahtjeva za izmjenom nositelja odredišnom S-GW-u za svaku PDN vezu, uključujući i one koje trebaju biti otpuštene. Ako PDN GW zatraži podatke o lokaciji korisničke opreme, MME će ih uključiti u poruci. Ako se vremenska zona korisničke opreme promijenila, MME će podatke o vremenskoj zoni korisničke opreme uključiti u poruku. Ako je ISR bio aktiviran prije početka procedure, MME će ga održavati aktivnim. Korisnička oprema je informirana o ISR statusu u dijelu procedure ažuriranja područja praćenja.

MME otpušta odbijene nositelje okidanjem procedure za otpuštanje nositelja. Ako S-GW primi silazne pakete odbijenih nositelja, odbacit će te pakete i neće poslati obavijest o silaznim podacima MME-u.

Ako zadani nositelj PDN veze nije prihvaćen od strane odredišnog eNodeB čvora i ako postoje druge aktivne PDN veze, MME će to riješiti na način kao da niti jedan nositelj PDN veze nije prihvaćen. MME će otpustiti te PDN veze aktiviranjem procedure za otpuštanje DN veze.

16. Ako je S-GW promijenjen, odredišno S-GW dodjeljuje adrese i TEID informacije silaznom prometu sa PDN GW-a. Šalje poruku zahtjeva za izmjenom nositelja po PDN vezi prema PDN GW-u. S-GW također uključuje i informaciju o lokaciji korisnika, vremenskoj zoni i/ili CSG informacije ukoliko su prisutne u koraku 15. PDN GW ažurira svoja polja sadržaja i vraća poruku odgovora na zahtjev za izmjenom nositelja odredišnom S-GW-u. MSISDN je uključen ukoliko ga PDN GW ima pohranjenog na sadržaju korisničke opreme. PDN GW počinje slati silazne pakete odredišnom GW-u koristeći novoprimiteljne adrese i TEID informacije. Ti silazni paketi će koristiti novi put za prosljeđivanje silaznih paketa preko odredišnog S-GW-a prema odredišnom eNodeB čvoru.

Ako S-GW nije promijenjen, ali je zaprimio podatke o lokaciji korisnika, vremenskoj zoni i/ili CSG informacije od MME-a u koraku 15, S-GW će obavijestiti PDN GW o ovim informacijama koje mogu poslužiti za npr. naplatu, šaljući poruku zahtjeva za izmjenom nositelja PDN GW-u na kojeg se to odnosi. Poruka odgovora na zahtjev za izmjenom nositelja se šalje nazad S-GW-u. Ukoliko S-GW nije zaprimio nikakve korisničke informacije od MME-a u koraku 15, u ovom koraku se ne šalje nikakva poruka i silazni paketi od S-GW-a se odmah prema odredišnom eNodeB čvoru.

17. Odredišni S-GW šalje poruku odgovora na zahtjev za izmjenom nositelja odredišnom MME-u. Ta poruka je odgovor na poruku iz koraka 15.

Ako se S-GW ne mijenja, S-GW će poslati jednu ili više završnu oznaku prema starom putu za prosljeđivanje podataka odmah nakon prelaska na novi put kako bi pomogao u funkciji preslagivanja u odredišnom eNodeB čvoru.

18. Korisnička oprema inicira proceduru ažuriranja područja praćenja.

Odredišni MME zna da je za korisničku opremu proveden proces preuzimanja i odredišni MME izvodi samo dio TA procedure ažuriranja, a posebno isključuje sadržaj prijenosnih procedura između izvorišnog i odredišnog MME-a.

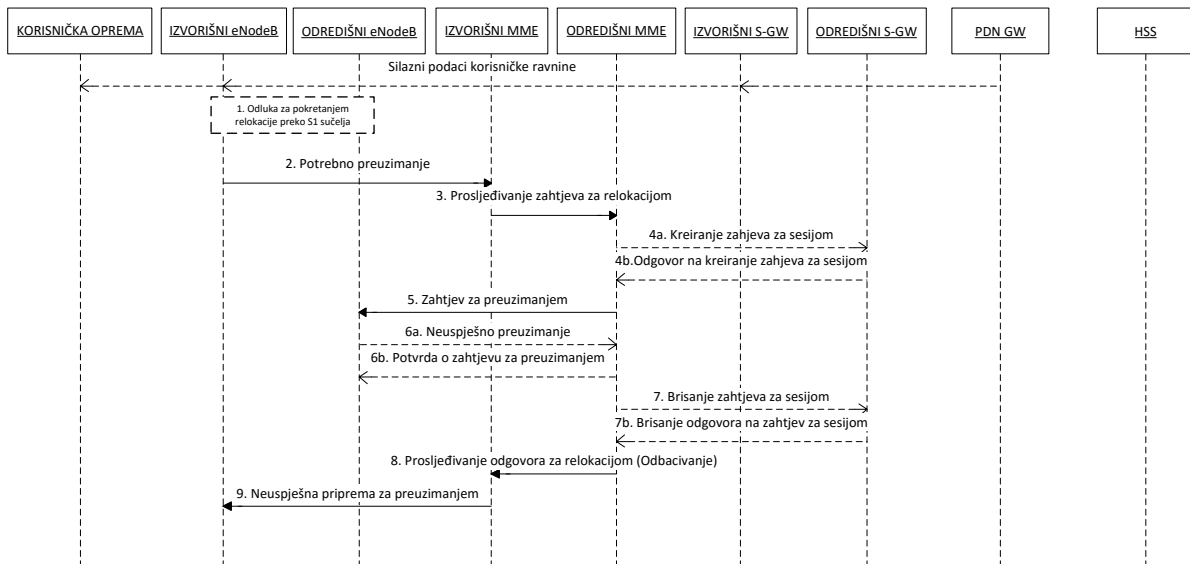
19. Kada brojač iz koraka 14 istekne, izvorišni MME šalje poruku naredbe o otpuštanju sadržaja korisničke opreme odredišnom eNodeB čvoru. Izvorišni eNodeB čvor otpušta svoje resurse povezane s korisničkom opremom i odgovara porukom da je sadržaj otpušten. Kada brojač iz

koraka 14 istekne i ako je izvorišni MME dobio informaciju o promjeni S-GW-a u poruci obavijesti o izvršenom ponovnom lociranju, briše resurse EPS nositelja slanje poruke brisanja zahtjeva za sesijom izvorišnom S-GW-u. Izvorišni S-GW odgovara porukom brisanja odgovora na zahtjev za sesijom.

