



5G-verkot ja edge-verkostot

Mikael Virtanen

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2020

Tieto- ja viestintäteknikka
Tietoliikennetekniikka ja tietoverkot

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tieto- ja viestintäteknikka
Tietoliikennetekniikka ja tietoverkot

VIRTANEN, MIKAEL:
5G-verkot ja edge-verkostot

Opinnäytetyö 30 sivua
Toukokuu 2020

Opinnäytetyössä tutkittiin 5G-verkkoja niihin liittyvien teknisten dokumenttien verkosta etsityn materiaalin pohjalta. Lisäksi opinnäytetyössä käsitellään 5G-verkoihin epäsuorasti liittyvää edge-verkostointia.

5G-verkot sisältävät joukon erilaisia toimintoja, jotka yhdessä muodostavat järjestelmän, joka mahdollistaa aiempaa korkeamman tiedonsiirtonopeuden ja palvelun laadun. 5G-teknologian mahdollistama nopea tiedonsiirto tuo mukanaan myös ongelmia, kuten sen, että hakkereille on saatavilla suurempi määrä potentiaalisia bottiverkon osia sekä sen, että saatavilla oleva radiokaista saturoituu, jolloin samaa kaistaa käyttävät aikaisemmat tiedonsiirtokanavat voivat kokea palvelun saatavuuden heikentymistä.

5G-verkot koostuvat suuresta määrästä pieniä soluja, jotka on sijoitettu tiheästi. Niiden lähetysteho, kantama ja käyttäjämäärän raja riippuu siitä, minkä tyyppiin ympäristöön niiden käyttö on suunniteltu. 5G-tukiasemien kantama vaihtelee kymmenistä metreistä satoihin metreihin, niiden teho milliwateista kymmeneen wattiin ja niiden palvelema käyttäjämäärä vaihtelee muutamista ihmisistä satoihin ihmisiin. 5G-verkon palvelun laatua mitataan kuudella eri performanssi-indikaattorilla, jotka ovat saatavuus, luotettavuus, hyödynnysaste, pysyvyys, liikkuvuus ja datansiirtoon tarvittavan energian määrällä.

Edge-verkostoinnilla tarkoitetaan mallia, jossa suuri osa palvelujen vaatimasta datan prosessoinnista suoritetaan lähellä loppukäyttäjien laitteita. Tämän kaltainen paikallispilvi voi olla kytkettynä verkon yhdyskäytävään tai olla loppukäyttäjän ja yhdyskäytävän välissä.

Edge-verkostointi vaatii toimiakseen lukuisia eri osia, joista jokaisella on oma tehtävänsä. Ne ylläpitävät profiileja käyttäjistä, joiden avulla ne pyrkivät antamaan mahdollisimman hyvän palvelun tason käyttäjille. Edge-verkot myös antavat käyttäjille mahdollisuuden jakaa sijaintidataa, jonka avulla sovellukset voivat parantaa toimintaansa.

Asiasanat: 5G, edge-verkostot

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
ICT Engineering
Telecommunications and Networks

VIRTANEN, MIKAEL:
5G Networks and Edge Networks

Bachelor's thesis 30 pages
May 2020

This thesis explores 5G networks. This was mainly achieved by studying the technical documentation available about the subject as well as other material pertaining to it that is available online. This thesis also explores the subject of edge networking that is indirectly related to 5G networks.

5G networks include a group of different functions that work together to form a system that enables faster data transmission and a higher quality of service. The fast data transmission enabled by 5G also brings with it problems such as a higher amount of potential botnet members and the saturation of available bandwidth which could mean that older transmission channels already using the same radio band could experience a lower service availability.

5G networks consist of a large amount of small cells that are placed densely. Their transmission power, range and number of users is based on the type of environment they are designed to be placed in. The range of 5G base stations ranges from tens of meters to hundreds of meters, their transmission power ranges from milliwatts to tens of watts and the number of people serviced by them ranges from a few people to hundreds of people. The quality of 5G service is measured with six performance indicators, which are accessibility, integrity, utilization, retainability, mobility and energy efficiency.

Edge computing means a model where a significant part of the data processing required by services is done near the end users' equipment. This type of local cloud can be connected to the network gateway or be placed between the end user and the network gateway.

In order to function, edge computing requires a multitude of different parts, each of which performs its own function. They manage user profiles in order to provide the highest level of service they can to end users. Edge networks also provide the possibility of sharing location data that applications can use to improve their functionality.

Key words: 5G, edge computing

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	JÄRJESTELMÄARKKITEHTUURI.....	9
	2.1 NSSF	9
	2.2 NEF.....	9
	2.3 NRF.....	10
	2.4 PCF.....	10
	2.5 UDM.....	10
	2.6 AF	10
	2.7 AUSF	11
	2.8 AMF	11
	2.9 SMF	11
	2.10 SCP	11
	2.11 UE.....	12
	2.12 RAN.....	12
	2.13 UPF	12
	2.14 DN	12
	2.15 Paikallisverkot.....	12
	2.16 Solutyypit.....	13
3	UHKATEKIJÄT	14
	3.1 Tietoturva.....	14
	3.2 Ympäristö.....	14
4	PERFORMANSSI-INDIKAATTORIT.....	15
	4.1 Saatavuus	15
	4.2 Luotettavuus	15
	4.3 Hyödynnysaste.....	16
	4.4 Pysyvyys	16
	4.5 Liikkuvuus	17
	4.6 Datansiirtoon tarvittava energia.....	17
5	EDGE-VERKOSTOINTI.....	18
	5.1 Arkkitehtuuri	18
	5.1.1 EES	19
	5.1.2 EEC	19
	5.1.3 ECS	20
	5.1.4 AC	20
	5.1.5 EAS	20
	5.2 Rajapinnat.....	20

5.3	Tunnisteet	21
5.4	Informaatioelementit.....	22
5.4.1	AC-profiili.....	22
5.4.2	AC-palvelun performanssi-indikaattorit.....	22
5.4.3	Edge-ohjelman serveriprofiilit	23
5.4.4	Edge-ohjelman serverin performanssi-indikaattorit.....	24
5.5	Palvelujen jakaminen	24
5.6	Rekisteröinti	25
5.7	Serverien löytäminen	26
5.8	Sijainnin tiedottaminen	26
5.8.1	Pyyntö ja vastaus	26
5.8.2	Tilaaaja-ilmoittaja-malli	27
5.8.3	Sijainnin määrittäminen	28
6	POHDINTA	29
	LÄHTEET.....	30

LYHENTEET JA TERMIT

5GC	5G Core Network, 5G-runkoverkko
AC	Application Client, loppukäyttäjän laitteessa toimiva sovellus
ACID	Application Client Identification, loppukäyttäjän sovelluksen tunniste
AF	Application Function
AMF	Access and Mobility Management Function
AN	Access Network, verkko, joka yhdistää loppukäyttäjät palveluntarjoajaan
AUSF	Authentication Server Function, 5G-verkon toiminto, joka autentikoi käyttäjät
DN	Data Network, maailmanlaajuinen tietoverkko
EAS	Edge Application Server, edge-verkon palvelin, jonka kautta tiedonsiirto edge-verkon ja loppukäyttäjien välillä toimii
EASID	Edge Application Server Identification, EAS:ien tunnistetyyppi
ECS	Edge Configuration Server, edge-verkon palvelin, joka mahdollistaa yhteyden EEC:n ja EES:n välillä
ECSP	Edge Computing Service Provider, edge-verkon palveluntarjoaja
EEC	Edge Enabler Client, loppukäyttäjän laitteessa toimiva edge-verkon osa, joka suorittaa AC:n vaatimia aputoimintoja
EECID	Edge Enabler Client Identification, EEC:ien tunnistetyyppi
EES	Edge Enabler Server, edge-verkon toiminto, joka jakaa muille verkon osille asetustietoja
EESID	Edge Enabler Server Identification, EES:ien tunnistetyyppi

