

LUT-YLIOPISTO
LUT School of Energy Systems
LUT Kone
BK10A0402 Kandidaatintyö

LANGATTOMAN MESH-VERKKOTEKNIIKAN HYÖDYNTÄMINEN KUNNON-
VALVONNASSA

UTILIZATION OF WIRELESS MESH-NETWORK TECHNOLOGY IN CONDITION
MONITORING

Lappeenrannassa 9.4.2020

Matias Soini

Tarkastaja Dos. Tapio Saarelainen

Ohjaaja Dos. Tapio Saarelainen

TIIVISTELMÄ

LUT-Yliopisto

LUT Energiajärjestelmät

LUT Kone

Matias Soini

LANGATTOMAN MESH-VERKKOTEKNIIKAN HYÖDYNTÄMINEN KUNNON- VALVONNASSA

Kandidaatintyö

Työn valmistumisvuosi 2020

59 sivua ja 72 kuvaa

Tarkastaja: Dos. Tapio Saarelainen

Ohjaaja: Dos. Tapio Saarelainen

Hakusanat: Mesh-verkko, Online-kunnonvalvonta, Langaton kunnonvalvonta

Kunnonvalvonnan avulla on mahdollista pienentää laitosten kunnossapidon kustannuksia merkittävästi, sillä kunnonvalvonnan avulla hajoavat osat voidaan vaihtaa ennakoidusti, jolloin tuotannaikaisen laiterikon riski pienenee. Kunnonvalvontaan soveltuvat laitteet ovat kuitenkin kalliita asentaa asennukseen vaadittavan työmäärän vuoksi. Tämän vuoksi monet pienet ja keskisuuret teollisuuden yritykset eivät ole voineet hankkia kunnonvalvontaan soveltuvia laitteita. Langattoman kunnonvalvonnan avulla voidaan kunnonvalvontaa hyödyntää myös pienemmissä teollisuuden laitoksissa.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää langattoman mesh-verkkotekniikan toimintaa laitteiden kunnonvalvonnassa. Tutkimuksessa käsitellään verkon toimintaa erilaisissa teollisuuslaitoksissa esiintyvissä olosuhteissa. Verkon toimintaa arvioidaan erilaisten verkon parametrien avulla.

Langattoman verkkotekniikan muuttuessa nopeammaksi ja kustannustehokkaammaksi on todennäköistä, että tulevaisuudessa yhä useampi teollisuudessa käytetty järjestelmä siirtyy käyttämään langatonta verkkotekniikkaa. Langaton verkkotekniikka tuo teollisuuteen monia kaivattuja ominaisuuksia, kuten pienet asennuskustannukset sekä laitteiston helppo muunneltavuus.

ABSTRACT

LUT University

LUT School of Energy Systems

LUT Mechanical Engineering

Matias Soini

UTILIZATION OF WIRELESS MESH-NETWORK TECHNOLOGY IN CONDITION MONITORING

Bachelor's thesis

Year of completion of the thesis 2020

59 pages and 72 figures

Examiner: AP (Tech.) Tapio Saarelainen

Supervisor: AP (Tech.) Tapio Saarelainen

Keywords: Mesh network, Online condition monitoring, Wireless condition monitoring

Condition monitoring makes it possible to significantly reduce maintenance costs of industry facilities. With condition monitoring it is possible to predict when components are going to fail, thus making it possible to change those components in advance, reducing risk of component failures during production. However, equipment used in condition monitoring are generally expensive to install. Because of that, most small and medium sized industry facilities are not able to buy equipment used in condition monitoring. Wireless network technology enables those facilities to utilize condition monitoring more.

This thesis concentrates on studying the usage of wireless mesh network technology in condition monitoring. Thesis studies operation of wireless mesh network in different conditions generally found in industry facilities. Wireless network's operation is estimated utilizing different parameters of the network.

While wireless network technology is becoming faster and more affordable, it is likely that more and more systems used in industry will use wireless network technology in the future. Wireless network technology brings many longed-for features to industry facilities, such as small installation costs and easy adaptability of the system.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
SISÄLLYSLUETTELO	4
SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO	6
1. JOHDANTO	7
1.1. Tutkimusongelman tausta	7
1.2. Tavoitteet ja tutkimusmenetelmät	7
1.3. Hypoteesi	8
2. TUTKIMUSMENETELMÄT	9
2.1. Käytännön mittaus- ja koejärjestelyt	9
2.2. Tilastollinen analyysi	11
3. TULOKSET JA ANALYYSI	12
3.1. Laadullisten menetelmien avulla tuotettu tieto.....	12
3.1.1. Testiverkko I.....	12
3.1.1.1. Rakennus B24	12
3.1.1.2. Rakennus B26	15
3.1.1.3. Rakennus B42	17
3.1.1.4. Rakennus B44	20
3.1.1.5. Gateway-laite B44_1	20
3.1.1.6. Gateway-laite B44_2	22
3.1.2. Testiverkko II.....	25
3.1.3. Rakennus 5.....	25
3.1.4. Rakennus 6.....	27
3.1.4.1. Kerros 1.....	27
3.1.4.2. Kerros 2.....	30
3.1.4.3. Kellarikerros	32
3.1.5. Rakennus 7.....	34
3.1.5.1. Kerros 1.....	35

3.1.5.2. Kerros 2.....	39
3.1.6. Rakennus 9.....	42
3.1.6.1. Kerros 1.....	42
3.1.6.2. Kerros 2.....	47
3.2. Testiverkon I mittaukset gateway-laitteiden ohjelmistopäivityksen jälkeen.....	52
3.3. Tulosten analysointi.....	55
4. POHDINTA.....	57
LÄHTEET	59

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

MANET	Mobile ad-hoc Network, eli tiettyä tarkoitusta varten muodostettu langaton verkko
WMN	Wireless Mesh Network, eli langaton mesh-verkko

1. JOHDANTO

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää langattoman mesh-verkon käytön mahdollisuudet langattoman kunnonvalvonnan luomisessa teollisuuslaitokseen. Wang, Xie ja Agrawal kuvailevat mesh-verkkoa seuraavasti, ”Langaton mesh-verkko (WMN) [WMN eli langaton mesh-verkko] on tietyn tyyppinen tätä varten suunniteltu liikuteltava verkko (MANET) [MANET eli tiettyä tarkoitusta varten muodostettu langaton verkko], joka tähtää tarjoamaan kaikkialla saatavilla olevan korkean kaistanleveyden yhteyden suurelle määrälle käyttäjiä.” (Wang, J., Xie, B. & Agrawal, D.P. 2009, s. 1)

1.1. Tutkimusongelman tausta

Tutkittava aihe sai alkunsa teollisuuden yritysten tarpeesta suorittaa kunnonvalvontaa erilaisille laitteille kustannustehokkaasti. Tutkimusongelmana on selvittää langattoman verkkotekniikan hyödynnettävyys teollisessa mittakaavassa kunnonvalvonnassa. Nykyisin käytössä olevat kunnonvalvontalaitteet ovat varmatoimisia, mutta kalliita asennettavia, joten niitä ei ole voitu käyttää pienten laitteiden kunnonvalvontaan.

1.2. Tavoitteet ja tutkimusmenetelmät

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää verkon toimintavarmuus teollisessa ympäristössä. Tutkimuksessa pyritään selvittämään erityisesti verkkotekniikan asettamat rajoitukset gateway-laitteiden sijoittelun suhteen. Tutkimus rajataan koskemaan vain mesh-verkossa olevia gateway-laitteita mesh-verkkoon liittyneiden antureiden suuren lukumäärän vuoksi. Tutkimuksessa ei tarkastella verkkoon liitettyjen antureiden ja gateway-laitteiden välistä tiedonsiirtoa.