20. Ako se koristi indirektno prosljeđivanje podataka, onda se istekom brojača započetog u koraku 14 obavještava izvorišni MME da pošalje poruku brisanja zahtjeva za indirektnim prosljeđivanjem podataka S-GW-u kako bi otpustio privremene resurse korištene za indirektno prosljeđivanje koji su alocirani u koraku 8.

21. Ako se koristi indirektno prosljeđivanje podataka i S-GW je promijenjen, onda se istekom brojača započetog u koraku 14 obavještava izvorišni MME da pošalje poruku brisanja zahtjeva za indirektnim prosljeđivanjem podataka odredišnom S-GW-u kako bi otpustio privremene resurse korištene za indirektno prosljeđivanje koji su alocirani u koraku 6 [8].

Postupak preuzimanja može biti i neuspješan a nastavku su dijagramom 4 i detaljnim opisom prikazani koraci kod neuspješnog preuzimanje poziva koje se temelji na S1 sučelju.



**Dijagram 4. Neuspješno preuzimanje poziva temeljeno na S1 sučelju**

Izvor: [9]

Koraci od 1 do 5 su identični koracima u prethodnom slučaju opisanom dijagramom 3, stoga će u nastavku biti objašnjeni samo koraci od broja 6.

6. Ako odredišno eNodeB čvor ne uspije dodijeliti resurse za niti jedan od zahtijevanih EPS nositelja, šalje poruku o neuspjelom preuzimanju odredišnom MME-u. Odredišni MME briše sve rezervirane resurse za tu korisničku opremu u odredišnom MME-u.

6b. Ako odredišni MME primi poruku potvrde o zahtjevu za preuzimanje od odredišnog eNodeB čvora a niti jedan zadani EPS nositelj nije u popisu nositelja, odredišni MME briše sve rezervirane resurse za u korisničku opremu u odredišnom MME-u i odredišnom eNodeB čvoru.

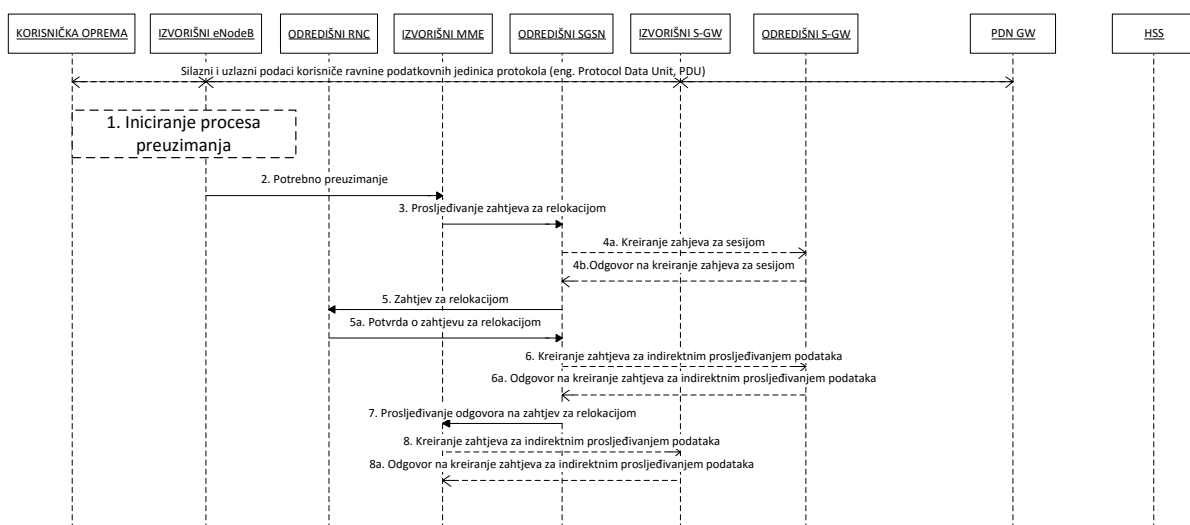
7. Ovaj korak se izvodi samo kod promjene S-GW-a odnosno ako su se izveli koraci 4 i 4a. Odredišni MME briše resurse EPS nositelja šaljući poruku brisanja zahtjeva za sesijom odredišnom S-GW-u. Odredišni S-GW potvrđuje porukom brisanja odgovora na zahtjev za sesijom.

8. Odredišni MME šalje poruku prosljeđivanja odgovora o izvršenom ponovnom lociranju (Odbacivanje) izvorišnom MME-u.

9. Kada izvorišni MME primi poruku iz koraka 8, šalje poruku o neuspješnoj pripremi za preuzimanjem izvorišnom eNodeB čvoru [7].

## 5. Analiza i modeliranje procesa preuzimanja poziva između baznih stanica u heterogenom okruženju

Dijagram 5 prikazuje preuzimanje poziva između baznih stanica u heterogenom okruženju, što je detaljno opisano u ovom poglavlju. U nastavku teksta objašnjeni su koraci u izvođenju procesa preuzimanja sesije između baznih stanica između baznih stanica u heterogenom okruženju



**Dijagram 5. Pripremna faza preuzimanja poziva između baznih stanica različitih pristupnih tehnologija (LTE prema GPRS). Izvor: [8]**

1. Izvorišni eNodeB čvor odlučuje pokrenuti *Inter RAT (IRAT)* proces preuzimanja prema odredišnoj pristupnoj mreži, UTRAN. U ovom trenutku uzlazni i silazni korisnički podaci prenose se putem nositelja između korisničke opreme i izvorišnog eNodeB čvora, te GTP tunela između izvorišnog eNodeB čvora, S-GW-a i PDN GW-a.

