



OULUN YLIOPISTO
UNIVERSITY of OULU

QOS 4G-VERKOISSA

Juho Lahdenperä

Ohjaaja: Harri Posti

SÄHKÖTEKNIIKAN KOULUTUSOHJELMA

2017

Lahdenperä J. (2017) QoS 4G-Verkoissa. Oulun yliopisto, tietoliikennetekniikan osasto, Kandidaatintyö.

TIIVISTELMÄ

Tutkielma on kirjallisuuskatsaus, jossa perehdytään nykyään käytettäviin Quality of Service (QoS) ratkaisuihin 4G-verkoissa. QoS on tärkeä niin käyttäjän, kuin palvelun tarjoajan näkökulmasta. QoS:n avulla varmistetaan kullekin verkon käyttäjälle riittävä palvelun taso. QoS:n tarkastelua tarvitaan myös erilaisten järjestelmien suunnittelussa, että ymmärretään mitä järjestelmältä vaaditaan. 4G-verkon QoS parametrit on standardisoitu ja laitteiden QoS-mekanismit ovat globaaleilla televiestintämarkkinoilla tärkeä kilpailutekijä.

Avainsanat: QoS, QoE, 4G, LTE

Lahdenperä J. (2017) QoS in 4G-Networks. University of Oulu, Department of Communications Engineering. Bachelor's Thesis

ABSTRACT

This thesis is a literature review, that orients to the concept of modern day Quality of Service solutions in 4G-networks. QoS is important from the users' as well as the service provider's point of view. QoS provides a level of service for each network user and it is also required in system design to know what is required from the system. QoS parameters of 4G network are standardized and the QoS mechanisms are an important competitive factor in the global telecommunications market.

Key words: QoS, QoE, 4G, LTE

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT	3
SISÄLLYSLUETTELO	4
ALKULAUSE	5
LYHENTEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSET	6
1. JOHDANTO	7
2. QUALITY OF SERVICE YLEISESTI	8
2.1. Asiakkaan QoS vaatimukset	9
2.2. Asiakkaan kokema QoS	9
2.3. Palvelun tarjoajan tarjoama QoS	10
2.4. Palvelun tarjoajan saavuttama QoS	10
2.5. Kokemuksen laatu (QoE)	10
3. QUALITY OF SERVICE 4G-STANDARDEISSA	11
3.1. LTE-verkon siirtoyhteydet	11
3.1.1. Perus-siirtoyhteys	13
3.1.2. Määritelty siirtoyhteys	13
3.2. Tietovirtapalveluiden QoS luokat	13
3.3. LTE:n radioliityntäverkko	14
3.4. Siirtoyhteyksien QoS parametrit	15
3.4.1. QCI	16
3.4.2. ARP	17
3.4.3. MBR, APN-AMBR & UE-AMBR	17
3.5. LTE ilmarajapinnan järjestelijä	17
3.6. Puskuritalan raportointimekanismi	18
3.7. Multimedian tärkeyspalvelu (MPS)	18
3.8. Yhteyden kontrollointi.....	20
3.8.1. Yhteyden jakaminen	20
4. QOS TOTEUTUKSIA 4G-VERKOISSA	21
4.1. Nokian näkemys QoS toteutuksista	21
5. POHDINTA	23
6. LÄHTEET.....	24

ALKULAUSE

Tämä kandidaatin tutkielma on tehty Oulun yliopiston tietoliikennetekniikan osastolle. Tutkielman taustalla on oma mielenkiinto nykyisiä tietoliikenneverkkoja kohtaan, sekä halu syventää tietämystä niiden toiminnasta. Tutkielman tavoitteena on perehtyä nykyään käytettäviin QoS-mekanismeihin 4G-verkoissa. Haluan kiittää ohjaajaani Harri Postia, kaikesta avusta työhön liittyen.

Oulussa 28.10.2017

Juho Lahdenperä

LYHENTEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSET

ARP	Jakamisen ja säilyttämisen tärkeys
E-UTRA	Evolved Universal Mobile Terrestrial Radio Access
GBR	Taattu bittinopeus
IMS	IP multimedia alijärjestelmä
ITU-T	Kansainvälisen televiestintäliiton standardisointi sektori
LTE	Long Term Evolution
MBB	Mobiili laajakaista
MPS	Multimedian tärkeyspalvelu
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
PCC	Varmistuskoodi
PDN	Julkinen dataverkko
PGW	Packet Data Network Gateway
PLMN	Julkinen maamobiiliverkko
QCI	QoS Class Identifier
QOE	Kokemuksen laatu (Quality of Experience)
QOS	Palvelun laatu (Quality of Service)
SLA	Palvelun taso sopimus (Service Level Agreement)
TFT	Liikennevirta malli (Traffic Flow Template)
UE	Päätelaite (User Equipment)
VoIP	Voice over IP

1. JOHDANTO

Mobiilien televiestintäverkkojen alati kasvava käyttäjäkunta ja liikenteen monimuotoistuminen on tuonut uusia haasteita operaattoreille ja tietoliikenneverkoille. Verkoilta vaaditaan yhä parempaa ja luotettavampaa suorituskykyä, niin vapaa-ajan käytössä, kuin kriittisissä viranomaisoperaatioissakin. Palvelun laatu (QoS) vastaa verkon kyvystä täyttää kaikkien käyttäjien tarpeet. Näin ollen QoS:sta on tullut entistä tärkeämpi kilpailutekijä. QoS on tärkeä osa verkon toimintaa myös operaattorin näkökulmasta. Kun käyttäjien verkolle asettamat tarpeet ovat erilaiset, voidaan käyttäjien priorisoinnilla hallita verkon resursseja.

Tämän tutkielman tavoitteena on perehtyä palvelun laadun, eli QoS:n merkitykseen ja toteutukseen 4G-verkossa. Työssä käydään läpi QoS:n merkitys yleisellä tasolla, perehdytään QoS-mekanismeihin 4G-standardissa ja toteutuksissa, sekä pohditaan tulevaisuuden näkymiä.

2. QUALITY OF SERVICE YLEISESTI

Kansainvälisen televiestintäliiton standardisointisektori (ITU-T) määrittelee suosituksessaan E.800 (Definitions of terms related to quality of service), palvelun laadun, eli Quality of Servicen (QoS) tarkoituksen. ITU-T:n mukaan QoS on televiestintäpalvelun ominaisuuksista muodostuva kokonaisuus, joka vastaa sen kyvystä täyttää sille asetetut vaatimukset ja siihen kohdistuvat käyttäjän odotukset. [1]

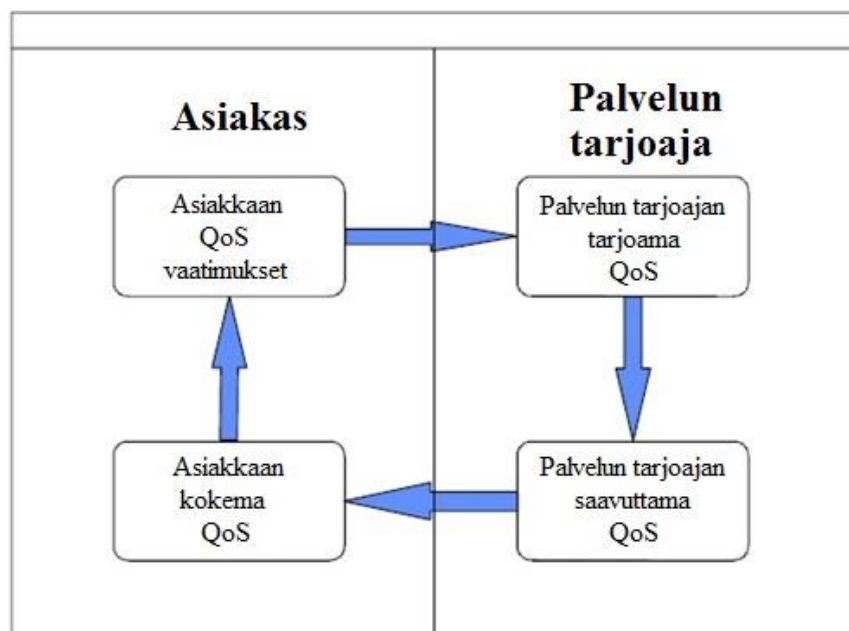
ITU-T:n suosituksessa G.1000 (Communications quality of service: A framework and definitions) määritetään QoS: n tarkasteluun neljä eri näkökulmaa. Kuvassa 1 on esitetty nämä neljä eri näkökulmaa, sekä niiden välinen yhteys. Kuvan 1 vasemmassa puolitasossa ovat asiakkaan (customer) tarkastelemat kaksi näkökulmaa. Oikeassa puolitasossa ovat palvelun tarjoajan (service provider) tarkastelemat kaksi näkökulmaa. Asiakkaan näkökulmat ovat:

- Asiakkaan QoS vaatimukset
- Asiakkaan kokema QoS

Palveluntarjoajan näkökulmat ovat:

- Palvelun tarjoajan tarjoama QoS
- Palvelun tarjoajan saavuttama QoS

QoS: n on oltava merkityksellinen kaikista kuvan 1 näkökulmista, jotta se olisi minkään teollisuuden puitteissa todella hyödyllinen ja tarpeeksi käytännöllinen. Vaikka kuva 1 näyttää kaikkien näiden näkökulmien välisen yhteyden, se ei esimerkiksi selitä, kuinka palveluntarjoaja todella toteuttaa QoS:n. Neljän eri näkökulman pääasia onkin, että yksi QoS:n määritelmä ja puitteet tukevat kaikkia näkökulmia. [2]



Kuva 1. QoS:n neljä tarkastelupistettä.

2.1. Asiakkaan QoS vaatimukset

Asiakkaan QoS vaatimukset tarkoittavat asiakkaan/käyttäjän palvelulta vaatimaa laadun tasoa, joka on mahdollista ilmaista myös ei-teknisesti. Käyttäjää ei välttämättä kiinnosta kuinka tietty palvelu toteutetaan, tai mitä se vaatii verkolta. Usein end-to-end palvelun laatu merkitsee eniten. Käyttäjän kannalta QoS ilmaistaan parametrein, jotka keskittyvät käyttäjäystävällisiin vaikutuksiin, eivätkä niiden syihin verkon sisällä. Parametrit eivät siis ole riippuvaisia verkon sisäisestä suunnittelusta, vaan kaikki palvelun eri puolet otetaan huomioon käyttäjän näkökulmasta. Palvelun tarjoaja voi taata parametrit asiakkaalleen, joskus jopa sopimusehdoissa. Asiakas ja palvelun tarjoaja luovat parametrit yhteisellä kielellä ymmärrettäviksi ja parametrit kuvataan verkosta riippumattomilla termeillä. [2]

Asiakkaan kannalta tärkeimpiä parametreja on esimerkiksi viive, joka tarkoittaa aikaväliä, jossa käyttäjän pyyntö vastaanottaa tietty informaatio tapahtuu. Sovelluksesta riippuen, viiveellä on suora vaikutus käyttäjän tyytyväisyyteen ja siihen summautuu kaikkien terminaalien, verkkojen ja palvelimien viive. Käyttäjän näkökulmasta viiveeseen vaikuttavat myös muiden verkkojen parametrit, kuten palvelimien suoritusteho. Toinen asiakkaan kannalta tärkeä parametri on viiveen vaihtelu, joka usein sisällytetään suorituskyvystä kertovaksi parametriksi. Viiveen vaihtelun määrä on tärkeä tieto pakettidataa käyttävien järjestelmien siirtoteillä, joissa yksittäisten pakettien saapumisajat vaihtelevat. Monet viiveen vaihtelulle herkat palvelut voivat poistaa tai merkittävästi vähentää viiveen vaihtelua, käyttämällä puskurointia. Puskurointi eliminoi tehokkaasti viiveen vaihtelun vaikutukset käyttäjätasolla, vaikkakin sen myötä syntyy ylimääräinen kiinteä viive. Kolmas asiakkaan kannalta tärkeä parametri on tiedonsiirrossa tapahtuva informaation häviäminen. Informaation häviämisenä on suora vaikutus käyttäjään, olipa kyseessä sitten ääni, kuva, video tai muu data. Tässä asiayhteydessä ei kuitenkaan tarkoiteta pelkästään bittivirheitä tai pakettien häviämistä verkon siirtotiellä. Informaation häviämiseen sisältyy myös median koodauksesta aiheutuvat häviöt ja laadun heikentymiset, kuten matalan bitti-suhteen puhekoodauksen käyttö äänelle. [3 s. 2]

2.2. Asiakkaan kokema QoS

Asiakkaan kokema QoS tarkoittaa QoS:n tasoa, jonka asiakas uskoo palvelua käyttäessään kokeneensa. Käyttäjä kuvailee kokemaansa QoS:ä ennemminkin tyytyväisyyden tasona palveluun, kuin teknisillä termeillä. Käyttäjän kokeman QoS:n taso riippuu käyttäjän palvelulle asettamista ennako-odotuksista ja siitä kuinka hyvin käyttäjä kokee odotusten täyttyneen. Koettua QoS:n tasoa selvitetään käyttäjäkyselyillä, sekä käyttäjän omilla kommentteilla. Palvelun tarjoaja voi käyttää käyttäjien kokemaa QoS:ä, määrittäessään käyttäjien tyytyväisyyttä palvelun laatuun. Käyttäjä voi esimerkiksi tehdä selkoa hyväksymättömästä määrästä tapauksia, jolloin hänellä oli vaikeuksia soittaa puhelu verkon kautta. Käyttäjä voi esimerkiksi antaa arvosanan verkon toiminnasta, asteikolla yhdestä viiteen, viiden ollessa erinomainen. Ideaalisessa tilanteessa toimitetun ja koetun QoS:n suhde tulisi olla 1:1. [2]

2.3. Palvelun tarjoajan tarjoama QoS

Palvelun tarjoajan tarjoama QoS on selvitys asiakkaalle tarjottavan palvelun laadun tasosta. Laadun taso ilmaistaan arvoilla, jotka liittyvät QoS parametreihin. Pääkäyttö tälle esitystavalle on QoS:n suunnittelussa ja palvelun taso-sopimuksissa (SLA). Palvelun tarjoaja voi esittää tarjottavan QoS:n ei-teknisillä termeillä asiakkaalle, ja teknisillä termeillä yrityksen sisällä. Palvelun tarjoajan tarjoamaa QoS:ä voidaan käyttää suunnitteluasiakirjoissa, mittausjärjestelmien spesifioinnissa ja SLA:n perustana. [2]

Palvelun tarjoaja voi esimerkiksi todeta asiakkaan hyödyksi, että perus puhelinpalvelu on suunniteltu olevan vuodessa saatavilla 99,95% ajasta, enintään 15 minuutin tauoilla, maksimissaan kolmella tauolla vuodessa. [2]

2.4. Palvelun tarjoajan saavuttama QoS

Palvelun tarjoajan saavuttama QoS on selvitys palvelun tasosta, joka todellisuudessa saavutettiin ja toimitettiin asiakkaalle. Tätä tulisi kuvata samoilla parametreilla kuin tarjottua QoS:ä, jotta näitä kahta voidaan verrata. Näin voidaan määrittää mitä todellisuudessa saavutettiin, ja voidaan arvioida saavutetun suorituskyvyn taso. Näitä suorituskyvyn kuvaajia voidaan yhdistää tietyltä ajanjaksolta, esimerkiksi edelliseltä kuukaudelta.

