

5G:n vaikutukset laitetilaympäristöön

Riku Kärki

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2020

Tieto- ja viestintäteknikka
Tietoliikennetekniikka ja tietoverkot

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tieto- ja viestintäteknikka
Tietoliikennetekniikka ja tietoverkot

KÄRKI, RIKU:
5G:n vaikutukset laitetilaympäristöön

Opinnäytetyö 29 sivua, joista liitteitä 1 sivu
Toukokuu 2020

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli tuottaa Telialle tietoa 5G:stä yleisellä tasolla ja tutkia miten 5G tulee vaikuttamaan laitetilaympäristöön. Ensiksi työssä tuotiin esille 4G:n ja 5G:n eroavaisuuksia. Tämän jälkeen kerrottiin laiteiloihin kohdistuvasta viranomaismääräyksestä sekä arvioitiin 5G:n vaikutuksia kyseiseen määräykseen. Lopuksi vertailtiin tehonkulutusta sekä laitetilassa syntyneitä muutoksia ennen ja jälkeen 5G-asennusta.

Opinnäytetyön tuloksissa havaittiin 5G:n eroavan 4G:stä merkittävästi niin ominaisuuksiensa, useiden eri taajuusalueiden käytön kuin tehonkulutuksen puolesta. Viranomaismääräyksen osalta ei arvioitu 5G:stä johtuvan merkittäviä muutoksia nykytilaan. Laitetilan tehonkulutuksen havaittiin nousevan merkittävästi 5G-asennuksen myötä. Samalla havaittiin, kuinka olemassa olevaa voima- ja verkkolaitteistoa jouduttiin siirtämään ja osittain uusimaan 5G-asennuksen takia.

5G:n myötä neljän samanaikaisen verkkosukupolven ylläpito sekä usean operaattorin teettämät 5G-asennukset samaan laiteilaan tuovat uusia haasteita laitetilasunnitteluun. Tähän ratkaisuksi ehdotetaan yhteistyön lisäämistä operaattoreiden kesken, vanhempien verkkosukupolvien alasajoa sekä lisäämällä investointeja energiatehokkaampiin voima- ja verkkolaitteisiin.

ABSTRACT

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

KÄRKI, RIKU:
5G's Effects on Telco Equipment Facility Environment

Bachelor's thesis 29 pages, appendices 1 page
May 2020

The purpose of this thesis was to provide information to Telia about 5G networks and study 5G's effects to the telco equipment facility environment. First the thesis studied the differences of 5G and 4G networks. Next the thesis explained about equipment facility regulation and how 5G might affect it. Lastly the thesis compared the power consumption and changes made in an equipment facility before and after 5G installation.

In the results from this thesis there were statements of 5G's differences to 4G in terms of features, use of different network bands and power consumption. 5G was also found to not cause any major additions to the regulation of equipment facilities. It was also found that 5G installations increase the overall power consumption of equipment facilities significantly. The thesis also discovered that because of 5G installations, existing power and network equipment had to be relocated at the equipment facility and some equipment had to be modernized.

The findings of this thesis indicate that with 5G the simultaneous maintenance of four generations of mobile networks and multiple telco operators 5G installations bring many challenges to designing equipment facilities. The thesis suggests a solution to this is to increase co-operation between telco operators, shut down older mobile networks and increase investments to more energy efficient power and network equipment.

Key words: 5G, equipment facility

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	4G- JA 5G- VERKKOSUKUPOLVET	7
2.1	4G-verkkosukupolvi.....	7
2.1.1	Taajuudet	7
2.1.2	Tehonkulutus	8
2.2	5G-verkkosukupolvi.....	8
2.2.1	Taajuudet	11
2.2.2	Tehonkulutus	11
3	LAITETILAYMPÄRISTÖ	12
3.1	Tehonkulutus/varavoima	13
3.2	Jäähdytys/lämmitys.....	15
3.3	Laitetilan koko/sijainti/turvallisuus	15
4	LAITETILAN VERTAILU 5G-ASENNUKSEN JÄLKEEN.....	19
4.1	Yleistä	19
4.2	Laitetila ennen 5G-asennusta	19
4.3	Laitetilan muutokset 5G-asennuksen jälkeen.....	21
5	YHTEENVETO	25
	LÄHTEET.....	27
	LIITTEET	29
	Liite 1. Suuntaa antava aikataulu 5G:n vaiheittaisesta toteutumisesta Suomessa	29

LYHENTEET JA TERMIT

2G	2nd generation eli toisen sukupolven matkapuhelinverkko
3G	3rd generation eli kolmannen sukupolven matkapuhelinverkko
4G	4rd generation eli neljännen sukupolven matkapuhelinverkko
5G	5th generation eli viidennen sukupolven matkapuhelinverkko
3GPP	3rd Generation Partnership Project on standardisointiorganisaatio, joka kehittää matkapuhelinverkoissa käytettyjä protokollia
dB	Desibeli
eMBB	Enhanced Mobile Broadband
FWA	Fixed Wireless Access, langaton kiinteä laajakaista
GHz	Gigahertsi
IoT	Internet of Things, esineiden Internet
ITU	International Telecommunication Union, suomeksi kansainvälinen televiestintäliitto
LTE	Long Term Evolution, tekniikka 4G-verkkojen takana
MHz	Megahertsi
MIMO	Multiple Input Multiple Output, antennitekniikka, jolla voidaan hyödyntää useampaa kuin yhtä antennia lähettämiseen sekä vastaanottamiseen
mMTC	Massive Machine Type Communications
mmWave	Milli Meter Wavelength
NR	New Radio, tekniikka 5G-verkkojen takana
Traficom	Liikenne- ja viestintäministeriö
UE	User Equipment, päätelaite
URLLC	Ultra Reliable Low Latency Communications

1 JOHDANTO

5G-verkkojen myötä yhä enemmän yhteiskunnan ja yritysten tarvitsevat palvelut vaativat verkkojen palvelutason olevan huippuluokkaa. Tukiasemien nykyisten 2G-,3G- ja 4G-verkkojen lisäksi nyt tehtävät 5G-asennukset tuovat uuden haasteen saada pidettyä yllä kaikkia neljää verkkosukupolvea. Tässä Telia Finland Oyj:lle tehdyssä opinnäytetyössä selvitetään 5G-verkkojen vaikutuksia erityisesti laitetilaympäristössä.

Työn tavoitteena on toteuttaa Telian sisäiseen käyttöön esittelymateriaali, kuinka 5G vaikuttaa nykyiseen Telian laitetilaympäristöön. Tavoitteena oli myös käydä konkreettinen esimerkki 5G-asennuksesta, jotta kuva toimenpiteistä välittyy selvästi.

Työssä esitellään 4G- ja 5G-verkot yleisellä tasolla, käydään läpi laitetiloja koskeva viranomais määräys sekä nykyiseen 4G-laitetilaan tehty 5G-asennus. Lopuksi käydään läpi huomautukset 5G-asennuksesta sekä korjausehdotuksia tulevia 5G-asennuksia varten.

