

## 5G-KÄSIKIRJA

AGRARSENSE-hanke

Suutari-Jääskö Eeli

Opinnäytetyö

Tieto- ja viestintäteknikka  
Insinööri (AMK)

2025

Tieto- ja viestintätekniiikan koulutus  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Eeli Suutari-Jääskö	<b>Vuosi</b>	2025
<b>Ohjaaja</b>	Ari Karjalainen		
<b>Toimeksiantaja</b>	AGRARSENSE		
<b>Työn nimi</b>	5G-käsikirja		
<b>Sivumäärä</b>	34		

---

Opinnäytetyön aiheena on 5G-järjestelmän käsikirja Lapin ammattikorkeakoululle. Työn tavoitteena on tuottaa selkeä ja käytännönläheinen dokumentti, joka tukee järjestelmävalvojen, laboratoriohenkilökunnan ja opiskelijoiden työskentelyä 5G-järjestelmän kanssa omissa projekteissaan. Tarkoituksena on kuvata järjestelmän toimintaa, ylläpitoa ja käyttöönottoa sekä tarjota ohjeistus mahdollisiin vikatilanteisiin.

Opinnäytetyön alussa on käyty läpi yksityisen operaattorin Lapin ammattikorkeakoulun kiinteää 5G-järjestelmää ja Off-Grid 5G Mobile Network -järjestelmää arkkitehtuurin, liityntärajapintojen sekä ylläpidollisista näkökulmista. Työn alussa on huomioitu eroavaisuudet kaupallisten operaattorien ja Lapin ammattikorkeakoulun 5G-verkon välillä sekä yleisesti 5G-verkosta sen teknisistä ominaisuuksista.

Työssä on käyty läpi erilaisia teknisiä käsikirjoja sekä standardeja läpi, miten luoda yhtenevät käytänteet ja yhdenmukaiset rakenteet käsikirjoille. Työssä käytettiin lähteinä julkista aineistoa, kuten kirjallisuutta, muita käsikirjoja sekä internetistä löytyvää aineistoa parantamaan käsikirjan systemaattista ja teknistä dokumentointia ammattimaisille kohderyhmille.

Opinnäytetyön tuloksena luotu käsikirja on merkittävä tuotos Lapin ammattikorkeakoulun 5G-järjestelmän osalta. Aiempaa versiota 5G-järjestelmän käyttöön liittyvistä yhdenmukaisista toimintatavoista järjestelmänylläpitäjille ja laboratoriohenkilöstölle sekä turvallisesta työskentelystä ei ole ollut. Haasteena sekä parannuskohteena käsikirjalle ovat 5G-järjestelmän laajuus ja kehittyminen.

Study Programme in Information  
and Communication Technology  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Eeli Suutari-Jääskö	<b>Year</b>	2025
<b>Supervisor</b>	Ari Karjalainen		
<b>Commissioned by</b>	AGRARSENSE		
<b>Title</b>	5G Handbook		
<b>Number of pages</b>	34		

---

The topic of the thesis is the 5G system manual for Lapland University of Applied Sciences (Lapland UAS). The aim of the study was to produce a clear and practical document that supports the work of system administrators, laboratory staff, and students in their projects involving the 5G system. The intention was to describe the operation, maintenance, and implementation of the system, as well as provide guidance for potential fault situations.

At the beginning of the study, the architecture, interface connections, and maintenance perspectives of the fixed 5G system of the private operator at Lapland UAS and the Off-Grid 5G Mobile Network system were reviewed. Differences between commercial operators and the 5G network of Lapland UAS were considered, as well as a general overview of the 5G network and its technical characteristics. Various technical manuals and standards on how to create consistent practices and uniform structures for manuals were examined. Sources found in public materials, such as literature, other manuals, and Internet resources were used to enhance the systematic and technical documentation of the manual for professional target groups.

The handbook created as a result of the thesis study is a significant product for the 5G system at Lapland UAS. There was not any previous version of consistent operating procedures for system administrators and laboratory personnel regarding the use of the 5G system and safe working practices. The challenge and area for improvement for the manual is the scope and development of the 5G system.

**Keywords** 5G technology, handbooks, telecommunications technology

1	JOHDANTO .....	6
2	LAPIN AMMATTIKORKEAKOULUN 5G-MOBIILIVERKKO .....	7
2.1	Suomen 5G-mobiiliverkko.....	7
2.2	Lapin AMK:n 5G-verkko.....	9
2.3	5G-verkon hajautettu arkkitehtuuri.....	10
2.3.1	Edge Server -reunalaskentapalvelin.....	12
2.3.2	Cloud Mobile Gateway .....	13
2.3.3	Control Plane ja palvelut.....	13
2.4	Liityntäraajapinnat .....	14
2.4.1	Management PC.....	14
2.4.2	IXR-e 7250 Interconnect Router .....	15
2.4.3	Radioliityntäverkko .....	15
2.5	Ylläpidon työkalut .....	16
2.5.1	BTS-tukiasema ja WebEM-hallintatyökalu.....	16
2.5.2	RMC ja BMC.....	17
3	KÄSIKIRJA TEKNISENÄ DOKUMENTTINA .....	18
3.1	Teknisen käsikirjan ja käyttöohjeen erot ja merkitys .....	18
3.2	Käsikirjan rakenne .....	19
4	LAPIN AMMATTIKORKEAKOULUN 5G-KÄSIKIRJA .....	20
4.1	Käsikirjan tavoitteet ja sisältö.....	20
4.2	Vuosikello ylläpidon työkaluna.....	22
4.3	5G palvelimet.....	23
4.4	Energiantuotanto ja varastointi .....	26
4.5	5G käsikirjan toteutus .....	27
5	POHDINTA .....	30
	LÄHTEET.....	31
	LIITE .....	34

## KÄYTETYT LYHENTEET

5G	viidennen sukupolven mobiiliverkko
5GFXR LAB	5G Future X Research Lab
5GTNF	5G Test Network Finland
BBU	Base Band Unit
BTS	Base Transceiver Service
BMC	Baseboard Management Controller
CMG	Cloud Mobile Gateway
gNB	viidennen sukupolven 5G:n tukiasema
KVM	Keyboard, Video and Mouse -konsolikytkin
NSA	Non-Stand Alone arkkitehtuuri
QoS	Quality of Service
RMC	Rack Management Controller
SA	Stand-Alone arkkitehtuuri
SMF	Session Management Function
UPF	User Plane Function
WebEM	Web Element Manager

## 1 JOHDANTO

Uudet teknologiat, kuten 5G-matkaviestinteknologia mullistavat sähköistä palveluympäristöä. Teknologiana 5G tarjoaa monenlaisia ratkaisuja eri sektoreilla. 5G:llä on lukuisia etuja aikaisempiin matkaviestinteknologioihin verrattuna, kuten luotettavuus, nopeus ja lyhyt viive, jotka ovat isossa roolissa virtuaalisen ja lisätyn todellisuuden teknologiaratkaisuissa. 5G-verkon suuri kapasiteetti on tärkeässä roolissa kaupunkien tietoliikenneverkoissa, joissa suurelle määrälle loppukäyttäjiä halutaan tarjota ruuhkaton ja edullinen viestintäpalvelu. Verkon viipalointi mahdollistaa verkkopalvelun mukauttamisen käyttötapauksiin (Traficom 2023a.)

Lapin ammattikorkeakoulu on yksityinen 5G-operaattori. Tekemäni opinnäytetyö keskittyy oppilaitoksen 5G-järjestelmän käyttöön ja ylläpitoon. Opinnäytetyön tarkoituksena on tarjota opiskelijoiden, hanketyöntekijöiden sekä muun oppilaitoksen henkilöstön käyttöön soveltuva ja kattava käsikirja 5G-järjestelmän toiminnallisuuksista, asennukseen, ylläpitoon sekä käyttöön soveltuvista käytännön ohjeista järjestelmän parissa työskentelyyn sekä mahdollisiin vikatilanteista liittyvistä tilanteista ja kuinka niiden kanssa tulisi mahdollisesti toimia. Opinnäytetyössäni käsitellään myös käyttäjähallinnan näkökulmia, kuten SIM-korttien käyttäjien hallintaa, käyttäjäprofiilien hallintaa sekä järjestelmän toiminnallisuuksiin liittyviä tarkastuksia.

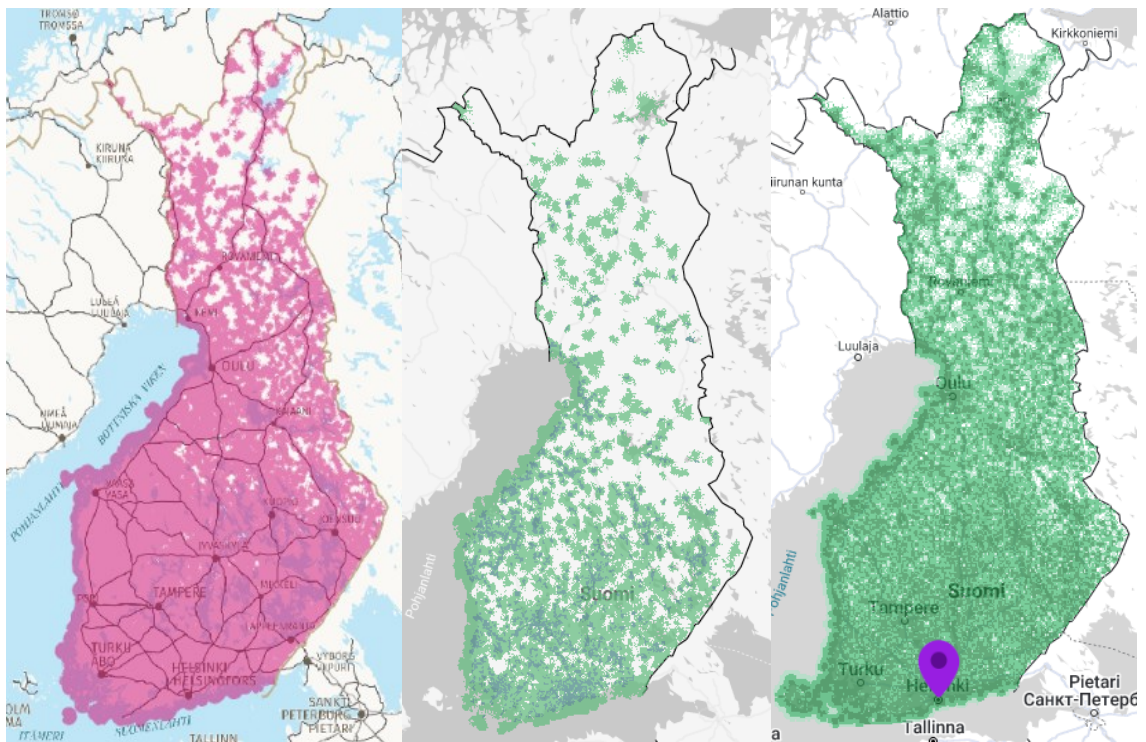
Opinnäytetyön tarkoituksena on tarjota järjestelmänvalvojille ja laboratoriohenkilöstölle tarvittavat tiedot ja viiteaineisto 5G-järjestelmän asianmukaiseen hallintaan ja päivittäiseen käyttöön. Työssä otetaan huomioon järjestelmän tekniset vaatimukset, turvallisuusnäkökohdat ja operatiiviset prosessit, jotta 5G-järjestelmää voidaan hyödyntää täysimääräisesti tutkimus- ja kehityslaboratorioissa sekä opetussovelluksissa.