NEF	Network Exposure Function, 5G-verkon toiminto, joka toimii verkon sisäisen ja ulkoisen informaation kääntäjänä
NRF	Network Repository Function, 5G-verkon toiminto, joka löytää verkon palvelut ja jakaa tiedon loppukäyttäjille
NSSF	Network Slice Selection Function, 5G-verkon toiminto, joka valitsee loppukäyttäjien käyttämät verkkosiivut
PCF	Policy Control Function, 5G-verkon toiminto, joka jakaa tiedon 5G-verkon käytännöistä sen muille osille
PEI	Permanent Equipment Identifier, pysyvä laitekohtainen tunniste
QoS	Quality of Service, palvelun laatu
RAN	Radio Access Network, langaton verkko, joka yhdistää loppukäyttäjät palveluntarjoajaan
SCP	Service Communication Proxy, 5G-verkon osa, joka toimii välityspalvelimena
SMF	Session Management Function, 5G-verkon osa, joka hallinnoi verkko-osoitteita ja reititystä
UDM	Unified Data Management, 5G-verkon osa, joka varmistaa istuntojen jatkuvuuden ja luo autentikointiin vaaditut tunnisteet
UE	User Equipment, loppukäyttäjän laite
UE ID	User Equipment Identification, loppukäyttäjän laitteen tunnistetyyppi
UPF	User Plane Function, 5G-verkon osa, joka antaa loppukäyttäjille verkkoyhteyden

1 JOHDANTO

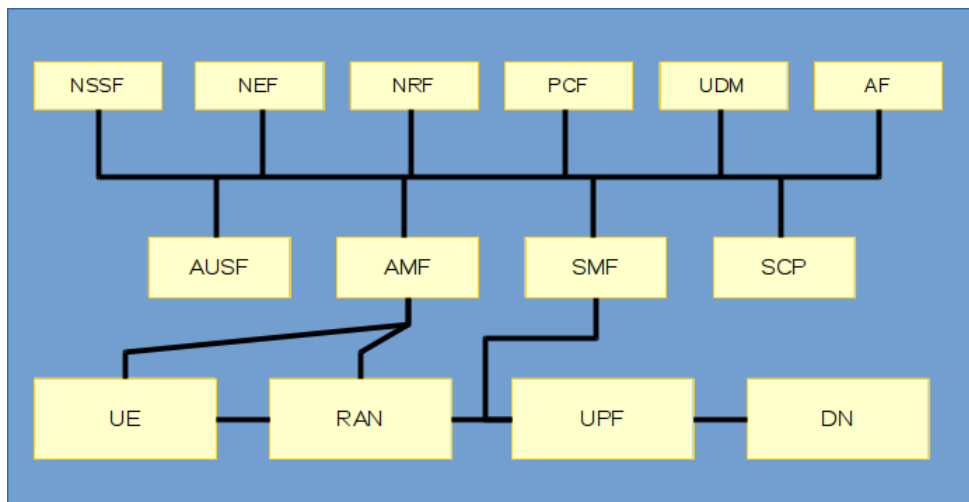
5G-tekniologialla tarkoitetaan joukkoa tulevia tietoliikennestandardeja, joista osa on jo pitkälti vakiintunut. 5G-tekniologia tulee johtamaan tietoverkkojen kapasiteetin merkittävään kasvuun, mutta kasvava kaistanleveys ja verkkoon liitettyjen laitteiden määrä tuo mukanaan myös haasteita.

5G-infrastruktuuri muistuttaa monilta osin aikaisempia tietoliikenneverkkoja. Kuten 3G- ja 4G-verkoissa, eri toiminnot on eroteltu omiksi selkeästi määritellyiksi osikseen, jotka yhdessä muodostavat yhtenäisen kokonaisuuden. Yhdessä olemassa olevan infrastruktuurin kanssa se luo entistä paremman tietoverkon.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia sitä, kuinka 5G-tekniologian infrastruktuuri on määritetty 3GPP:n teknisessä dokumentaatioissa. Merkittävä osa tätä opinnäytetyötä on myös edge-verkkoihin liittyvien rakenteiden tutkiminen. Työssä käsitellään myös 5G-verkon ja edge-verkkojen performanssi-indikaattoreita sekä sijaintidatan jakamisen toimintaa.

2 JÄRJESTELMÄARKKITEHTUURI

5G-järjestelmä (kuva 1) koostuu joukosta osia, joista jokainen suorittaa tietyn toiminnon. Useita samantyyppisiä osia voi olla toiminnassa verkossa samaan aikaan. Järjestelmän osat muodostavat 5G-järjestelmän (3GPP 2020).



KUVA 1. 5G-järjestelmäarkkitehtuuri

2.1 NSSF

NSSF (Network Slice Selection Function) valitsee verkkosiivut, jotka jakavat loppukäyttäjälle verkkoyhteyden. Se suorittaa myös verkkosiivukohtaisen autentikoinnin. Lisäksi NSSF päättää, mikä verkossa sijaitseva AMF (Access and Mobility Management Function) palvelee mitäänkin loppukäyttäjää.

2.2 NEF

NEF:n (Network Exposure Function) tarkoitus on vähentää informaation määrää, jonka loppukäyttäjät paljastavat ulkopuolisille verkoille toimimalla verkon sisäisen ja ulkoisen informaation kääntäjänä. Se luo tavan AF:ille (Application Function) jakaa informaatiota 5G-verkolle. Se myös parantaa käyttäjien tietoturvaa peittämällä käyttäjien informaation kolmansilta osapuolilta.

2.3 NRF

NRF:n (Network Repository Function) tarkoituksena on löytää verkossa olevia palveluja ja jakaa tieto niiden olemassaolosta loppukäyttäjille. NRF:n jakama profiili annetusta palvelusta sisältää sen uniikin tunnisteiden, tyyppien sekä sen sijainnin verkossa. NRF:n jakamaan profiiliin kuuluu myös tieto palvelujen kapasiteetista.

2.4 PCF

PCF (Policy Control Function) hallinnoi verkon käytäntöjä ja jakaa sääntöjä verkon muille osille. Sen tarkoituksena on varmistaa, että verkolla on yhtenäinen joukko sääntöjä, jolloin kaikki sen osat toimivat samojen käytäntöjen mukaan. Se jakaa myös QoS:n (Quality of Service) säännöt verkon muille osille.

2.5 UDM

UDM:n (Unified Data Management) tärkein tehtävä on luoda käyttäjien autentikointiin tarkoitetut tunnisteet. Se myös hallinnoi käyttäjien tilaustietoja ja istuntojen jatkuvuutta. UDM myös varmistaa tekstiviestien saapumisen oikeille käyttäjille.

2.6 AF

AF kommunikoi verkon kanssa voidakseen jakaa palveluja loppukäyttäjälle, kuten yhteyden NEF:ään ja PCF:ään. Se myös antaa sovelluksille mahdollisuuden vaikuttaa liikenteen reititykseen. Riippuen palveluntarjoajan asettamista säännöistä AF:ää voidaan pitää luotettuna toimijana, jolloin se voi kommunikoida suoraan verkon muiden osien kanssa. Muissa tapauksissa se kommunikoi NEF:n kautta.

2.7 AUSF

AUSF:n (Authentication Server Function) tarkoitus on autentikoida verkon käyttäjät. Se autentikoi liikenteen verkon ja muiden verkkojen välillä. Se suorittaa myös verkkosiivukohtaisen autentikoinnin.

2.8 AMF

AMF:n tarkoitus on hallinnoida yhteyksien saatavuutta, niiden rekisteröintejä, autentikointia sekä liikkuvuutta. AMF ylläpitää tietokantaa niistä ja toimii muiden verkon osien kanssa varmistaakseen verkon toiminnan. AMF voi myös sisältää muita toimintoja mahdollistaakseen yhteensopivuuden muun kaltaisten verkkojen kanssa.