Ako korisnička oprema ima aktivnu hitnu nosivu uslugu, izvorišni eNodeB čvor neće inicirati proces preuzimanja na UTRAN ćeliju koja nema mogućnost prijenosa govora putem IMS-a.

2. Izvorišni eNodeB čvor šalje poruku o potrebnom preuzimanju izvorišnom MME-u kako bi se rezervirali resursi u odredišnom RNC-u, odredišnom SGSN-u i S-GW-u. Nositelji koji će biti subjekti prosjeđivanja podataka su identificirani od strane odredišnog SGSN-a u daljnjem koraku (korak 7).

3. Izvorišni MME iz identifikatora odredišnog RNC-a određuje da se radi o IRAT procesu preuzimanju. Izvorišni MME pokreće proceduru alociranja resursa kod preuzimanja šaljući poruku prosljeđivanja zahtjeva za ponovnom lokacijom odredišnom SGSN-u. 4. Odredišni SGSN određuje je li došlo do promjene S-GW-a. Ukoliko je S-GW promijenjen, odredišni SGSN odabire odredišni S-GW i šalje poruku zahtjeva za kreiranjem sesije po PDN vezi odredišnom S-GW-u.

4a. Odredišni MME alocira svoje lokalne resurse i vraća poruku odgovora na zahtjev za kreiranjem sesije odredišnom SGSN-u.

5. Odredišni SGSN zahtjeva od odredišnog RNC-a uspostavljanje resursa radijske mreže slanjem poruke zahtjeva za ponovnim lociranjem. Ako je u kontekstu MM-a sadržano i ograničenje pristupa, ta informacija biti će sadržana u poruci kako bi se korisničkoj opremi spojenoj na RNC mogao ograničiti pristup.

Ključevi za zaštitu integriteta i kodova šalju se odredišnom RNC-u kako bi dozvolio da prijenos podataka bude nastavljan u novoj ćeliji s različitom radijskom tehnologijom bez potrebe za novom AKA (eng. *Authentication and Key Agreement*) procedurom.

U odredišni RNC radijski resursi i resursi korisničke ravnine su rezervirani za prihvaćene resurse radijske mreže.

5a. Odredišni RNC alocira resurse i vraća primjenjive parametre odredišnom SGSN-u u poruci potvrde o zahtjevu za ponovnim lociranjem.

Nakon slanja poruke potvrde o zahtjevu za ponovnim lociranjem, odredišni RNC biti će spreman primiti silazne GTP PDU podatke od S-GW-a ili odredišnog SGSN-a ako se ne koristi direktni tunel za prihvaćene radijske resurse.

6. Ako je S-GW promijenjen i koristi se indirektno prosljeđivanje i direktni tunel, odredišni SGSN šalje poruku kreiranja zahtjeva za indirektnim prosljeđivanjem S-GW-u.

Indirektno prosljeđivanje može se izvoditi preko S-GW-a koji je različit od S-GW-a koji služi kao sidrena točka korisničkoj opremi.

6a. S-GW vraća poruku odgovora na kreiranja zahtjeva za indirektnim prosljeđivanjem odredišnom SGSN-u

7. Odredišni SGSN šalje poruku prosljeđivanja odgovora na zahtjev o izvršenom ponovnom lociranju izvorišnom MME-u. Indikator promjene S-GW-a ukazuje na promjenu S-GW-a.

8. Ako se koristi indirektno prosljeđivanje, izvorišni MME šalje poruku kreiranja zahtjeva za indirektnim prosljeđivanjem S-GW-u koji se koristi za indirektno prosljeđivanje.

Indirektno prosljeđivanje može se izvoditi preko S-GW-a koji je različit od S-GW-a koji se koristi kao sidrena točka za korisničku opremu.

8a. S-GW vraća parametre prosljeđivanja šaljući poruku odgovora na kreiranje zahtjeva za indirektnim prosljeđivanjem [8].

Dijagram 6 prikazuje izvršnu fazu preuzimanja poziva između baznih stanica različitih pristupnih tehnologija.





Po primitku poruke naredbe o preuzimanju iz E-UTRAN mreže koja sadrži i naredbu o preuzimanju, korisnička oprema će povezati zadane nositelje s odgovarajućim mrežnim resursima i prekinuti će prijenos uzlaznih podataka korisničke ravnine.

3. Korisnička oprema se premješta na odredišno područje koje koristi UTRAN pristupnu tehnologiju i izvršava preuzimanje koristeći parametre dobivene u koraku 2.

4. Korisnička oprema šalje „HO to E-UTRAN Complete“ poruku odredišnom RNC-u o izvršenom preuzimanju od E-UTRAN mreže. Korisnička oprema može nastaviti prijenos korisničkih podataka samo za one NSAPI-e (eng. *Network Service Access Point Identifier*) za koje su alocirani radijski resursi u odredišnom RNC-u.

5. Kada su novi izvorišni RNC-ID (eng. *RNC Identifier*) i S-RNTI (eng. *Serving RNC Radio Network Temporary Identifier*) uspješno razmijenjeni sa korisničkom opremom, odredišni RNC će poslati poruku o izvršenom ponovnom lociranju odredišnom SGSN-u. Svrha te poruke je označiti od strane odredišnjog RNC-a završetak preuzimanja od odredišne E-UTRAN mreže prema RNC-u. Nakon primitka poruke o izvršenom ponovnom lociranju, odredišni SGSN će biti spreman zaprimiti podatke od odredišnjog RNC-a. Svaka uzlazna mrežna podatkovna jedinica protokola (N-PDU) primljena od strane odredišnjog SGSN-a se direktno prosljeđuje S-GW-u

6. Odredišni SGSN zna da je korisnička oprema pristigla na odredišnu stranu i obavještava izvorišni MME šaljući poruku prosljeđivanja obavijesti o izvršenom ponovnom lociranju. Brojač u izvorišnom MME-u počinje nadzirati kada će resursi u izvorišnom eNodeB čvoru i S-GW-u biti otpušteni.