Palvelun tarjoaja voi esimerkiksi todeta, että saavutettu palvelun saatavuus oli viime kvartaalilla 99,5 % ajasta, viidellä palvelun katkeamisella, joista yksi kesti 65 minuuttia. Saavutettua tai toimitettua QoS:ä käytetään teollisuudessa, joskus sääntelyviranomaisten toimesta, julkaistavaksi asiakkaiden eduksi. [2]

2.5. Kokemuksen laatu (QoE)

ITU-T:n suosituksessa P.10/G.100 (Vocabulary for performance and quality of service) Amendment 5, kokemuksen laatu (QoE) on määritelty sovelluksen tai palvelun käyttäjän ilahuneisuuden tai ärsytyksen asteeksi. [4] QoE on siis aina käyttäjänä toimivaan ihmiseen sidonnainen. Toisin kuin QoS:ä, sitä ei voida suoraan käyttää kuvaamaan kahden laitteen välistä palvelun laatua.

QoE yhdistää käyttäjän käsityksen, kokemuksen ja odotukset sovelluksesta, sekä verkon suorituskyvystä. Sitä kuvataan tyypillisesti QoS:n parametreilla. QoE:n ja QoS:n välisiä kvantitatiivisia suhteita tarvitaan, jotta pystytään rakentamaan tehokkaita QoE-ohjausmekanismeja mitattaville QoS parametreille. [5]

3. QUALITY OF SERVICE 4G-STANDARDEISSA

Mobiiliverkoissa liikkuvan datan määrän, sekä sen käyttäjien määrän kasvu on tehnyt verkkoresurssien priorisoinnista yhä tärkeemmän osan niiden toteutuksissa. Operaattorit haluavat tarjota jokaiselle verkon käyttäjälle tyydyttävän palvelun laadun. Tämän saavuttamiseksi käyttäjien eri tarpeita priorisoidaan, jotta verkon kapasiteetti saadaan maksimoitua. QoS auttaa viestinnän palveluntarjoajia priorisoimaan aikaa ja resursseja vaativan tietoliikenteen, jotta heidän verkkoja käytetään optimaalisesti. On myös muistettava, ettei QoS eriyttäminen korvaa tarvetta hyvään mobiililaajakaistan kapasiteettiin ja peittoon. QoS ennemminkin minimoi käyttäjien ylimääräisen tiedonsiirron vaikutuksen verkossa ja auttaa satunnaisia kiireisten aikojen ruuhkatilanteita, näin ollen parantaen loppukäyttäjän kokemusta palvelusta. [6]

Mobiiliviestintäteknikat jaetaan usein sukupolviin. Ensimmäinen sukupolvi, eli 1G sisältää 1980-luvun analogiset mobiiliradiojärjestelmät, 2G sisältää ensimmäiset digitaaliset mobiilijärjestelmät ja 3G ensimmäiset laajakaistaista dataa käsittelevät mobiilijärjestelmät. Neljännen sukupolven verkkotekniikka Long-Term Evolution, eli LTE tarjoaa vielä paremman tuen laajakaistaisille mobiilijärjestelmille. [7] LTE luotiin nimensä mukaan pitkäaikaiseen kehitykseen ja se hyödyntää uusimpia radioteknologioita dominoivaa Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM) tekniikkaa [8]. Joitain uudempia LTE julkaisuja tunnetaan myös nimellä LTE-Advanced, vaikka kyseessä on kuitenkin sama perusteknologia [7].

LTE:n QoS:stä on tullut tärkeä osa tietoliikenneverkkojen suunnittelussa. On olemassa tilaajia, jotka käyttävät LTE palveluita kriittisissä operaatioissa, esimerkiksi puheluissa, rahan siirrossa ja sairaalan operaatioissa. Toisaalta on tilaajia, jotka haluavat vain nauttia korkealuokkaisista sovelluksista ja vaivattomasta internetin selaamisesta. LTE suunniteltiin vastaamaan kasvaneen tiedonsiirtonopeuden vaatimuksiin. Ideaalisessa tapauksessa verkko tarjoaa joustavat QoS-toiminnallisuudet, jotka kestävät tulevaisuuden haasteet. [6]

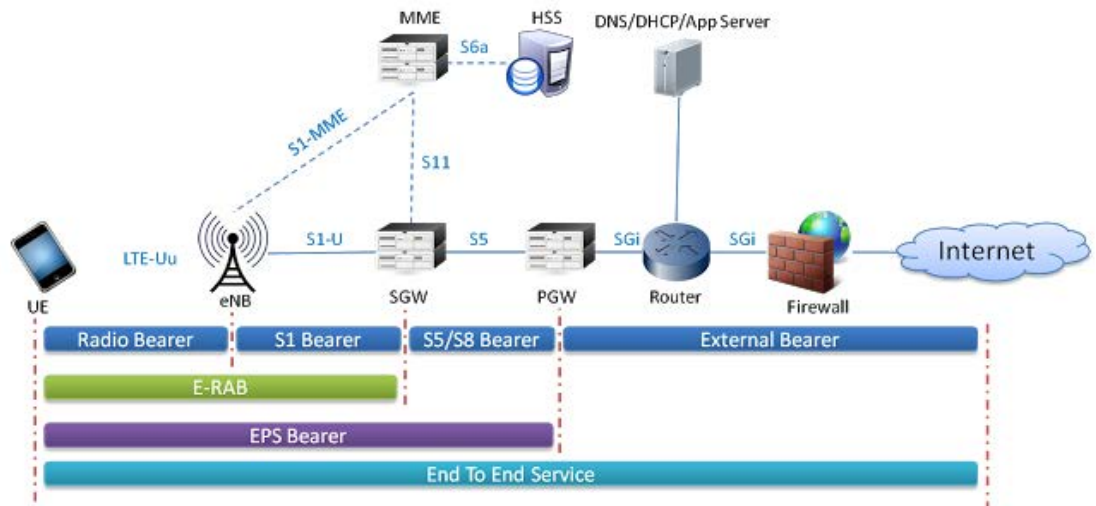
3.1. LTE-verkon siirtoyhteydet

LTE-verkossa QoS toteutetaan päätelaitteen (UE) ja julkisen dataverkon (PDN) välillä, sekä sovelletaan niiden välisiin siirtoyhteyksiin. Siirtoyhteys, eli ”Bearer” tarkoittaa virtuaalista konseptia, jossa joukko verkon määrittämiä tarjoavat tietylle sisällölle tietynlaisen kohtelun, muun dataliikenteen seassa. Esimerkiksi IP-puhe (VoIP) voidaan priorisoida tärkeysjärjestyksessä internetin selauksen yläpuolelle. [6, 9]

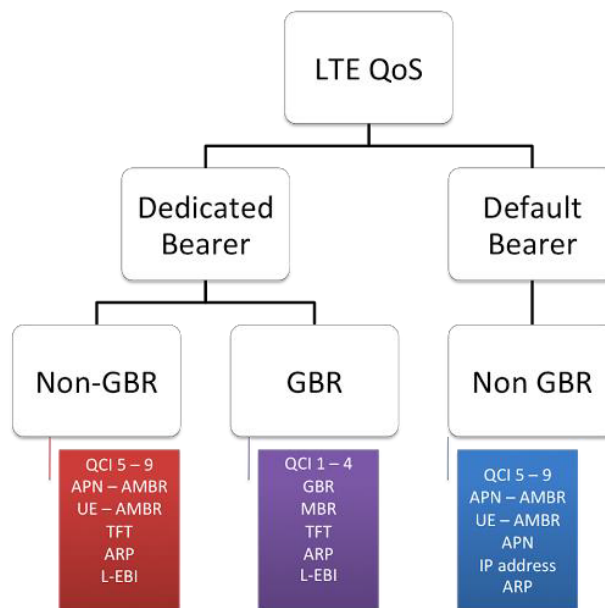
Kuvassa 2 on esitetty LTE-verkon End-to-end-palvelu, ja siinä käytettävät siirtoyhteydet. Kuvassa 2 näkyy UE:n ja PGW:n (Packet Data Network Gateway) välissä ”EPS-Bearer”, eli kehittyneen pakettijärjestelmän siirtoyhteys (EPS-siirtoyhteys). EPS-siirtoyhteyteen sisältyy radio-, S1-, ja S5/S8-siirtoyhteydet. LTE-verkossa QoS toteutetaan EPS-siirtoyhteyteen. [6, 9]