2.9 SMF

SMF (Session Management Function) tarkoittaa toimintoja, jotka mahdollistavat istuntojen luomisen ja vapauttamisen. Se hallinnoi loppukäyttäjien verkko-osoitteita toimimalla osoitepalvelimena, joka jakaa verkko-osoitteita loppukäyttäjien laitteille. SMF:n toimintoihin kuuluu UPF:n (User Plane Function) liikenteen reitittäminen haluttuihin osoitteisiin. Lisäksi SMF:n tehtäviin kuuluu virtuaalisten paikallisverkkojen hallinnointi.

2.10 SCP

SCP (Service Communication Proxy) on verkon palvelu, joka luo mahdollisuuden epäsuoraan kommunikointiin. Se voi toimia välityspalveluna tietoturvan parantamiseen tai kuormituksen jakoon. SCP:itä voi olla useita samassa verkossa.

2.11 UE

UE:llä (User Equipment) tarkoitetaan loppukäyttäjän laitteita. Nämä voivat olla tietokoneita, älypuhelimia, servereitä tai joissain tapauksissa kokonaisia verkkoja. Jokaisella UE:lle on oma PEI (Permanent Equipment Identifier), jonka avulla se tunnistautuu.

2.12 RAN

Tällä termillä kuvataan tapaa, jolla loppukäyttäjä on yhteydessä muihin verkkoihin. Sillä tarkoitetaan langatonta yhteyttä. Silloin kun kyseessä on langallinen yhteys, käytetään termiä AN (Access Network).

2.13 UPF

UPF:n tarkoituksena on mahdollistaa loppukäyttäjän verkkoyhteys. Sen tehtäviin kuuluvat verkko-osoitteiden allokointi SMF:ltä saamiensa parametrien mukaan, datapakettien reitittäminen ja tarkastaminen, liikenteen käytön raportointi sekä verkko-osoitekyselyihin vastaaminen. UPF:ää voi hallita yksi tai useampi SMF.

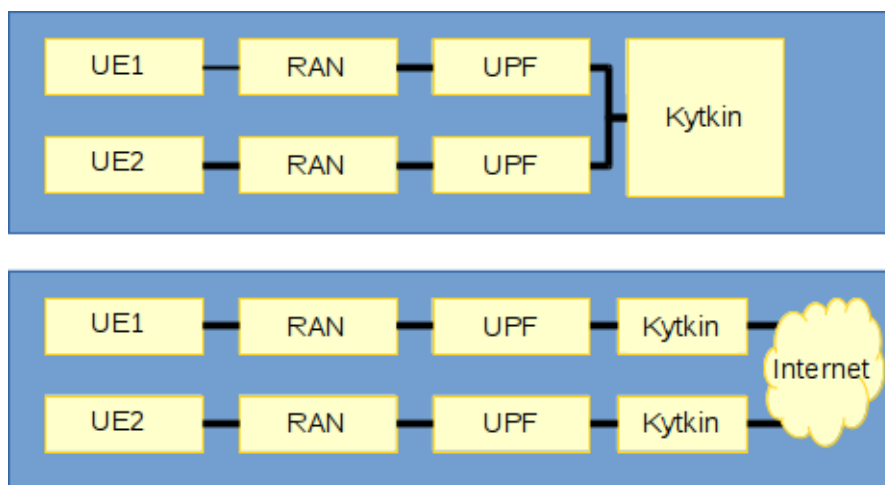
2.14 DN

DN (Data Network) viittaa maailmanlaajuiseen tietoverkkoon, johon loppukäyttäjä on yhteydessä 5G-infrastruktuurin kautta. Tähän kuuluu sekä internet että yritysten ja muiden organisaatioiden omat yksityiset verkot. DN:n kautta loppukäyttäjä voi olla yhteydessä kaikkiin muihin laitteisiin, jotka on kytketty DN:ään.

2.15 Paikallisverkot

Kuten aikaisempien verkkotyyppien kanssa, 5G-verkot voivat luoda paikallisverkkoja. Tämä voi tapahtua paikallisesti kytkimen kautta tai kyseessä voi olla virtuaalinen paikallisverkko (kuva 2). Virtuaalinen paikallisverkko toimii käyttäjän näkökulmasta samalla tavalla kuin fyysinen paikallisverkko. Paikallisverkkojen

käyttö parantaa käyttäjien tietoturvaa erottamalla käyttäjät paikallisverkon sisäiseksi ja sen ulkoiseksi toimijoiksi, jolloin niitä voidaan käsitellä erillisinä ryhminä.



KUVA 2. Paikallisverkkotyypit

2.16 Solutyypit

5G-verkot koostuvat pienistä matalatehoisten tukiasemien palvelemista verkosoluista, jotka ovat yhteydessä runkoverkkoon. Niitä on eri kokoisia ja niiden tiheys riippuu siitä, kuinka tiheästi asutulle alueelle tukiasemia asennetaan (rfwireless-world). 5G-tukiasemien teho vaihtelee kymmenistä milliwateista kymmeneen wattiin ja niiden suurin kantaman etäisyys loppukäyttäjän laitteeseen vaihtelee kymmenistä metreistä satoihin metreihin (taulukko 1).

TAULUKKO 1. 5G-solutyypit

Solutyyppi	Käyttötarkoitus	Samanaikaisten käyttäjien määrä	Teholuokka	Kantoetäisyys
Femtosolu	Sisätilat kotitalous- ja yrityskäyttöön	4-8(kotitaloudet) tai 16-32(yritykset)	10-100mW	Kymmeniä metrejä
Pikosolu	Julkiset tilat	64-128	100-250mW	Kymmeniä metrejä
Mikrosolu	Kaupunkialueet	128-256	5-10W	Satoja metrejä
Metrosolu	Kaupunkialueet	>250	10-20W	Satoja metrejä

3 UHKATEKIJÄT

5G-teknologia tuo mukanaan lukuisia etuja verrattuna aikaisempiin verkkostandardeihin, mutta myös mahdollisia ongelmia. Verkkonopeuksien kasvaminen kasvattaa myös sen potentiaalia väärinkäyttöön. Se myös johtaa radiokaistan saturaatioon, jolloin vanhemmat järjestelmät saattavat menettää luotettavuutta.

3.1 Tietoturva

Verkkoon kytkettyjen laitteiden määrän ja niiden verkkonopeuden kasvaminen lisää mahdollisuuksia entistä suurempien ja haitallisempien bottiverkkojen luomiseen. 5G-verkko luo otollisen ympäristön hakkereille, jotka haluavat ottaa haltuunsa tuhansia laitteita, joissa on nopea verkkoyhteys. Helppoja kohteita ovat älylaitteet, kuten verkkokamerat ja älytermostaatit, joiden turvallisuutta kuluttajat eivät juurikaan huomioi. 5G-teknologian tuoman korkean kaistanleveyden mukana bottiverkkojen potentiaali esimerkiksi palvelunestohyökkäyksiin moninkertaistuu (Cameron 2017).

3.2 Ympäristö

Kuten jokainen langaton tiedonsiirtokanava, 5G vaatii oman taajuuskaistansa. Nykyisellään 5G-teknologian on suunniteltu hyödyntämään mikroaaltoja. Ongelman tästä tekee se, että lukuisat satelliitit käyttävät saman suuruusluokan aallonpituuksia kommunikointiin, jolloin 5G-laitteiden yleistyminen voisi pahimmillaan johtaa siihen, että potentiaalisesti elintärkeää informaatiota ei välttämättä kyetä jakamaan luotettavasti. Tämä voisi johtaa esimerkiksi siihen, että vaarallista myrskyä ennustava sääinformaatio saapuu liian myöhään paikallisten viranomaisten tietoon (WMO 2019).