Kada brojač istekne i ako informacija o aktivnom ISR-u nije navedena u odredišnom SGSN-u, izvorišni MME otpušta sve resurse nositelja korisničke opreme. Ako je uočena promjena S-GW-a i ako je brojač istekao, izvorišni MME uklanja sve resurse EPS nositelja slanjem poruke zahtjeva za brisanjem sesije izvorišnom S-GW-u. Poruka ukazuje izvorišnom S-GW-u da je S-GW promijenjen i izvorišni S-GW neće započeti proceduru brisanja prema PDN GW-u.

Po primitku poruke prosljeđivanja potvrde o izvršenom ponovnom lociranju, odredišni SGSN pokreće brojač ako je odredišni SGSN alocirao S-GW resurse za indirektno prosljeđivanje.

7. Odredišni SGSN će završiti proceduru preuzimanja obavještavajući S-GW da je odredišni SGSN sada odgovoran za sve EPS nositelje uspostavljene preko korisničke opreme. To se izvodi u poruci zahtjeva za izmjenom nositelja po PDN vezi. Ako PDN GW zahtjeva informacije o lokaciji korisnika, CSG informacije i informacije o vremenskoj zoni, SGSN će ih uključiti u poruci.

SGSN otpušta neprihvaćene EPS nositelje aktiviranjem procedure za otpuštanje EPS nositelja. Ako S-GW primi silazne pakete za neprihvaćenog nositelja, S-GW otpušta te pakete i ne šalje obavijest o primitku silaznih podataka SGSN-u.

8. S-GW može obavijestiti PDN GW o promjeni npr. S-GW-a ili vrste radijske pristupne tehnologije i može služiti primjerice u svrhu naplate, slanjem poruke zahtjeva o izmjeni nositelja po PDN vezi. S-GW također uključuje informacije o lokaciji korisnika, vremenskoj zoni i CSG informacije ukoliko su prisutne u koraku 7. Za promjenu S-GW-a, S-GW će alocirati silazne TEID informacije na S5/S8 sučelju čak i za neprihvaćene nositelje. PDN GW mora odgovoriti porukom odgovora na zahtjev za izmjenom nositelja. U slučaju promjene S-GW-a, PDN GW ažurira svoja polja sadržaja i vraća poruku odgovora na zahtjev za izmjenom nositelja S-GW-u. MSISDN je uključen ako ga PDN GW ima pohranjenog na korisničkoj opremi.

9. S-GW potvrđuje prijelaz korisničke ravnine prema SGSN-u slanjem poruke odgovora na zahtjev za izmjenom nositelja. U ovoj fazi korisnička ravnina je uspostavljena za sve EPS nositelje između korisničke opreme, odredišnog RNC-a, odredišnog SGSN-a ako se ne koristi direktni tunel, S-GW-a i PDN GW-a.

Ako S-GW nije promijenjen, S-GW će poslati jedan ili više paketa s krajnjom oznakom na stari put odmah nakon promjene puta.

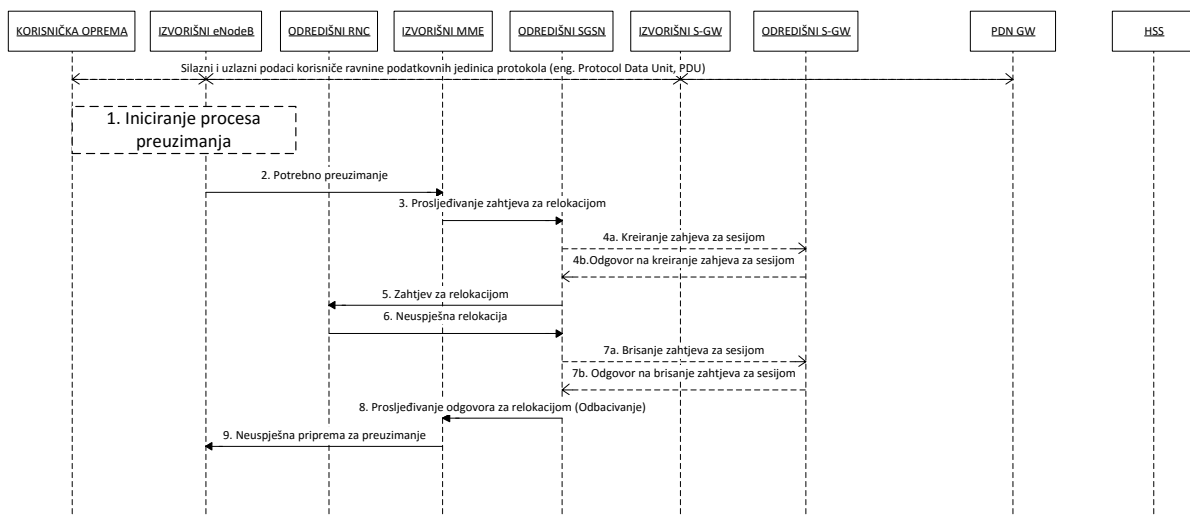
10. Kada korisnička oprema prepozna da njegovo trenutno područje usmjerenja (eng. Routing Area) nije registrirano u mreži, pokreće postupak ažuriranja područja usmjerenja (eng. Routing Area Update) i obavještava SGSN da je korisnička oprema u novom području usmjerenja. 11. Kada brojač iz koraka 6 istekne, izvorišni MME šalje poruku za otpuštanjem resursa izvorišnom eNodeB čvoru. Izvorišni eNodeB čvor otpušta resurse vezane uz korisničku opremu.