Opinnäytetyön tekemisessä on hyödynnetty tekoälytyökalua (ChatGPT-4) tekstin oikolukemisessa ja kielioppivirheiden korjaamisessa. Opinnäytetyöntekijä on tarkistanut, muokannut ja hyväksynyt tuottaman sisällön ja vastaa työnsisällöstä henkilökohtaisesti.

## 2 LAPIN AMMATTIKORKEAKOULUN 5G-MOBIILIVERKKO

### 2.1 Suomen 5G-mobiiliverkko

5G-verkko on nimensä mukaisesti viidennen sukupolven matkapuhelinverkko, jonka kuuluvuus kattaa koko maailman, kuten edeltäjänsäkin. 5G teknologiana mahdollistaa uudenlaisen verkon, jonka avulla pystytään yhdistämään käytännössä kaikki mahdolliset esineet, koneet ja laitteet. Kuviossa 1 nähtävillä huhtikuussa 2025, 5G kuvattuna verkon peitto kaupallisilta operaattoreilta. 5G:n tarkoituksena on olla mahdollistamassa useiden antureiden yhdistämistä toisiinsa, pienentäen datanopeutta, tehoa ja liikkuvuutta tarjoamalla edullisia ja vähäisiä liitännätarvikkeita. (Mobiilitutka 2023.)



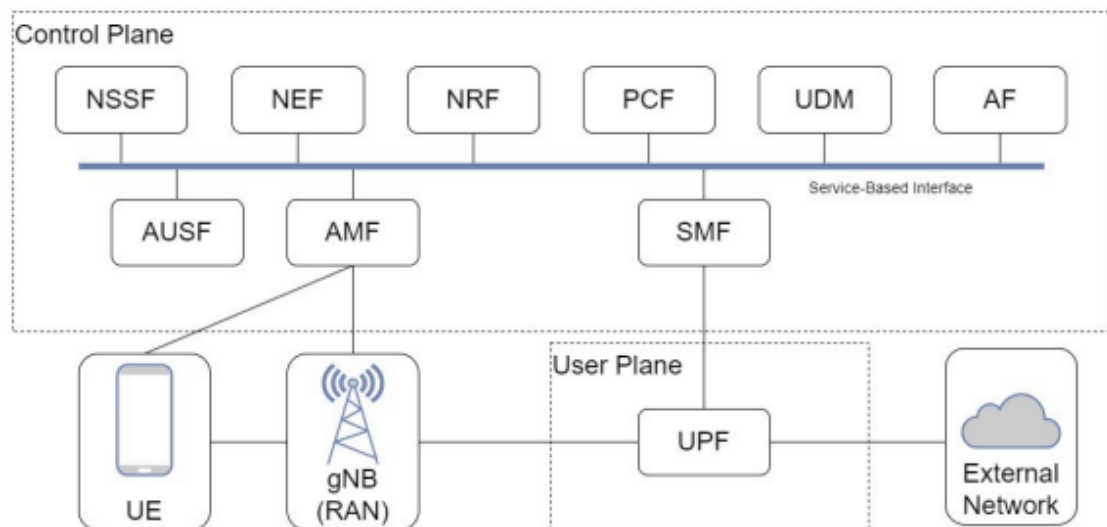
Kuvio 1. DNA:n, Elisan ja Telian 5G kattavuus (DNA 2025; Elisa 2025; Telia 2025)

5G-verkon enimmäisnopeudeksi tällä, hetkellä on arvioitu olevan kymmenen gigabittiä sekunnissa, kun edeltäjänsä maksiminopeus on noin yksi gigabitti sekunnissa. 5G-verkko on suunniteltu tuottamaan huippunopeudet jopa 20 gigabittiä sekunnissa IMT-2020-vaatimusten perusteella. Näiden lisäksi 5G-teknologia tarjoaa erittäin pienen viiveen, enemmän luotettavuutta, ison

verkkokapasiteetin, lisääntyneen käytettävyyden sekä yhtenäisemmän käyttökokemuksen useammalle käyttäjälle. (Mobiilitutka 2023.)

Kukaan yritys tai henkilö ei omista 5G:tä, mutta mobiiliekosysteemissä on useita yrityksiä, jotka vaikuttavat 5G:n olemassaoloon. Amerikkalaisella johtavalla telekommunikaatioalan piirivalmistaja Qualcomm Inc. on ollut merkittävä rooli keksimällä monia perusteknologioita, jotka kehittävät verkkoteollisuutta ja muodostavat seuraavan langattoman standardin 5G. (Mobiilitutka 2023.)

Kuviosta 2 on havaittavissa, kuinka 5G-ydinverkko voidaan jakaa käyttäjätasoon, jota kutsutaan User Planeksi ja ohjaustasoon, jota kutsutaan Control Planeksi. Käyttäjätaso sisältää User Plane Function -verkkotoiminnon, jonka ensisijainen tehtävä on reitittää IP- ja Ethernet-paketteja päätelaitteen ja ulkoisen verkon välillä sekä tarjota Quality of Service -palveluita sekä muita monitorointipalveluita. User Plane Functiota (UPF) ohjaa ohjaustasolla sijaitseva Session Management Function. (Ghosh, Ratasuk & Rost 2022, 80–84.)



Kuvio 2. 5G-järjestelmän arkkitehtuuri (mukaillen Sultan Alain 2022.)

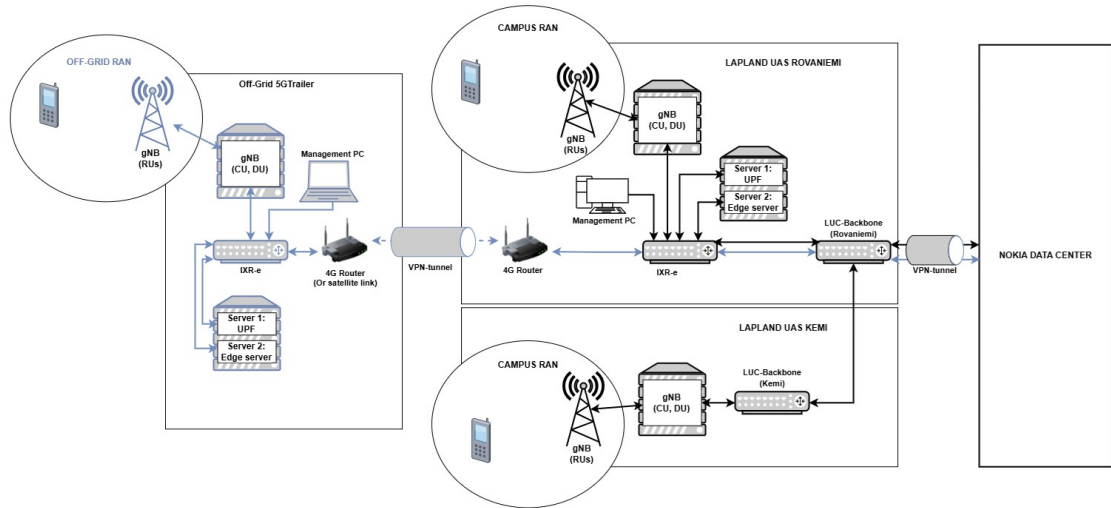
## 2.2 Lapin AMK:n 5G-verkko

Lapin ammattikorkeakoululla on käytössä kaksi 5G -järjestelmää: kampuksen järjestelmä ja Off-Grid 5G Mobile Network -järjestelmä. Suurin ero niiden välille tulee käyttötarkoituksesta. Kampuksen järjestelmä on rakennettu kiinteästi Rovaniemen kampukselle B219-tilaan, josta synnyttää 5G-verkon Rovaniemen ja Kemin kampuksille. Off-Grid 5G Mobile Network -järjestelmä on tarkoitettu siirrettäväksi, esimerkiksi metsään. Molempien verkkojen kaaviokuva on esitelty kuviossa 3, jossa Off-Grid 5G Mobile Network -järjestelmän liikenne on kuvattu sinisillä viivoilla. Kemin 5G-verkko muodostetaan Rovaniemellä, missä se yhdistyy IXR-e-reitittimeen ja sieltä yhteys kulkee valokuitua pitkin LUC:n runkoverkon kautta Kemin Base Band Unit -yksikköön ja sieltä signaali siirretään radioille, josta signaali saadaan loppukäyttäjille. (Uusitalo T. 2025 a. 5G-järjestelmän osien läpikäynti, Rovaniemi, 07.04.2025.)

Off-Grid 5G Mobile Network -järjestelmä on muuten täysin samanlainen kuin kampuksella, mutta isoimmat erot tulevat siinä, että Off-Grid 5G Mobile Network -järjestelmä on traileriin rakennettu tukiasema. Järjestelmä saa sähkönsä uusiutuvasta energiasta, kuten vedystä, tuulesta ja auringosta. Uusiutuvaa energiaa lähtökohtaisesti käytetään ainoastaan silloin, kun ollaan sellaisilla alueilla, missä ei voida käyttää valtion sähköverkkoa. Ylituotettava sähkö voidaan varastoida 3,6 kilowattitunnin varavirtalähteeseen, josta sitä voidaan hyödyntää palvelimen käyttöön. Mikäli palvelinta käytetään kampusalueella, se voidaan liittää valtion sähköverkkoon, jolloin sen ei tarvitse käyttää uusiutuvaa energiaa. (Uusitalo T. 2025 b. 5G-järjestelmän osien läpikäynti, Rovaniemi, 07.04.2025.)

Kuviossa 3 on kuvattuna Lapin ammattikorkeakoulun 5G-järjestelmät, jotka ovat kolmessa eri osiossa. Vasemmalla laidalla näkyy Off-Grid 5G Mobile Network -järjestelmä, joka on liikuteltavissa autolla. Keskellä on kuvattuna Rovaniemen ja Kemin kampusten 5G-järjestelmä. Rovaniemen kampuksella sijaitseva kampusjärjestelmä tekee 5G-verkon Rovaniemen lisäksi myös Kemiin. Oikeassa laidassa kuviossa 3 on Nokian Espoossa sijaitseva data center. Rovaniemen kiinteän kampusjärjestelmän ja Off-Grid 5G Mobile Network -järjestelmän keskeisimmät komponentit ovat management pc, Base Transceiver Service (BTS), josta voidaan myös puhua Base Band Unit-yksikkönä (BBU) tai next-

generation Node B (gNB) sekä IXR-e 7250 (Interconnect Router). (Uusitalo T. 2025 c. 5G-järjestelmän osien läpikäynti, Rovaniemi, 07.04.2025.)