Tutkimusta tehdessä luotiin kaksi eri verkkoa, joista toinen sijaitsee Suomessa ja toinen Saksassa. Verkkojen toimintaa tarkastellaan käyttäen mesh-teknologiatoimittajan luomaa diagnostiikkaohjelmaa, josta nähdään molempien verkkojen parametreja. Verkon eri parametrien

avulla voidaan päätellä verkon toimintaa. Verkon parametrejä tarkastellaan koko tarkastelujakson ajalta, jolloin verkossa mahdollisesti tapahtuneet muutokset voidaan huomata paremmin.

1.3. Hypoteesi

Verkkotekniikkaa on testattu erilaisissa sovelluksissa jo aiemmin, joten todennäköisesti verkko toimii myös teollisuuslaitoksissa. Teollisuuslaitoksissa on kuitenkin huomattavasti enemmän esteitä verkon muodostumiselle, joten verkon kantomatka voi jäädä pienemmäksi, kuin muissa sovelluskohteissa. Toisaalta teollisessa ympäristössä voi olla paljon antureita, jotka mahdollistavat gateway-laitteen sijoittamisen vapaammin kuin muissa sovelluksissa.

2. TUTKIMUSMETODIT

Tutkimuksessa käytetään laadullisia tutkimusmetodeja verkon toiminnan selvittämiseksi. Laadullisten metodien avulla saadaan kuvattua verkon toimintaa tarkasti. Laadullisessa tutkimuksessa käytetään hyväksi diagnostiikkaohjelmaa ja sieltä nähtäviä verkon parametreja. Verkosta tarkkailtavia parametreja ovat epäonnistuneiden verkkopakettien lähetysten määrä, yhteydessä olevien reitittimien määrä ja lähetyksen aikaikkunan käyttö. Verkossa olevien laitteiden määrän vuoksi jokaisen laitteen tarkasteleminen erikseen ei ole mahdollista, joten laadullisia metodeja sovelletaan vain verkossa toimivien gateway-laitteiden tutkimiseen.

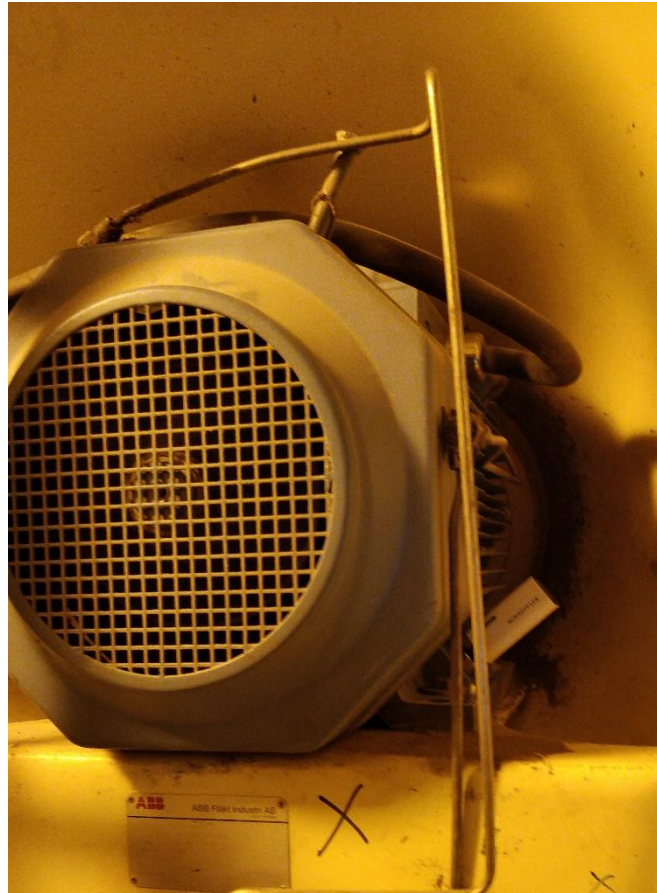
2.1. Käytännön mittaus- ja koejärjestelyt

Mittauksia varten on luotu kaksi eri verkkoa, joista toinen sijaitsee Saksassa ja toinen Suomessa. Saksassa sijaitsevassa pienemmässä verkossa on yhdistettynä kuusi gateway-laitetta ja 71 anturia. Anturit ja gateway-laitteet ovat sijoitettuna viiteen eri rakennukseen. Verkossa olevia antureita on asennettu mahdollisimman haasteellisiin paikkoihin, kuten metallisten ilmastointikanavien sisään ja maan alle. Kuvassa 1 on esimerkki maan alapuolella sijaitsevasta puhaltimesta, johon on asennettu kaksi anturia.



Kuva 1. Antureita asennettuna maan alaiseen puhaltimeen.

Suomessa sijaitsevaan testiverkkoon on puolestaan asennettu yhteensä 12 gateway-laitetta ja 272 värähtelyanturia. Anturit ja gateway-laitteet on asennettu yhteensä yhdeksään eri rakennukseen. Testiverkossa olevat anturit ovat asennettu verkon toiminnan kannalta parempiin olosuhteisiin, kuin Saksan testiverkossa olevat anturit. Tämän testiverkon avulla voidaankin tutkia paremmin suuren verkon toimintaa, kun antureita on paljon yhdistettynä yhteen gateway-laitteeseen. Testiverkossa on huomattavan paljon enemmän laitteita jokaista gateway-laitetta kohden, kuin Saksan testiverkossa. Esimerkiksi puhallinkuivattimessa on yhteensä 102 anturia yhdistettynä kahteen gateway-laitteeseen. Kuvassa 2 on värähtelyanturi kiinnitettynä yhteen puhallinkuivattimen moottoreista.



Kuva 2. Värähtelyanturi puhallinkuivattimen moottorissa.

2.2. Tilastollinen analyysi

Verkon toimintaa analysoidaan käyttäen avuksi tilastoista muodostettuja kaavioita. Verkon toiminnasta saadaan hyvä käsitys tarkkailemalla analyttisesti eri parametrien tilastollisia muutoksia. Tilastoja analysoidaan yksitellen jokaisen laitteen osalta, jolloin jokaista eri laitetta voidaan analysoida sekä itsenäisenä laitteena, että osana suurempaa verkkoa.

3. TULOKSET JA ANALYSOINTI

Tässä kappaleessa esitellään testiverkoista saatuja tuloksia ja analysoidaan niitä. Testiverkoista I ja II on kerätty dataa kuukauden ajalta, jonka lisäksi testiverkosta I on kerätty vertailudataa testiverkkoihin suoritetun ohjelmistopäivityksen jälkeen.

3.1. Laadullisten metodien avulla tuotettu tieto

Kaikki tutkimuksessa käytetyt tulokset on saatu käyttäen apuna laadullisten metodien avulla tuotettua tietoa. Tuloksissa on eriteltyä eri verkoista saadut tulokset. Saksassa sijaitseva testiverkosta, jatkossa testiverkko I, saadut arvot ovat esitetty ensimmäisenä. Suomessa sijaitseva testiverkosta, jatkossa testiverkko II, saadut arvot ovat esitetty toisena. Tuotettu tieto on esitetty käyttäen apuna diagnostiikkaohjelmasta saatuja kuvaajia.