Jotta voisi ymmärtää käsitteen QoS LTE-verkossa, täytyy ymmärtää eri siirtoyhteyksien tyypit ja ominaisuudet, jotka on esitetty kuvassa 3. Kuten kuvasta 3 näkee, on olemassa kahden tyyppisiä siirtoyhteyksiä, perus-siirtoyhteys (Default

Bearer) ja määritelty siirtoyhteys (Dedicated Bearer). Aina kun käyttäjä on yhteydessä LTE-verkkoon, vähintään yksi perus-siirtoyhteys on käytössä. Määriteltyä siirtoyhteyttä käytetään, kun täytyy tarjota QoS erityiseen palveluun, esimerkiksi IP-puheen tai videon siirtoon. [6, 9] Kuvassa 3 näkyy myös kuhunkin siirtoyhteystyyppiin liittyviä parametreja, kuten määriteltyihin siirtoyhteyksiin asetettava L-EBI. L-EBI tarkoittaa linkitetyn EPS-siirtoyhteyden ID:tä [9]. L-EBI kertoo, mihin perus-siirtoyhteyteen kyseinen määritelty siirtoyhteys on linkitetty [9]. Muihin kuvassa 3 näkyviin parametreihin palataan myöhemmin.



Kuva 2. LTE-verkon End-to-end-palvelu. [9]



Kuva 3. LTE QoS. [9]

3.1.1. Perus-siirtoyhteys

Kun käyttäjä yhdistää laitteensa ensimmäistä kertaa laajakaistaiseen LTE-verkkoon, sille määrätään perus-siirtoyhteys (englanniksi default bearer). Siirtoyhteyden parametrit riippuvat tilatusta palvelusta, ja yhteys jatkuu, kunnes se vaihdetaan tai lopetetaan. Jokaisen perus-siirtoyhteyden mukana tulee eri IP-osoite, ja jokainen LTE:n käyttäjä voi saada myös ylimääräisen perus-siirtoyhteyden. Monilla operaattoreilla perus-siirtoyhteys on niin sanottu ”Best Effort palvelu”, joka tarkoittaa sitä, että verkon nopeus ja laatu voi vaihdella verkon käytön ja päivänajan mukana. Perus-siirtoyhteydessä ei siis ole taattua bittinopeutta, eli GBR:a (Guaranteed Bit Rate), eli toisin sanoen perus-siirtoyhteys on aina ei-GBR tyyppinen. [6]

3.1.2. Määritelty siirtoyhteys

Yksinkertaisesti selitettynä, määritelty siirtoyhteys tarjoaa siirtoyhteyden, ennalta määritetyillä parametreilla, yhdelle tai useammalle tietylle verkkoliikenteelle, kuten esimerkiksi VoIP:lle tai videolle. Määritellyt siirtoyhteydet ovat toissijaisia siirtoyhteyksiä, joita luodaan olemassa olevien perus-siirtoyhteyksien päälle. Määritelty siirtoyhteys jakaa aiemmin määritellyn IP-osoitteen perus-siirtoyhteyden kanssa, joten uusi määritelty siirtoyhteys ei tarvitse ylimääräistä IP-osoitetta. Määritellyn siirtoyhteyden voi jakaa vielä kahteen eri tyyppiseen siirtoyhteyteen, GBR:en ja ei-GBR:en. GBR tarjoaa taatun suuruisen bittinopeuden, ja ei-GBR tarjoaa takaamattoman bittinopeuden. [6]

Määriteltyä siirtoyhteyttä käytetään enimmäkseen GBR:a vaativiin palveluihin, mutta sitä on mahdollista käyttää myös ei-GBR palveluihin. Operaattorit tai palvelun tarjoajat voivat havaita määritellyt siirtoyhteydet hyödyllisiksi, kun halutaan esimerkiksi äänensierrossa ylläpitää korkeaa äänenlaatua ja parantaa tällä tavoin käyttäjäkokemusta. Operaattori tai palvelun tarjoaja voi käyttää määritellyssä siirtoyhteydessä liikennevirtamallia (TFT) asettamaan erityissäännön tiettyyn kohteluun, tietylle datalle tai palvelulle, esimerkiksi VoIP:lle. [6]

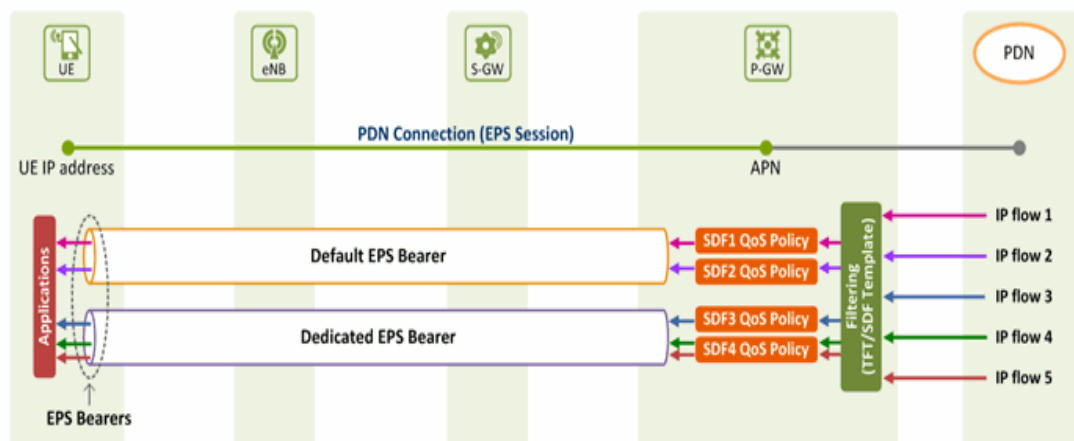
3.2. Tietovirtapalveluiden QoS luokat

LTE-verkossa käyttäjän tietoliikenne (IP-virrat tai IP-paketit) määritellään tietovirtapalvelu (SDF) liikenteeksi ja EPS-siirtoyhteys liikenteeksi [10]. Kuvassa 4 on esitetty EPS-siirtoyhteydet ja SDF:t päätelaitteen (UE) ja PDN:n välissä. SDF viittaa joukkoon IP-virtoja, jotka liittyvät palveluun jota käyttäjä käyttää [10]. EPS-siirtoyhteys viittaa IP-virtaan kootuista SDF:ista, joilla on sama QoS-luokka [10].

SDF ja EPS-siirtoyhteys havaitaan vertaamalla IP-virtoja pakettisuodattimiin. SDF:ta verrataan SDF-malliin ja siirtoyhteyttä liikennevirtamalliin (TFT). Nämä pakettisuodattimet ovat verkko-operaattoreiden sopimuksien mukaisesti ennalta

määrättyjä. Tyypillisesti pakettisuodatin koostuu lähteen IP-osoitteesta, päämäärän IP-osoitteesta, lähteen portin numerosta, päämäärän portin numerosta ja protokolla ID:stä. Toisin sanoen, LTE-verkoissa IP-virta määrätään SDF:un, jos sen palvelulta vaatimat ominaisuudet vastaavat SDF-mallin pakettisuodattimia. SDF:t, joiden ominaisuudet vastaavat TFT:n pakettisuodattimia, asetetaan EPS-siirtoyhteyteen, päätelaitteelle toimitettavaksi. Saman QoS-luokan omaavat SDF:t toimitetaan kootusti EPS-siirtoyhteyttä pitkin, kun taas toiset QoS-luokat toimitetaan toisia EPS-siirtoyhteyksiä pitkin. [10]