Kada brojač iz koraka 6 istekne i izvorišni MME primi obavijest o promjeni S-GW-a, on otpušta resurse EPS nositelja slanjem poruke zahtjeva za brisanjem sesije. Poruka ukazuje izvorišnom S-GW-u da je S-GW promijenjen i izvorišni S-GW neće započeti proceduru brisanja prema PDN GW-u. S-GW potvrđuje porukom odgovora na zahtjev za brisanjem sesije.

12. Ako je korišteno indirektno prosljeđivanje, onda će istekom brojača iz koraka 6 izvorišni MME poslati poruku brisanja zahtjeva za indirektnim prosljeđivanjem podataka S-GW-u kako bi oslobodio privremene resurse korištene za indirektno prosljeđivanje

13. Ako je korišteno indirektno prosljeđivanje i S-GW je promijenjen, onda će istekom brojača na odredišnom SGSN-u iz koraka 6 odredišni SGSN poslati poruku brisanja zahtjeva za indirektnim prosljeđivanjem podataka S-GW-u kako bi oslobodio privremene resurse korištene za indirektno prosljeđivanje [8].

Postupak preuzimanja može biti i neuspješan, a u nastavku su dijagramom 7 i detaljnim opisom prikazani koraci kod neuspješnog preuzimanje poziva između baznih stanica različitih pristupnih tehnologija.



**Dijagram 7. Neuspjelo preuzimanje poziva između baznih stanica različitih pristupnih tehnologija (LTE prema GPRS). Izvor: [8]**

Koraci od 1 do 5 su jednaki koracima prikazanim dijagramom 6, stoga u nastavku slijedi samo opis koraka procedure od 6 do 9.

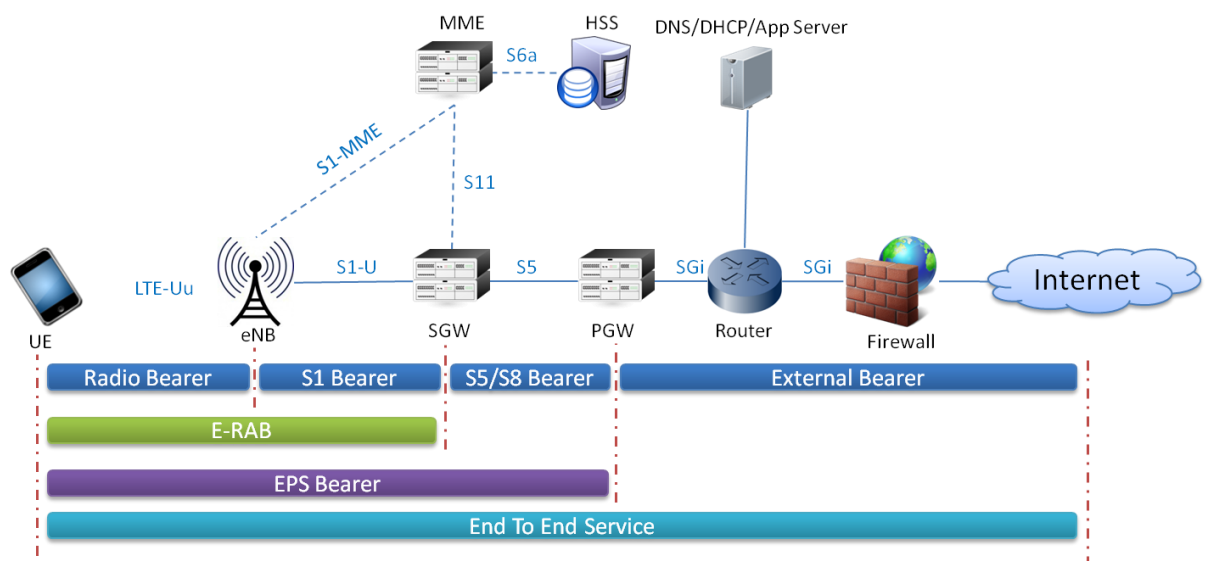
6. Ako odredišni RNC ne uspije alocirati resurse za tražene resurse radijske mreže, šalje poruku o neuspjelo izvršenom ponovnom lociranju odredišnom SGSN-u. Kada odredišni SGSN primi poruku od odredišnog RNC-a, odredišni SGSN briše sve rezervirane resurse za tu korisničku opremu.
7. Ovaj korak se izvodi samo kod promjene S-GW-a. Odredišni SGSN briše resurse EPS nositelja slanjem poruke brisanja zahtjeva za sesijom odredišnom S-GW-u. Odredišni S-GW odgovora porukom odgovora na brisanje zahtjeva za sesijom.
8. Odredišni SGSN šalje poruku prosljeđivanja odgovora za ponovno lociranje izvorišnom MME-u.
9. Kada izvorišni MME primi poruku proslijeđenog odgovora za ponovno lociranje, šalje poruku o neuspjeloj pripremi za preuzimanje izvorišnom eNodeB čvoru [5].

## 6. Analiza kvalitete usluge u procesu preuzimanja poziva

U svim sustavima postoje takozvani *premium* korisnici koji žele imati bolje korisničko iskustvo na njihovim 4G LTE uređajima. Ti korisnici su spremni platiti više za veću propusnost i bolji pristup mreži na svojim uređajima. Ne samo korisnici, već i neke usluge trebaju veći prioritet u mreži, kao na primjer VoIP pozivi. Kako bi se to moglo omogućiti, ključnu ulogu u tome ima kvaliteta usluge (eng. Quality of Service), u daljnjem tekstu QoS. QoS određuje prioritete za određene korisnike i usluge u periodima velikog zagušenja u mreži.