4 PERFORMANSSI-INDIKAATTORIT

5G-verkkoihin on sovellettavissa performanssi-indikaattorit erilaisissa kategori-
oissa. Performanssi-indikaattorien avulla mitataan sitä, kuinka hyvin verkko pal-
velee käyttäjiään. 5G-verkkojen luotettavuutta mitataan kuudella eri perfor-
manssi-indikaattorilla, jotka ovat saatavuus, luotettavuus, hyödynnysaste, pysy-
vyys, liikkuvuus ja datansiirtoon tarvittava energia (3GPP 2020).

4.1 Saatavuus

Saatavuus voidaan määritellä viidellä tavalla: sen perusteella, kuinka monta ti-
laajaa tietyllä verkkosiivulla AMF:n tai UDM:n kautta on, sen mukaan, kuinka on-
nistuneesti käyttäjät liittyvät tiettyyn verkkosiivuun, sen perusteella, kuinka onnis-
tuneesti käyttäjät saavuttavat yhteyden kyseiseen verkkosiivuun, tai sen mukaan,
kuinka monta onnistunutta yhteydenmuodostusta tiettyyn verkkosiivuun on yritet-
tyä yhteydenmuodostusta kohden. Ensimmäiset kaksi laskentatapaa ilmaistaan
kokonaisluvulla ja viimeiset kolme prosentteina.

4.2 Luotettavuus

Luotettavuutta 5G-verkossa mitataan viiveen sekä siirtonopeuden mukaan. Viive
ilmaistaan keskiarvona siitä, kuinka kauan datapaketilla kestää saapua tukiase-
malta loppukäyttäjän laitteeseen ja se ilmaistaan mikrosekunteina. Verkon siirto-
nopeus mitataan erikseen nopeutena tukiasemalta loppukäyttäjän suuntaan ja
päinvastoin ja ilmaistaan kilobiteinä sekunnissa. Siirtonopeuden mittauksessa
otetaan huomioon ainoastaan siirtotien aktiivinen aika, jottei tiedonsiirron purs-
keisuus vaikuta tulokseen.

4.3 Hyödynnysaste

Hyödynnysasteella mitataan sitä, kuinka tehokkaasti verkon kapasiteetti on hyödynnetty. Hyödynnysastetta mitataan sillä, kuinka monta istuntoa kyseessä olevalle verkkosiivulle on luotu onnistuneesti, kuinka tehokkaasti verkkosiivun resurssit ovat hyödynnetty., kuinka suuren viiveen istunnon luominen vaatii verkolta sekä sillä, kuinka usein verkkosiivun käyttäjät päivittävät rekisteröitymisensä verkkoon. Verkkosiivua ylläpitävän järjestelmän resurssien hyödynnysprosentteja voidaan laskea kaavoilla

$$VRU_{processor} = \frac{ProcessorUsage}{SystemCapacity} \cdot 100\% \quad (1)$$

$$VRU_{memory} = \frac{MemoryUsage}{SystemCapacity} \cdot 100\% \quad (2)$$

$$VRU_{disk} = \frac{DiskUsage}{SystemCapacity} \cdot 100\% \quad (3)$$

joissa $VRU_{processor}$ on prosessoritehon hyödynnysaste, VRU_{memory} on muistin hyödynnysaste, VRU_{disk} on levytilan hyödynnysaste, $ProcessorUsage$ on prosessorin todellinen käyttöaste, $MemoryUsage$ on muistin todellinen käyttöaste, $DiskUsage$ on kiintolevyn todellinen käyttöaste ja $SystemCapacity$ on järjestelmän potentiaalinen käyttöaste.

4.4 Pysyvyys

Pysyvyydellä kuvataan sitä, kuinka usein loppukäyttäjä menettää odottamattomasti verkkoyhteyden verkon ollessa käytössä. Yksi tapa mitata sitä on sen mukaan, kuinka monta datavirtaa, joiden puskureissa on vielä dataa, menetetään jaettuna istuntojen aikayksiköillä. Tämän indikaattorin yksikkö on aktiivinen yhteyden menetys sekuntia kohden, ja yhtä datavirtaa kohden se voidaan laskea kaavalla

$$R1_{QoS} = \frac{QF_{Releases}}{QF_{SessionTime}} \quad (4)$$

jossa $R1_{QoS}$ on pysyvyys, $QF_{Releases}$ on datavirtojen menetysten määrä ja $QF_{SessionTime}$ on istunnon pituus sekunteina. Useiden datavirtojen ollessa aktiivisina samaan aikaan pysyvyyden mittausta on monimutkaisempaa, jolloin pysyvyys tulee laskea kaavalla

$$R2 = \frac{\sum QF_{Releases}}{QF_{SessionTime}} \quad (5)$$

jossa $R2$ on pysyvyys, $\sum QF_{Releases}$ on datavirtojen menetysten summa ja $QF_{SessionTime}$ on istunnon pituus sekunteina. Odottamaton yhteydenmenetys määritellään tilanteena, jolloin datapuskurissa on edelleen dataa, joka odottaa siirtoa.

Toinen pysyvyyden määritelmä on se, kuinka usein loppukäyttäjä menettää yhteyden kokonaan yhteyden ollessa aktiivinen. Yhteyden katsotaan olevan aktiivinen, jos loppukäyttäjän ja verkon välillä on kulkenut dataa viimeisten 100 millisekunnin aikana. Pysyvyys mitattuna tällä tavalla ilmaistaan myös yhteyden menetyksinä sekuntia kohden.

4.5 Liikkuvuus

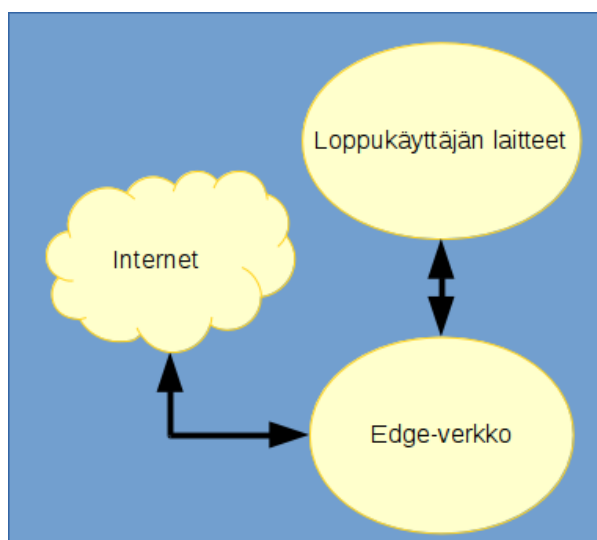
Liikkuvuudella tarkoitetaan sitä, kuinka onnistuneesti yhteys siirretään yhdeltä tukiasemalta toiselle loppukäyttäjän ollessa liikkeellä. Se lasketaan jakamalla onnistuneiden yhteydensiirtojen määrä yritettyjen yhteydensiirtojen määrällä. Lisäksi liikkuvuuden mittaamiseen käytetään yhteydensiirtoon käytettyä aikaa millisekunteina sekä sitä, kuinka onnistuneesti AMF todentaa loppukäyttäjän yhteyden.

4.6 Datansiirtoon tarvittava energia

Datansiirtoon tarvittava energia mittaa sitä, kuinka paljon energiaa tiedonsiirto vaatii. Tämä indikaattori ilmaistaan bitteinä joulea kohden ja sen laskennassa otetaan huomioon kaikki siirretty data molempiin suuntiin. Mitä korkeampi arvo on, sitä paremmin tämän performanssi-indikaattorin tarkoitus toteutuu.