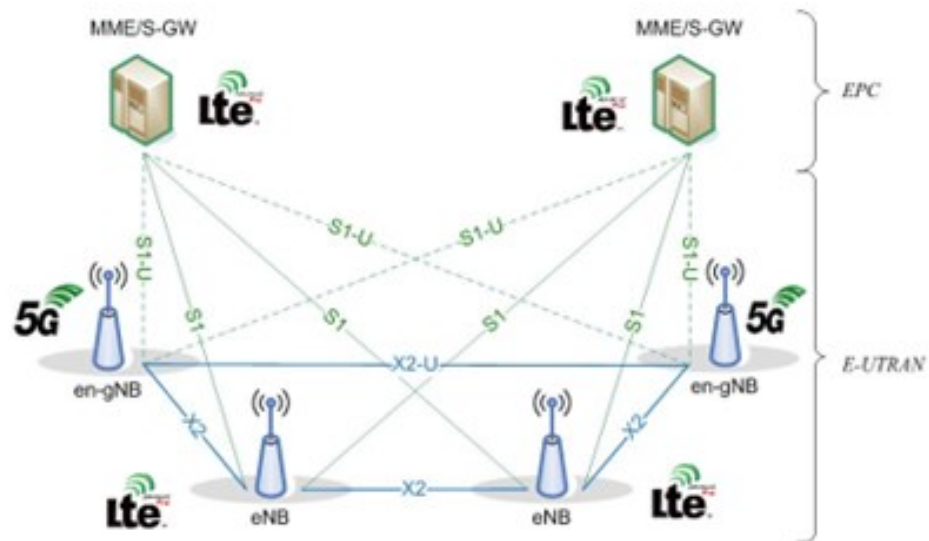


Kuvio 3. Lapin amk:n 5G-arkkitehtuuri (Uusitalo 2025 a)

### 2.3 5G-verkon hajautettu arkkitehtuuri

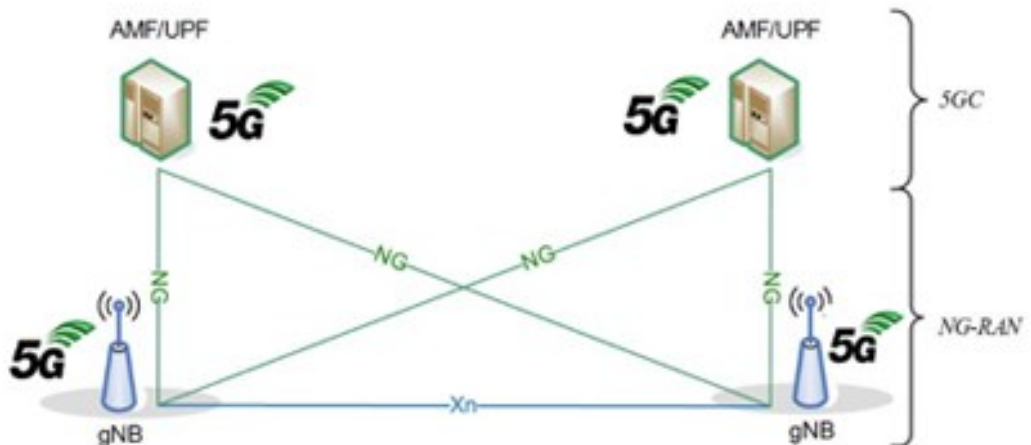
5G:lle on kaksi erilaista käyttöönoton vaihtoehtoa: Ensimmäinen näistä on Non-Standalone (NSA) -arkkitehtuuri ja toinen on Standalone (SA) -arkkitehtuuri. Näiden arkkitehtuurien suurimmat erot tulevat ydinverkkojen yhteydestä ja ominaisuuksista. NSA-arkkitehtuurissa käytetään 4G LTE -ydinverkkoa ohjaamaan 5G-yhteyttä ja SA-arkkitehtuurissa on täysin itsenäinen ydinverkko. (Uusitalo T. 2025 d. 5G-järjestelmän osien läpikäynti, Rovaniemi, 07.04.2025.)

Kuviossa 4 kuvataan NSA-arkkitehtuuri missä nähdään, miten siirtymävaiheen 5G-verkko on toteutettu. NSA-arkkitehtuurin 5G-liityntäverkko on kytketty 4G-ydinverkkoon. Kuvion 4 NSA-arkkitehtuurin kokoonpanossa tuetaan 4G:n palveluita, mutta on kuitenkin oikeutettu käyttämään 5G New Radion (NR) tarjoamaa parempaa kapasiteettia, kuten pienempää latenssia. (3GPP 2025.) Kuviossa 5 on nähtävissä sinisiä ja vihreitä katkoviivoja, joiden tarkoitus on kuvata rajapintoja järjestelmän välisten komponenttien kommunikointiin.



Kuvio 4. NSA-arkkitehtuuri (3GPP 2025a)

Standalone (SA) -arkkitehtuurissa NR on kytketty 5G Core Networkiin. SA-arkkitehtuuria pidetään täysin kehittyneenä 5G-verkkona, joka ei tarvitse toimiakseen 4G-yhteyksiä (3GPP 2025). Lapin ammattikorkeakoululla on käytössä kuviossa 5 esitetyn mukainen SA-arkkitehtuurin 5G-järjestelmä Rovaniemen sekä Kemin kampuksella ja Off-Grid 5G Mobile Network -järjestelmissä. Kuviossa 5 on havaittavissa eri väreillä kuvattuja viivoja, jotka on nimetty NG- ja Xn- liittynöiksi. Niiden tarkoituksena on kuvata 5G-verkon kannalta tärkeitä rajapintoja, joiden kautta kulkee järjestelmän toimivuuden kannalta olennaista kommunikaatiota.



Kuvio 5. SA-arkkitehtuuri (3GPP 2025a)

Kampuksen 5G-järjestelmä on rakennettu kiinteästi Rovaniemen kampukselle B219-tilaan, mistä järjestelmä luo 5G-verkon Rovaniemen ja Kemlin kampuksille. 5G-verkko Kemiin luodaan Rovaniemellä, missä se on yhteydessä IXR-e-reitittimeen. Yhteys kulkee valokuitua pitkin LUC-runkoverkon kautta Kemlin BBU-yksikköön, josta signaali siirretään radioille ja edelleen loppukäyttäjille. Rovaniemen kampuksella sijaitseva UPF ja reunalaskentapalvelin palvelevat myös Kemlin radioliityntäverkossa olevia laitteita. Nokian coren Control Plane -verkkotoiminnot on keskitetty Nokian datakeskukseen. Reunalaskentapalvelin on fyysisesti sijoitettu mahdollisimman lähelle UPF-palvelinta, joka sijaitsee Rovaniemen kampuksella. (Uusitalo T. 2025 e. 5G-järjestelmän osien läpikäynti, Rovaniemi, 07.04.2025.)

### 2.3.1 Edge Server -reunalaskentapalvelin

5G-järjestelmissä on kaksi reunalaskentapalvelinta, joihin kirjaututaan joko BMC:n KVM:n kautta tai SSH-yhteydellä. Reunalaskentapalvelimet ovat olennainen osa 5G-järjestelmää, sillä ne mahdollistavat datan käsittelyn lähellä päätelaitteita, mikä vähentää viiveitä ja parantaa järjestelmän tehokkuutta. Palvelimia hallitaan verkon hallintatasolta. RAN:n kautta palvelimien tarjoamiin palveluihin saadaan yhteys verkon käyttäjätasolta. (Uusitalo T. 2025 f. 5G-järjestelmän osien läpikäynti, Rovaniemi, 07.04.2025.)

Toisen palvelimen tehtävä on pyörittää 5G-Core User Plane Functionia (UPF), joka toteutetaan Nokian Cloud Mobile Gateway (CMG) -tuotteella. UPF vastaa käyttäjätiedon reitittämisestä päätelaitteiden, reunalaskentapalvelimien ja ulkoisten verkkojen välillä. Toiselle palvelimelle on asennettu työkaluja ja palveluita verkon mittaamiseen, kuten Openspeedtest, Iperf, InfluxDB ja Grafana. Nämä työkalut mahdollistavat verkon suorituskyvyn ja toiminnan tarkkailun ja analysoinnin. (Uusitalo T. 2025 g. 5G-järjestelmän osien läpikäynti, Rovaniemi, 07.04.2025.)

### 2.3.2 Cloud Mobile Gateway

Cloud Mobile Gateway (CMG) on Nokian lanseeraama pilvipohjainen palvelu, joka tukee mobiiliyhdyskäytävän erilaisia toimintoja, kuten UPF:ää. UPF on 5G-ydinverkon käyttäjätason verkkotoiminto, joka reitittää 5G-järjestelmässä käyttäjätiedon päätelaitteiden, reunalaskentapalvelimien ja ulkoisten verkkojen välillä. CMG:n pilvinatiivi suunnittelu mahdollistaa uusimpien teknologioiden, kuten tekoälyn ja koneoppimisen käytön. (Nokia 2025.)

Kirjautuminen CMG:hen tapahtuu suojatun SSH-yhteyden kautta, mikä takaa turvallisen pääsyn järjestelmän hallintatoimintoihin. CMG:ssä järjestelmän ylläpitäjän voi tarkastella esimerkiksi 5G-verkkoon yhdistäneet SIM-kortteja sekä niille ennalta määritellyjä IP-osoitteita. Tämä mahdollistaa verkon hallinnan ja valvonnan sekä tarvittavien muutosten tekemisen järjestelmän toimivuuden varmistamiseksi. (Uusitalo T. 2025 h. 5G-järjestelmän osien läpikäynti, Rovaniemi, 07.04.2025.)

### 2.3.3 Control Plane ja palvelut

Control Planelle ja User Planelle on määritetty omat viestinnälliset tehtävänsä. Control Planen tehtävänä on kuljettaa signaaliliikennettä ja User Planen tehtävänä on kuljettaa käyttäjätiedon. (Norrman & Teppo 2025.) Control Plane on toimintoiltaan modulaarinen, ja sen sisällä on erilaisia verkkotoimintoja. (Gosh ym. 2022, 80). Kuviossa 2 on nähtävänä, kuinka Session Management Function

(SMF) ohjaa UPF:n toimintaa IP- ja Ethernet-pakettien edelleen lähetyksessä. (Chandramouli ym. 2019, 144-145.)