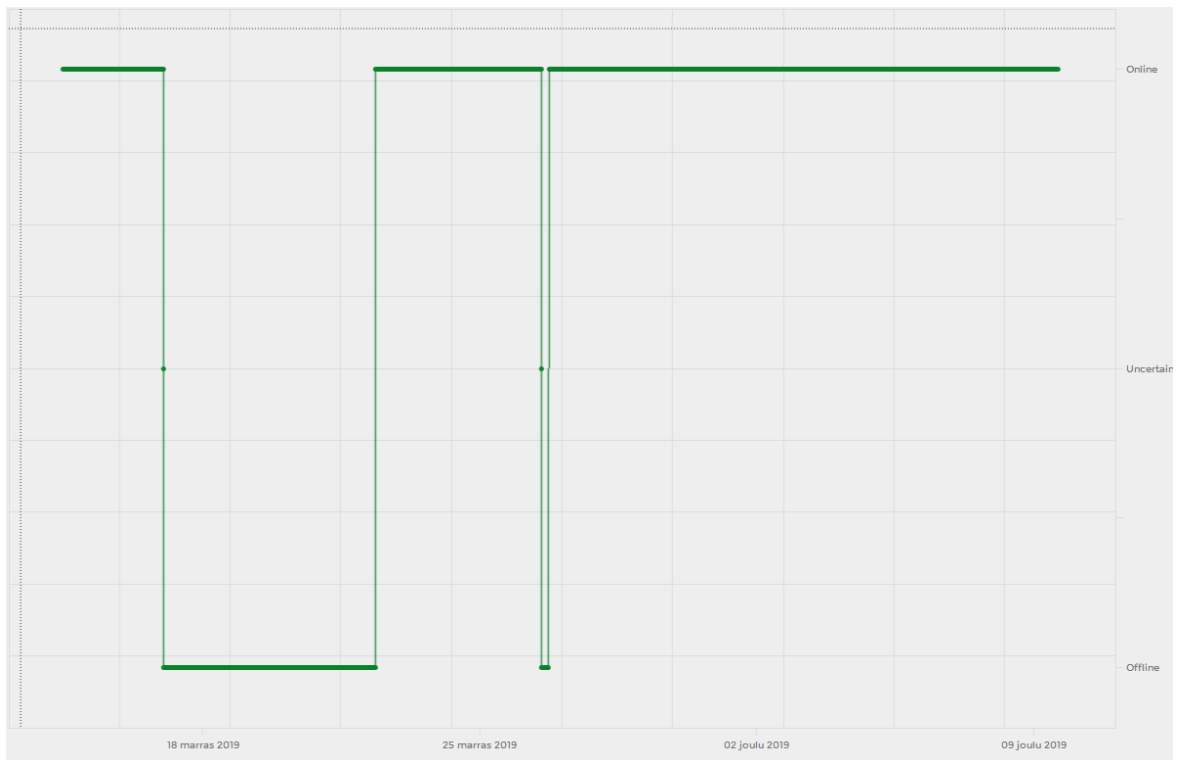
3.1.1. Testiverkko I

Testiverkkoon I kuuluu yhteensä viisi gateway-laitetta. Gateway-laitteet sijaitsevat neljässä eri rakennuksessa.

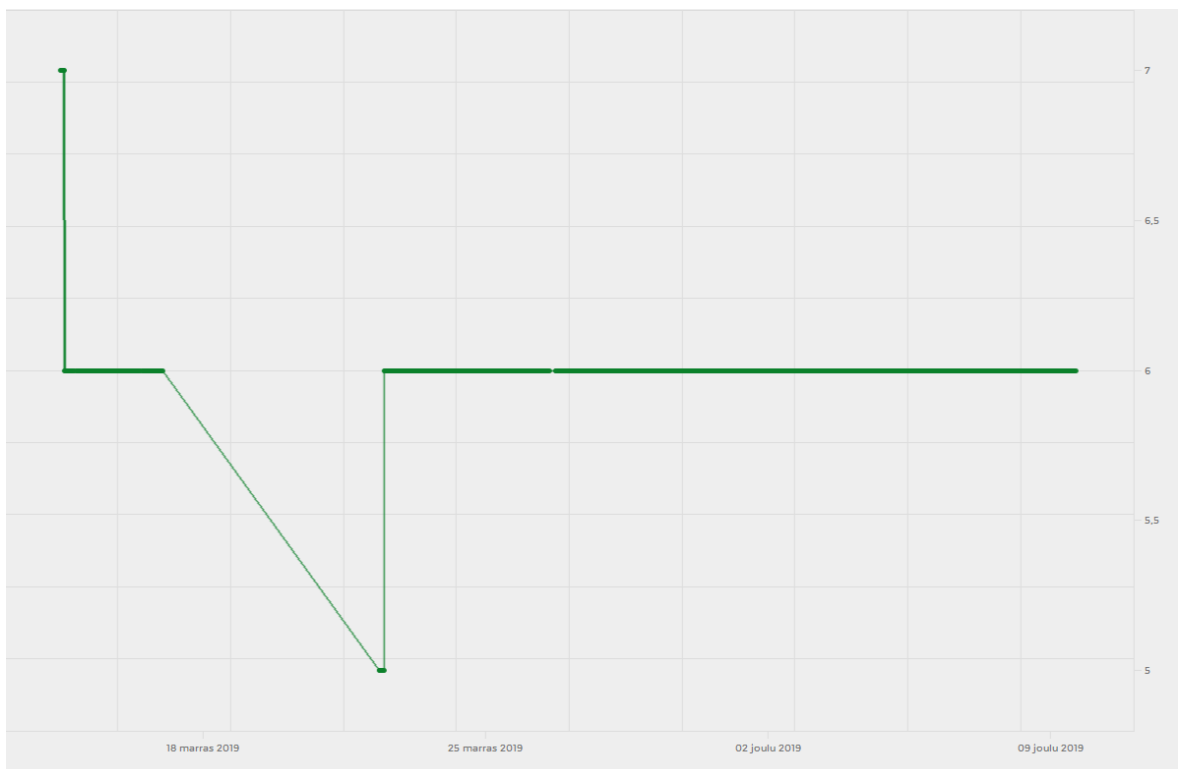
3.1.1.1. Rakennus B24

Rakennuksessa B24 on asennettuna yksi gateway-laite, johon on kytkettynä yhteensä yhdeksän anturia. Kuva 3 esittää gateway-laitteen online-statusta, kuva 4 gateway-laitteeseen liitetyneiden anturien lukumäärää, kuva 5 gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärää ja kuva 6 gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvoa.