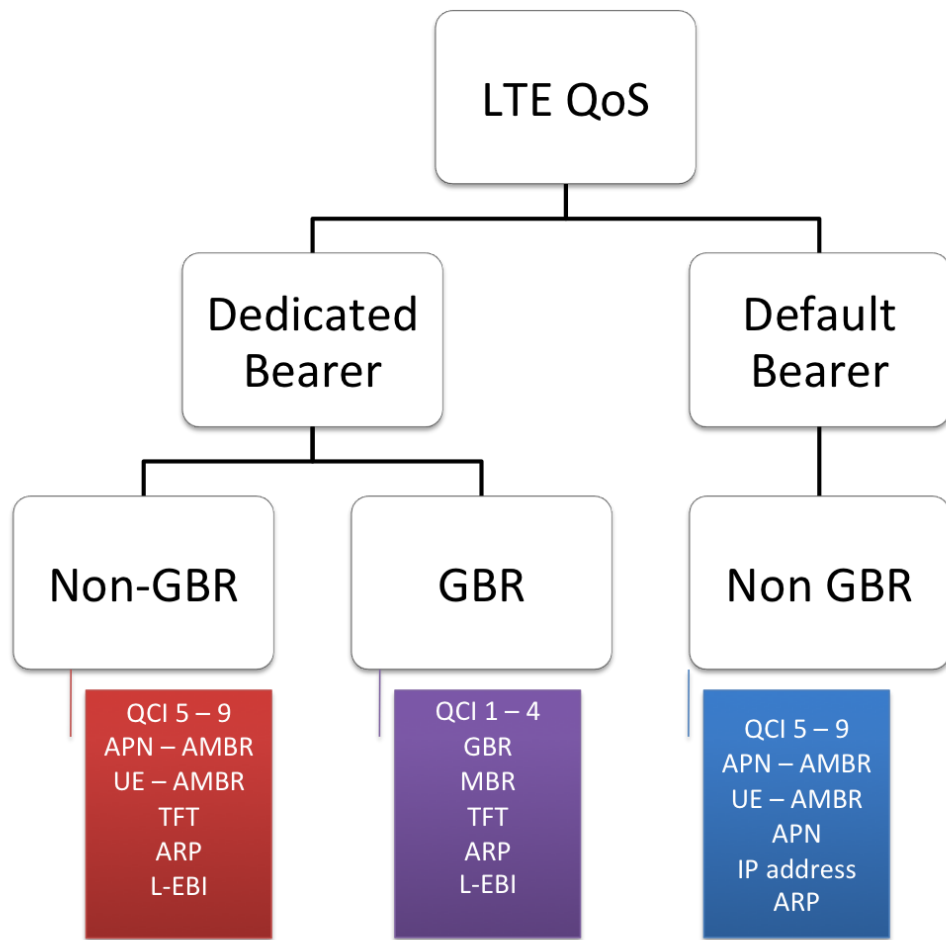
U LTE sustavu QoS je implementiran između korisničke opreme i PDN GW-a i primjenjuje se na skup nositelja. Nositelj je zapravo virtualni koncept i skup je mrežnih konfiguracija kako bi pružio poseban tretman za određenu vrstu prometa, kao na primjer VoIP pakete koji su većeg prioriteta u odnosu na promet internetskog preglednika.

U LTE sustavu QoS se primjenjuje na radijske nositelje, S1 i S5/S8 nositelje koji se skupno nazivaju EPS nositelji kao što je prikazano na slici 8.



Slika 8. Nositelji u LTE sustavima [9].

U svrhu razumijevanja koncepta QoS potrebno je razumjeti vrste nositelja i svojstva vezana uz svaki od nositelja kao što je prikazano na slici 9. Postoje dvije vrste nositelja, dodijeljeni nositelji (eng. *Dedicated bearer*) i zadani nositelji (eng. *Default bearer*). Kada je korisnička oprema spojena na LTE mrežu, uspostavljen je barem jedan zadani nositelj dok je dodijeljeni nositelj svo vrijeme uspostavljen kada nema potrebe za osiguravanjem QoS-a određenoj usluzi.



**Slika 9. Podjela nositelja [9].**

Dodijeljeni nositelji mogu se podijeliti u dvije vrste. *Non-GBR* i *GBR* nositelje kao što je prikazano na slici 9.

*GBR* osigurava garantiranu brzinu prijenosa i povezan je s parametrima kao što su *GBR* i *MBR*. Parametar *GBR* (eng. *Guaranteed bit rate*) označava najmanju brzinu prijenosa po *EPS* nositelju. Specificirana je posebno za uzlazni i posebno za silazni promet. Parametar *MBR* (eng. *Maximum Guaranteed bit rate*) označava najveću brzinu prijenosa po *EPS* nositelju. Također je specificirana posebno za uzlazni i posebno za silazni promet.

S druge strane, *Non-GBR* ne garantira određenu brzinu prijenosa i povezan je s parametrima kao što su *A-AMBR* i *UE-AMBR*.

*A-AMBR* (eng. *APN Aggregate maximum bit rate*) je maksimalno dopuštena ukupna propusnost *Non-GBR* nositelja određenom APN-u. Specificirana je istodobno za silazni i uzlazni promet.

*UE-AMBR* (eng. *UE Aggregate maximum bit rate*) je maksimalno dopuštena ukupna propusnost *Non-GBR* nositelja među svim APN-ima za određenu korisničku opremu.

Kao što se može vidjeti na slici 9, zadani nositelj može biti jedino *Non-GBR* vrste. Ostali parametri prikazani na slici 9 ukratko su opisani u nastavku teksta.

ARP (eng. *Allocation and retention priority*) se u osnovi koristi za odluku prihvaćanja zahtjeva o izmjeni ili uspostavi novog nositelja s obzirom na trenutnu situaciju sa resursima u mreži.