Access and Mobility Management Function (AMF) on monipuolinen elementti 5G-ydinverkossa, joka vastaa User Equipmentin (UE) hallinnasta, turvallisuudesta, käytäntöjen toimeenpanosta sekä koordinoinnista muiden verkkotoimintojen kanssa. (Telecom Trainer 2024.) AMF toimii BBU:n ja päätelaitteen kommunikaatioväylänä ydinverkon Control Planen kanssa. 5G-verkon uutena ominaisuutena edeltäjäänsä verrattuna on verkon viipalointi, joka on tietoliikennekonfiguraatio ja mahdollistaa useiden verkkojen luomisen yhteisen fyysisen infran päälle. Jokainen 5G-verkon osa voidaan allokoida sovelluksen, käyttötapauksen tai asiakkaiden erityistarpeiden perusteella. (VIAVI Solutions 2025.)

## 2.4 Liityntärajoitukset

### 2.4.1 Management PC

Management PC:tä käytetään 5G-järjestelmän konfigurointiin visuaalisena käyttöliittymänä. Tämä tietokone on olennainen osa järjestelmän hallintaa, sen avulla voidaan tehdä tarvittavat asetukset ja muutokset järjestelmän toimintaan. Kampus- ja Off-Grid 5G Mobile Network -järjestelmissä on oma Management PC, jonka verkkoasetukset on asetettu IP-suunnitelman mukaisiksi. (Uusitalo T. 2025 i. 5G-järjestelmän osien läpikäynti, Rovaniemi, 07.04.2025.)

Tärkeimmät työkalut Management PC:ssä ovat Google Chrome ja PuTTY. Nokia suosittelee Google Chromen käyttöä selaimena, kun käytetään Nokian tukiaseman Web Element Manageria. PuTTY puolestaan on työkalu, jolla voidaan ottaa pääte-emulaattoriyhteyksiä tai Telnet- ja SSH-etäkäyttöyhteyksiä verkossa oleviin laitteisiin. Tässä tapauksessa PuTTY:ä käytetään pelkästään SSH-yhteyksien luomiseen ja siinä on valmiiksi tallennettuja SSH-profiileja, jotka helpottavat ja nopeuttavat kirjautumista. (Uusitalo T. 2025 j. 5G-järjestelmän osien läpikäynti, Rovaniemi, 07.04.2025.)

#### 2.4.2 IXR-e 7250 Interconnect Router

IXR-e 7250 (Interconnect Router) on 5G-järjestelmässä käytettävä reititin, jonka rooli verkon toiminnassa on keskeinen. IXR toteuttaa 5G Coren (User Plane ja Control Plane), tukiaseman, reunalaskentapalvelimen, 5G radioliityntäverkon ja ulkoisten verkkojen välisen tietoliikenteen reititystä. (Uusitalo T. 2025 k. 5G-järjestelmän osien läpikäynti, Rovaniemi, 07.04.2025.)

Yhteydet on jaettu seuraaviin kategorioihin: Management ja Control Plane, RAN, Edge ja Internet. IXR:ssä olevassa konfiguraatiossa on kaksi erillistä tasoa: management- ja control plane -yhteydet kuuluvat verkon management-tasolle, kun taas radioliityntäverkko, reunalaskentapalvelin ja internet on sijoitettu käyttäjätasolle. (Uusitalo T. 2025 l. 5G-järjestelmän osien läpikäynti, Rovaniemi, 07.04.2025.)

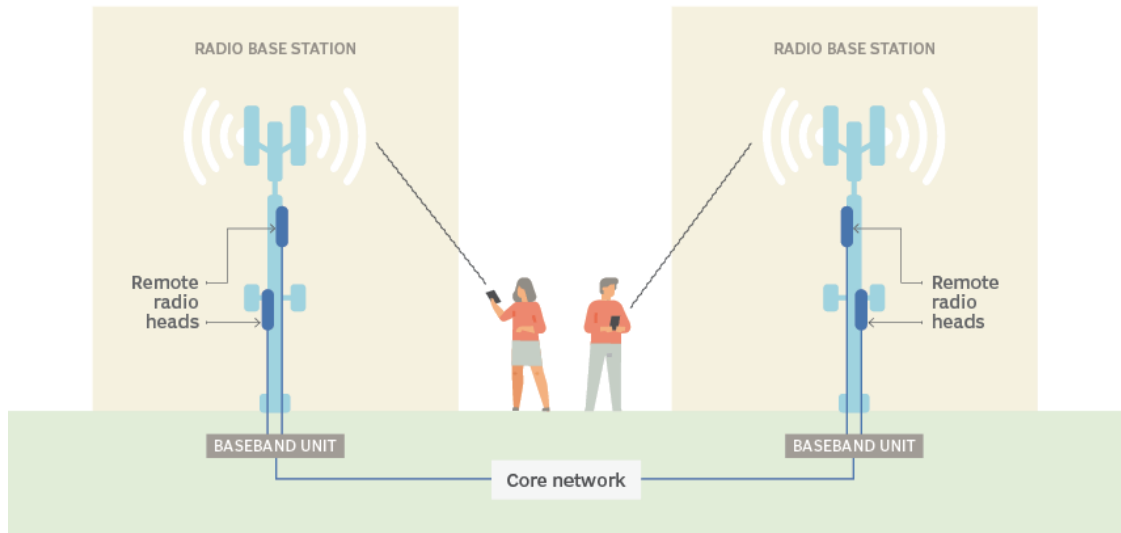
Rovaniemen ja Kemin kampusten järjestelmässä sekä Off-Grid 5G Mobile Network -järjestelmässä on omat IXR:t, jotka mahdollistavat järjestelmän toiminnan omissa ympäristöissään. Kirjautuminen IXR:ään tapahtuu SSH-yhteydellä, ja alustaminen tehdään console-portin kautta. Tämä varmistaa, että reititin on turvallisesti ja tehokkaasti hallittavissa.

#### 2.4.3 Radioliityntäverkko

Radioliityntäverkko (RAN) on järjestelmän osa, johon 5G-päätelaitteet (User Equipment, UE) yhdistyvät. Radioliityntäverkon kautta saadaan yhteys muihin radioliityntäverkossa oleviin laitteisiin sekä järjestelmän reunalaskentapalvelimelle, lisäksi kampusten 5G-järjestelmillä on mahdollisuus internetyhteyteen. (Uusitalo T. 2025 m. 5G-järjestelmän osien läpikäynti, Rovaniemi, 07.04.2025.)

Radioliityntäverkon komponentteihin kuuluvat tukiasema ja antennit, jotka kattavat määrätyn kokoisen alueen kapasiteettinsa mukaan. Kuviossa 6 kuvataan mistä radioliityntäverkko koostuu. RAN:ssa on kolme toiminnan kannalta olennaisesta elementtiä: antennit, radiot ja Base Band Unit. (Jones, D. & Bernstein, C. 2021.)

## Basic RAN architecture



Kuvio 6. Radioliityntäverkon arkkitehtuuri (Jones, D. & Bernstein, C. 2021)

### 2.5 Ylläpidon työkalut

#### 2.5.1 BTS-tukiasema ja WebEM-hallintatyökalu

Tukiasemaa eli gNBtä, hallitaan verkkoselaimen kautta käytettävällä Web Element Managerilla (WebEM). Tukiasema on olennainen osa 5G-järjestelmää, sillä se mahdollistaa langattoman yhteyden päätelaitteiden ja verkon välillä. Normaalisti kirjaudutaan IP-suunnitelman mukaiseen osoitteeseen, joka on määritetty järjestelmän asetuksissa. Ensiasennuksessa tai verkkoasetusten korjaamisessa käytetään Local Management Port -liitännän (LMP) kautta. (Uusitalo T. 2025 n. 5G-järjestelmän osien läpikäynti, Rovaniemi, 07.04.2025.)

Yleisimpiä työkaluja tukiaseman hallinnassa ovat BTS Status, Configuration ja Software. BTS Status tarjoaa näkymän tukiaseman tilaan, ja se voidaan jakaa Site view -näkömään ja Detailed site view -näkömään. Configuration-työkalu mahdollistaa järjestelmän asetusten hallinnan ja parametrien muokkaamisen. Software-työkalu puolestaan hallitsee tukiaseman ohjelmistoja ja niiden

päivityksiä. (Uusitalo T. 2025 o. 5G-järjestelmän osien läpikäynti, Rovaniemi, 07.04.2025.)

## 2.5.2 RMC ja BMC

Rack Management Controller (RMC) ja Baseboard Management Controller (BMC) hallitaan verkkoselaimella, ja niitä käytetään laitteiston hallintaan. RMC hallitsee BMC:een virtalähteitä ja sisältää erilaisia antureita, kuten virtalähteen lämpötila, virta, jännite, teho ja tuulettimien pyörimisnopeus. Tämä mahdollistaa laitteiston tilan ja toiminnan tarkkailun ja hallinnan. (Uusitalo T. 2025 p. 5G-järjestelmän osien läpikäynti, Rovaniemi, 07.04.2025.)

BMC hallitsee servereiden laitteistoa ja sisältää antureita, kuten prosessorin lämpötila, muistin käyttöaste ja tuulettimet. Tämä varmistaa, että serverit toimivat optimaalisesti ja että mahdolliset ongelmat voidaan havaita ja korjata nopeasti. Control & maintain -osiossa käytetään KVM Remote Console Utility -työkalua, joka mahdollistaa etäkonsoliyhteyden reunalaskentapalvelimelle. (Uusitalo T. 2025 q. 5G-järjestelmän osien läpikäynti, Rovaniemi, 07.04.2025.)

### 3 KÄSIKIRJA TEKNISENÄ DOKUMENTTINA

Tekninen käsikirja on systemaattinen dokumentti, joka kuvaa yksityiskohtaisesti järjestelmälle tehtyyn ylläpitoon liittyvät olennaiset ominaisuudet, toiminnan, käytön ja järjestelmän päivitykset. Laadukas käsikirja, jonka sisältöön on kiinnitetty huomiota, parantaa järjestelmän käytettävyyttä sekä lisää laite- ja työturvallisuutta olennaisesti. Käsikirja ja käyttöohjekirja ovat molemmat hyödyllisiä dokumentteja laitteiden ja järjestelmien käyttöön. Niillä on kuitenkin eroja, ja niiden suurimmat erot sisällöllisesti liittyvät laajuuteen, kattavuuteen, kohderyhmään ja sisältöön. (Hoivala 2009, 11-13.)