Käyttäjän tietoliikenteessä, eri palveluilla tai sovelluksilla on eri QoS-luokka. SDF on käyttäjän liikenteen IP-virta tai IP-virtojen kokonaisuus, joka luokitellaan käytetyn palvelun perusteella. Eri SDF:illa on eri QoS-luokat, ja niin ollen SDF toimii yksikkönä, jonka mukaan QoS-sääntöjä sovelletaan LTE-verkon käytäntö- ja veloitus (PCC) menetelmiin. Kuvassa 4, UE:lle tulevat IP-virrat ovat luokitellut palvelun tyyppin mukaan ja SDF-mallia käyttäen eri SDF:ihin. Sitten sopivat QoS menettelytavat, kuten tärkeys tai kaistanleveyden kontrollointi, lisätään näihin SDF:n, ennen kuin ne toimitetaan UE:lle. Koska EPS-siirtoyhteydet tarjoavat QoS:n, kun SDF:a toimitetaan LTE-verkossa, PGW liittää SDF:n EPS-siirtoyhteyteen, joka tarjoaa sille riittävät QoS toiminnallisuudet. [10]



Kuva 4. SDF:t ja EPS-siirtoyhteydet. [10]

3.3. LTE:n radioliityntäverkko

LTE:n radioliityntäverkko, E-UTRA (Evolved Universal Terrestrial Radio Access), koostuu vain yhden tyyppisistä solmuista, eNodeB-tukiasemista [8 s. 30]. Radioliityntäverkossa, eNodeB:n vastuulla on varmistaa siirtoyhteydelle riittävä QoS:n taso. Siirtoyhteyteen vaikuttavia parametreja on standardisoitu. Tällä varmistetaan, että LTE-operaattorit voivat odottaa verkoissaan tasaista liikenteen käsittelyä, riippumatta eNodeB laitteiden valmistajasta. [8 s. 34]

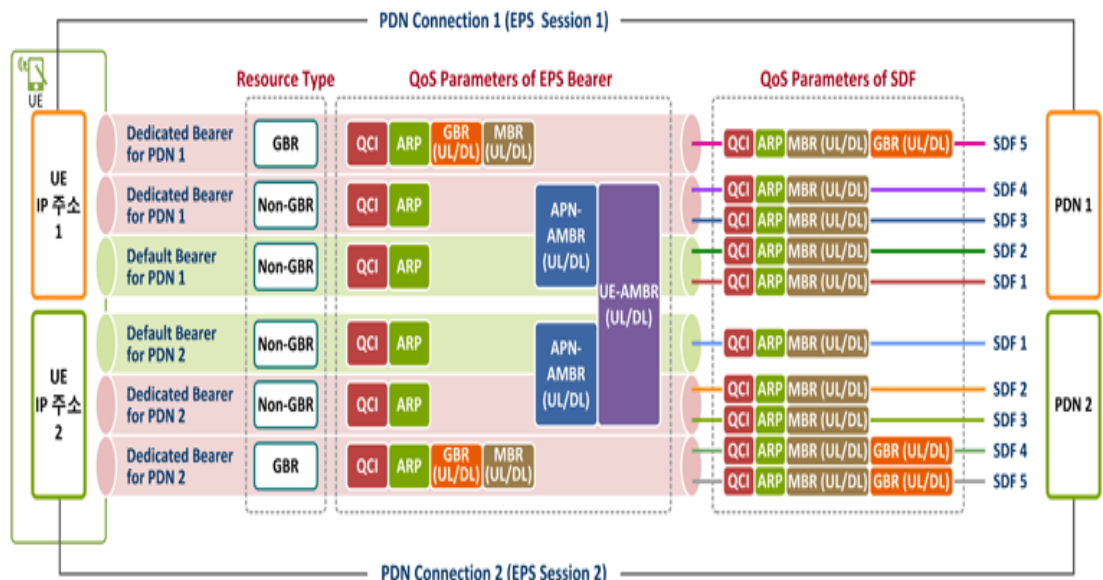
3.4. Siirtoyhteysien QoS parametrit

Kuten aiemmin on todettu, LTE-verkossa on kahden tyyppisiä EPS-siirtoyhteyksiä, perus- ja määritelty siirtoyhteys. [11] Näitä siirtoyhteyksiä kontrolloidaan käyttämällä seuraavia LTE QoS parametreja:

- Resurssin tyyppi: GBR tai Non-GBR
- QoS parametrit
 - o QCI (QoS Class Identifier)
 - o ARP (Allocation and Retention Priority)
 - o GBR (Guaranteed Bit-Rate)
 - o MBR (Maximum Bit-Rate)
 - o APN-AMBR (Access Point Name - Aggregate Maximum Bit-Rate)
 - o UE-AMBR (User Equipment – Aggregate Maximum Bit-Rate)

Jokaisella EPS-siirtoyhteydellä täytyy olla määritelty seuraavat parametrit: QoS:n luokka tunniste (QCI), sekä jakamisen ja säilyttämisen tärkeys (ARP). QCI on erityisen tärkeä, sillä se toimii viitteenä, määriteltäessä kunkin EPS-siirtoyhteyden QoS:n taso. Taattu bittinopeus (GBR) ja maksimi bittinopeus (MBR) on määritelty vain GBR-tyyppisille EPS-siirtoyhteyksille. Yhteenlaskettu maksimi bittinopeus (AMBR) on määritelty vain ei-GBR tyyppisille EPS-siirtoyhteyksille. [11] AMBR asetetaan erikseen päätelaitteelle (UE-AMBR) ja yhteispisteelle (APN-AMBR). Näitä parametreja kuvataan tarkemmin kappaleissa 3.3.1, 3.3.2 ja 3.3.3.

Kuvassa 5 on esitetty kahden UE:n ja kahden PDN-portin väliset siirtoyhteydet ja niihin liittyvät parametrit. Kuten kuvassa näkyy, QCI ja ARP asetetaan jokaiseen siirtoyhteyteen. GBR ja MBR asetetaan GBR-tyyppisiin määriteltyihin siirtoyhteyksiin. APN-AMBR ja UE-AMBR asetetaan kaikkiin ei-GBR tyyppisiin siirtoyhteyksiin.



Kuva 5. QoS:n parametrit. [11]

3.4.1. QCI

QCI ilmaistaan kokonaislukuna yhdestä yhdeksään. Jokainen yhdeksästä QCI arvosta sisältää erilaiset QoS toiminnallisuudet ja suorituskyvyn, kaikille IP-paketeille. QCI arvot on standardisoitu viittaamaan tiettyihin QoS-ominaisuuksiin, ja jokainen QCI sisältää standardisoidut suorituskykyyn liittyvät parametrit. Parametrit ovat siirtoyhteyden tyyppi (GBR/ei-GBR), siirron tärkeys (1-9), paketille sallittu viive (vaihtelee välillä 50ms-300ms) ja sallittu pakettien häviösuhde (vaihtelee välillä 10^{-2} – 10^{-6}). [11] Näiden parametrien ja QCI-arvon välinen yhteys on esitetty kuvassa 6.