5 EDGE-VERKOSTOINTI

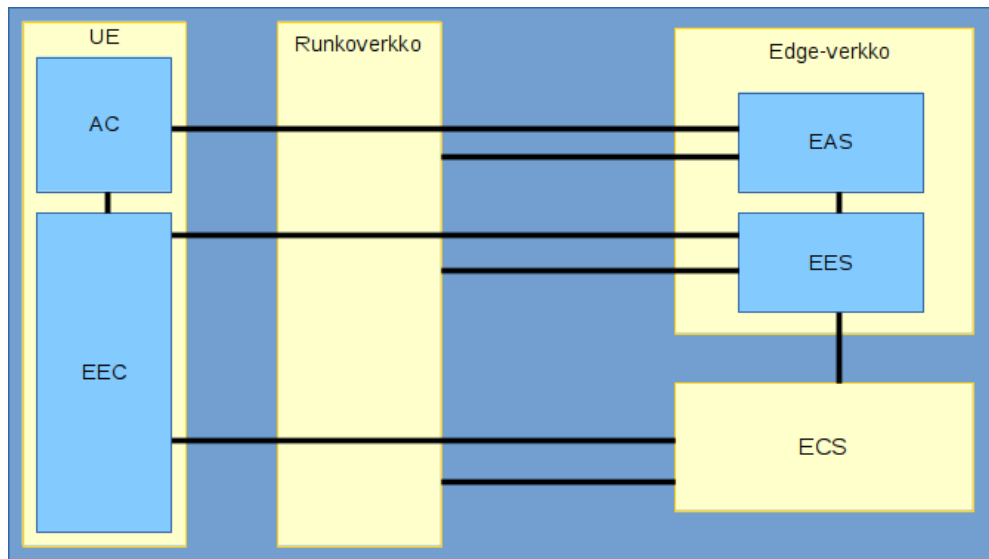
Edge-verkostoinnilla tarkoitetaan verkkoarkkitehtuuria, joka mahdollistaa pilvi-prosessoinnin lähellä laskentatehoa vaativia laitteita (kuva 3). Se mahdollistaa alhaisemmat viiveet, nopeamman tiedonsiirron sekä vähemmän kuormitusta runkoverkolla (3GPP 2020). Edge-verkostoinnin mallissa merkittävä osa datan käsittelystä suoritetaan joko laitteiden yhdyskäytävään kytketyillä servereillä tai laitteiden omilla prosessoreilla, jolloin riippuvuus keskitetyistä servereistä on alhaisempi (Shaw 2019).



KUVA 3. Edge-verkoston toimintaperiaate

5.1 Arkkitehtuuri

Edge-verkostoinnin mahdollistava arkkitehtuuri koostuu erilaisista osista ja niiden välisistä yhteyksistä (kuva 4). Arkkitehtuurin eri osilla on omat tehtävänsä ja yhdessä ne mahdollistavat edge-verkostoinnin hyödyntämisen sovellustasolla. Edge-verkoston osat kommunikoivat keskenään erilaisten rajapintojen kautta.



KUVA 4. Edge-verkoston rakenne

5.1.1 EES

EES (Edge Enabler Server) sisältää aputoimintoja, joita EAS (Edge Application Server) ja EEC (Edge Enabler Client) tarvitsevat toimiakseen. Niihin kuuluu asetustietojen jakaminen EAS:n kanssa sovellusdatan siirron mahdollistamiseksi ja EAS:n tietojen antaminen EEC:lle. EES myös mahdollistaa ohjelmointirajapintojen toiminnan.

5.1.2 EEC

EEC on loppukäyttäjän laitteella toimiva sovellus, joka sisältää toimintoja, joita AC tarvitsee toimiakseen. EEC:n sisältämiin toimintoihin kuuluu asetustietojen hakeminen ja jakaminen sovellusdatan siirtämisen mahdollistamiseksi. EEC:n tehtävä on myös EAS:ien löytäminen verkosta.

5.1.3 ECS

ECS (Edge Configuration Server) mahdollistaa EEC:n yhteydenmuodostuksen EES:n kanssa. Tämä tapahtuu siten, että ECS jakaa asetustietoja EES:N ja EEC:n välillä, joiden avulla EES ja EEC voivat ottaa yhteyden toisiinsa. ECS voi sijaita myös kolmannen osapuolen verkossa.

5.1.4 AC

AC:llä (Application Client) viitataan sovellukseen, joka on käynnissä loppukäyttäjän laitteessa. Yhdessä laitteessa voi olla yksi, useampi tai ei yhtäkään AC:ta käytössä samaan aikaan. Jokainen AC käyttää tietyn määrän verkon kapasiteettista.

5.1.5 EAS

EAS on palvelin edge-verkossa, joka on yhteydessä AC:hen mahdollistaen tiedonsiirron edge-verkon ja loppukäyttäjän laitteen sovelluksen välillä. AC luo yhteyden EAS:ään voidakseen hyödyntää edge-verkon resursseja. EAS tekee kyselyn edge-verkon resurssien saatavuudesta joko suoraan verkolle tai EES:n kautta.

5.2 Rajapinnat

Edge-verkostoinnissa on määritelty 8 erilaista rajapintaa. Rajapinnat on jaoteltu sen mukaan, minkä kahden verkon osan välillä rajapinta on, ja jokainen niistä suorittaa tiettyjä toimintoja verkon toiminnan mahdollistamiseksi. Rajapintojen nimet eivät ole lyhenteitä, vaan ne ovat yksinkertaisesti numeroitu.

EDGE-1 on rajapinta EES:n ja EEC:n välillä. Sen tehtävänä on EEC:n ja EES:n välisten rekisteröintien luominen ja purkaminen, EAS:n asetustietojen hakeminen

ja jakaminen sekä verkossa olevien EAS:ien löytäminen. Jokainen EEC voi olla yhteydessä yhden tai useamman EES:n kanssa. EDGE-2 on rajapinta, joka mahdollistaa EES:n ja runkoverkon välisen kommunikaation. Sen pääasiallinen tarkoitus on ottaa yhteys runkoverkkoon ja hakea verkon kapasiteettiin liittyvää informaatiota ja toimia tiedonsiirtokanavana EES:n ja runkoverkon välillä. EDGE-3 viittaa kommunikaatorajapintaan EES:n ja EAS:n välillä. Sen avulla rekisteröidään ja poistetaan rekisteristä EAS:t sekä niiden saatavuus ja jaetaan tietoa verkon saatavuudesta. EAS voi olla yhteydessä vain yhteen EES:ään.

EDGE-4 on rajapinta, jolla mahdollistetaan kommunikaatio ECS:n ja EEC:n välillä ja jaetaan asetustietoja EEC:lle. Yksi EEC voi olla yhteydessä yhteen tai useampaan ECS:ään. EDGE-5 on rajapinta, joka on olemassa EEC:n ja AC:n välillä. EDGE-6 on rajapinta, jonka kautta ECS ja EES kommunikoivat. Jokainen ECS voi olla yhteydessä yhteen tai useampaan EES:ään. EDGE-7 on rajapinta EAS:n ja runkoverkon välillä. Se mahdollistaa pääsyn runkoverkon toimintoihin ja ohjelmistorajapintoihin verkon kapasiteetti-informaation hakemiseksi EAS:n toimiessa luotettuna toimijana. EDGE-8 on rajapinta ECS:n ja runkoverkon välillä.

5.3 Tunnisteet

Edge-verkon ylläpitoon vaaditaan lukuisia eri tunnisteita, joiden avulla verkon eri osat kykenevät tunnistamaan toisensa ja mahdollistamaan tämän avulla verkon toiminnan.

EECID (Edge Enabler Client Identification) on globaali ainutlaatuinen arvo, jonka avulla EEC:t tunnistautuvat. EESID (Edge Enabler Server Identification) on verkotunnus, jolla EES tunnistautuu. EASID (Edge Application Server Identification) on tunniste, joka viittaa tiettyyn sovellukseen, joten kaikki samantyyppistä sovellusta palvelevat EAS:t käyttävät samaa tunnistetta. ACID (Application Client Identification) on tunniste, jolla asiakasohjelma tunnistautuu tietyksi ohjelmaksi, kuten videosoittimeksi. Kaikilla saman tyyppisillä ohjelmilla on näin ollen sama ACID. UE ID (User Equipment Identification) on tunniste, jolla tunnistetaan tietty loppukäyttäjän laite. Tunniste on uniikki jokaiselle laitteelle.