Teknisille järjestelmälle tehdyt käsikirjat on monesti suunnattu laboratoriossa tai muissa vastaavissa tiloissa työskenteleville henkilöille, jotka tarvitsevat korkeanopeuksista tiedonsiirtoa omassa työskentelyssään. Monesti käsikirjaa käyttävät ovat ammattilaisia, asiantuntijoita tai teknisen järjestelmän kanssa vasta työskentelyn aloittaneet, jotka vastaavat järjestelmän ylläpidosta ja kehityksestä. Käsikirja toimii viitekehyksenä vianmäärityksessä ja järjestelmän optimoinnissa. (Kingston 2025.)

#### 3.1 Teknisen käsikirjan ja käyttöohjeen erot ja merkitys

Käsikirjalla ja käyttöohjeella on merkittävä rooli laitteiden ja järjestelmien dokumenttina niiden käytössä, mutta niiden välillä on myös merkittäviä eroja sisällön, laajuuden ja kohderyhmän osalta. Käsikirja tarjoaa käyttäjälle yksityiskohtaista tietoa järjestelmän ominaisuuksista, toiminnasta, ylläpidosta ja päivityksistä. Käsikirja on sisällöllisesti laaja dokumentti, joka on suunnattu erityisesti ammattilaisille, kuten asentajille, insinööreille ja huoltohenkilökunnalle. (Hoivala 2009, 10-12). Käsikirja toimii viitekehyksenä järjestelmän vianmäärityksessä ja optimoinnissa. (SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG. 2008. 140.)

Käyttöohjekirja on sisällöltään suppeampi ja vähemmän tekninen kuin käsikirja. Sisällöltään käyttöohje keskittyy enemmän laitteen tai järjestelmän peruskäyttöön ja se tarjoaa ohjeita päivittäisiin toimintoihin ja loppukäyttäjän yleisiin tarpeisiin. (Sorvisto 2022, 8-11). Volvo Cars Corporation mukaan käyttöohjekirja on

suunnattu loppukäyttäjille, jotka tarvitsevat ohjeet laitteen tai järjestelmän turvalliseen ja tehokkaaseen käyttöön ilman ammattimaista osaamista ja teknistä taustaa. (Volvo Cars Corporation 2023.).

Käyttöohjeen tarkoitus on varmistaa, että käyttäjä osaa käyttää laitetta tai järjestelmää oikein, mikä vähentää virheiden ja onnettomuuksien riskiä. (Polestar. 2025). Hyvin laadittu käyttöohje on helposti ymmärrettävä ja käytännöllinen, jotta käyttäjä löytää tarvitsemansa tiedon (Graco Inc. 2000, 2).

### 3.2 Käsikirjan rakenne

Teknisen käsikirjan tavoitteena on tarjota mahdollisimman laajaa ja luotettavaa tietoa järjestelmästä, joka tukee laitteen tai järjestelmän kanssa työskentelyä. Rakenteellisesti käsikirjan tulisi olla tärkeän sisältönsä lisäksi myös hyvin jäsenneltyä. Johdannon lisäksi käsikirjan sisältö tulisi olla jaoteltu selkeisiin osiin tai lukuihin, jotka käsittelevät eri aihealueita systemaattisesti. Jaottelu tarkoituksena on tehdä käsikirjoista helposti navigoitavia ja mahdollista käyttäjän löytää nopeasti tarvitseman tiedon. (Wills 2025.)

Käsikirjassa olevilla visualisoinneilla, kuten kaavioilla, taulukoilla tai kuvilla pyritään tukemaan tekstin ymmärrettävyyttä ja tarjota konkreettisia esimerkkejä. Siksi käsikirjassa visualisoinnin tulisi olla merkittävässä roolissa. Käsikirjan sisällössä turvallisuus- ja käytännön ohjeet ovat keskeisessä asemassa. Ne tarjoavat yksityiskohtaisia neuvoja ja suosituksia, jotka ovat välttämättömiä käyttäjän, laitteen tai järjestelmän turvallisuuden ja toiminnan kannalta. Nämä käytännönläheiset lähestymistavat tekevät käsikirjoista hyödyllisiä työkaluja järjestelmien ja laitteiden kanssa toimiville ammattilaisille tai opiskelijoille

## 4 LAPIN AMMATTIKORKEAKOULUN 5G-KÄSIKIRJA

Lapin ammattikorkeakoulun 5G-käsikirja tarjoaa ajantasaista tietoa 5G-järjestelmän toiminnallisuudesta sekä järjestelmän laitteista. 5G-teknologia tarjoaa uudenlaisia mahdollisuuksia hanketyöskentelyssä, opetuksessa ja alueellisessa kehityksessä. Tämän myötä voidaan parantaa tiedonsiirron nopeutta, laiteturvallisuutta ja tehokasta hyödyntämistä sekä IoT-laitteiden yhdistämisessä niin laboratorio-olosuhteissa kuin arkisessa toiminnassa.

5G-teknologia mahdollistaa korkeanopeuden yhteyden autonomisille järjestelmille, kuten laboratoriossa olevat: SNOWER sekä sähkökäyttöiselle mönkijälle, joille on tarkoitus toteuttaa etäohjaus sekä autonominen kulkeminen valvotuissa olosuhteissa. Näiden lisäksi 5G-järjestelmä mahdollistaa virtuaalitodellisuuden ja lisätyn todellisuuden käytön hanketyöskentelyssä ja opetuksessa. Koska 5G-teknologia on edelleen kehittyvä ja sen verkon kattavuus sekä luotettavuus paranevat jatkuvasti, voidaan tulevaisuudessa hyödyntää laajemmin erilaisia simulaatioita, etälaboratoriota ja interaktiivisia projekteja ajasta ja paikasta riippumatta.

### 4.1 Käsikirjan tavoitteet ja sisältö

Lapin ammattikorkeakoulun 5G-käsikirjan tavoitteena on tarjota tarpeeksi laajaa, luotettavaa sekä ajantasaista tietoa 5G-järjestelmästä. Luotettavalla käsikirjalla voidaan mahdollistaa yhdenmukaiset käytänteet toimia uuden teknologian parissa. Käsikirjan yhtenä tavoitteena on myös avata tietoisuutta keskeisistä järjestelmään liittyvistä toimintatavoista. Käsikirja on suunniteltu työkaluksi, jota voidaan tarpeiden mukaan päivittää tai kehittää vastaamaan viimeisimpiä tarpeita ja tietoja järjestelmän toiminnallisuuksista.

Käsikirja alkaa johdannolla 5G-teknologiaan, jossa käsitellään sen peruseriaatteita sekä eroavaisuuksia aiempiin verkkoteknologioihin. Teknisessä osiossa käsitellään 5G:n toimintaa, arkkitehtuuria, kahden erillisen järjestelmän asennusta ja käyttöönottoa sekä käyttäjähallintaa. Käsikirjaa voidaan käyttää viitemateriaalina päivittäisessä työssä tai oppaana, kun järjestelmän uusia osia

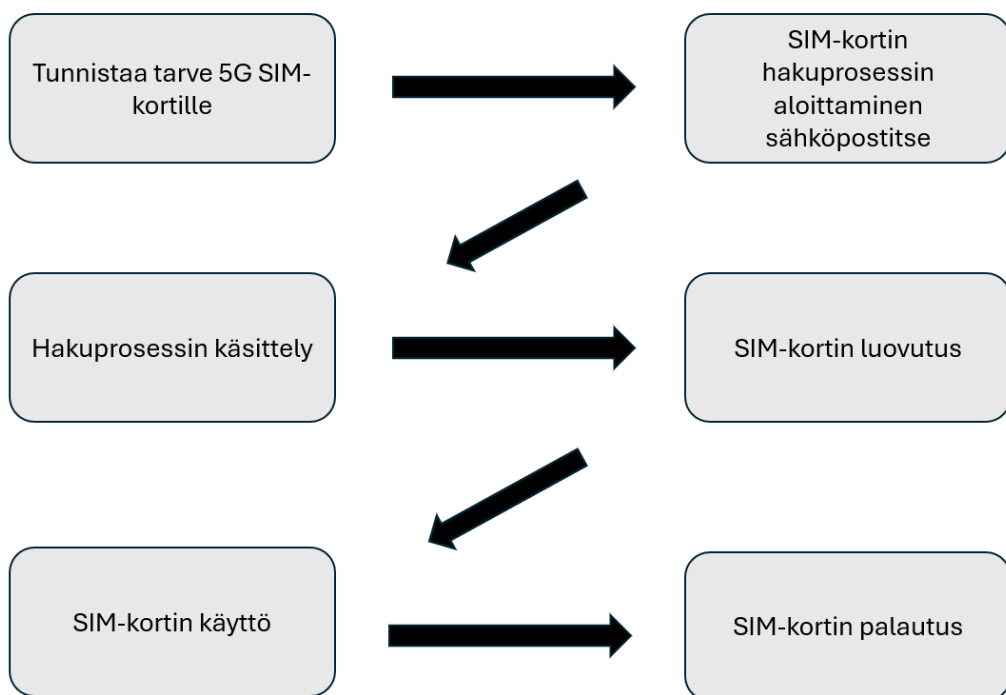
otetaan käyttöön tiedon löytämisen helpottamiseksi. Käsikirjan avulla varmistetaan, että 5G-järjestelmää käytetään halutulla tavalla luotettavasti ja sen täysi potentiaali hyödynnetään.

Lapin ammattikorkeakoulun 5G-verkkoon on mahdollisuuksien mukaan saatavilla SIM-kortteja. Ne ovat osa Nokialta ostettua yksityistä 5G-järjestelmää, joka on käytössä Kemissä ja Rovaniemellä. Järjestelmä sisältää Nokian laitteita ja ohjelmistoja, kuten tukiasemayksikön, 5G-Core-palvelimen ja reunalaskentapalvelimen. Lapin ammattikorkeakoulu on osa 5G Test Network Finlandia (5GTNF), jonka tarkoituksena on kuroa umpeen laboratoriopohjaisten 5G- ja sitä pidemmälle ulottuvan testaamisen sekä kaupallisten verkkojen kuitua. 5GTNF on teollisuuden, akatemian ja Suomen valtion yhteinen hanke, jonka lähestymistapa perustuu vahvaan uudistamiseen ja poikkitieteelliseen osaamiseen. Keskiössä on 5G:tä ja sen jälkeisiä viestintäkonsepteja koskeva kehitys, älykkäiden verkkojen ja 6G:n kehittäminen, tekoälyn hyödyntäminen radiotaajuusresurssien ja verkon hallinnassa sekä eri toimialojen käyttötapausten toteuttaminen hyödyntäen 5G:tä ja sen jälkeistä telekommunikaatiota, tekoälyä ja kyberturvallisuusratkaisuja. (Test Network Finland 2025.)