QCI	Bearer Type	Priority	Packet Delay	Packet Loss	Example
1	GBR	2	100 ms	10^{-2}	VoIP call
2		4	150 ms	10^{-3}	Video call
3		3	50 ms		Online Gaming (Real Time)
4		5	300 ms	10^{-6}	Video streaming
5	Non-GBR	1	100 ms		IMS Signaling
6		6	300 ms		Video, TCP based services e.g. email, chat, ftp etc
7		7	100 ms		Voice, Video, Interactive gaming
8		8	300 ms		10^{-6}
9	9				

Kuva 6. QCI ja siihen liittyvät parametrit. [8]

EPS-siirtoyhteydelle taattava QoS vaihtelee sille määritellyn QCI-arvon mukaan. Vaikka QCI onkin vain yksi kokonaisluku, se tarjoaa solmukohtaisia parametreja jotka antavat LTE-solmulle tietoa, kuinka käsitellä paketteja. Näillä tiedoilla solmu voi määrittellä esimerkiksi ajoituksia, pääsyn kynnyksarvoja, jonotuksen kynnyksarvoja ja linkkitason protokollien määrittelyksiä. Verkko-operaattoreiden LTE-solmut ovat ennalta määritetyt käsittelemään pakettien toimitusta kulloisenkin QCI arvon mukaan. [11]

Etukäteen määritetyt ja standardisoidut QCI ja suorituskykyyn vaikuttavat parametrit auttavat LTE verkko-operaattoreita tarjoamaan saman QoS:n vähimmäistason. Koska QCI ja sen parametrit on standardisoitu, LTE verkko-operaattorit voivat taata saman, LTE standardin vaatiman QoS:n kaikille. [11]

QCI-arvoja käytetään hyödyksi enimmäkseen eNB:ssä, kontrolloimaan radiolinkkien välillä toimitettavien pakettien tärkeyttä. Tämä johtuu siitä, että langallisessa linkissä SGW:n tai PGW:n ei ole helppo samaan aikaan käsitellä paketteja ja toimittaa niitä perustuen QCI-arvoihin. [11]

3.4.2. ARP

Jakamisen ja säilyttämisen tärkeys (ARP) on parametri, joka määrittää luodaanko uusi siirtoyhteys vai ei. ARP ilmaistään kokonaisluvulla, jonka arvo vaihtelee välillä 1-15, yhden ollessa korkeimman tärkeyden arvo. Kun uutta EPS-siirtoyhteyttä tarvitaan LTE-verkossa, jossa on riittämättömät resurssit, LTE-yksikkö (esimerkiksi PGW, SGW tai eNB) päättää ARP:n perusteella kahdesta vaihtoehdosta. Yksikkö voi poistaa jo olemassa olevan siirtoyhteyden ja luoda uuden, tai kieltäytyä kokonaan luomasta uutta siirtoyhteyttä. Yksikkö voi esimerkiksi poistaa EPS-siirtoyhteyden, jolla on vähemmän tärkeä ARP, ja luoda uuden siirtoyhteyden, jolla on suuremman tärkeyden ARP. [11]

Jakamisen ja säilyttämisen tärkeys (ARP) on siis parametri, jota tarvitaan ainoastaan, kun luodaan uutta EPS-siirtoyhteyttä. Kun uusi siirtoyhteys on luotu ja paketteja toimitetaan sen kautta, ARP ei vaikuta paketin tärkeyteen. Verkon solmu tai yksikkö lähettää paketteja ARP:n arvosta huolimatta. Yksi tyypillinen esimerkki ARP:n käytöstä on hätä VoIP puhelu. Eli, jo olemassa oleva EPS-siirtoyhteys voidaan poistaa, jos uusi siirtoyhteys vaatii esimerkiksi hätäpuhelukonetta numeron 112. [11]

3.4.3. MBR, APN-AMBR & UE-AMBR

Maksimi bitti-nopeus (MBR) on GBR-tyyppisille siirtoyhteyksille määritetty parametri. MBR ilmaisee LTE-verkon suurimman sallitun bittinopeuden. Eli jos GBR-tyyppiseen siirtoyhteyteen saapuvan paketin bittinopeus ylittää MBR:n arvon, se hylätään. [11]

Ei-GBR siirtoyhteyksien tapauksessa, kaikkien ei-GBR EPS-siirtoyhteyksien yhteenlaskettu kaistanleveys on rajoitettu. Tätä rajoitusta ohjaa yhteyspisteen yhteenlaskettu maksimi bittinopeus (APN-AMBR). On olemassa kaksi ei-GBR siirtoyhteyttä (määrätty ja perus-siirtoyhteys), ja APN-AMBR määrittää niiden suurimmat kaistanleveydet. APN-AMBR on sisällytetty päätelaitteessa vain ylälinkin suuntaan, ja PGW:ssä ylä- ja alalinkin suuntaan. [11]

Päätelaite voi olla yhdistettynä useaan PDN porttiin samaan aikaan, ja sillä on oma IP-osoite jokaiseen eri PDN-yhteyteen. Päätelaitteen yhteenlaskettu maksimi bittinopeus (UE-AMBR) osoittaa suurimman sallitun kaistanleveyden UE:lle osoitetuille ei-GBR siirtoyhteyksille. Tähän ei kuitenkaan vaikuta UE:n PDN yhteyksien määrä, sillä muut PDN:t yhdistetään muiden PGW:ien kautta. UE-AMBR parametria sovelletaan ainoastaan eNB tukiasemissa. [11]

3.5. LTE ilmarajapinnan järjestelijä

LTE ilmarajapinnan järjestelijä (scheduler) on vastuussa ylä- ja alalinkin suuntaisen tietoliikenteen dynaamisesta jakamisesta, asianmukaisille siirtoyhteyksille.

Ilmarajapinnan järjestelijä myös ylläpitää haluttua QoS:n tasoa, sekä ylälinkin, että alalinkin suuntaan. Jotta ilmarajapinnan järjestelijä kykenee tekemään liikenteen aikataulutukseen liittyviä päätöksiä, se tarvitsee syötteeseen muutamia tietoja. [12] Näitä tietoja ovat:

- Radio-olosuhteet päätelaitteen luona. Radio-olosuhteet tunnistetaan joko tukiaseman (eNB) mittauksilla ja/tai päätelaitteen raportoina. [12]
- Eri siirtoyhteyksien tilat, kuten ylälinkin puskurin tilan raportit (BSR), jotka tarjoavat tukea QoS-tietoiseen pakettien aikataulutukseen. [12]
- Siirtoyhteyksien QoS ominaisuudet ja QCI:n pakettien toimittamiseen liittyvät parametrit. [12]
- Viereisten solujen mahdolliset häiriötilanteet. LTE ilmarajapinnan järjestelijä voi yrittää hallita solujen välistä häiriötä (ICI) pitkällä aikavälillä. Tällä parannetaan solun reunalla olevien päätteiden QoE:a. [12]

3.6. Puskuritilan raportointimekanismi

LTE-verkossa on käytössä myös puskuritilan raportointimekanismi (BSR). Puskuritilan raportointimekanismi ilmoittaa ylälinkin suuntaiselle ilmarajapinnan järjestelijälle päätelaitteessa olevan puskuritilan määrän. Tämä mekanismi koostuu tapahtumien liipaisusta (englanniksi ”triggering”) ja ilmoittamisesta. Tapahtumien liipaisu voi olla jaksottainen tai säännöllinen. Jaksottainen BSR liipaisu ei vaadi tiedonsiirtoon palvelupyyntöä (SR) käyttäjän laitteelta. [12]

Kun BSR tapahtuma on liipaisu ja päätelaitteella on resursseja varattuna fyysisen ylälinkin jaetulla kanavalla (PUSCH), BSR lähetetään. Kun säännöllinen BSR tapahtuma on liipaisu, täytyy lähettää SR. Jos SR varaus on saatavilla fyysisen ylälinkin ohjauskanavalla (PUCCH), SR lähetetään seuraavalla mahdollisella hetkellä. Muussa tapauksessa SR lähetetään käyttäen hajasaantiproseduuria. Puskurin tila raportoidaan radiosiirtoyhteyksiryhmittäin. On olemassa kaksi BSR formaattia: lyhyt ja pitkä. Lyhyt formaatti voidaan raportoida yhteen radiosiirtoyhteys ryhmään, kun taas pitkä formaatti voidaan käyttää neljään ryhmään. [12]

3.7. Multimedian tärkeyspalvelu (MPS)

Kolmannen sukupolven yhteistyöprojektin, eli 3GPP:n, selosteessa 23.854 on määritelty multimedian tärkeyspalvelun (MPS) merkitys. Selosteen mukaan MPS sallii valtuutettujen käyttäjien saada ja ylläpitää radio- ja verkkoresursseja etuoikeudella [13 s.7]. Tämä onnistuu myös sellaisten tilanteiden aikana, jolloin julkisen maamobiiliverkon (PLMN) ruuhkautuminen estää sessioiden

perustamisyrietykset [13 s.7]. MPS-sessio (esimerkiksi ääni-, video- tai data-sessio) saa siis etuoikeudella hankkia ja ylläpitää radio- ja verkkoresursseja [13 s.7].