5.4 Informaatioelementit

5.4.1 AC-profiili

AC-profiili (taulukko 2) sisältää informaatiota käytössä olevasta AC:sta, joita käytetään määrittelemään tarvittuja palveluja ja ominaisuuksia. Niihin sisältyy tietoa AC:n tyyppistä, sen tavallisesti käyttämän EAS:n tunniste, sen haluaman ECSP:n (Edge Computing Service Provider) identiteetti sekä tietoa AC:n aikataulusta, sijainnista sekä performanssi-indikaattoreista. Vain EASID ja AC:n tyyppi ovat pakollisia tietoja.

TAULUKKO 2. AC-profiili

Informaatioelementti	Status	Kuvaus
Vakio-EASID	Pakollinen	AC:n vakio-EASID
AC-tyyppi	Pakollinen	AC:n tyyppi
ECSP-suodin	Valinnainen	Sen ECSP:n identiteetti, johon EEC suostuu ottamaan yhteyden
AC-aikataulu	Valinnainen	AC:n odotettu toiminta-aikataulu
AC:n palvelualue	Valinnainen	UE:n odotettu sijainti AC:n toiminta-aikataulun aikana
AC:n performanssi-indikaattorit	Valinnainen	Performanssi-indikaattorit, jotka AC vaatii saadakseen palveluja EAS:ltä

5.4.2 AC-palvelun performanssi-indikaattorit

AC-palvelun performanssi-indikaattoreilla ilmaistaan tietoa asiakasohjelman vaatimista palveluominaisuuksista (taulukko 3). Tietoihin kuuluu ohjelman vaatimamisti, laskentateho, graafinen laskentateho, levytila sekä verkon kaistanleveys, viive, AC:n luomien kyselyjen suurin sallittu määrä sekä yhteyden jatkuvuus. Lisäksi tietoihin voi kuulua AC:n tyyppikohtaista informaatiota. Kaikki tämän tyyppiset informaatioelementit ovat valinnaisia.

TAULUKKO 3. AC-palvelun performanssi-indikaattorit

Informaatioelementti	Status	Kuvaus
Yhteyden kaistanleveys	Valinnainen	Sovelluksen vaatime kaistanleveys
Palvelun jatkuvuus	Valinnainen	Kuvaa palvelun jatkuvuuden vaatimista
Pyyntöjen maksimimäärä	Valinnainen	Suurin määrä sallittuja AC:n tuottamia pyyntöjä
Vasteaika	Valinnainen	Suurin vaadittu vasteaika
Saatavuus	Valinnainen	Vähimmäinen palvelimelta vaadittu saatavuus
Laskentakyky	Valinnainen	Suurin määrä vaadittua laskentakykyä
Graafinen laskentakyky	Valinnainen	Suurin määrä vaadittua graafista laskentakykyä
Muisti	Valinnainen	Suurin määrä vaadittua muistia
Levytila	Valinnainen	Suurin määrä AC:n vaatimaa levytilaa
AC:n tyyppikohtainen tieto	Valinnainen	AC:n tyyppin mukainen lisäinformaatio

5.4.3 Edge-ohjelman serveriprofiilit

Edge-ohjelman serveriprofiililla kuvataan EAS:n ominaisuuksia (taulukko 4). EASID ja EAS:n verkko-osoite ovat pakollisia informaatioelementtejä, muut valinnaisia. Valinnaiset tiedot kuvaavat EAS:n vaatimia ja jakamia palveluja.

TAULUKKO 4. EAS:n profiili

Informaatioelementti	Status	Kuvaus
EASID	Pakollinen	EAS:n tunniste
EAS:n osoite	Pakollinen	EAS:n kanssa kommunikointiin vaadittu verkko-osoite
EAS:n tarjoajan tunniste	Valinnainen	EAS:n tarjoajan tunniste
EAS:n tyyppi	Valinnainen	EAS:n kategoria tai tyyppi
EAS:n kuvaus	Valinnainen	Kuvaus EAS:n tyypistä
EAS:n aikataulu	Valinnainen	EAS:n saatavuuden aikataulu
EAS:n palvelualue	Valinnainen	EAS:n palvelema maantieteellinen alue
EAS:n performanssi-indikaattorit	Valinnainen	EAS:n ominaisuudet
Palvelun jatkuvuuden tuki	Valinnainen	Kertoo, tukeeko EAS palvelun jatkuvuutta
Saatavuuden raportointijakso	Valinnainen	Kertoo, kuinka usein EES:n tulee tarkistaa EAS:n saatavuus
Vaaditut ohjelmointirajapinnat	Valinnainen	Lista ohjelmointirajapinnoista, jotka EAS vaatii toimiakseen
EAS:n status	Valinnainen	Ilmoittaa EAS:n statuksen

5.4.4 Edge-ohjelman serverin performanssi-indikaattorit

Edge-ohjelman performanssi-indikaattorit jakavat tietoa EAS:n sisältämien palvelujen ominaisuuksista (taulukko 5). Tiedoilla kuvataan EAS:ltä saatavilla olevia resursseja. Kaikki tämän tyyppiset informaatioelementit ovat valinnaisia.

TAULUKKO 5. EAS:n performanssi-indikaattorit

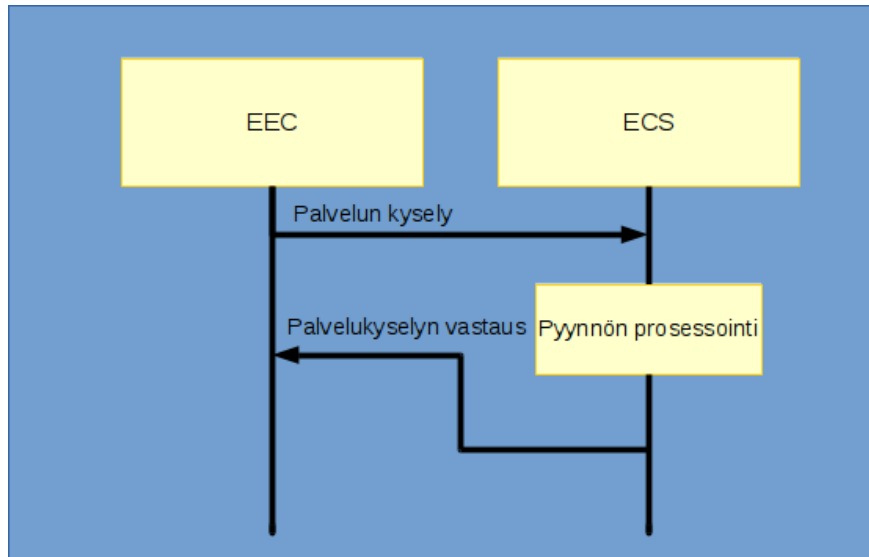
Informaatioelementti	Status	Kuvaus
Pyyntöjen määrä	Valinnainen	Suurin sallittu määrä pyyntöjä AC:iltä
Keskimääräinen vasteaika	Valinnainen	Keskimääräinen vasteaika AC:iden pyyntöihin
Saatavuus	Valinnainen	Palvelimen saatavuus AC:iden käyttöön prosentteina ilmoitettuna
Saatavilla oleva laskentateho	Valinnainen	AC:ille saatavilla oleva laskentateho
Saatavilla oleva graafinen laskentateho	Valinnainen	AC:ille saatavilla oleva graafinen laskentateho
Saatavilla oleva muisti	Valinnainen	AC:ille saatavilla oleva muisti
Saatavilla oleva levytila	Valinnainen	AC:ille saatavilla oleva levytila

5.5 Palvelujen jakaminen

Palvelujen jakaminen mahdollistaa EEC:iden asetusten mukauttamisen saatavilla oleviin edge-verkon palveluihin perustuen loppukäyttäjän sijaintiin, palvelujen vaatimuksiin sekä olemassa oleviin yhteyksiin. Näin ollen EEC saa tarvittavan informaation luodakseen yhteyden verkkoon kytkettyihin EES:iin ECS:n kautta. EEC lähettää kyselyn (taulukko 6), jonka ECS prosessoi ja autentikoi, ja vastaa edge-verkon palvelujen asetusinformaatiolla (kuva 5).