5GTNF vahvistaa Suomen roolia sekä 5G-evoluution ja sitä seuraavan sukupolven tuotekehityksessä, että 5G:n evoluution, tekoälyn ja kyberturvallisuusratkaisujen hyödyntämisessä. 5GTNF-ekosysteemiin sisältyy useita alakohtaisia hankkeita, jotka hyödyntävät alustaa sekä koordinoivat alustan ja eri alojen T&K-sovellusten välistä yhteistyötä. (Traficom 2023b.)

Henkilöt, jotka hakevat käyttöönsä SIM-kortin Lapin ammattikorkeakoulun verkkoon, joutuvat allekirjoittamaan Nokian vaatiman 5G Future X Research Lab (5GFXR LAB) Network User Consent sopimuksen, jonka tarkoituksena on varmistaa käyttäjän ymmärtävän ja hyväksyvät verkkoon liittyvät ehdot ja vastuut. SIM-kortit ja Network User Content -sopimus ovat saatavilla keskitetysti 5G-verkon ylläpitäjältä. Tällä tavoin toimittaessa on mahdollista toimia yhdenmukaisesti.

Yleisesti Lapin ammattikorkeakoululla on operaattorina tarve pitää kirjaa, kenelle SIM-kortti luovutetaan ja mihin tarkoitukseen. Tavoitteena on hallita SIM-korttien käyttäjiä sekä pyrkiä pitämään luovutetut kortit tallessa että tiedetään kenellä SIM-kortit ovat käytössä ja tarvittaessa pystytään hallinnoimaan palautuvia kortteja. Luovutetuista SIM-korteista pidetään kirjaa erillisessä dokumentissa, jota hallinnoi käyttöoikeuksista vastaava Lapin ammattikorkeakoulun 5G-verkon vastuuhenkilö. Kuviossa 7 on kuvattuna SIM-kortin käyttöön liittyvä prosessi alusta SIM-kortin palautukseen.

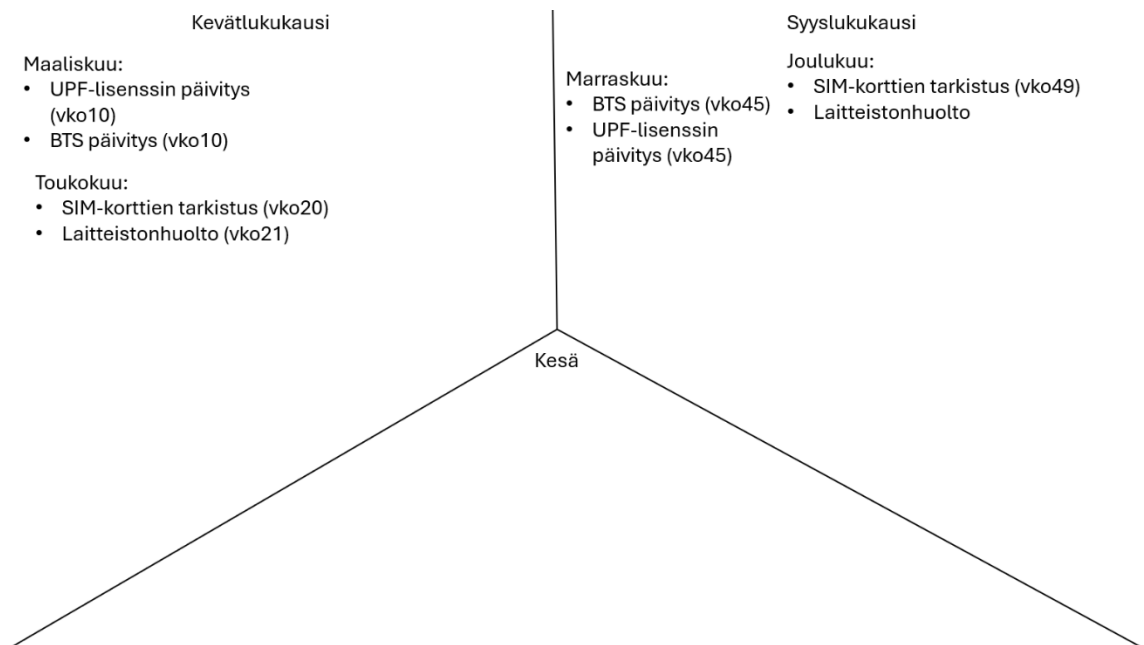


Kuvio 7. Käyttäjähallinnan prosessi

#### 4.2 Vuosikello ylläpidon työkaluna

Ylläpidon näkökulmasta vuosikello auttaa laboratorio henkilökuntaa sekä muita 5G-verkon parissa työskenteleviä organisoimaan ja aikatauluttamaan keskeisimmät ylläpidolliset tehtävät sekä tekemään ennakoivaa huoltoa verkonsuorituskykyä ajatellen. Vuosikellon avulla voidaan ennakoiden myös suunnitella järjestelmän testausajankohtia ja hallita järjestelmää käyttävien henkilöiden määrää.

Vuosikello auttaa systemaattisessa suunnittelussa sekä hahmottamaan, milloin mikäkin tekeminen pitää aloittaa, jotta aikataulut pitävät. Vuosikellon avulla pystyy myös helposti näkemään päällekkäiset tekemiset tai prosessit, kuten kuviossa 8 on kuvattu. Tarvittaessa pystytään aikatauluttamaan päällekkäisiä prosesseja työkuorman tasaamiseksi. Tietyt prosessit ja tekemiset ovat yrityksissä helposti ennakoitavissa, koska niillä on koko yrityksen kattavat aikataulut. Siksi vuosikellon käyttäminen antaa ihmisille mahdollisuuden suunnitella ja ennakoida tekemisensä kellon sisältämien prosessien osalta, mikä taas vapauttaa energiaa ja resursseja, kun yhteiset prosessit, prioriteetit ja aikataulut ovat kaikkien tiedossa. (Hautanen 2018.)



Kuvio 8. ylläpidon vuosikello

### 4.3 5G palvelimet

Lapin ammattikorkeakoululla sijaitsee kaksi 5G-järjestelmää, kiinteä kampuksella sijaitseva järjestelmä ja Off-Grid 5G Mobile Network -järjestelmä. Suurin ero niiden välille tulee käyttötarkoituksesta. Kampusjärjestelmä on rakennettu kiinteästi Rovaniemen kampukselle B219-tilaan, mistä järjestelmä tekee 5G-verkon Rovaniemen ja Kemin kampuksille. Kuviossa 9 on ympyröity Rovaniemen kampuksella sijaitseva antenni. Kemiin 5G-verkko luodaan Rovaniemellä, missä se on yhteydessä IXR-e-reitittimeen ja sieltä menee valokuitua pitkin LUC:n

runkoverkon kautta Kemin palvelimelle ja sieltä signaali siirretään radioille, josta signaali saadaan loppukäyttäjille.



Kuvio 9 Rovaniemen kampuksen ulkoantenni

Off-Grid 5G Mobile Network -järjestelmä on muuten täysin samanlainen kuin kampuksella käytössä oleva järjestelmä, mutta suurin ero on siinä, että Off-Grid 5G Mobile Network -järjestelmä on traileriin rakennettu tukiasema. Järjestelmä saa sähkönsä uusiutuvasta energiasta, kuten vedystä, tuulesta, kaasusta ja auringosta. Kuviossa 10 on nähtävillä aggregaatti, joka toimii varaenergiana, kun aiemmin kuvatuista energiantuotannosta ei saada tarpeeksi sähköä. Uusiutuvaa energiaa lähtökohtaisesti käytetään ensisijaisesti alueilla, joilla ei voida hyödyntää valtakunnansähköverkkoa. Ylituotettava sähkö voidaan varastoida 3,6 kilowattitunnin akustoon, josta sitä voidaan hyödyntää palvelimen käyttöön. Mikäli järjestelmää käytetään kampusalueella, se voidaan liittää valtakunnan sähköverkkoon, jolloin sen ei tarvitse käyttää uusiutuvaa energiaa.



Kuvio 10. toimimista Off-Grid 5G Mobile Network -palvelimen kanssa (Kuva: Nivala Tuuli 2025a)

Kuvioissa 11 on nähtävillä Off-Grid 5G Mobile Network -järjestelmän antenni toiminnassa omissa toimintaympäristöissään. Off-Grid 5G Mobile Network -järjestelmä on kuvaushetkellä Rovaniemen Hirvaalla, jossa järjestelmän kanssa tehdään kentän voimakkuuteen liittyviä testauksia. Kuviossa 11 on antennimasto nostettu yhdeksän metrin korkeuteen paineilmaa hyödyntäen.



Kuvio 11. Off-Grid 5G Mobile Network -järjestelmä käyttövalmiina (Kuva: Nivala Tuuli 2025b)

#### 4.4 Energiantuotanto ja varastointi

Lapin ammattikorkeakoulun Off-Grid 5G Mobile Network -palvelimelle voidaan tuottaa sähköä vedyn, tuulen, kaasun ja auringon avulla. Tuotettu sähkö voidaan varastoida mahdollisen ylituotannon varalta hyödyntämällä EcoFlown liikuteltavaa energiahallintajärjestelmää. Lapin ammattikorkeakoulun Off-Grid 5G -järjestelmässä käytetään EcoFlow Delta Pro 0808 (3,6 kWh) -virtalähdettä sekä Smart Generator (Dual Fuel) -laitetta. Näiden avulla voidaan kerätä sähköä talteen ja mahdollistaa järjestelmän toiminta valtakunnallisen sähköverkon ulkopuolella, mahdollistaen näin 5G-verkon toiminnan.

EcoFlow Delta Pro 0808 on ulko- ja sisäkäyttöön tarkoitettu virtalähde, jonka peruskapasiteetti on 3,6 kilowatti tuntia. Kapasiteetti on laajennettavissa jopa 25 kilowattituntiin lisäämällä ylimääräisiä virtalähteitä ja kytkemällä ne keskenään yhteen. Laitteen AC-lähtöteho on 3,6 kilowattia ja X-Boost-tilassa hetkellisesti jopa 4,5 kilowattia. Kahdella virtalähteellä on mahdollista saavuttaa 7,2 kilowatin tehon, jolloin myös vaativimpien laitteiden käyttö on mahdollista.

Virtalähteen LFP-akun eliniäksi valmistaja ilmoittaa kymmenen vuotta, ja se tukee noin 600 lataussykliä ennen kapasiteetin laskua 50 prosenttiin alkuperäisestä. EcoFlow:n akkujen hallintajärjestelmä analysoi ja säätelee reaaliaikaisesti jännitettä, virtaa ja lämpötilaa, mikä tekee Delta Prosta turvallisen ja tehokkaan virtalähteen. Delta Pro -virtalähdettä voidaan käyttää osana järjestelmää, jossa hyödynnetään UPS-virransyöttöä (Uninterruptible Power Supply). UPS-järjestelmä varmistaa laitteiden toiminnan myös sähkökatkosten aikana. EcoFlow:n tuotteet, kuten Delta Pro ja Delta Max voidaan integroida UPS-järjestelmiin.