TFT (eng. *Traffic flow template*) je uvijek povezan s dodijeljenim nositeljem, dok zadani nositelj može, ali ne mora sadržavati TFT. Kao što je spomenuto prije, dodijeljeni nositelj osigurava QoS određenim uslugama ili aplikacijama i TFT definira pravila tako da korisnička oprema i mreža znaju koji IP paketi trebaju biti poslani određenom dodijeljenom nositelju. Obično određuje pravila temeljem odredišne ili izvorišne lokacije IP paketa ili korištenog protokola prijenosa.

L-EBI (eng. *Linked EPS bearer ID*) parametar ukazuje dodijeljenom nositelju s kojim zadanim nositeljem je povezan, pošto je uvijek dodijeljeni nositelj povezan sa jednim od zadanih nositelja.

*IP Address/ PDN*. Svaki zadani nositelj povezan je s nekom PDN mrežom i ima vlastitu IP adresu dok dodijeljeni nositelj nema potrebe za istom jer je povezan sa zadanim nositeljem.

Samo je jedan od parametara povezan sa svim vrstama nositelja, a to je QCI (eng. *QoS class of identifier*). Taj parametar definira karakteristiku nadolazećeg IP paketa [9].



## 7. Zaključak

U ovom diplomskom radu, uz opće značajke LTE mreže i procesa preuzimanja poziva, modelirani su i analizirani procesi preuzimanja poziva/sesije unutar mreže s istom pristupnom tehnologijom i između mreža s različitom pristupnom tehnologijom.

Ovisno o tome radi li se o preuzimanju poziva/sesije unutar LTE mreže ili između LTE mreže i ranijih generacija mobilnih mreža, u proces se uključuju različiti mrežni elementi. Vrsta preuzimanja unutar ili između (*intra* ili *inter*) utječe i na kompleksnost procedura i na vrstu poruka koju razmjenjuju mrežni elementi u procesu preuzimanja.

Taj proces mora biti detaljno isplaniran stoga se za signalizacijske procese u komunikacijskim mrežama koriste UML dijagrami. Oni nude skup dobro određenih grafičkih prikaza i omogućavaju dobro razumijevanje strukture i ponašanja nekog sustava. Posebno su pogodni UML dijagrami međudjelovanja za opisivanje razmjene signalizacijskih poruka jer daju naglasak na vremenski redoslijed kojim se odvija međudjelovanje sudionika u sustavu.

Tokom procesa preuzimanja poziva, šalju se i korisničke informacije o lokaciji, vremenskoj zoni te slični potrebni podaci u svrhu naplate, što je bitno gledajući sa strane operatera.

Mreža brine i o načinu prosljeđivanja podataka te na temelju toga donosi određene odluke za daljnji nastavak neprekidnog preuzimanja poziva. Mreža također mora paziti i na vrstu ćelije u koju korisnička oprema ulazi, te paziti na restrikcije i zabrane pristupa koje su moguće u određenim ćelijama.

Ukoliko mreža ne uspije alocirati sve resurse, moguć je i scenarij odbijanja procesa preuzimanja, koji može utjecati na degradaciju kvalitete usluge i naposljetku i do potpunog prekida usluge.

Cilj ovoga istraživanja bio je je primjenom UML dijagrama opisati i prikazati procese preuzimanja poziva između dvije ćelije u 4G mreži i preuzimanje poziva u heterogenom okruženju (prema ostalim tehnologijama).

Proces preuzimanja poziva mora biti brz i efikasan te ne smije prekidati uslugu, bez obzira koju tehnologiju koriste ćelije. To predstavlja veliki izazov za operatere. Besprekidno preuzimanje poziva je vrlo bitno kako bi se spriječila degradacija i maksimalno povećala kvaliteta usluge.

## LITERATURA

- [1] Blajić T. LTE – nova tehnologija za mobilni širokopojasni pristup; Revija Br. 1, 2010. Ericsson Nikola Tesla d.d.; Zagreb, Hrvatska; 2010.
- [2] Krause J. Future 3GPP RAN standardization activities for LTE, Wireless World Research Forum #29; 24.10.2012; Berlin, Germany; 2012.
- [3] Helenius A. Performance of Handover in Long Term Evolution. Aalto University, Helsinki, Finland; 2011.
- [4] Srinivasa Rao V. Rambabu Gajula, Interoperable UE Handovers in LTE, Radisys Corporation, 2011.
- [5] 3rd Generation Partnership Project, Technical Specification Group Services and System Aspects. General Packet Radio Service (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) access (Release 13); Valbonne, France: 3rd Generation Partnership Project; June 2015.
- [6] Internet stranica: <http://www.lteandbeyond.com/2012/03/x2-based-handover-without-sgw.html> (15.9.2015.).
- [7] Internet stranica: <http://www.lteandbeyond.com/2012/03/x2-based-handover-with-sgw-relocation.html> (15.9.2015.).
- [8] Internet stranica: <http://www.lteandbeyond.com/2012/03/few-last-articles-were-about-handover.html> (15.9.2015.).
- [9] Internet stranica: <http://4g-lte-world.blogspot.hr/2013/01/quality-of-service-qos-in-lte.html> (15.9.2015.).
- [10] Internet stranica: <http://www.teletopix.org/4g-lte/radio-resource-connection-rrc-protocol-in-lte/> (15.9.2015.).
- [11] Razavi S. M. Tracking Area Planning in Cellular Networks - Optimization and Performance Evaluation; Linköping University, Norrköping, Sweden 2011.
- [12] Internet stranica: <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/96-nas> (15.9.2015.).