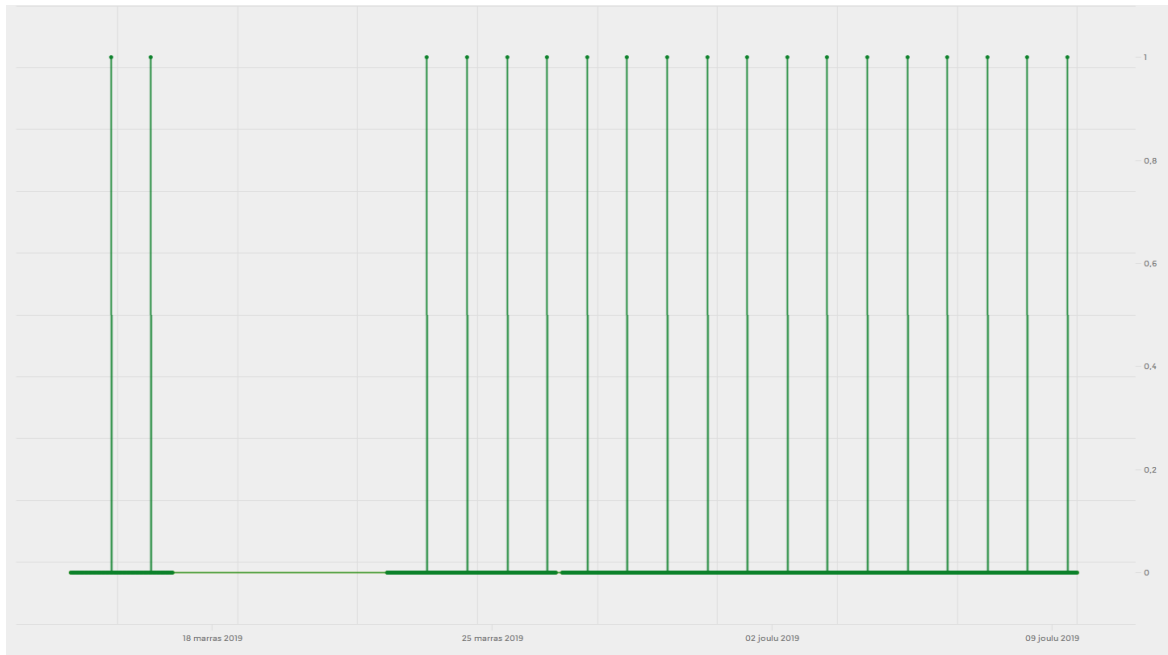
Kuvasta 3 nähdään, että laite on ollut yhteydessä verkkoon suurimman osan mittausjaksosta. Kuvasta 4 nähdään, että laitteeseen yhteydessä olleiden anturien määrä on laskenut yhdellä, mutta palannut takaisin kuuteen anturiin laitteen yhdistyessä takaisin verkkoon. Kuvissa 5 ja 6 näkyy piikit tasan vuorokauden välein, jolloin gateway-laite lähettää suurimmat datapaketit.



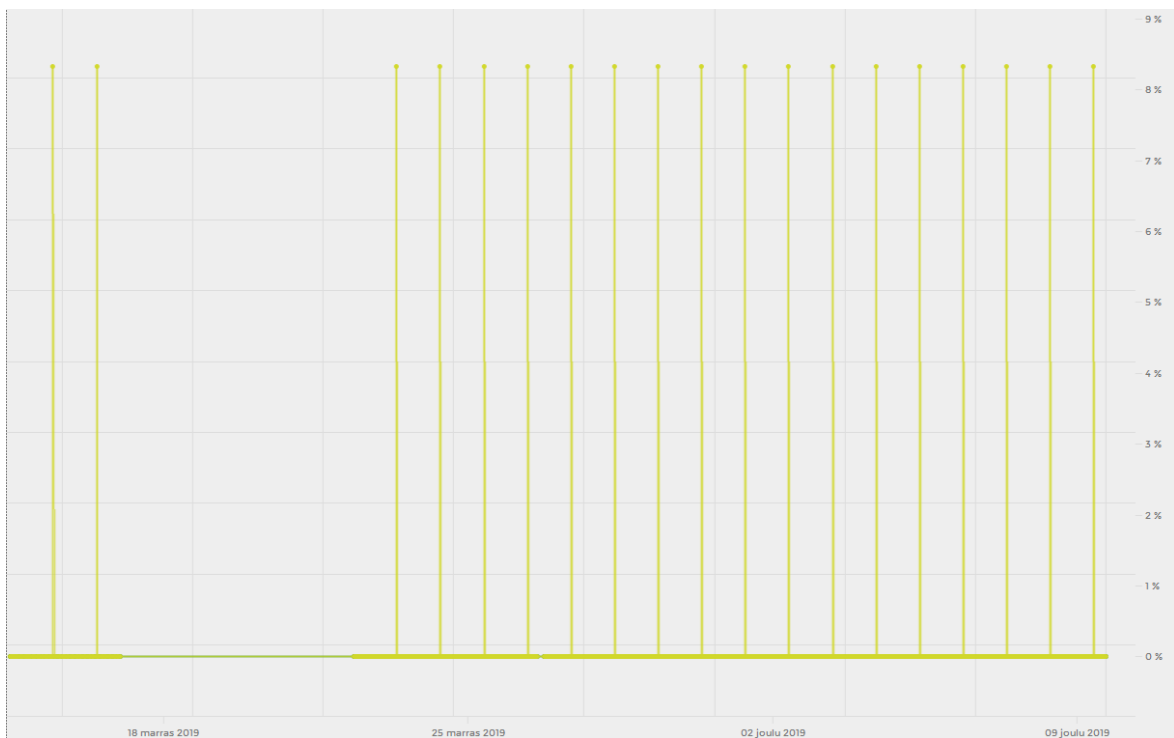
Kuva 3. B24 gateway-laitteen online-status.



Kuva 4. B24 gateway-laitteeseen liittyneiden anturien lukumäärä.



Kuva 5. B24 gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärä.

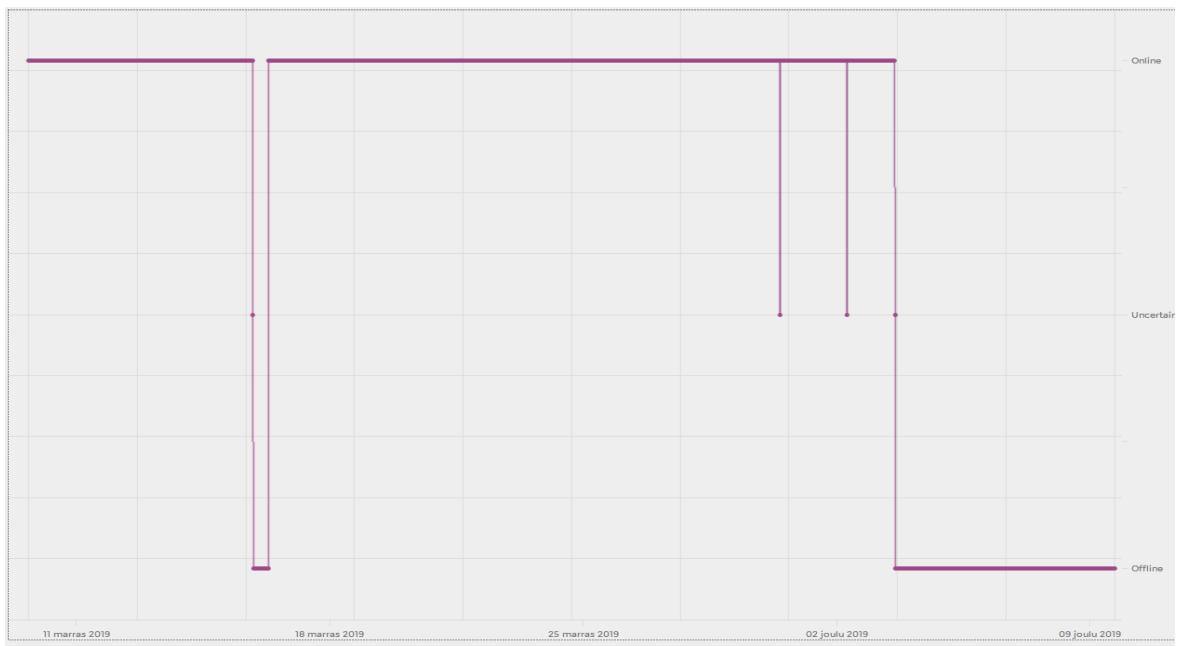


Kuva 6. B24 gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvo.