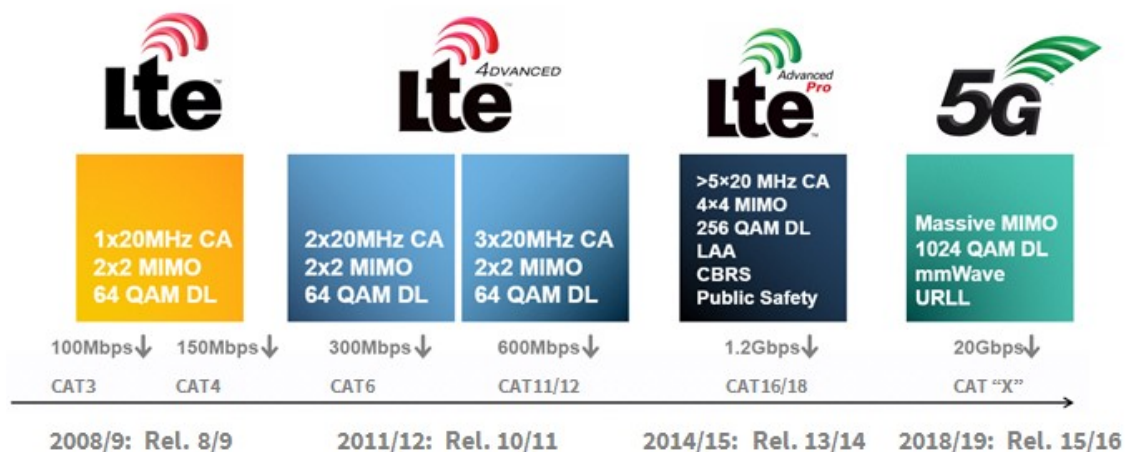
Tästä työstä on poistettu yksilöivät tekijät 5G-asennuskohteesta sekä laitetilan laitteistoista liikesalaisuuksien ja yritysturvallisuuden nimissä.

2 4G- JA 5G-VERKKOSUKUPOLVET

Tässä kappaleessa käydään yleisesti läpi 4G- ja 5G-verkkosukupolvien ominaisuudet ja taajuudet sekä tutustutaan kummankin matkapuhelinverkon tukiaseman tyypilliseen tehonkulutukseen.

2.1 4G-verkkosukupolvi

4G-verkkosukupolvesta puhuttaessa tarkoitetaan sillä Suomessa LTE-tekniologiaa (Long Term Evolution). Sen keskeisimpiä ominaisuuksia ovat nykyään jo yli 1,2 Gbps latausnopeus, MIMO-antennien tehokas hyödyntäminen sekä laaja kaistanleveys 20 MHz (kuva 1). 4G-verkot otettiin alun perin Suomessa käyttöön vuonna 2010.



KUVA 1. LTE-tekniologian kehitys (Symmetry electronics, 2018)

2.1.1 Taajuudet

Suomessa operaattoreilla on pääsääntöisesti käytössä kolme eri 4G-taajuutta: 800, 1800 sekä 2600 MHz. Vuoden 2017 alusta mukana on tullut myös 700 MHz taajuusalue. (Traficom: Matkaviestinverkkojen taajuudet ja luvanhaltijat, 2019).

2.1.2 Tehonkulutus

4G, eli LTE tukiaseman tyypillinen tehonkulutus on luokkaa 900 W. (kuva 2). Tähän arvioon vaikuttaa kuitenkin monia asioita kuten esim. tukiaseman dataliikenne ja käytössä oleva radiolaitteisto.

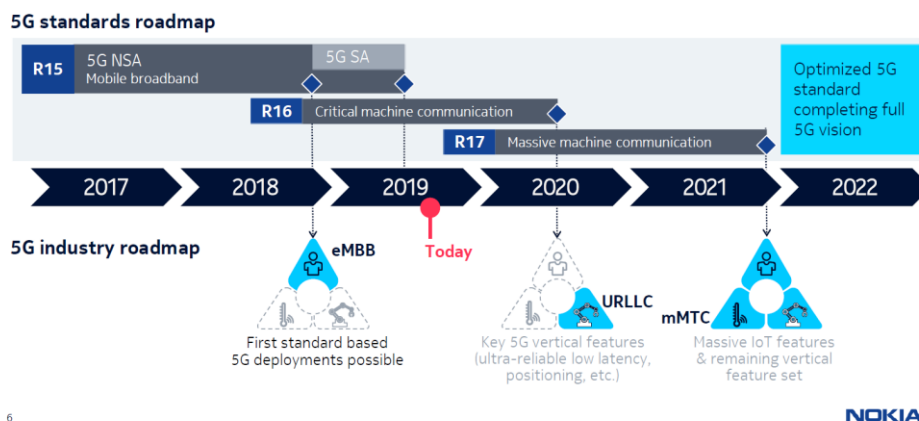
Item	Notation	Unit	LTE Base Station
Power amplifier	Transmit power, P_{Tx}^{\max}	Watt	39.8
	PA efficiency, μ	%	38.8
	$P_{PA}^{DC} = \frac{P_{Tx}^{\max}}{\mu}$	Watt	102.6
Radio-frequency	P_{RF}^{DC}	Watt	10.9
Baseband	P_{BB}^{DC}	Watt	14.8
Losses	σ_{DC}	%	6
	σ_{cool}	%	10
Total per TRX = $\frac{P_{PA}^{DC} + P_{RF}^{DC} + P_{BB}^{DC}}{(1 - \sigma_{DC})(1 - \sigma_{cool})}$		Watt	151.65
Sectors (N_{Sect})		#	3
Antennas (N_{Ant})		#	2
$N_{TRX} = N_{Sect} \times N_{Ant}$		#	6
Total number of N_{TRX} chains, $P_{op} = N_{TRX} \times \text{Total per TRX}$		Watt	909.93
Microwave link (P_{mc})		Watt	80
Lamps (P_{lm}^{AC})		Watt	40

KUVA 2. LTE-tukiaseman tehokulutusarvio (Researchgate, 2016.)

2.2 5G-verkkosukupolvi

5G-verkkosukupolvesta puhuttaessa tarkoitetaan sillä Suomessa NR-tekniologiaa (New Radio). 5G:n standardisointi on päätetty toteuttaa kahdessa vaiheessa. Ensimmäinen vaihe eli Release-15 on saatu päätökseen ja toinen vaihe Release-16 saataneen päätökseen vuoden 2020 aikana (kuva 3).

Realizing the full promise of 5G through 3GPP evolution



KUVA 3. 5G-standardisoinnin aikataulu (Putkonen, s. 6, 2019)

5G:n tekninen standardisointi on tarkoitus saattaa loppuun vuonna 2020 jolloin Release-16 saatetaan loppuun yhdessä ITU:n asettamien vaatimusten kanssa (kuva 4).

Metric	Requirement	Comments
Peak Data Rate	DL: 20 Gb/s UL: 10 Gb/s	Single eMBB mobile in ideal scenarios assuming all resources utilized
Peak Spectral Efficiency	DL: 30 b/s/Hz (assuming 8 streams) UL: 15 b/s/Hz (assuming 4 streams)	Single eMBB mobile in ideal scenarios assuming all resources utilized
User Experienced Data Rate	DL: 100 Mb/s UL: 50 Mb/s	5% CDF of the eMBB user throughput
Area Traffic Capacity	Indoor hotspot DL: 10 Mb/s/m ²	eMBB
User Plane Latency	eMBB: 4 ms URLLC: 1 ms	Single user for small IP packets, for both DL and UL (eMBB and URLLC)
Control Plane Latency	20 ms (encouraged to consider 10 ms)	Transition from Idle to Active (eMBB and URLLC)
Connection Density	1M devices per km ²	For mMTC
Reliability	99.9999% success prob.	32 L2 bytes within 1 ms at cell edge
Bandwidth	>100 MHz; up to 1 GHz in > 6 GHz	Carrier aggregation allowed

KUVA 4. ITU:n minimivaatimukset vuodelle 2020 5G:n osalta (IEEE spectrum, 2019)