EcoFlow Smart Generator (Dual Fuel) on kevyt ja tehokas generaattori, jonka avulla voidaan pidentää Delta Pro -virtalähteen toiminta-aikaa. Generaattoria voidaan 98-oktaanisella bensiinillä tai nestekaasulla (LPG). Laitteessa on tehokas DC-pikalatausominaisuus, joka tarjoaa 3,2 kilowattitunnin lataustehon. Smart Generator voidaan käynnistää neljällä eri tavalla, mikä mahdollistaa monipuolisen käytön ja virtalähteen toiminnan automatisoinnin. Generaattori

voidaan käynnistää manuaalisesti vetokahvasta, sähköisesti käynnistysnapilla, automaattisesti varaustasoa seuraamalla tai mobiilisovelluksen kautta edellyttäen, että generaattorin virtakytkin on ensin käännetty päälle.

Vedystä saatavan energian tuotantoprosessi aloitetaan kytkemällä ulkoinen vetypullo järjestelmän kaasujohdon kautta. Vety on varastoitu 200 baarin paineistettuun säiliöön, jonka paine tulee alentaa kahteen baariin paineensäätöventtiilillä, ennen kuin se voidaan muuntaa energiaksi polttokennossa. Ennen energiantuotannon aloittamista tulee tarkistaa kaikkien liitosten tiiviys ja kunto. Ensimmäisellä käyttökerralla on huomioitava, että polttokennon ja vetypullon välisessä johdossa saattaa olla ylimääräistä happea, mikä saattaa estää polttokennon toiminnan halutulla tavalla heti käynnistyksen jälkeen.

#### 4.5 5G käsikirjan toteutus

Aloittaessani opinnäytetyöprosessiani syksyllä 2024 menetelmäopinnot -kurssilla minulla ei ollut vielä täyttä varmuutta, mistä olisin tekemässä opinnäytetyötäni keväällä 2025. Olin aloittanut projektityöntekijänä työskentelyn AGRARSENSE-hankkeella toukokuussa 2024. AGRARSENSE on 52 partnerin Joint Undertaking of the Horizon EU-hanke, jonka tarkoituksena on edistää metsä- ja maatalouden teknologista kasvua. (Frostbit SOFTWARE LAB 2025.)

Kesällä 2024 projektitöitä tehdessäni sain kerättyä osaamista ja kokemusta 5G-järjestelmistä, joita Lapin ammattikorkeakoululle on rakennettu. Kesän 2024 aikana asennettiin ja konfiguroitiin kampuksen kiinteä tukiasema toiminta kuntoon sekä rakennettiin Off-Grid 5G Mobile Network -järjestelmää, jotta voitaisiin mennä tekemään verkon kuuluvuus ja toiminnan testauksia Hirvaalla ja Ruotsissa Vindelissä.

Syksyllä 2024 projektityöt jatkuivat ja menetelmäopinnot alkoivat edistymään. Lokakuun alussa 2024 tuli ensimmäisen kerran puhetta opinnäytetyöni aiheesta ja siitä, kuinka hankkeelle olisi mahdollisuus tehdä 5G-järjestelmästä käsikirja. Edistin yhä opintoja menetelmäopinnojen parissa sekä muissa hankkeelle ja 5G-

verkon kannalta tärkeissä tehtävissä. Marraskuun puolivälissä tuli hankkeen viikkopalaverissa puhetta opinnäytetyön tekemisestä sekä 5G-järjestelmän dokumentoinnista. Tähän mennessä olin kerännyt kokemusta 5G-verkosta ja järjestelmästä sekä menetelmäopintoni alkoi olla jo loppusuoralla. Koin tämän olevan mielenkiintoinen mahdollisuus tarttua aiheeseen ja alkaa tekemään opinnäytetyötäni Lapin ammattikorkeakoulun 5G-järjestelmästä, johon kuuluu Off-Grid 5G Mobile Network -järjestelmä sekä kampukselle b219-tilaan kiinteästi asennettu järjestelmä.

Vuoden 2025 alusta ensimmäiset askeleet opinnäytetyössäni oli tehdä opinnäytetyösopimus sekä aihe-ehdotus Lapin ammattikorkeakoululle, jotta työni voi virallisesti alkaa. Tämän jälkeen aiheeni hyväksyttiin ja minulle nimettiin opinnäytetyöprosessia ohjaava lehtori, kenen kanssa käydään läpi opinnäytetyöprosessi alusta loppuun ja suunnitellaan aikataulu. Ohjaavan lehtorin kanssa on käyty säännöllisesti kerran viikossa läpi opinnäytetyöni tilanne sekä mahdollisesti vaikeat tilanteet, joita opinnäytetyöprosessin aikana on tullut vastaan.

Opinnäytetyön aloituspalaverin jälkeen aloitin kirjoitusvaiheen, jonka aihe on 5G-järjestelmän käsikirja. Taustatyönä kokemusta olin ehtinyt kartuttaa kahdeksan kuukauden ajan AGRARSENSE-hankkeen parissa työskennellessäni, joten seuraava askel opinnäytetyöni tekemisessä oli taustatutkimuksen tekeminen. Tämä sisälsi lukea ja etsiä tietoperustaa teknisistä käsikirjoista sekä tutkia niiden rakennetta. Lisäksi selvitin, mikä ovat käsikirjan ja käyttöohjekirjan suurimmat erot ja kohderyhmät näille dokumenteille.

Opinnäytetyön kirjoituksen aikana eri vaiheissa olen konsultoinut henkilöitä, jotka työskentelevät AGRARSENSE-hankkeella asiantuntijoina. Heidän avullansa olen saanut huiman määrän ymmärtämystä mahdollisiin epäselvyyksiin sekä siihen, minkälainen Lapin ammattikorkeakoulun 5G-järjestelmän käsikirja tulisi rakenteellisesti sekä sisällöllisesti tulisi olla toimiakseen mahdollisimman hyödyllisenä käsikirjana heidän arjessaan. Käsikirja sisältää tietoja asennuksesta ja käyttöönotosta, päivittäisistä hallintaan ja ylläpitoon liittyviä työvaiheista sekä järjestelmäarkkitehtuuriin liittyvistä

hyödyllisistä asioista. Tämä käsikirja on tarkoitettu erityisesti järjestelmänvalvojille ja laboratoriohenkilöstölle, jotka vastaavat järjestelmän toiminnasta.

Käsikirjan sisältöä silti voivat hyödyntää henkilöt, jotka tarvitsevat tietoa järjestelmän toiminnasta, kuten opiskelijat tai muu henkilöstö. Käsikirja tarjoaa tukea järjestelmän käytölle ja projektityölle, joissa tarvitaan nopeaa verkkoyhteyttä. Käyttäjä saa selkeät ohjeet järjestelmän teknisten resurssien hyödyntämiseen ja vianmääritykseen hallintaan sekä tiedon tallennukseen ja varmuuskopiointiin.

Käsikirjaa voidaan käyttää ohjemateriaalina arkipäiväisessä työskentelyssä. Tämän käsikirjan avulla varmistetaan, että 5G-järjestelmää käytetään halutulla tavalla luottavaisesti ja sen täysi potentiaali hyödynnetään. Lapin ammattikorkeakoululla sijaitsee kaksi 5G-järjestelmää, kampuksen järjestelmä ja Off-Grid 5G Mobile Network -järjestelmä. Suurin ero niiden välille tulee käyttötarkoituksesta. Kampuksen järjestelmä on rakennettu kiinteästi Rovaniemen kampukselle B219-tilaan, josta järjestelmä tekee 5G-verkon Rovaniemen ja Kemin kampuksille. Kemiin 5G-verkko luodaan Rovaniemellä, missä se on yhteydessä IXR-e:hen ja sieltä menee valokuitua pitkin LUC-runkoverkon kautta Kemin palvelimelle ja sieltä signaali siirretään radioille, mistä signaali saadaan loppukäyttäjille.

Off-Grid 5G Mobile Network -järjestelmä ovat muuten täysin samanlainen kuin kampuksella, mutta isoimmat erot tulevat siinä, että Off-Grid 5G Mobile Network -järjestelmä on traileriin rakennettu tukiasema. Off-Grid 5G Mobile Network -järjestelmä saa sähkönsä uusiutuvasta energiasta, kuten vedystä, tuulesta ja auringosta. Uusiutuvaa energiaa lähtökohtaisesti käytetään ainoastaan alueilla, joilla valtakunnan sähköverkkoa ei ole saatavilla. Ylituotettava sähkö voidaan varastoida 3.6 kilowattitunnin akustoon, josta sitä voidaan hyödyntää palvelimen käyttöön. Mikäli järjestelmää käytetään kampusalueella, se voidaan liittää valtakunnan sähköverkkoon, jolloin sen ei tarvitse käyttää uusiutuvaa energiaa.

## 5 POHDINTA

Työn tavoitteena oli dokumentoida Lapin ammattikorkeakoulun kampusjärjestelmä ja Off-Grid 5G Mobile Network -järjestelmän IoT-laboratorion henkilöstölle, opetushenkilöstölle sekä opiskelijoille toimivaksi 5G-käsikirjaksi. Haasteena käsikirjan tekemisessä ovat sen laajuus sekä järjestelmän jatkuva kehitys, joiden luomat haasteet päätettiin luoda nykyisen laajuinen käsikirja, mitä kehitetään määräajoin vastaamaan käyttäjien tarvetta.

Off-Grid 5G Mobile Network -palvelimen liikuteltavuus on nykyisin toteutettu jarrullisella peräkärrollä, jonka kokonaismassa on noin 2700 kilogrammaa ja ääriimitat ovat 650 senttimetriä pitkä ja 255 senttimetriä leveä. Peräkärryn koko aiheuttaa sen, ettei sitä voi tieliikenteessä kuka tahansa vetää. Liikenteessä kärryn vetämiseen tarvitaan vähintään ajokorttiluokka B-luokan ajokortti sekä pikku-E kortin eli ajoneuvon kuljettajalla tulisi olla BE-luokan ajo-oikeus, tämän lisäksi kärryn paino asettaa vetoautolle vetokyvylle vaatimuksia. Tämä rajaa huomattavan paljon autoja pois, joita pystyisi käyttää Off-Grid 5G Mobile Network -järjestelmän liikuttamiseen.

Tulevaisuudessa olisi hyvä, mikäli pystyttäisiin päivittämään Off-Grid 5G Mobile Network -järjestelmän peräkärryn ulkomittoja ja painoa semmoiseksi, mitä voisi pelkällä henkilöautokortilla eli B-luokan ajo-oikeudella ajaa testauspaikoille. Peräkärryn tulisi edelleen tarjota mahdollisuus ympärivuotiseen työskentelyyn. Kesäisin pystyisi avaamaan oven kärryn sivulta ja perästä mahdollistamaan paremman ilmanvaihdon sekä uusiutuvan energian käytön auringosta ja tuulesta.