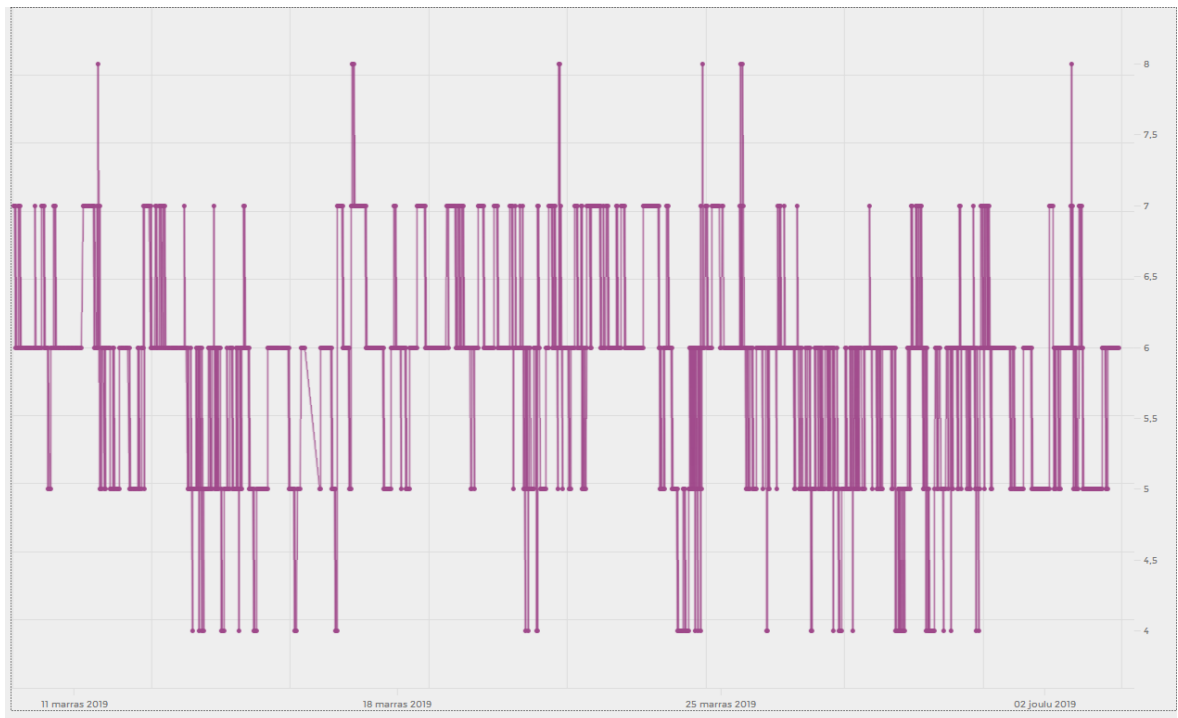
3.1.1.2. Rakennus B26

Rakennuksessa B26 on asennettuna yksi gateway-laite, johon on kytketty yhteensä kahdeksan anturia. Kuva 7 esittää gateway-laitteen online-statusa, kuva 8 gateway-laitteeseen liittyneiden anturien lukumäärää, kuva 9 gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärää ja kuva 10 gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvoa.

Kuvasta 7 nähdään laitteen olleen yhteydessä verkkoon mittausjakson alussa, mutta mittausjakson päätyttyä laite ei ole saanut yhteyttä verkkoon. Kuvasta 8 nähdään, että laitteeseen liittyneiden anturien määrä on vaihdellut koko mittausjakson ajan. Kuvista 9 ja 10 nähdään vuorokauden välein toistuvat piikit kuvaajissa. Kuvaajissa näkyvät piikit toistuvat koko mittausjakson ajan, myös laitteen ollessa poissa verkosta.



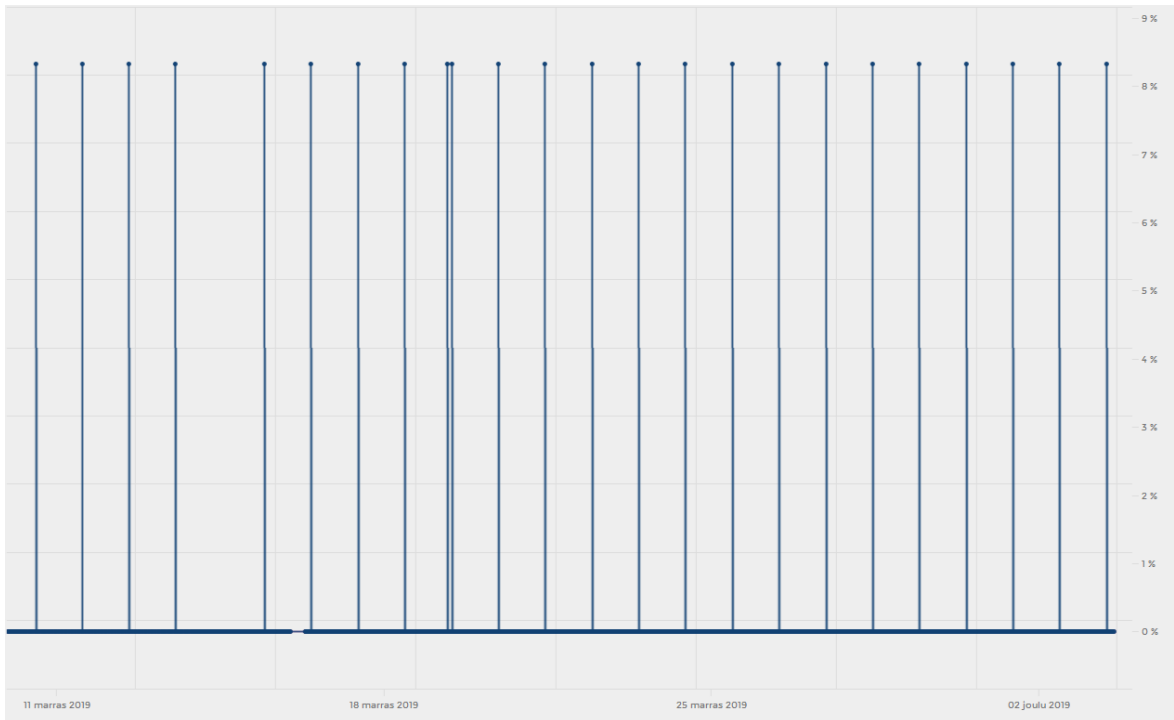
Kuva 7. B26 gateway-laitteen online-status.



Kuva 8. B26 gateway-laitteeseen liittyneiden antureiden lukumäärä.



Kuva 9. B26 gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärä.