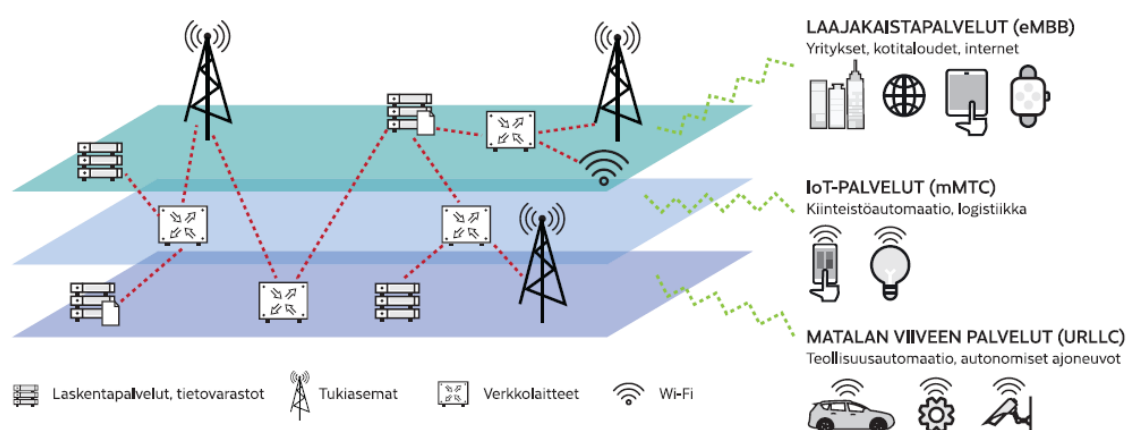
Release-15 jälkeen ero NR:n ja LTE:n välillä on kuvassa 5 esitetyn kaltainen. Merkittävimpiä eroja ovat korkeat taajuusalueet 28, 39 ja 52 GHz taajuuksilla, kaistanleveyden moninkertainen kasvu sekä kehittyneempi säteenmuodostus (beamforming), jolla antennin lähetys voidaan paremmin kohdistaa yksittäiseen laitteeseen.

	LTE	NR
Frequency of Operation	Up to 6 GHz	Up to 6 GHz, ~28 GHz, ~39 GHz, other mmWave bands (Up to 52 GHz)
Carrier Bandwidth	Max: 20 MHz	Max: 100 MHz (at <6 GHz) Max: 1 GHz (at >6 GHz)
Carrier Aggregation	Up to 32	Up to 16
Analog Beamforming (dynamic)	Not Supported	Supported
Digital Beamforming	Up to 8 Layers	Up to 12 Layers
Channel Coding	Data: Turbo Coding Control: Convolutional Coding	Data: LDPC Coding Control: Polar Coding
Subcarrier Spacing	15 kHz	15 kHz, 30 kHz, 60 kHz, 120 kHz, 240 kHz
Self-Contained Subframe	Not Supported	Can Be Implemented
Spectrum Occupancy	90% of Channel BW	Up to 98% of Channel BW

KUVA 5. Release-15:n jälkeinen tilanne LTE:n ja NR:n välillä (IEEE spectrum, 2019)

5G:n alkuvaiheessa NR kuitenkin joutuu tukeutumaan vahvasti LTE:n päälle ja on vielä ns. non-standalone (NSA) eli ei itsenäisessä-tilassa. Ensimmäisiä päätelaitteita, jotka tukevat standalone (SA) eli itsenäistä tilaa ovat tulossa vuoden 2019 lopulla (Malladi, 2019).

NR-verkon SA-vaihe mahdollistaa myös uusia palveluita verkkoviipaloinnin avulla kuten paremmat laajakaistapalvelut (eMBB), IoT-palvelut (mMTC) sekä matalan viiveenpalvelut (URLLC) kuvassa 6 esitetyllä tavalla. NSA-vaiheessa NR-verkko pystyy tuottamaan vain pääosin parempia laajakaistapalveluita (eMBB) lisääntyneen kaistan, nopeuden sekä konnektiviteetin myötä. Lisäksi ensimmäisen vaiheen NSA-verkko mahdollistaa langattoman kiinteän laajakaistan (FWA), jonka avulla on mahdollista tarjota varmistettu laajakaistayhteys NR:n avulla.



KUVA 6. Esimerkki palveluviipaloinnista ja 5G:n keskeisimmistä palveluista (Trafficom: Selvitys 5G:n kyberturvallisuudesta, s. 7, 2019)

IoT-palvelut (mMTC) tukevat käyttötapauksia, joissa on tarvetta suurelle energiantehokkuudelle, pitkälle toimintakyvylle ja jossa laitteiden määrä on todella iso. Näitä tarpeita varten mMTC:lle ollaan asettamassa vähintään 10 vuoden toiminta-aikaa paristovirralla, kantaman parannusta 20 dB:llä sekä tukea yli miljoonalle laitteelle per neliökilometri (Lu, 2019).

2.2.1 Taajuudet

5G:n yhteydessä käytetään kolmea eri taajuusaluetta: <1 GHz, 1-6 GHz sekä >6 GHz. Euroopassa ja Suomessa on päätetty käyttää taajuusalueita 700 MHz, 3,5 GHz sekä 26 GHz 5G:tä varten. Tavoitteena on, että EU:n jäsenmaissa kaikki kaupunkialueet ja liikennöintiväylät niiden välissä on katkeamattomasti katettu 5G-peitolla vuoteen 2025 mennessä (Traficom: Selvitys 5G:n kyberturvallisuudesta, s. 4, 2019, liite 1).

700 MHz:n taajuusalue on käytössä IoT-palveluissa. Matalan taajuusalueen ansiosta sen kantama on hyvin suuri ja tiedonsiirtokyky tarpeeksi nopea IoT-laitteille.

3,5 GHz:n taajuusaluetta käytetään 5G:n alkuvaiheessa mm. huippunopean langattoman laajakaistan palveluihin (eMBB).

26 GHz:n osalta käyttöoikeudet Suomessa jaetaan keväällä 2020 (Mettälä, 2019).

2.2.2 Tehonkulutus

Ensimmäisen sukupolven 5G-verkkolaitteiden keskimääräinen tehonkulutus on noin 2400 W ja huipputeho noin 3600 W (Telia Sähkökulutuslaskuri 2019). Nämä laitteet toimivat 3,5 GHz taajuusalueella. Toistaiseksi todellisia tehonkulutuslukuja on vaikea saada, koska 5G-liikenteen määrä on hyvin vähäinen vielä tässä vaiheessa. 5G-liikenteen määrä tulee kasvamaan merkittävästi, kun 5G-tukiasemien määrä kasvaa merkittävästi lähivuosien aikana.

3 LAITETILAYMPÄRISTÖ

Laitetilalla tarkoitetaan mitä tahansa kiinteistöä, joka sisältää kiinteän tai mobiili-verkon komponentteja. Laitetiloja ovat esim. kerrostalon kiinteistöjakamo, tuki-
aseman laitetila sekä aktiivikaappi. Suomessa laitetiloja koskee Traficomien mää-
räys 54 B/2014 M (jatkossa määräys 54) jossa määrätään mm. laitetilojen tär-
keysluokat, varateholähteen varmistusaika sekä laitetilojen kulunvalvonta. Näillä
näkymin 5G:n osalta määräyksen 54 ohjeistusta ollaan päivittämässä ja 5G siir-
tynee näillä näkymin akkuvarmistuksen osalta 15 min varmistuksen piiriin.

Laitetilat on aikaisemmin mainitulla määräyksellä lajiteltu viiteen eri tärkeysluok-
kaan (taulukko 1).