TAULUKKO 6. Palvelujen jakamiskysely

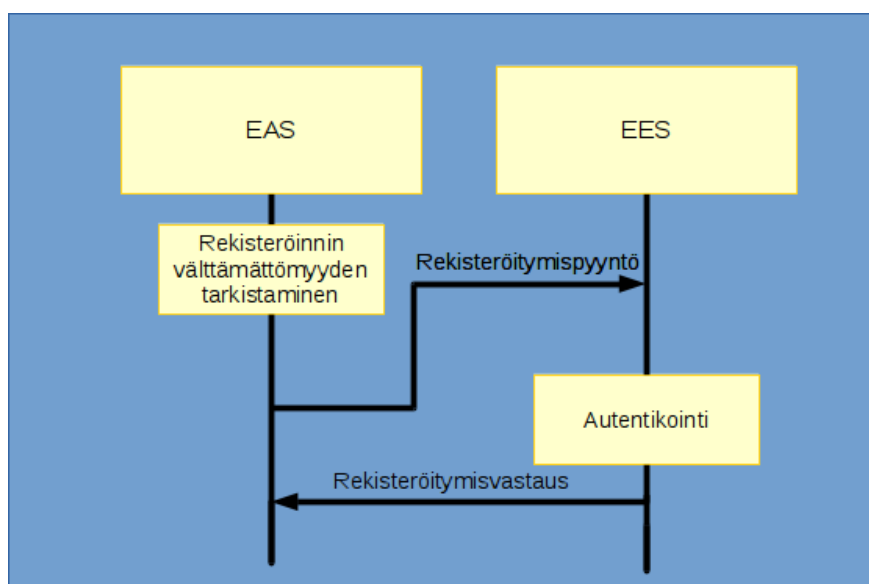
Informaatioelementti	Status	Kuvaus
EECID	Pakollinen	EEC:n tunniste
Todennusinformaatio	Pakollinen	Edge-verkon suorittaman todennuksen tunniste
AC-profiili	Pakollinen	Tietoa EEC:n haluamista palveluista
UE ID	Valinnainen	Loppukäyttäjän tunniste
Yhteyssuodin	Valinnainen	Tietoa UE:n verkkoyhteydestä



KUVA 5. EEC:n palvelukysely

5.6 Rekisteröinti

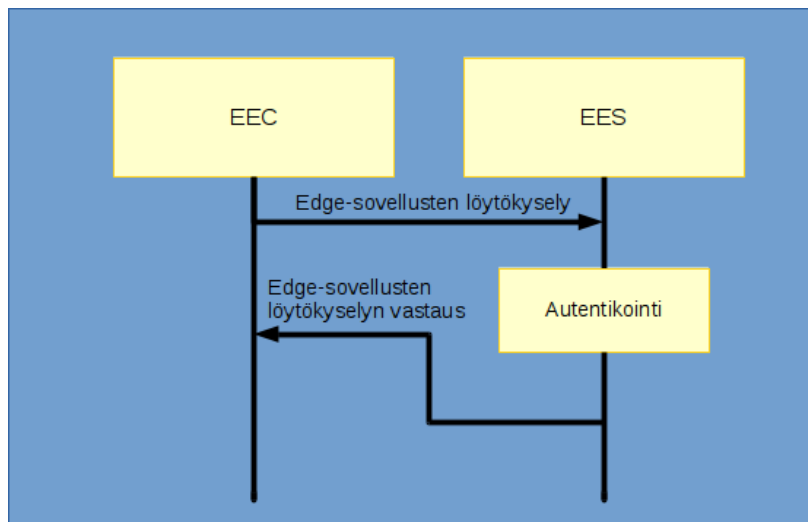
Rekisteröinti antaa edge-verkon laitteille tavan siirtää informaatiota verkon toisille laitteille. Rekisteröinti voi tapahtua EEC:n ja EES:n, EAS:n ja EES:n (kuva 6) tai EES:n ja ECS:n välillä ja sen aikana suoritetaan autentikointi. Onnistuneen rekisteröinnin jälkeen palvelimet tallentavat yhteyden luomiseen käytetyt käyttäjätunnukset.



KUVA 6. EAS:n rekisteröiminen EES:lle

5.7 Serverien löytäminen

EAS:n löytämisen kautta EEC:t saavat tietoa saatavilla olevista EAC:ista. EAC:iden tunnistaminen perustuu asiakasohjelmien sisältämiin suotimiin sekä profiileihin, joiden avulla EEC tietää, minkä tyyppisiä EAC:iden saatavuutta loppukäyttäjät tarvitsevat. Prosessi koostuu EEC:n lähettämästä pyynnöstä, jonka EES autentikoi ja vastaa pyynnön ollessa validi (kuva 7).



KUVA 7. Edge-sovellusten löytökysely, autentikointi ja vastaus

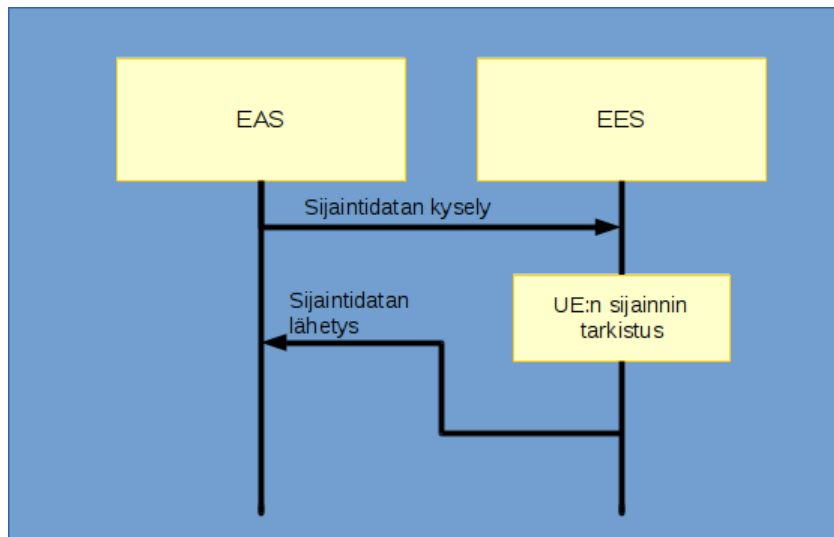
5.8 Sijainnin tiedottaminen

EAS:llä on kyky tarkistaa loppukäyttäjän sijainti olettaen, että loppukäyttäjä on antanut luvan käyttää sijaintidataa. Tämä mahdollistaa erilaisten asiakasohjelmien ominaisuuksien hyödyntämisen ja voi tapahtua kahdella eri tavalla. Nämä tavat ovat pyyntö ja vastaus sekä tilaaja-ilmoittaja-malli.