AGRARSENSE-hanke päättyy vuoden 2025 lopussa. Minulla ei ole tiedossa saako hanke jatkoa tulevaisuudessa. Näkisin kuitenkin, että olisi mahdollista hienoa, mikäli järjestelmää pystyttäisiin hankkeiden osalta käyttämään ja kehittämään paremmin toimivaksi sekä hyödyntää 5G-verkkoa Rovaniemellä sekä Kemissä oleville valmiiksi käynnissä oleville hankkeille tai opetuksille tarjoamaan korkeanopeuksista ja uutta verkkoteknologiaa.

## LÄHTEET

5G Test Network Finland 2025. Yleiskatsaus. Viitattu 3.4.2025  
<https://5gtnf.fi/overview/>.

Chandramouli, D., Liebhart, R. & Pirskanen, J. 2019. 5G for the Connected World. Newark. John Wiley & Sons, Incorporated. Viitattu 18.04.2025  
<https://finna.fi/Record/jamk.993626336506251?sid=5029411363>.

DNA 2025. kuuluvuuskartta. Viitattu 3.5.2025. <https://www.dna.fi/tuki/kuuluvuus-ja-verkot/kuuluvuuskartta>.

Elisa 2025. kuuluvuuskartta Viitattu 3.5.2025 <https://elisa.fi/kuuluvuus/>.

Frostbit SOFTWARE LAB. 2025. AGRARSENSE 5G. Viitattu 14.4.2025  
[www.frostbit.fi/portfolio-fi/agrarsense-5g/](http://www.frostbit.fi/portfolio-fi/agrarsense-5g/).

Graco Inc. 2000. Käyttöohjeet-Paineilmakäyttöiset kalvopumput. 01.09.2022. Viitattu 25.2.2025. [https://www.graco.com/content/dam/graco/tech\\_documents/manuals/308/308981/3A1950FI-ZBB.pdf](https://www.graco.com/content/dam/graco/tech_documents/manuals/308/308981/3A1950FI-ZBB.pdf).

Ghosh, A., Ratasuk, R. & Rost, P. 2022. 5G-Enabled Industrial IoT Networks. Norwood: Artech House. Viitattu 3.4.2025  
<https://www.finna.fi/Record/jamk.993707943906251?sid=5028975847>.

Hoivala, T. 2009. Teknisen ohjeen suunnittelu ja toteutus. Opinnäytetyö, Laurea ammattikorkeakoulu Viitattu 24.2.2025 [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/2421/Hoivala\\_Tuula.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/2421/Hoivala_Tuula.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Hautanen, J. (2018). Kaiken takana on suunnittelu – Vuosikello. Viitattu 12.5.2025  
<https://www.juttahautanen.fi/kaiken-takana-on-suunnittelu-vuosikello/>.

Jones, D. & Bernstein, C. 2021. Radio Access Network (RAN). TechTarget 28.04.2021 Viitattu 30.4.2025 <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/radio-access-network-RAN>.

Kingston, S. (2025). Creating a Technical Manual: How, Types & Examples. 25.03.2025 Viitattu 19.4.2025 <https://document360.com/blog/technical-manual/>.

Mobiilitutka 2023. Kaikki mitä sinun pitää tietää 5G:stä. 12.05.2023 Viitattu 31.3.2025 <https://www.mobiilitutka.fi/5g/>.

Nokia. 2025 Cloud Mobile Gateway. Viitattu 24.5.2025.  
<https://www.nokia.com/core-networks/cloud-mobile-gateway/>.

Norrman, K. & Teppo, P. 2025 Security in 5G RAN and core deployments. Viitattu 24.5.2025. <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/white-papers/security-in-5g-ran-and-core-deployments>.

Nivala, T. 2025a. Yksityinen Teams-viesti 21.3.2025. Viestin saaja: Eeli Suutari-Jääskö

Nivala, T. 2025b. Yksityinen Teams-viesti 21.3.2025. Viestin saaja: Eeli Suutari-Jääskö

Polestar 2025. Tietoja käsikirjasta. Viitattu 25.2.2025  
<https://www.polestar.com/fi/manual/polestar4/2025/47d2c97fd33effd3c0a8cc3718c999b7-a3f2e35bd8c1bc89c0a8cc375e7d3e38664b2fa77a7e089c0a8296870d1a409/>.

SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG. 2008. Käyttölaitejärjestelmä PROFIBUS-liitäntöjen, kenttäjakolaitteiden hajautettuun asennukseen. Viitattu 24.2.2025  
<https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/16668944.pdf>.

Sorvisto, S. (2022). Tutkimus hyvän käyttöohjepohjan laadinnasta: Case Posti runkoliikenne. Opinnäytetyö, Jyväskylän ammattikorkeakoulu Viitattu 25.2.2025  
[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/745689/Sorvisto\\_Samuel.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/745689/Sorvisto_Samuel.pdf?sequence=2&isAllowed=y).

Sultan, A. 2022. 5G System Overview. 3GPP 11.10.2023 Viitattu 2.5.2025  
<https://www.3gpp.org/technologies/5g-system-overview>.

Telia 2025. kuuluvuuskartta Viitattu 3.5.2025  
<https://www.telia.fi/asiakastuki/kuuluvuuskartta>

Telecom Trainer 2024. What is the role of the Access and Mobility Management Function (AMF) in the 5G Core network? 15.01.2024 Viitattu 5.5.2025  
<https://www.telecomtrainer.com/what-is-the-role-of-the-access-and-mobility-management-function-amf-in-the-5g-core-network/#:~:text=The%20Access%20and%20Mobility%20Management%20Function%20is%20a,function%20to%20provide%20seamless%20and%20efficient%20communication%20services>.

Traficom 2023 a. Tietoja 5G:stä. 05.12.2023 Viitattu 26.2.2025  
<https://www.traficom.fi/fi/viestinta/viestintaverkot/tietoa-5gsta>.

Traficom 2023 b. 5G Suomen testiverkkoerkoysteemi (5GTNF). 5.12.2023 Viitattu 3.3.2025  
<https://www.traficom.fi/fi/viestinta/viestintaverkot/5g-suomen-testiverkkoerkoysteemi-5gtnf>.

Uusitalo, T. 2025 a. Yksityinen Teams-viesti 7.4.2025. Viestin saaja: Eeli Suutari-Jääskö.

Uusitalo, T. 2025 a. Yksityinen luento. 5G-järjestelmän osien läpikäynti 7.4.2025 Esityksen yleisö: Eeli Suutari-Jääskö.

Uusitalo, T. 2025 b. Yksityinen luento. 5G-järjestelmän osien läpikäynti 7.4.2025 Esityksen yleisö: Eeli Suutari-Jääskö.

Uusitalo, T. 2025 c. Yksityinen luento. 5G-järjestelmän osien läpikäynti 7.4.2025 Esityksen yleisö: Eeli Suutari-Jääskö.

Uusitalo, T. 2025 d. Yksityinen luento. 5G-järjestelmän osien läpikäynti 7.4.2025 Esityksen yleisö: Eeli Suutari-Jääskö.

Uusitalo, T. 2025 e. Yksityinen luento. 5G-järjestelmän osien läpikäynti 7.4.2025  
Esityksen yleisö: Eeli Suutari-Jääskö.

Uusitalo, T. 2025 f. Yksityinen luento. 5G-järjestelmän osien läpikäynti 7.4.2025  
Esityksen yleisö: Eeli Suutari-Jääskö.

Uusitalo, T. 2025 g. Yksityinen luento. 5G-järjestelmän osien läpikäynti 7.4.2025  
Esityksen yleisö: Eeli Suutari-Jääskö.

Uusitalo, T. 2025 h. Yksityinen luento. 5G-järjestelmän osien läpikäynti 7.4.2025  
Esityksen yleisö: Eeli Suutari-Jääskö.

Uusitalo, T. 2025 i. Yksityinen luento. 5G-järjestelmän osien läpikäynti 7.4.2025  
Esityksen yleisö: Eeli Suutari-Jääskö.

Uusitalo, T. 2025 j. Yksityinen luento. 5G-järjestelmän osien läpikäynti 7.4.2025  
Esityksen yleisö: Eeli Suutari-Jääskö.

Uusitalo, T. 2025 k. Yksityinen luento. 5G-järjestelmän osien läpikäynti 7.4.2025  
Esityksen yleisö: Eeli Suutari-Jääskö.

Uusitalo, T. 2025 l. Yksityinen luento. 5G-järjestelmän osien läpikäynti 7.4.2025  
Esityksen yleisö: Eeli Suutari-Jääskö.

Uusitalo, T. 2025 m. Yksityinen luento. 5G-järjestelmän osien läpikäynti  
7.4.2025 Esityksen yleisö: Eeli Suutari-Jääskö.

Uusitalo, T. 2025 n. Yksityinen luento. 5G-järjestelmän osien läpikäynti 7.4.2025  
Esityksen yleisö: Eeli Suutari-Jääskö.

Uusitalo, T. 2025 o. Yksityinen luento. 5G-järjestelmän osien läpikäynti 7.4.2025  
Esityksen yleisö: Eeli Suutari-Jääskö.

Uusitalo, T. 2025 p. Yksityinen luento. 5G-järjestelmän osien läpikäynti 7.4.2025  
Esityksen yleisö: Eeli Suutari-Jääskö.

Uusitalo, T. 2025 q. Yksityinen luento. 5G-järjestelmän osien läpikäynti 7.4.2025  
Esityksen yleisö: Eeli Suutari-Jääskö.

VIAVI Solutions 2025. 5G network Slicing. Viitattu 5.5.2025 <https://www.viavi-solutions.com/en-us/5g-network-slicing>.

Volvo Cars Corporation 2023. EX30 käyttöohjeen lukeminen. 06.06.2023  
Viitattu 25.2.2025  
<https://www.volvocars.com/fi/support/car/ex30/article/653d40e95551a6d6c0a8b097525b7d36-a3f2e35bd8c1bc89c0a8cc375e7d3e38-8664b2fa77a7e089c0a8296870d1a409/>.

Wills B. 2025 How to Write a Technical Manual: Best Practices & Examples.  
ProProfs 07.05.2025. Viitattu 15.05.2025  
[https://www.proprofskb.com/blog/write-technical-manual/?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.proprofskb.com/blog/write-technical-manual/?utm_source=chatgpt.com).

**LIITE**

Liite 1. 5G järjestelmän käsikirja, poistettu julkisesta opinnäytetyöversiosta luottamuksellisuuden vuoksi