## **POPIS KRATICA**

3GPP - Third Generation Partnership Project

A- AMBR - APN Aggregate maximum bit rate

AKA - Authentication and Key Agreement

AMBR - Aggregate Maximum Bit Rate

AMPS - Advanced Mobile Phone System

APN - Access Point Name

ARP - Allocation and retention priority

CN - Core Network

CSG - Closed Subscriber Group

D-AMPS - Digital AMPS

ECGI - E-UTRAN Cell Global Identifier

EMM - EPS Mobility Management

EPC – Evolved Packet Core

EPS - Evolved Packet System

E-RAB – E-UTRAN Radio Access Bearer

ESM - EPS Session Management

E-UTRAN - Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network

FDD - Frequency division duplex

FDMA - Frequency Division Multiple Access

GBR - Guaranteed bit rate

GGSN - Gateway GPRS Support Node

GSM - Global System for Mobile Communications

GTP-U - GPRS Tunneling Protocol User plane

HFN - Hyper Frame Number

HLR - Home Location Register

HSPA – eng. High Speed Packet Access

HSS - Home Subscriber Server

IETF - Internet Engineering Task Force

IMS - IP Multimedia Subsystem

IP - Internet Protocol

IPR – Intellectual Property Rights  
IS-95 - Interim Standard 95  
ISR - Idle Mode Signaling Reduction  
ITU - International Telecommunications Union  
L1 - Layer 1  
L-EBI - Linked EPS bearer ID  
LTE - Long Term Evolution  
MAC - Medium Access Control  
MBR - Maximum Guaranteed bit rate  
MIMO – Multiple Input, Multiple Output  
MM - Mobility Management  
MME - Mobility Management Entity  
MSISDN - Mobile Station International Subscriber Directory Number  
NAS - Non-Access-Stratum  
NGMN – Next Generation Mobile Networks  
NMT - Nordic Mobile Telephony  
NSAPI - Network Service Access Point Identifier  
OFDM - Orthogonal Frequency-Division Multiplexing  
PDC - Personal Digital Cellular  
PDCD - Packet Data Convergence Protocol  
PDCP - Packet Data Convergence Protocol  
PDN - Public Data Network  
PDN-GW - Packet Data Network Gateway  
PDU – Protocol Data Unit  
PSTN - Public Switched Telephone Network  
QCI - QoS class of identifier  
QoS – Quality of Service  
RAN - Radio Access Network  
RAT – Radio Access Technology  
RLC - Radio Link Control  
RNC - Radio Network Controller  
RNC-ID - RNC Identifier

RRC - Radio Resource Connections  
RRC - Radio Resource Control  
SAE – System Architecture Evolution  
SCTP - Stream Control Transmission Protocol  
SGSN - Serving General Packet Radio Service Support Node  
S-GW - Serving Gateway  
S-RNTI - Serving RNC Radio Network Temporary Identifier  
SS7 - Signalling System 7  
TA - Tracking Area  
TACS - Total Access Communication System  
TAI - Tracking Area Identifier  
TAI - Tracking Area Identifier  
TDD - Time division duplex  
TEID- The Tunnel Endpoint ID  
TFT - Traffic flow template  
UDP IP - User Datagram Protocol over IP  
UE - User Equipment  
UE- AMBR - UE Aggregate maximum bit rate  
UTRAN - UMTS Terrestrial Radio Access Network  
VoIP – Voice over IP  
WCDMA - Wideband Code Division Multiple Access

## POPIS SLIKA I DIJAGRAMA

### Popis slika

Slika 1. Evolucija 3GPP tehnologija, [2]. .....	4
Slika 2. LTE – globalno prihvaćen standard [1]. .....	5
Slika 3. EPS mrežna arhitektura [1] .....	7
Slika 4. Protokolarna struktura korisničke ravnine između korisničke opreme i MME-a [3] .....	11
Slika 5. RRC protokol [10] .....	13
Slika 6. Protokolarna struktura korisničke ravnine između korisničke opreme i S-GW/P-GW [3] .....	14
Slika 7. Inter-RAT preuzimanje sesije .....	15
Slika 8. Nositelji u LTE sustavima [9]. .....	41
Slika 9. Podjela nositelja [9]. .....	42

### Popis dijagrama

Dijagram 1. Preuzimanja poziva bez promjene S-GW-a temeljeno na X2 sučelju .....	20
Dijagram 2. Preuzimanja poziva sa promjenom S-GW-a temeljeno na X2 sučelju .....	23
Dijagram 3. Preuzimanje poziva temeljeno na S1 sučelju .....	26
Dijagram 4. Neuspješno preuzimanje poziva temeljeno na S1 sučelju .....	31
Dijagram 5. Pripremna faza preuzimanja poziva između baznih stanica različitih pristupnih tehnologija (LTE prema GPRS). .....	33
Dijagram 6. Izvršna faza preuzimanja poziva između baznih stanica različitih pristupnih tehnologija (LTE prema GPRS). .....	36
Dijagram 7. Neuspjelo preuzimanje poziva između baznih stanica različitih pristupnih tehnologija (LTE prema GPRS). .....	39



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

## METAPODACI

**Naslov rada:** Analiza i modeliranje procesa preuzimanja poziva u LTE sustavima

**Autor:** Ante Matoš

**Mentor:** izv. prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

**Naslov na drugom jeziku (engleski):**

Analysis and Modelling of Handover Process in LTE System

**Povjerenstvo za obranu:**

- prof. dr. sc. Hrvoje Gold, predsjednik
- izv. prof. dr. sc. Štefica Mrvelj, mentor
- dr. sc. Marko Matulin, član
- doc. dr. sc. Niko Jelušić, zamjena

**Ustanova koja je dodjela akademski stupanj:** Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

**Zavod:** Zavod za informacijsko komunikacijski promet

**Vrsta studija:** sveučilišni

**Naziv studijskog programa:** Promet

**Stupanj:** diplomski

**Akademski naziv:** mag. ing. traff.

**Datum obrane diplomskog rada:** 24.9.2015



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ diplomski rad

isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ diplomskog rada

pod naslovom Analiza i modeliranje procesa preuzimanja poziva u LTE sustavima

---

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, 24.9.2015

\_\_\_\_\_  
(potpis)