MPS-tilaus sisältää etuoikeutetut palvelut, jos verkko tukee MPS:a. MPS-tilaus oikeuttaa USIM-korttiin, jossa on erityiset pääsilyluokat. MPS-tilauksen profiili tallennetaan operaattorin verkkoon. Päätelaitte MPS-tilauksella on yksinkertaisesti päätelaite, jossa on USIM-kortti MPS-tilauksella. MPS-tilauksia on kahta erilaista tyyppiä. Ensimmäinen on aina päällä oleva MPS-tilaus, jolloin erityiskohtelu tarjotaan kaikkiin palvelun käyttäjän sessioihin. Toinen on vaatimuksesta käynnistyvä MPS-tilaus, jolloin erityiskohtelu tarjotaan, kun käyttäjä sitä pyytää. [13 s. 7-8]

Esimerkki IP multimedia alijärjestelmään (IMS) perustuvasta MPS-sessiosta on äänipuhelu, joka luodaan käyttämällä IMS proseduuria. Edellä mainittu MPS äänisessio käsitellään etuoikeutetusti. [13 s. 8] Alla on esitetty muutamia skenaarioita:

- Mobiiliyhteys MPS-tilatulta päätelaitteelta, jossa on MPS koodi/tunniste: Palvelun käyttäjä aloittaa IMS-pohjaisen MPS-session E-UTRA-verkossa MPS-tilatulla UE:lla, sisällyttämällä siihen MPS koodin/tunnisteen ja kohteen osoitteen. Tässä skenaariossa erityiskohtelu riippuu operaattorin käytännöistä ja EPS-siirtoyhteyksien tiedoista. [13 s. 8]
- Mobiiliyhteys miltä tahansa päätelaitteelta, jossa on MPS syöte merkkijono: Palvelun käyttäjä aloittaa IMS-pohjaisen MPS-session E-UTRA-verkossa millä tahansa UE:lla (MPS-tilatulla tai ei tilatulla), sisällyttämällä siihen syöte merkkijonon. Tässä skenaariossa UE voi saada erityiskohtelua signaalointiin, kuin myös median siirtoon, ylimääräisten käyttötietojen keräämiseksi palvelun käyttäjältä. [13 s. 8]
- Mobiiliyhteyden terminointi: Palvelun käyttäjä aloittaa MPS-session E-UTRA-verkossa ja samalla lopettaa toisen käyttäjän yhteyden. Toinen käyttäjä voi olla myös palvelun käyttäjä, tai normaali käyttäjä. Terminointi-verkko tunnistaa session tärkeyden ja asettaa sille erityiskohtelun, varmistaakseen puhelun toimituksen. [13 s. 8]
- IMS-pohjaisen etuoikeutetun puhelun SRVCC (Single Radio Voice Call Continuity): Kun UE:lla on menossa IMS-pohjainen etuoikeutettu puhelu ja eNB aloittaa SRVCC proseduurin, verkon ääntä kuljettavien siirtoyhteyksien resurssit tulee säilyttää priorisoidusti. [13 s. 8]
- Kun palvelun käyttäjä pyytää MPS-sessiota, seuraavien siirtoyhteyksien hallintaa koskevien periaatteiden on pädeävä: MPS-sessioon varatuille EPS-siirtoyhteyksille on asetettava ARP-arvo, joka vastaa palvelun käyttäjän prioriteettitasoa. ARP:n etuosto-oikeudet ja MPS-siirtoyhteyksien haavoittuvuusasetukset riippuvat operaattoreiden linjauksista ja nojaavat kansallisisiin tai alueellisiin sääntelyihin ja vaatimuksiin. [13 s. 10]

3.8. Yhteyden kontrollointi

Tietyissä olosuhteissa on toivottavaa voida estää päätelaitteiden käyttäjien yhteysyritykset verkkoon (mukaan lukien soittopyynnot hätäpuheluun), tai estää soittopyyntöihin vastaaminen tietyissä PLMN:n osissa. Tällaisia tilanteita voi ilmetä hätätilanteiden aikana, tai kun yksi kahdesta tai useammasta, rinnakkain sijoitetuista PLMN:sta on epäkunnossa. Lähetysviestien tulisi olla saatavilla solussa, solun perustan ilmaistessa verkosta estettyjen tilaajien luokat. Tämän toiminnon avulla verkko-operaattori voi estää pääsykanavan ylikuormituksen kriittisissä olosuhteissa. Tätä käyttöoikeuden hallintaa ei ole tarkoitettu käytettäväksi normaaleissa olosuhteissa. [14 s. 16]

3.8.1. Yhteyden jakaminen

Kaikki päätelaitteet ovat jäseniä yhdessä kymmenestä satunnaisesti jaetusta mobiililaitteen populaatiosta, jotka on määritelty yhteysluokiksi (Access class) 0-9. Populaation numero on tallennettu SIM/USIM-korttiin. Lisäksi mobiililaitteet voivat olla yhden tai useamman erityisluokan jäseniä (yhteysluokat 11-15). Erityisluokat ovat myös tallennetut SIM/USIM-kortille. Erityisluokat kohdennetaan tietyille ensisijaisille käyttäjille, mutta numerointia ei ole tarkoitettu tärkeysjärjestykseksi. [14 s. 16] Erityisluokat ovat seuraavat:

- Luokka 15: PLMN-henkilökunta
- Luokka 14: Häätäpalvelut
- Luokka 13: Julkiset palvelut, kuten veden tai kaasun tarjoajat
- Luokka 12: Turvallisuuspalvelut
- Luokka 11: PLMN:n käyttöön

4. QOS TOTEUTUKSIA 4G-VERKOISSA

Olipa tietoverkko sitten langallinen tai langaton, sen QoS toiminnallisuudet perustuvat standardeihin (esimerkiksi IETF RFC, IEEE 802, 3GPP TS). Eri standardeja käyttävät toiminnallisuudet voivat toimia eri lailla, riippuen siitä, onko verkko langallinen (Ethernet/IP/MPLS) vai langaton (LTE/WiBro/Wi-Fi). Molempien tapauksessa, QoS tarkoittaa kuitenkin periaatteessa sitä, että verkon tietoliikenteen laatu on taattu, jos maksat lisää, tai käytät korkean prioriteetin palvelua. Korkean prioriteetin palveluita voivat olla esimerkiksi ääni- tai videoliikenne. Molemmat ovat paljon herkempiä viiveelle, kuin esimerkiksi normaali internetin käyttö. [15]

4.1. Nokian näkemys QoS toteutuksista

QoS-mekanismeihin liittyviä teknisiä yksityiskohtia ei kilpailusyistä julkaista. Niinpä kuvaukset niistä ovat usein myyntihenkisiä julkaisuja. Myyntihenkisissä julkaisuissa voidaan monesti kuvata tavoitteita ja antaa ymmärtää, että kyseinen toimija on loistavasti saavuttanut nuo tavoitteet. Tämä on hyvä muistaa eri toimijoiden julkaisuja tutkiessa. Nokian kuvaus omasta toteutuksestaan on seuraavan kaltainen:

Luomalla tehokkaita ja älykkäitä tietoliikenteenhallintajärjestelmiä voidaan parantaa käyttökokemusta, lisätä tuloja ja vähentää hämmennystä. Vain operaattoreilla on kyky tarjota riittävä end-to-end QoS, tukemaan monia mobiileja laajakaistaisia palveluita (MBB). Muuttamalla QoS:ä eri liikennetyyppien mukaan, on mahdollista parantaa loppukäyttäjän QoE:ä ja hallita niukkoja verkkoresursseja. Yksi lähestymistapa on QoS:n sovittaminen erilaisten sovellusten tiettyihin tarpeisiin. QoE-varmistusmekanismien on katettava kaikki verkkoelementit ydinverkosta käyttäjän laitteelle, sekä tarjota liikennetunnistusta käyttämällä syvää pakettitarkastusta (DPI), radiokuorma-tietoista QoS:ä, liikenteen erottelua ja tukea vanhoille laitteille. Mikään yksittäinen ratkaisu ei sovi kaikille operaattoreille. Oikean valinnan määrittämiseksi tarvitaan liiketoiminnan ja nykyisen verkon analysointia. [16 s. 4]