5.8.1 Pyyntö ja vastaus

Pyyntö ja vastaus on malli, jossa EAS kysyy EES:ltä loppukäyttäjän laitteen sijaintia UE ID:n perusteella ja sisällyttää halutessaan lisäparametrin, joka sisältää halutun tarkkuuden sijainnille. EES tarkistaa loppukäyttäjän sijainnin ottaen huomioon halutun tarkkuuden ja tarvittaessa muokkaa sijaintia sopimaan haluttuun

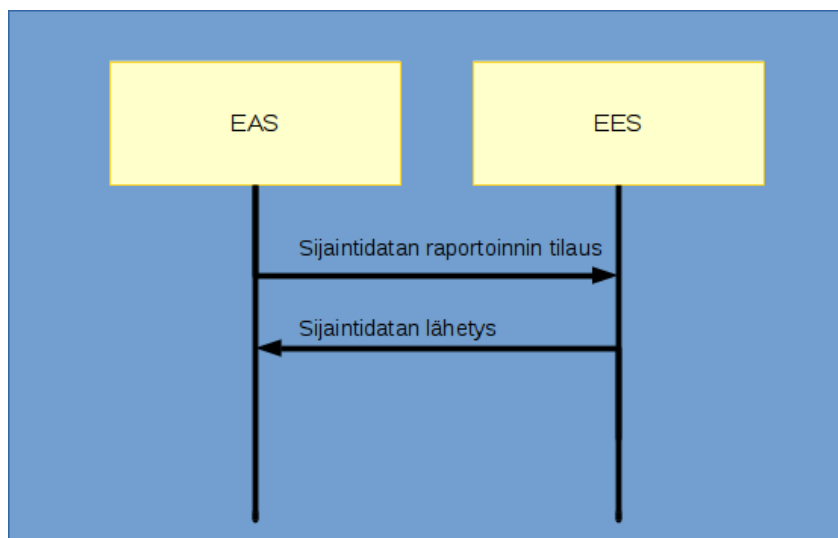
tarkkuuteen. EES vastaa sitten EAS:lle UE ID:n sijainnin vapaaehtoisesti aikalei-
man kanssa (kuva 8).



KUVA 8. Sijaintidatan kysely

5.8.2 Tilaaaja-ilmoittaja-malli

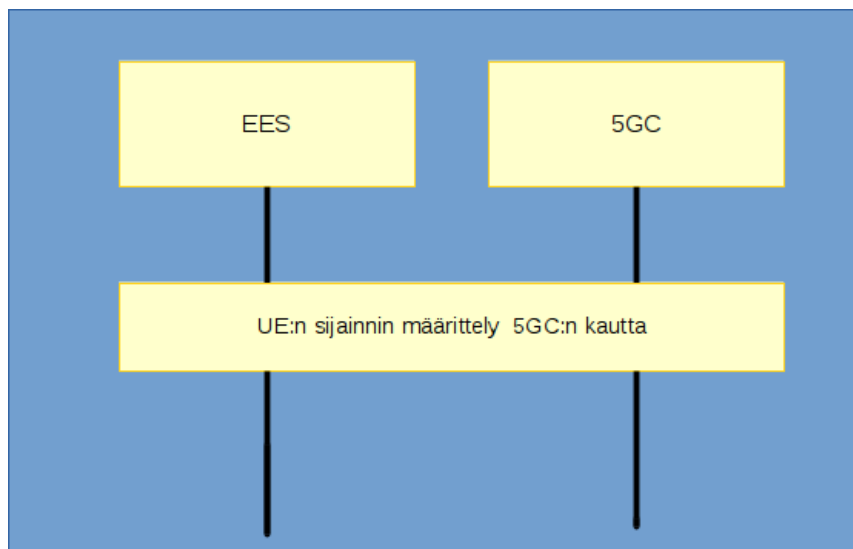
Tilaaaja-ilmoittaja-mallissa EAS:n ja EES:n välillä on jatkuva suhde. EAS pyytää EES:ää jakamaan sijaintidataa jatkuvasti ja EES autentikoi pyynnön. Pyyntö onnistuessa EES toimittaa EAS:lle loppukäyttäjän sijaintidataa säännöllisin vä-
liajoin (kuva 9).



KUVA 9. Sijaintidatan tilaaja-ilmoittaja-malli

5.8.3 Sijainnin määrittely

EES on yhteydessä 5GC:n (5G Core Network) kanssa voidakseen määrittellä halutun loppukäyttäjän sijainnin (kuva 10). EES voi pyytää jatkuvaa sijaintidatan päivitystä 5GC:ltä pysyäkseen ajan tasalla loppukäyttäjän sijainnista välttääkseen toistuvan sijaintidatan pyytämisen, jolloin EES:llä on aina ajankohtainen tieto loppukäyttäjän sijainnista kuormittamatta verkkoa turhaan jatkuvilla pyynnöillä. EES voi ottaa huomioon EAS:n pyytämän sijainnin tarkkuuden pyytäessään loppukäyttäjän sijaintidataa 5GC:ltä.



KUVA 10. Loppukäyttäjän sijainnin määrittely

6 POHDINTA

5G-verkot mahdollistavat entistä suuremman tiedonsiirtokapasiteetin, joka väistämättä tulee johtamaan sekä korkealaatuisen multimediasisällön että interaktiivisten sovellusten laadun ja saatavuuden paranemiseen. Verkkojen nopeuden kasvaminen tuo mukanaan kuitenkin myös huolen siitä, että rikolliset elementit saavat mahdollisuuden hyödyntää niiden potentiaalia omiin tarkoituksiinsa sekä siitä, että alati enemmän saturoitunut radiokaista heikentää olemassa olevien järjestelmien toimintavarmuutta. 5G-verkko on kuitenkin aikaisempia tietoverkkoja kehittyneempi ja jatkuvasti kehityksen alla, joten ongelmiin tullaan vastaamaan tarpeen vaatimalla vakavuudella.

Edge-verkostointi luo uuden paradigman siinä, kuinka alati kasvava määrä verkkoon kytkettyjä laitteita kommunikoivat toistensa kanssa. Huolimatta 5G-verkon paremmista tiedonsiirtonopeuksista jatkuvasti kasvava tietovirta tuo mukanaan myös vaatimuksen siihen, että osa datasta voidaan käsitellä lähellä sen keräyspistettä. Edge-verkostointi vähentää tietoverkkojen kuormitusta tuomalla osan sovellusten vaatimasta laskentatehosta lähelle käyttäjien laitteita. Se myös parantaa käyttäjien tietosuojaa mahdollistamalla sen, että kaikkea käyttäjädataa ei tarvitse siirtää palvelimille, jotka voivat sijaita monissa tapauksissa toisella puolen maailmaa. Edge-verkkojen performanssi-indikaattorien ja muiden informaatioelementtien joustavuus antaa myös hyvät edellytykset parhaan mahdollisen palvelun varmistamiseksi.

LÄHTEET

3GPP. 2020. 5G-infrastruktuuri. Luettu 17.3.2020.

http://www.3gpp.org/ftp//Specs/archive/23_series/23.501/23501-g40.zip

3GPP. 2020. Edge-sovellukset. Luettu 21.3.2020.

http://www.3gpp.org/ftp//Specs/archive/23_series/23.558/23558-020.zip

3GPP. 2020 5G-performanssi-indikaattorit. Luettu 21.3.2020.

http://www.3gpp.org/ftp//Specs/archive/28_series/28.554/28554-g40.zip

Cameron, L. 2017. 5G ja bottiverkot. IEEE Computer Society. Luettu 20.4.2020.

<https://www.computer.org/publications/tech-news/research/botnet-cyberthreat-5g-solution>

Rfwireless-world.com. 5G-solut. Luettu 4.4.2020.

<https://www.rfwireless-world.com/Terminology/5G-Speed-Vs-5G-Range.html>

Shaw, K. 2019. Edge-verkot. Luettu 20.4.2020

<https://www.networkworld.com/article/3224893/what-is-edge-computing-and-how-it-s-changing-the-network.html>

WMO. 2019. 5G ja ilmastosatelliitit. Luettu 20.4.2020.

<https://public.wmo.int/en/media/news/wmo-expresses-concern-about-radio-frequency-decision>