Taulukko 1: Tärkeysluokat

Tärkeysluokka	Viestintäverkon tai -palvelun komponentti
1	Komponentti, joka vaikuttaa viestintäpalveluihin yli 60 000 km ² alueella tai komponentti, joka vaikuttaa suuruusluokaltaan <ul style="list-style-type: none"> • $\geq 200\ 000$ käyttäjän yleiseen puhelinpalveluun tai • $\geq 200\ 000$ käyttäjän tekstiviestipalveluun tai • $\geq 200\ 000$ käyttäjän internetyhteyden palveluun tai • $\geq 500\ 000$ käyttäjän sähköpostipalveluun tai • $\geq 300\ 000$ käyttäjän joukkoviestintäpalveluun tai • $\geq 600\ 000$ käyttäjän muuhun viestintäpalveluun.
2	Komponentti, joka vaikuttaa viestintäpalveluihin yli 20 000 km ² alueella tai komponentti, joka vaikuttaa suuruusluokaltaan <ul style="list-style-type: none"> • $\geq 50\ 000$ käyttäjän yleiseen puhelinpalveluun tai • $\geq 50\ 000$ käyttäjän tekstiviestipalveluun tai • $\geq 50\ 000$ käyttäjän internetyhteyden palveluun tai • $\geq 200\ 000$ käyttäjän sähköpostipalveluun tai • $\geq 100\ 000$ käyttäjän joukkoviestintäpalveluun tai • $\geq 300\ 000$ käyttäjän muuhun viestintäpalveluun.
3	Komponentti, joka vaikuttaa <ul style="list-style-type: none"> • ≥ 1000 käyttäjän yleiseen puhelinpalveluun tai • $\geq 20\ 000$ käyttäjän yleiseen puhelinpalveluun, joka tar- jotaan internet-yhteyden palveluun päällä tai • $\geq 10\ 000$ käyttäjän tekstiviestipalveluun tai • ≥ 1200 käyttäjän internetyhteyden palveluun tai • ≥ 2500 käyttäjän internetyhteyden palveluun, joka on tuo- tettu koaksiaalikaapelipohjaisella kaapelitelesioverkol- la tai • $\geq 100\ 000$ käyttäjän sähköpostipalveluun tai • $\geq 50\ 000$ käyttäjän joukkoviestintäpalveluun tai • $\geq 100\ 000$ käyttäjän muuhun viestintäpalveluun.
4	Komponentti, joka vaikuttaa <ul style="list-style-type: none"> • ≥ 250 käyttäjän yleiseen puhelinpalveluun tai • $\geq 10\ 000$ käyttäjän yleiseen puhelinpalveluun, joka tar- jotaan internet-yhteyden palveluun päällä tai • ≥ 250 käyttäjän internetyhteyden palveluun tai • ≥ 1500 käyttäjän internetyhteyden palveluun, joka on tuo- tettu koaksiaalikaapelipohjaisella kaapelitelesioverkol- la tai • $\geq 30\ 000$ käyttäjän sähköpostipalveluun tai • $\geq 20\ 000$ käyttäjän joukkoviestintäpalveluun tai • $\geq 50\ 000$ käyttäjän muuhun viestintäpalveluun.
5	<ul style="list-style-type: none"> • Kiinteän puhelinverkon keskitin tai • kiinteän verkon internetyhteyden palveluun laajakaistakes- kitin joka palvelee yli 100 käyttäjää tai • kiinteän langattoman internetyhteyden palveluun tukias- ema tai • maanpäällisen joukkoviestintäverkon komponentti, jo- ka palvelee yli 50 kotitaloutta tai • kuitukaapelipohjaisen kaapelitelesioverkon kompo- nentti, joka palvelee yli 50 kotitaloutta tai • koaksiaalikaapelipohjaisen kaapelitelesioverkon komponentti, joka palvelee yli 4000 kotitaloutta tai • komponentti, joka vaikuttaa yleiseen puhelinpalveluun tai • komponentti, joka vaikuttaa yli 5 000 käyttäjän säh- köpostipalveluun.

TAULUKKO 1. Traficomien määrittämät laitetilojen tärkeysluokat (Traficom, Mää-
räys 54 B/2014M).

Tässä työssä tullaan keskittymään vain tärkeysluokkiin 3–5, koska näissä laitetoissa 5G-asennukset aiheuttavat eniten muutoksia laitetilaympäristöön. Tärkeysluokissa 1–2 ei nähdä isoja vaikutuksia 5G:n myötä, koska kyseiset laitetilat ovat tarkoitettu palvelemaan runkoverkkoa.

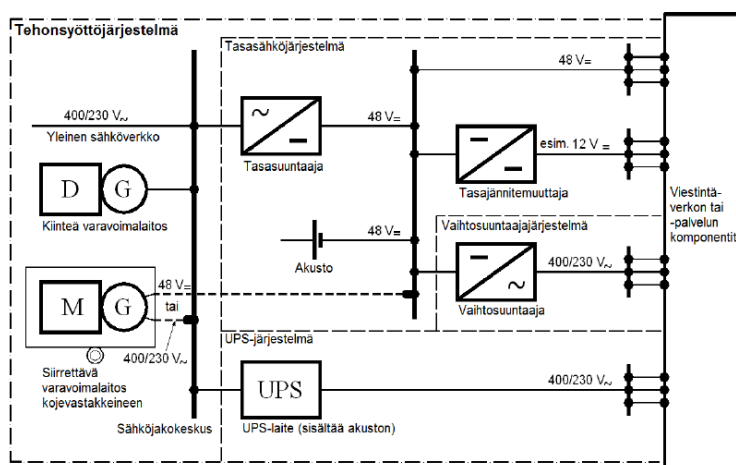
Tärkeysluokka 3:n laitetilä on esim. usean tukiasema/kiinteän verkon laitetilän koontipiste. TL 3:n laitetilä voi hoitaa pienemmillä paikkakunnilla koko kunnan/kaupungin verkkoyhteydet.

Tärkeysluokka 4:n laitetilä on esim. tukiasema, jonka kautta kulkee yhteys muille tukiasemille tai isompi kiinteän verkon laitetilä, jossa palveltavien asiakkaiden määrä tai laitteet täyttävät määräyksen 54 vaatimukset.

Tärkeysluokka 5:n laitetilä on esim. yksittäinen tukiasema tai kiinteän verkon laitetilä. Kyseessä on ei-kriittinen kohde.

3.1 Tehonkulutus/varavoima

Viestintäverkon komponentin tehonsyöttö pitää määräyksen 54 4 luvun § 8 mukaan varmistaa varateholähteellä sekä tehonsyöttölaitteiden vikojen ja yleisen sähköverkon sähkökatkosten mukaisesti. Periaatekuva tehonsyöttölaitteista ja yleisen sähköverkon liitännästä on esitelty määräyksessä 54 kuvion 1 lailla.



Kuva 1: Periaatekuva tehonsyöttöjärjestelmästä, jossa varateholähteenä on akusto ja UPS-laitte

KUVIO 1. Traficomien periaatekuva laitetilän tehonsyöttöjärjestelmästä (Traficom, Määräys 54 B/2014M).

Tällä osa-alueella on odotettavissa eniten muutoksia määräykseen 54 5G-verkkojen myötä. Todennäköisesti 5G-verkon laitetoissa tullaan käyttämään 15-min porrastetun varavoiman piiriin ja 4G-verkon laitetoissa 3 tunnin porrastettua varavoimaa (taulukko 2).