Nopeasti kehittyvän ja innovatiivisen internet-sovellusten tarjonnan keskellä, loppukäyttäjien tarpeiden ja halujen ymmärtäminen on operaattoreille äärimmäisen tärkeää. Verkon suorituskyky on edelleen tärkeää, mutta tapa jolla sen katsotaan tuovan lisäarvoa loppukäyttäjälle, on muuttunut. Kun haetaan kestäväää liiketoimintaa, paranneltu QoE, uskollisuus ja asiakaskokemukset ovat operaattoreiden kannalta keskeisiä strategisia tavoitteita. Otetaan esimerkkinä MBB-verkko, jossa raskaat käyttäjät voivat luoda pullonkauloja, jolloin muut verkon käyttäjät eivät pääse käsiksi johonkin sovellukseen. Operaattoreiden on löydettävä optimaalinen tapa varmistaa kaikille käyttäjille kohtuullinen pääsy verkkoon. Kyvystä hallita käyttäjäkokemusta tulee näin ollen keskeinen asia. ”Auta käyttäjiä pääsemään käsiksi tietoon ja palveluihin sopivaan hintaan, anna heille kohtuullinen pääsy sisältöön, sekä ole yhteystietoinen luotettavassa ja turvallisessa ympäristössä, niin käsissäsi on avaimet menestykseen.” [16 s. 5]

Mobiilioperaattorit haluavat tarjota eriytettyjä mobiileja palvelupaketteja eri käyttäjäkunnille, aina ammattilaisista teini-ikäisille, kuin muillekin satunnaisille käyttäjille. Suurempi haaste on eritellä QoS jokaisen sovelluksen tarpeiden mukaan,

olivatpa ne kapeakaistaisia, laajakaistaisia, reaaliaikaisia tai lisäarvopalveluita, kuten videoiden tilaus. [16 s. 6]

5. POHDINTA

4G-verkon käyttäjät voivat käyttää verkkoa hyvin erilaisiin tehtäviin. Etenkin kriittisissä operaatioissa, kuten hätäpuheluissa, on verkon suorituskykyyn voitava luottaa. Riittävän QoS:n takaaminen on siis operaattoreiden ja muiden palvelun tarjoajien kannalta erittäin tärkeää. QoS:ä käytetään varmistamaan positiivinen käyttäjäkokemus kaikille 4G-verkon käyttäjille.

Kuten työssä on tullut esille, QoS on moniulotteinen käsite, joka pitää sisällään lukuisia eri muuttujia. Pelkästään LTE-verkon QoS sisältää useita eri parametreja, joilla kaikilla on oma tarkoitus ja tehtävä. QoS:n tasoa esitetään laitetasolla teknisillä termeillä, kuten QCI ja ARP. Verkon käyttäjän näkökulmasta näillä termeillä ja niiden merkityksellä ei kuitenkaan ole suurta merkitystä. Useimpia käyttäjiä kiinnostaa toimiva kokonaisuus, hyvin yleisellä tasolla. Vaadittu tai haluttu QoS:n taso, sekä saavutettu QoS:n taso eivät aina kohtaa, vaikka siihen olisikin pyritty.

QoS-mekanismien käyttö on globaaleilla televiestintämarkkinoilla tärkeä kilpailutekijä. Koska 4G-verkon QoS parametrit ovat standardoitu, jokainen laitevalmistaja voi tehdä omat laitekohtaiset ratkaisunsa standardien puitteissa. Näin ollen tarkkoja teknisiä kuvauksia niiden toteutuksista (esimerkiksi tukiasemissa) ei todennäköisesti julkaista. Tietoa vaaditun QoS:n tasosta tarvitaan myös monien järjestelmien suunnittelussa. Suunnittelijoiden tulee tietää, minkälaista suorituskykyä järjestelmältä vaaditaan, että vaatimukseen voidaan vastata parhaalla mahdollisella tavalla.

Kun tulevaisuudessa siirrytään seuraavan sukupolven verkkoteknologiaan, eli tuttavallisemmin 5G-verkkoon, QoS:n asema suunnittelussa tulee yhä tärkeämmäksi. Kun aletaan puhua itsestään ajavista autoista, sekä yhä kasvavasta esineiden internetistä (IoT), on selvää, että tulevaisuuden verkolta odotetaan todella suurta tiedonsiirtonopeutta ja kapasiteettia, sekä erittäin pientä viivettä. IoT:n myötä tietoliikennetarpeiden kirjo laajenee, niin datamäärien ja -nopeuksien kuin viiveensiedon ja luotettavuudenkin suhteen. Tulevaisuudessa QoS:n tulee taata hyvä käyttäjäkokemus yhä vaativammille ihmisille ja monimuotoisimmille laitteille. Kun yhä useammat laitteet ovat tavalla tai toisella yhteydessä verkkoon, myös QoS:a on kehitettävä dynamisemmaksi ja joustavammaksi.

6. LÄHTEET

- [1] ITU-T Recommendation E.800 (09/2008) Definitions of terms related to quality of service.
- [2] ITU-T Recommendation G.1000 (11/2001) Communications quality of service: A framework and definitions.
- [3] ITU-T Recommendation G.1010 (11/2001) End-user multimedia QoS categories.
- [4] ITU-T Recommendation p.10/G.100 (07/2016) Amendment 5: New definitions for inclusion in Recommendation ITU-T P.10/G.100
- [5] Fiedler M., Hossfeld T. & Tran-Gia P. (2010) A generic quantitative relationship between quality of experience and quality of service. IEEE Network, Volume 24, Issue 2, s. 36-41
- [6] BEC Technologies (luettu 20.4.2016) Quality of Service (QoS) in LTE. URL: <http://bectechnologies.net/whitepaper/>
- [7] Dahlman E., Parkvall S. & Sköld J. (2014) 4G: LTE/LTE Advanced for Mobile Broadband, Second Edition
- [8] Sesia S., Toufik I. & Baker M. (2011) LTE – The UMTS Long Term Evolution From Theory to Practice, Second Edition
- [9] Gupta N. (luettu 26.2.2017) Quality of Service (QoS) in LTE. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/quality-service-qos-lte-nitin-gupta>
- [10] Netmanias (luettu 16.4.2017) LTE QoS: SDF and EPS Bearer QoS. URL: <http://www.netmanias.com/en/?m=view&id=techdocs&no=10434>
- [11] Netmanias (luettu: 17.3.2017) LTE QoS (Part 2) – LTE QoS Parameters (QCI, ARP, GBR, MBR and AMBR). URL: <http://www.netmanias.com/en/post/blog/5933/eps-bearer-lte-qos-sdf/lte-qos-part-2-lte-qos-parameters-qci-arp-gbr-mbr-and-ambr>
- [12] Alasti M., Neekzad B., Hui J. & Vannithamby R. (05/2010) Quality of service in WiMAX and LTE networks. IEEE Communications Magazine, Volume 48, Issue 5, s. 104-111
- [13] 3GPP TR 23.854 v11.0.0 (6/2011) Enhancements for Multimedia Priority Service (MPS) (Release 11)

- [14] 3GPP TS 22.011 v9.4.0 (6/2010) Service accessibility (Release 9)
- [15] Netmanias (luettu 17.3.2017) LTE QoS (Part 1) – EPS Bearers and SDF. URL:
<http://www.netmanias.com/en/?m=view&id=blog&tag=36&no=5932>
- [16] Nokia Networks white paper (luettu 29.10.2017) Cell load and application aware traffic management.