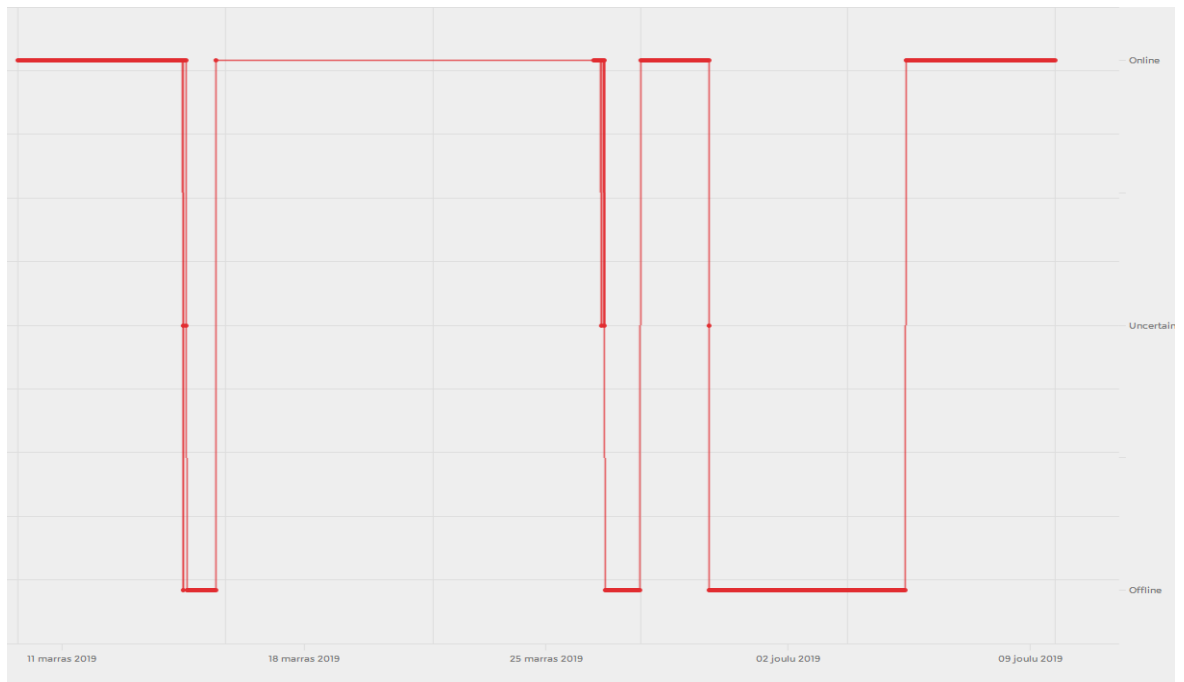


Kuva 10. B26 gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvo.

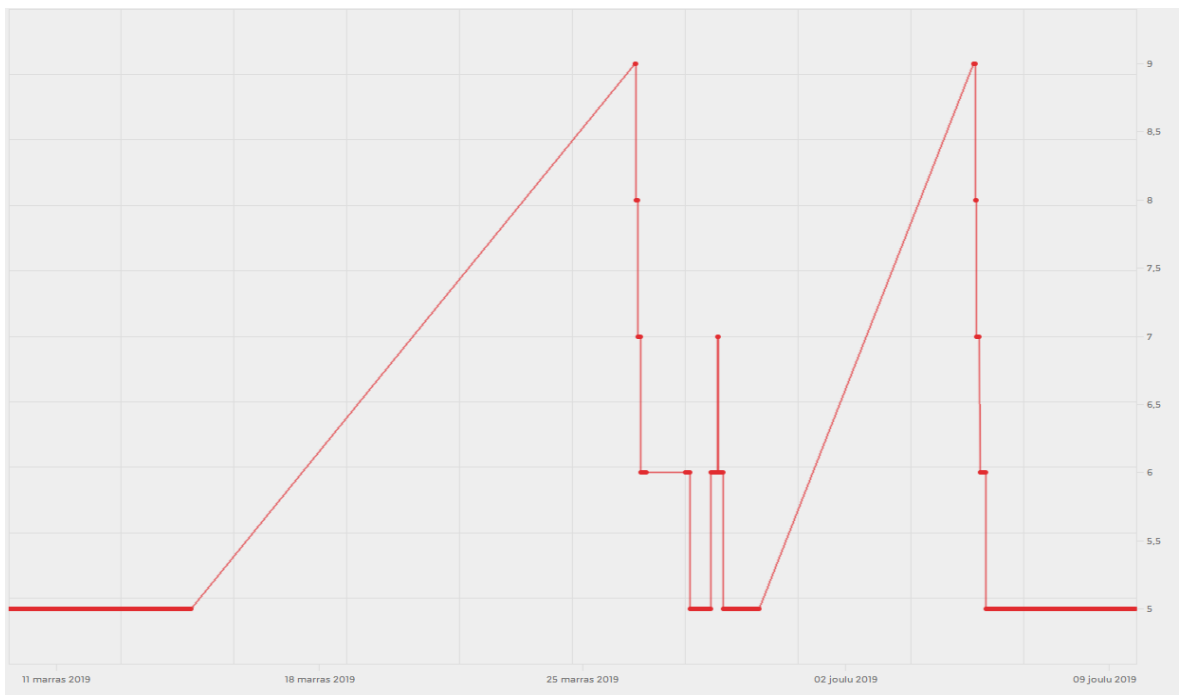
3.1.1.3. Rakennus B42

Rakennuksessa B42 on asennettuna yksi gateway-laite, johon on kytketty yhteensä viisi anturia. Kuva 11 esittää gateway-laitteen online-statusta, kuva 12 gateway-laitteeseen liittyneiden anturien lukumäärää, kuva 13 gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärää ja kuva 14 gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvoa.

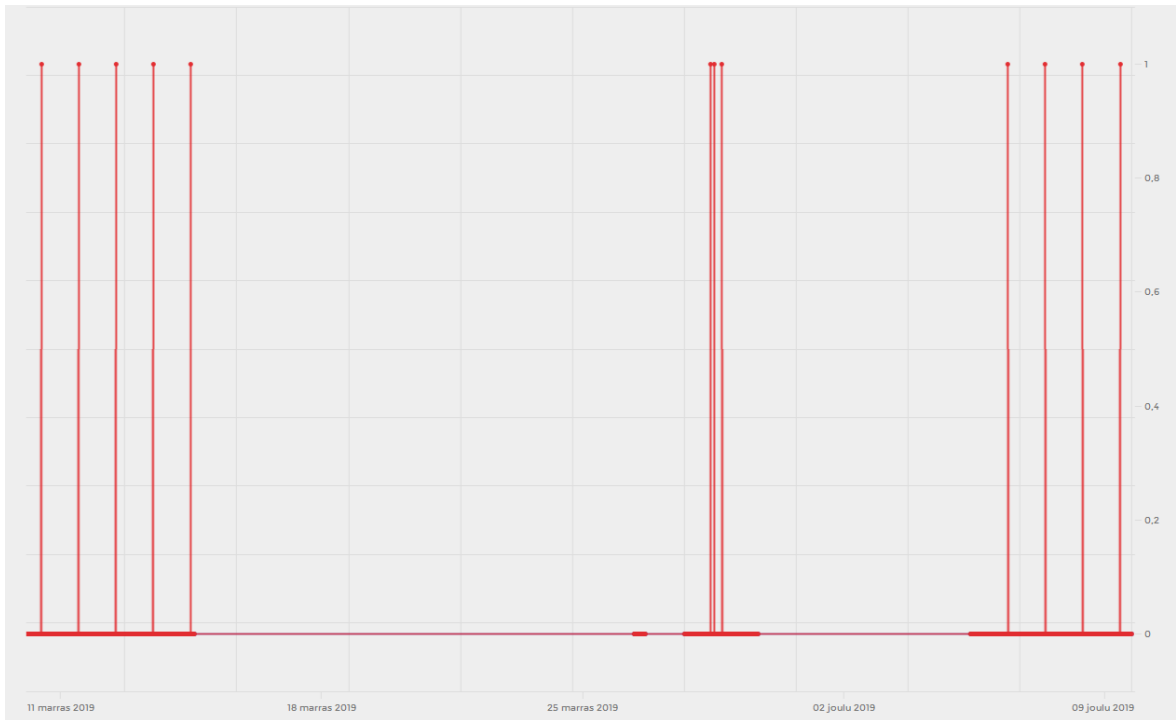
Kuvasta 11 nähdään laitteen olleen suurimman osan mittausjaksosta yhdistettynä verkkoon. Kuvasta 12 nähdään, että laitteeseen yhdistyneiden anturien määrä on vaihdellut paljon mittausjakson aikana. Kuvasta nähdään myös, ettei yhdistyneiden anturien määrää ole rekisteröity, vaikka laite on ollut yhteydessä verkkoon. Kuvista 13 ja 14 huomataan, ettei laite ole lähettänyt dataa aina ollessaan yhdistettynä verkkoon.