Taulukko 2: Tehonsyötön varmistaminen

Tärkeysluokka ⁸⁾	Varateholähteen varmistusaika ^{1), 2)}	Varavoimalaitos ja muut vaatimukset
1	≥ 3 tuntia ⁹⁾	Kiinteä varavoimalaitos, jonka varmistuksena on: ^{3), 9)} - kiinteän varavoimalaitoksen N+1 -varmistus tai - varateholähteen varmistusajan pidentäminen vähintään 6 tuntiin tai - käytettävissä oleva siirrettävä varavoimalaitos liitännämahdollisuuksineen
2	≥ 6 tuntia ⁴⁾	Kiinteä varavoimalaitos tai käytettävissä oleva siirrettävä varavoimalaitos liitännämahdollisuuksineen
3	≥ 12 tuntia ^{4), 5)}	Siirrettävän varavoimalaitoksen liitännämahdollisuus, jos varavoimalaitoksen käyttö on kohteessa mahdollista
4	≥ 6 tuntia ⁴⁾	Siirrettävän varavoimalaitoksen liitännämahdollisuus, jos varavoimalaitoksen käyttö on kohteessa mahdollista
5	≥ 3 tuntia ^{6), 7)}	Siirrettävän varavoimalaitoksen liitännämahdollisuus, jos varavoimalaitoksen käyttö on kohteessa mahdollista

- 1) Maanpäällisen joukkoviestintäverkon lähettimille ei vaadita varateholähdettä, jos lähettimen tehonsyöttö on varmistettu kiinteällä varavoimalaitoksella.
- 2) Viestintäverkon tai -palvelun komponentilta ei vaadita varateholähdettä, jos komponentti on sijoitettu asiakaskiinteistössä olevaan laitetilaaan ja komponentti palvelee vain kyseistä kiinteistöä.
- 3) Kiinteän varavoimalaitoksen varmistusta ei vaadita maanpäällisen joukkoviestintäverkon lähettimiltä, jos varmistusta ei ole toteutettavissa kohtuullisin kustannuksin.
- 4) Jos viestintäverkon tai -palvelun komponentti on kytketty tehonsyöttöjärjestelmään, jossa tehonsyötön varmistuksena on kiinteä varavoimalaitos, varateholähteen minimivarmistusajaksi riittää 3 tuntia.
- 5) Jos viestintäverkon tai -palvelun komponentti sijaitsee taajamassa, varateholähteen minimivarmistusajaksi riittää 6 tuntia.
- 6) Matkaviestinverkon peruspeiton tukiaseman ja sitä palvelevan siirtojärjestelmän komponentin varateholähteen varmistusajan tulee olla:
 - ≥ 4 tuntia vähintään 30 %:lla taajaman ulkopuolella sijaitsevista tukiasemista,
 - ≥ 2 tuntia, jos tukiasema on taajamassa sijaitseva kiinteistötukiasema,
 - ≥ 15 minuuttia, jos tukiasema on LTE-verkon tai mobiili-WiMAX -verkon tukiasema.
- 7) Jos laitetilaaan ei ole mahdollista päästä paikalle varateholähteen ≥ 2 - 4 tunnin minimivarmistusajassa laittilan kaukaisen sijainnin, maasto-olosuhteiden tai odotettavissa olevien keliolosuhteiden vuoksi, tulee varateholähteen minimivarmistusaika pidentää 6 tuntiin.
- 8) Tärkeysluokalla tarkoitetaan 3 §:ssä määriteltyä viestintäverkon tai -palvelun komponentin tärkeysluokkaa.
- 9) Siirtojärjestelmiin tarvittaessa sovellettava poikkeus: jos siirtojärjestelmän komponentin sijaintipaikan läheisyydessä ei ole tärkeysluokan 1 tehonsyötön varmistuksen vaatimukset täyttävää laitetilaa, sovelletaan siihen tärkeysluokan 2 mukaisia tehonsyötön varmistuksen vaatimuksia.

TAULUKKO 2. Traficom in määrittämä tehonsyötön varmistus eri tärkeysluokissa (Traficom, Määräys 54 B/2014 M).

3.2 Jäähdytys/lämmitys

Määräyksen 54 luvun 3 § 7 mukaan laittilan jäähdytystä ei tarvitse varmistaa, jos kyseessä on tärkeysluokka 3–5 laittila (Traficom, Määräys 54 B/2014 M). Näin ollen jäähdytystä/lämmitystä ei tulla tässä työssä tarkastelemaan sen enempää.

3.3 Laittilan koko/sijainti/turvallisuus

Määräyksen 54 luvun 5 § 17 mukaan laittilan on täytettävä taulukoiden 3,4, ja 5 sekä muut pykälässä esitetyt fyysisen suojaamisen vaatimukset (Traficom, Määräys 54 B/2014 M). 5G:n osalta ei ole nähtävissä muutoksia laittilojen fyysiseen suojaamisen vaatimukseen. Nykyiset suojausmääräykset ovat jo sen verta kattavia, että niiden voidaan katsoa olevan riittäviä myös 5G:n entistä kriittisemmän tietoliikenteen osalta.

Taulukko 3: Laitetilojen kulunvalvonta

Laitetilan tärkeysluokka¹⁾	Vaatimukset
1	<p>Tila on varustettava kulunvalvontajärjestelmällä, jossa kulkuoikeudet voidaan määritellä yksilöllisen sähköisen avausvälineen tarkkuudella ja jossa jokainen kulkutapahtuma rekisteröidään.</p> <p>Henkilökunnan ja alihankkijoiden tunnistettavuus on järjestettävä kuvallisella henkilökortilla tai kulkuluvalla ja virallisella henkilötodistuksella. Vierailijat on rekisteröitävä ja vierailijoiden kulku tilassa tulee olla valvottua.</p> <p>Tila on varustettava tallentavalla kameravalvontajärjestelmällä.</p> <p>Tila on varustettava automaattisella rikosilmoitusjärjestelmällä, jolla havaitaan tilan ulkopuolelta tapahtuva tunkeutuminen tilaan.</p>
2	<p>Tila on varustettava kulunvalvontajärjestelmällä, jossa kulkuoikeudet voidaan määritellä yksilöllisen sähköisen avausvälineen tarkkuudella ja jossa jokainen kulkutapahtuma rekisteröidään.</p> <p>Henkilökunnan ja alihankkijoiden tunnistettavuus on järjestettävä kuvallisella henkilökortilla tai kulkuluvalla ja virallisella henkilötodistuksella. Vierailijat on rekisteröitävä ja vierailijoiden kulku tilassa tulee olla valvottua.</p> <p>Tila on varustettava automaattisella rikosilmoitusjärjestelmällä, jolla havaitaan tilan ulkopuolelta tapahtuva tunkeutuminen tilaan.</p>
3	<p>Kaikki tilaan johtavat ovet on lukittava avaimeen perustuvalla mekaanisella tai sähkömekaanisella lukolla.</p> <p>Henkilökunnan ja alihankkijoiden tunnistettavuus on järjestettävä kuvallisella henkilökortilla tai kulkuluvalla ja virallisella henkilötodistuksella. Vierailijoiden kulku tilassa tulee olla valvottua.</p> <p>Tilaan tapahtuneesta tunkeutumisesta on järjestettävä hälytys valvontahenkilökunnalle.</p>
4 tai 5	<p>Kaikki tilaan johtavat ovet on lukittava avaimeen perustuvalla mekaanisella tai sähkömekaanisella lukolla.</p> <p>Kaappi tai kotelo, jota asiaankuulumattomat pääsevät esteettä tai ilman apuvälineitä käsittelemään, on lukittava avaimeen perustuvalla mekaanisella tai sähkömekaanisella lukolla.</p>

1) Laitetilan tärkeysluokka on määritelty 4 §:ssä.

TAULUKKO 3. Traficom in määrittämä laitetilojen kulunvalvonnan toteutus eri tärkeysluokissa (Traficom, Määräys 54 B/2014 M).