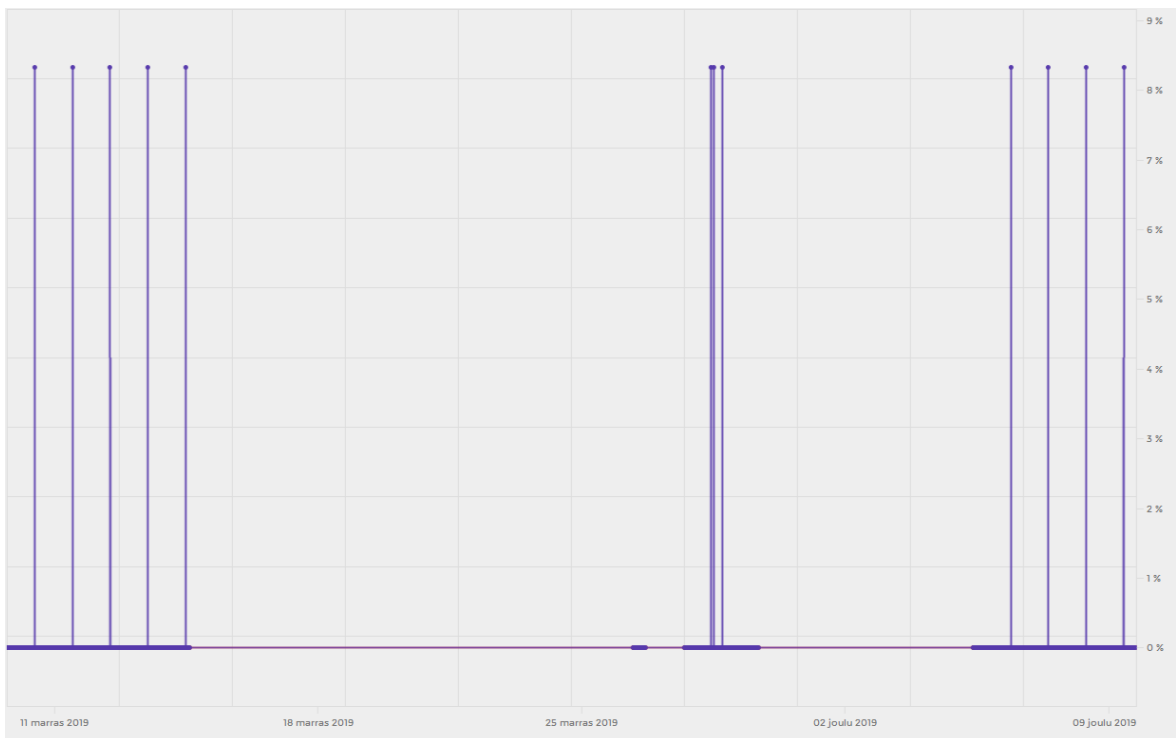
Kuva 11. B42 gateway-laitteen online-status.



Kuva 12. B42 gateway-laitteeseen liittyneiden antureiden lukumäärä.



Kuva 13. B42 gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärä.



Kuva 14. B42 gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvo.

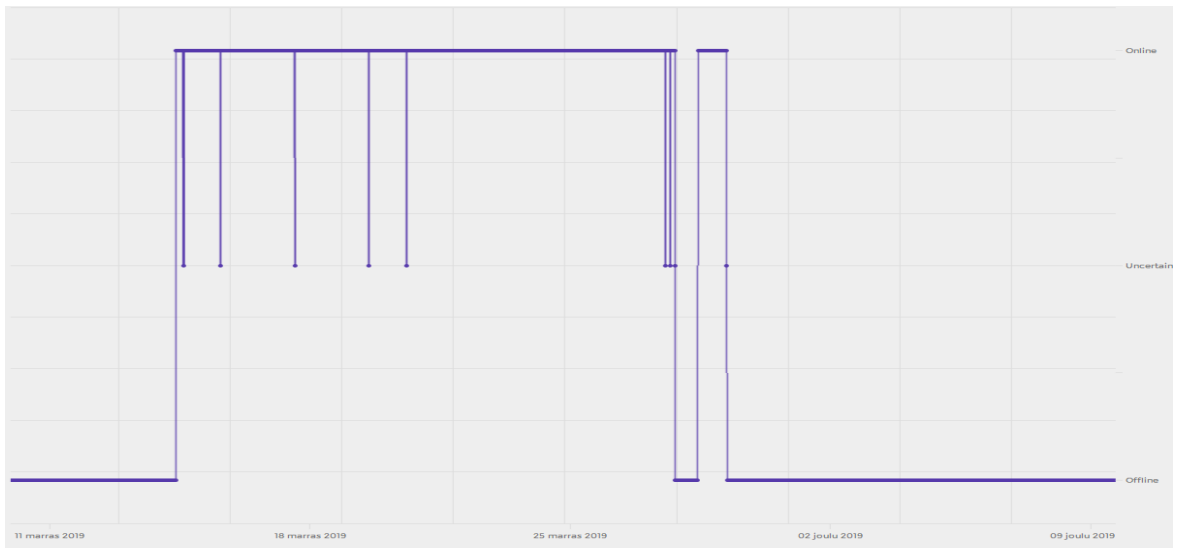
3.1.1.4. Rakennus B44

Rakennuksessa B44 on asennettuna kaksi gateway-laitetta, joihin on kytketty yhteensä 30 anturia. Käytetään gateway-laitteista nimiä B44_1 ja B44_2, joista B44_1 gateway-laitteen koodi on e4776fd0 ja vastaavasti B44_2:n koodi on fa2ca661.

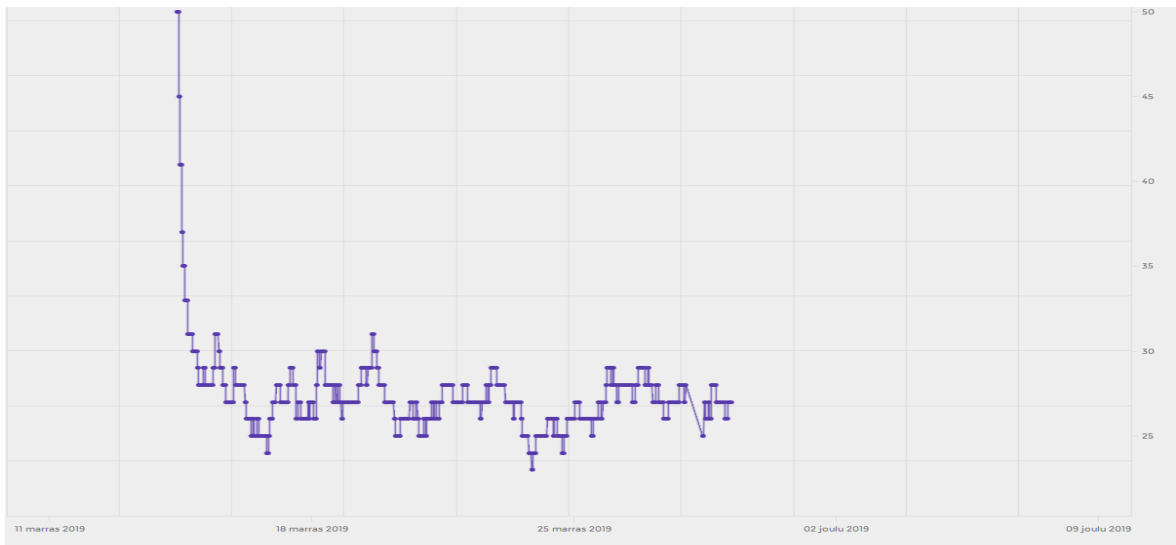
3.1.1.5. Gateway-laite B44_1

Kuva 15 esittää gateway-laitteen online-statusa, kuva 16 gateway-laitteeseen liittyneiden anturien lukumäärää, kuva 17 gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärää ja kuva 18 gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvoa.