Taulukko 4: Laitetilojen rakenne

Laitetilan tärkeysluokka ¹⁾	Vaatimukset
1	<p>Laitetilan on oltava maanalainen tai ympärysrakenteeltaan vähintään S1-luokan teräsbetonisuojaan mukainen. Maanalaisen laitetilan katon ja ympärysseiniä tulee olla teräsbetonista tai vastaavasta materiaalista ja päällä olevan rakennuksen sortuman kestäviä. Kaikkien tilan rakennemateriaalien on oltava pääosin palamattomasta materiaalista.</p> <p>Tilaan johtavien ovien rakenteen, asennuksen ja lukituksen on oltava järeillä työkaluilla tapahtuvan murron kestäviä.</p> <p>Laitetilassa ei saa olla ulkoikkunoita.</p> <p>Tilojen suunnittelussa ja rakentamisessa on otettava huomioon vesivahinkojen ehkäisy. Jos tilan lattia on pohjaveden alapuolella tai vesivahinkojen mahdollisuus on muuten olemassa, tila tulee varustaa ulkopuolisesta sähkönsaannista riippumattomalla vuotovedenpoistojärjestelmällä.</p>
2	<p>Laitetilan katon, lattian ja ympärysseiniä on oltava kiviaineesta ja siten rakennettu, ettei seinäelementtejä voida kokonaisina irrottaa tilan ulkopuolelta. Kaikkien tilan rakennemateriaalien on oltava pääosin palamattomasta materiaalista.</p> <p>Tilaan johtavien ovien rakenteen, asennuksen ja lukituksen on oltava tavanomaisilla käsityökaluilla tapahtuvan murron kestäviä.</p> <p>Jos tilassa on ulkoikkunoita, niistä ei saa nähdä sisälle. Ikkuna- ja muiden aukkojen on oltava fyysisesti suojattuja. Taajama-alueiden ulkopuolella sijaitsevilla rakennuksissa, joissa ei vakituisesti työskennellä, ei saa olla laitetiloihin johtavia ulkoikkunoita.</p> <p>Tilojen suunnittelussa ja rakentamisessa on otettava huomioon vesivahinkojen ehkäisy.</p>
3	<p>Tilan katon, lattian ja seinien tulee olla betonista, tiilestä, vahvasta puuainesta tai muusta vastaavasta aineesta ja siten rakennettu, ettei seinäelementtejä voida kokonaisina irrottaa tilan ulkopuolelta.</p> <p>Tilaan johtavien ovien rakenteen, asennuksen ja lukituksen on oltava tavanomaisilla käsityökaluilla tapahtuvan murron kestäviä.</p> <p>Alle 4 m maanpinnan yläpuolella olevien laitetilojen ikkunat on oltava fyysisesti suojattuja. Lisäksi alle 4 m maanpinnan yläpuolella olevien tilojen, joista on pääsy laitetilaan, ikkunat on oltava fyysisesti suojattuja. Taajama-alueiden ulkopuolella sijaitsevilla rakennuksissa, joissa ei vakituisesti työskennellä, ei saa olla laitetiloihin johtavia ulkoikkunoita.</p> <p>Tilojen suunnittelussa ja rakentamisessa on otettava huomioon vesivahinkojen ehkäisy.</p>
4 tai 5	<p>Laitetilaan pääsy on estettävä asiaankuulumattomilta.</p> <p>Tilaan johtavien ovien rakenteen, asennuksen ja lukituksen on oltava ilman erityisiä työkaluja tapahtuvan murron kestäviä.</p> <p>Kaappi tai kotelo, jota asiaankuulumattomat pääsevät esteettä tai ilman apuvälineitä käsittelemään, on oltava ilman erityisiä työkaluja tapahtuvan murron kestäviä.</p>

1) Laitetilan tärkeysluokka on määritelty 4 §:ssä.

TAULUKKO 4. Traficom in määrittämä laitetilojen rakenteen toteutus eri tärkeysluokissa (Traficom, Määräys 54 B/2014 M).

Taulukko 5: Olosuhdehälytykset

Laitetilan tärkeysluokka ¹⁾	Vaatimukset
1 tai 2	Tila on varustettava automaattisella paloilmoitusjärjestelmällä, josta saadaan hälytys valvontahenkilöstölle. Tilan lämpötilarajojen alituksista ja ylityksistä on järjestettävä hälytykset valvontahenkilöstölle. Jos tilan lattia on pohjaveden alapuolella tai vesivahinkojen mahdollisuus on muuten olemassa, tila tulee varustaa kosteushälyttimillä, joista saadaan hälytys valvontahenkilöstölle.
3 tai 4	Tilan lämpötilarajojen alituksista ja ylityksistä on järjestettävä hälytykset valvontahenkilöstölle.

1) Laitetilan tärkeysluokka on määritelty 4 §:ssä.

TAULUKKO 5. Traficomın määrittämä laitetilöjen olosuhdehälytysten toteutus eri tärkeysluokissa (Traficom, Määräys 54 B/2014 M).

Lisäksi määräyksen 54 luvun 5 § 18 mukaan siirtoteiden on täytettävä vähintään taululukossa 6 esitetyt fyysisen suojaamisen vaatimukset. Pykälässä määrätään siirtoteiden asennus- ja kaivuutöissä tulevan noudattaa standardin SFS-EN 50174-3 vaatimuksia. Pykälässä mainitaan myös mahdollisuus liitäntäverkossa poiketa standardin vaatimista minimiasennussyvyyksistä ottaen huomioon asennusolosuhteet, kaapelin rakenne ja sen riittävä suojaus. (Traficom, Määräys 54 B/2014 M).

Taulukko 6: Siirtoteiden fyysinen suojaaminen

Siirtotie/laitetila	Vaatimukset
Kytentäpisteet, kaapelipäätteet ja kaapelijatkokset	Kytentäpiste, kaapelipääte tai -jatkos, jota asiaankuulumattomat pääsevät esteettä tai ilman apuvälineitä käsittelemään, on suojattava kotelolla. Kotelon on oltava ilman erityisiä työkaluja tapahtuvan murron kestävä ja lukittava mekaanisesti tai sähkömekaanisesti.
Kaapelikaivot	Kaapelikaivo, josta on pääsy laitetilaan, on lukittava. Kaapelikaivo, jossa on kytentäpaikkoja tai laitteita, on lukittava tai vaihtoehtoisesti kytentäpaikat ja laitteet on lukittava. Kaapelikaivosta ei saa olla päältäpäin havaittavissa sitä, kuinka tärkeitä yhteyksiä kaivossa on.
Antennimastot	Antennimastot on ympäristöolosuhteet huomioiden suojattava fyysisesti murtoa, kiipeilyä ja ilkivaltaa vastaan.
Kaapelit	Laitetilöjen ulkopuolella helposti käsiteltävissä ja näkyvissä olevat kaapelit on suojattava; tämä ei kuitenkaan koske antennimastöjen kaapeleita.

TAULUKKO 6. Traficomın määrittämä laitetilöjen siirtoteiden fyysisen suojaamisen vaatimukset (Traficom, Määräys 54 B/2014 M).

4 LAITETILAN VERTAILU 5G-ASENNUKSEN JÄLKEEN

Tässä kappaleessa käydään läpi Telian laitetilaa tehty 5G-asennus ja vertailaan sen vaikutuksia laitetilaympäristön ja tehonkulutuksen osalta.

4.1 Yleistä

Esimerkiksi tähän työhön 5G:n vaikutuksista laitetilaympäristöön valittiin yksi ensimmäisistä Telian valmistuneista 5G-asennuksista. Kohteessa on Telian lisäksi vuokralla kaksi muuta operaattoria. Tämä on hyvin yleinen käytäntö laitetiloissa.

Työn tilaajan toiveesta ei tässä työssä käydä läpi yksilöiviä tietoja kyseistä kohteesta liikesalaisuuksien ja yritysturvallisuuden säilyttämiseksi.

4.2 Laitetila ennen 5G-asennusta

Laitetilassa oli ennen 5G-asennusta asennettu jo valmiina 2G-, 3G- ja 4G-verkko-laitteita. Laitetilassa oli käytössä ainoastaan kellarikerroksen puhelinvaihdetuone (kuva 7).



KUVA 7. Laitetilan kellarikerroksen puhelinvaihdetuone ennen 5G-asennusta (Telia, kuvia 5G-asennuksesta 2019)

Laitetilan kellarikerroksen puhelinvaihtehuoneen keskimääräinen tehonkulutus ennen 5G-asennusta oli noin 1200 W (kuva 8).

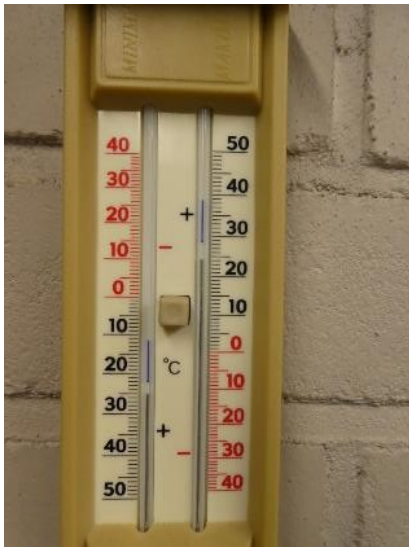


KUVA 8. Laitetilan kellarikerroksen puhelinvaihtehuoneen tehonkulutuslukema ennen 5G-asennusta (Telia, kuvia 5G-asennuksesta 2019)

Kellarikerroksen laitetilassa ei ollut erillistä ilmanvaihtoa. Ilmanvaihto oli toteutettu kiinteistön ilmanvaihtokanavaa käyttäen (kuva 9). Lämpötila laitetilassa oli noin 24 °C (kuva 10).



KUVA 9. Laitetilan kellarikerroksen puhelinvaihtehuoneen ilmanvaihto laitetilassa (Telia, kuvia 5G-asennuksesta 2019)



KUVA 10. Laitetilan kellarikerroksen puhelinvaihtehuoneen lämpömittarin lukema (Telia, kuvia 5G-asennuksesta 2019)

4.3 Laitetilan muutokset 5G-asennuksen jälkeen

Laitetilan kellarikerroksen puhelinvaihtehuoneessa korvattiin 5G-asennuksen yhteydessä vanha voimalaite uudella sekä mitoitettiin akuston koko pudonneen tehonkulutuksen mukaiseksi. Jäähdytysratkaisu pysyi samana (kuva 11).



KUVA 11. Laitetilan kellarikerroksen puhelinvaihtuhuone 5G-asennuksen jälkeen (Telia, kuvia 5G-asennuksesta 2019)

Laitetilan kellarikerroksen puhelinvaihtehuoneen tehonkulutus oli noin 800 W 5G-asennuksen jälkeen (kuva 12).



KUVA 12. Laitetilan kellarikerroksen puhelinvaihtehuoneen tehonkulutuslukema 5G-asennuksen jälkeen (Telia, kuvia 5G-asennuksesta 2019)

5G-asennuksen yhteydessä kohteeseen tehtiin myös radioyksiköiden siirto ulos katolle (kuva 13).



KUVA 13. Radioyksiköt laitetilan katolla 5G-asennuksen jälkeen (Telia, kuvia 5G-asennuksesta 2019)

Laitetilaan lisättiin myös uuteen paikkaan ylös IV-huoneeseen voimalaite ja akusto katolle siirrettyjä radioyksiköitä varten (kuva 14,15).

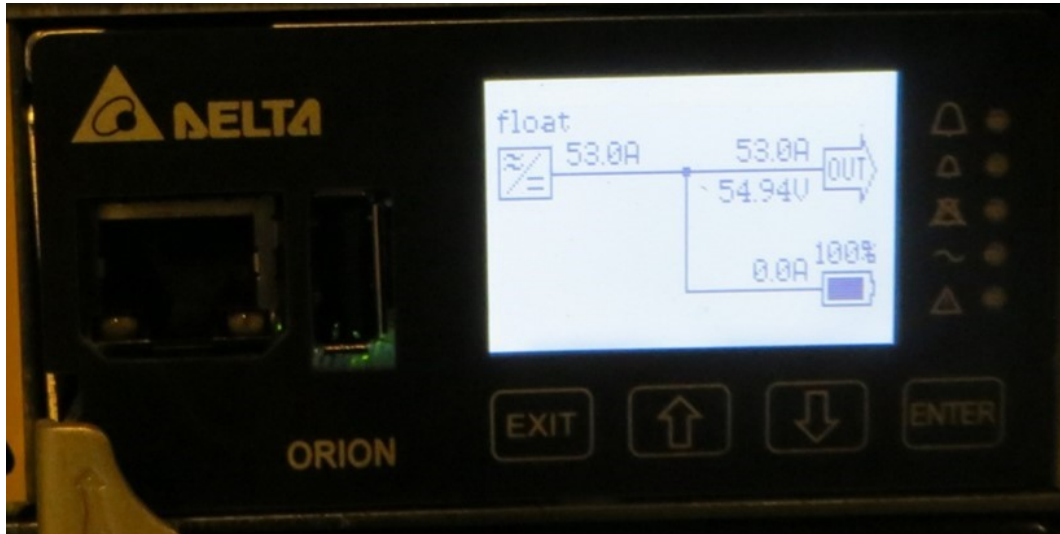


KUVA 14. Laitetilan yläkerran IV-huone ennen 5G-asennusta (Telia, kuvia 5G-asennuksesta 2019)



KUVA 15. Laitetilan yläkerran IV-huone 5G-asennuksen jälkeen (Telia, kuvia 5G-asennuksesta 2019)

Laitetilan yläkerran IV-huoneen tehonkulutus oli 5G-asennuksen jälkeen noin 2900 W:in edestä (kuva 16).



KUVA 16. Yläkerran IV-huoneen laitetilan tehonkulutuslukema 5G-asennuksen jälkeen (Telia, kuvia 5G-asennuksesta 2019)

5G-asennuksen jälkeinen tehonkulutus oli keskimäärin kellarikerroksen puhelin-vaihdehuoneessa noin 800W ja yläkerran IV-huoneessa noin 2900 W. Näin ollen 5G-asennuksen jälkeinen tehonkulutus koko laitetilassa oli keskimäärin noin 3700 W. 5G-asennuksen aiheuttama keskimääräinen tehonkulutuksen kasvu oli siis (3700 W – 1200 W) yhteensä 2500 W.

5 YHTEENVETO

5G:n tuomat uudet teknologiset edistysaskeleet mahdollistavat monia uusia palveluita operaattoreille tarjottavaksi, joita ei aikaisemmin ole ollut tarjolla. Näistä tärkeimpinä voi pitää verkkoviipalointia (network slicing) sekä sen mahdollistavat IoT-palvelut (mMTC) sekä matalan viiveen palvelut (URLLC). Alkuvaiheessa nämä uudet palvelut vaativat vielä toimiakseen SA-tuen (stand alone) jonka yleistyminen vie vielä vuosia. Tämä vaatii tukea niin operaattoreiden verkkolaitteiden kuin käyttäjien päätelaitetasolla (UE).

Viranomaismääräysten puolella ei ole nähtävissä isoja muutoksia 5G:n myötä. Varateholähteen varmistusajan suhteen tullaan todennäköisesti toimimaan samanlailla kuten 4G:n osalta, eli 5G:lle lasketaan ainoastaan 15 minuutin varmistusaika alkuvaiheessa. Kun 5G-verkot alkavat yleistymään ja niille asetetut väestöpeittoalueet tulevat täyttymään, voidaan varateholähteen varmistusaikaa nostaa ylemmäksi. Muilta osin määräykset pysyvät todennäköisesti samansuuntaisina, kunnes 26 GHz millimetriaaltotaajuudet tulevat käyttöön. Tämän myötä on mahdollista nähdä kokonaan uudenlaisia tukiasemia/laitetiloja joita voidaan sijoittaa esim. valopylväisiin tai kaivonkansien alle paremman kantavuuden vuoksi. Tällöin myös viranomaismääräysten muuttaminen voi tulla tarpeen.

Laitetilojen 5G-asennuksissa huomioonotettavia asioita on enemmän kuin aikaisemmissa verkkosukupolvien asennuksissa. 5G:n myötä ollaan tilanteessa, jossa yhdessä laitetilassa voi olla neljää eri verkkosukupolven laitetta samaan aikaan käytössä (2G, 3G, 4G ja 5G). Tämä asettaa haasteita niin verkko-, sähkö- sekä jäähdytysuunnittelun osalta. Suurin osa laitetiloista sijaitsee vuokratiloissa, jolloin operaattoreiden mahdollisuus vaikuttaa esim. laitetilän sähköliittymän kokoon sekä riittävään jäähdytykseen on rajallinen. Ensimmäisen sukupolven 5G-verkkolaitteiden tuoma tehonkulutus laitetilaan on riippuen laitekonfiguraatiosta ja valmistajasta useita kilowatteja. Kun ottaa huomioon, että lähes kaikissa laitetiloissa on ns. vastuuoperaattorin lisäksi myös muita operaattoreita vuokralla, kasvaa 5G-verkkolaitteiden tuoma tehonkulutus entisestään uusiin mittoihin.

Laittilojen sähkö ja jäähdytyskapasiteettia joudutaan monissa kohteissa lisäämään merkittävästi 5G:n tuoman tehonkulutuksen myötä. Tämä aiheuttaa operaattoreille kustannusten nousua. Laajempaa yhteistyötä tekemällä niin operaattoreiden kesken kuin laitteilojen vuokranantajien kanssa saadaan kuluja optimoitua paremmin. Lisäksi lisääntynyt laitteilojen sähkö- ja jäähdytyskapasiteetti tulee myös lähivuosina kasvamaan verkkoliikenteen kasvun myötä. Konkreettinen keino vähentää laitteilojen tehonkulutusta on ajaa aikaisemman sukupolven verkkoja alas sitä myötä, kun niiden tarve vähenee. Näin saadaan myös aikaisempien verkkosukupolvien taajuuksia uudelleen hyötykäytettyä ja tehostettua rajallista radiotaajuusspektriä. Lisäksi investoimalla lisää energiatehokkaampiin voima- ja verkkolaitteisiin saadaan laitteilojen tehonkulutusta pitkällä aikavälillä laskettua.

LÄHTEET

IEEE. 2019. 3GPP Release 15 Overview. Luettu 4.12.2019.

<https://spectrum.ieee.org/telecom/wireless/3gpp-release-15-overview>

Putkonen, J. 2019. 5G for Future Industrial Internet.

Luento. 5G Momentum verkostoitumistilaisuus 6.11.2019. Helsinki. Luettu 8.12.2019

https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Putkonen%20Jyri_5GMomentum_5GIIoT_JPutkonen_20191029.pdf

Telia. Kuvia 5G-asennuksesta. 2019. Telian sisäinen lähde.

Telia. Sähkölaskuri. 2019. Telian sisäinen lähde.

Traficom. 2014. Määräys viestintäverkkojen ja -palvelujen varmistamisesta sekä viestintäverkkojen synkronoinnista (Viestintävirasto 54 B/2014 M). Luettu 18.7.2019.

<https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/495001/42160>

Traficom. 2019. Selvitys 5G:n kyberturvallisuudesta, Luettu 8.8.2019.

<https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Selvitys%205Gn%20kyberturvallisuudesta%20yhteenveto.pdf>

Traficom. 2019. Matkaviestinverkkojen taajuudet ja luvanhaltijat, Luettu 22.11.2019.

<https://www.traficom.fi/fi/viestinta/viestintaverkot/matkaviestinverkkojen-taajuudet-ja-luvanhaltijat>

Lu, S. 2019. IoT-yhteydet 5G-aikakaudella. Luettu 13.12.2019.

<http://etn.fi/index.php/13-news/9459-iot-yhteydet-5g-aikakaudella>

Mettälä, M. 2019. Tietoliikenne-ratkaisujen nykytila ja tulevaisuuden 5G-näkymät.

Traficom. Luettu 25.11.2019 https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Mett%C3%A4l%C3%A4%20Markus_Alustus%20tietoliikenne-ratkaisujen%20nykytilasta%20ja%20tulevaisuuden%20n%C3%A4ky-mist%C3%A4%20.pdf

Malladi, D. 2019. Key breakthroughs to drive a fast and smooth transition to 5G standalone. Qualcomm. Luettu 20.11.2019.

<https://www.qualcomm.com/news/onq/2019/08/19/key-breakthroughs-drive-fast-and-smooth-transition-5g-standalone>

Reserachgate. 2016. Optimal Solar Power System for Remote Telecommunication Base Stations: A Case Study Based on the Characteristics of South Korea's Solar Radiation Exposure - Scientific Figure on ResearchGate. Table 1 . Details of the power consumption for an LTE-macro base station [21,22]. Luettu 1.12.2019

https://www.researchgate.net/figure/Details-of-the-power-consumption-for-an-LTE-macro-base-station-21-22_tbl1_308186167

Symmetry electronics. 2018.From Digi: "How to Pick the Right 4G LTE Technology for Your Business Needs and Applications". Luettu 12.11.2019.
<https://www.semiconductorstore.com/blog/2018/From-Digi-How-to-Pick-the-Right-4G-LTE-Technology-for-Your-Business-Needs-and-Applications/3442/>

LIITTEET

Liite 1. Suuntaa antava aikataulu 5G:n vaiheittaisesta toteutumisesta Suomessa

	2018	2019	2020	2021 >
Teknologian standardisointi	Ensimmäinen vaihe valmis (Release 15, entistä nopeampi laajakaista eMBB)	Toinen vaihe valmis (Release 16, uudet toiminnallisuudet mm. URLLC, mMTC)	5G:n tekniset määrittäykset valmistuvat	5G:n kehitystyö jatkuu
5G:n taajuudet Suomessa	3,5 GHz taajuusalueen huutokauppa	3,5 GHz taajuusalueen toimilupakausi alkaa Korkeampien taajuusalueiden kansainväliset taajuuspäätökset WRC-19:ssä lokakuussa	26 GHz taajuusalueen käyttöoikeuksien myöntäminen alkaa	Muita korkeita millimetrialueen taajuuksia otetaan 5G-käyttöön
Kaupalliset toteutukset Suomessa	Esikaupallisia testiverkkoja valmiina	Ensimmäiset 3,5 GHz -toteutukset hyödyntäen LTE:n verkkoälyä Päätelaitteita alkaa olla saatavilla	Todennäköisesti ensimmäiset 26 GHz - toteutukset Päätelaitesaataavuus paranee	Innovatiiviset 5G-palvelut, jotka hyödyntävät uutta verkkoarkkitehtuuria, viipalointia ja reunalaskentaa
EU:n 5G-tavoitteet	Jäsenmaissa on ensimmäisiä esikaupallisia verkkoja		Jäsenmaissa on vähintään yksi kaupunki, jossa rakennettu täysin kaupallinen 5G-verkko	Jäsenmaissa on kaikki kaupunkialueet ja niiden väliset liikennöintiväylät katettu katkeamattomalla 5G-peitolla vuoteen 2025 mennessä