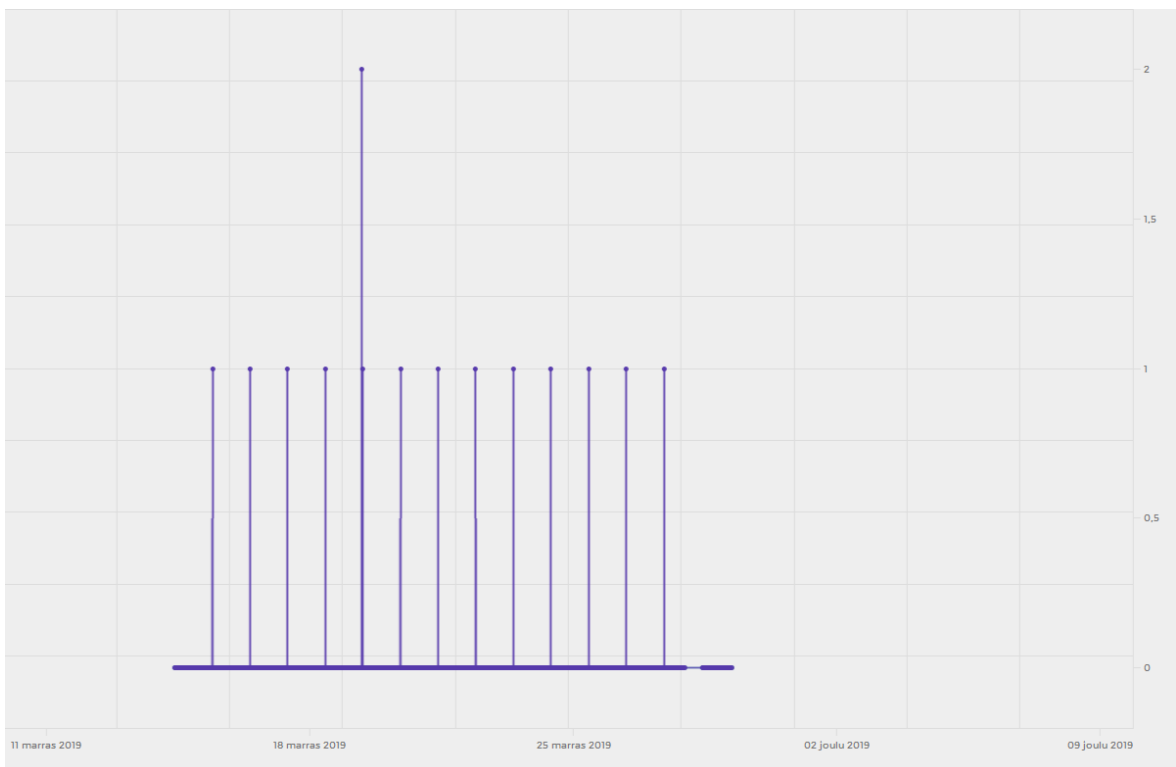
Kuvasta 15 nähdään että laite on ollut lähes puolet mittausjaksosta yhteyttömässä tilassa. Mittausjakson aikana on ollut myös useita hetkiä, jolloin laitteen verkkotilasta ei ole ollut varmuutta. Kuvasta 16 nähdään, että laitteeseen yhdistettyjen laitteiden määrä on lähes puollittunut mittausjakson aikana. Kuvista 17 ja 18 nähdään että laite on lähettänyt dataa, tasaisin väliajoin.



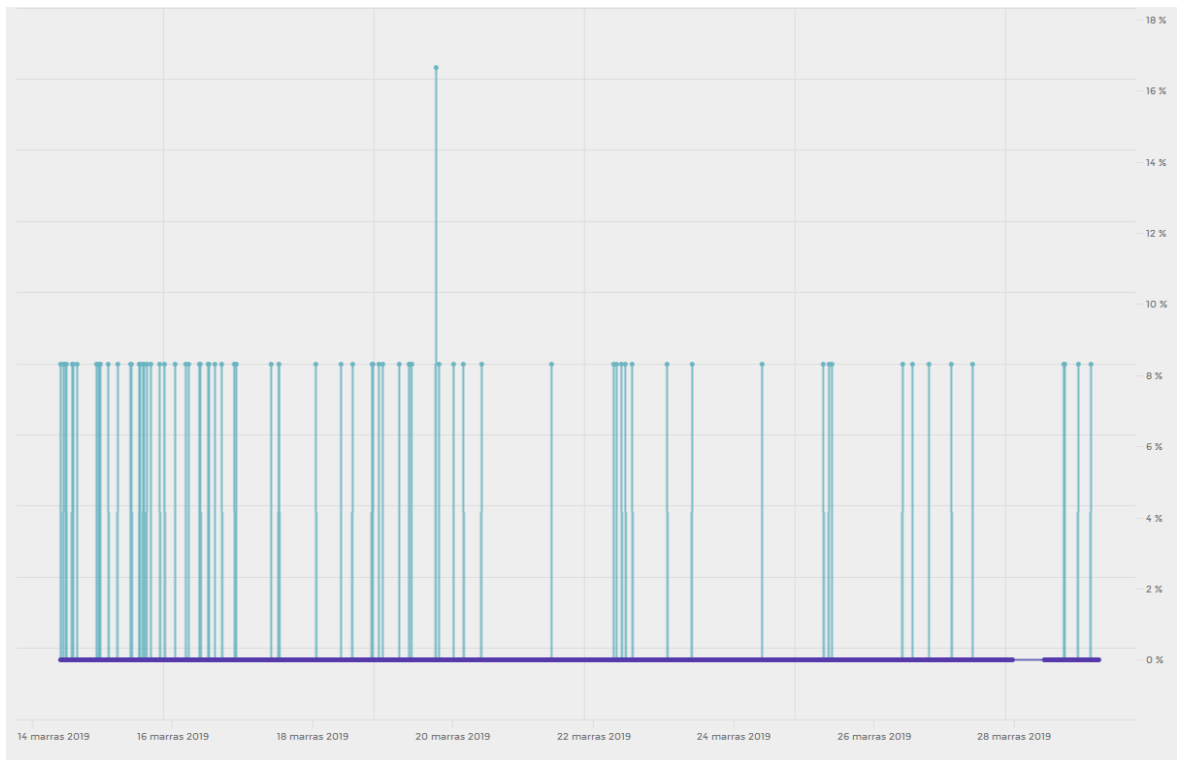
Kuva 15. B44_1 gateway-laitteen online-status.



Kuva 16. B44_1 gateway-laitteeseen liittyneiden antureiden lukumäärä.



Kuva 17. B44_1 gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärä.

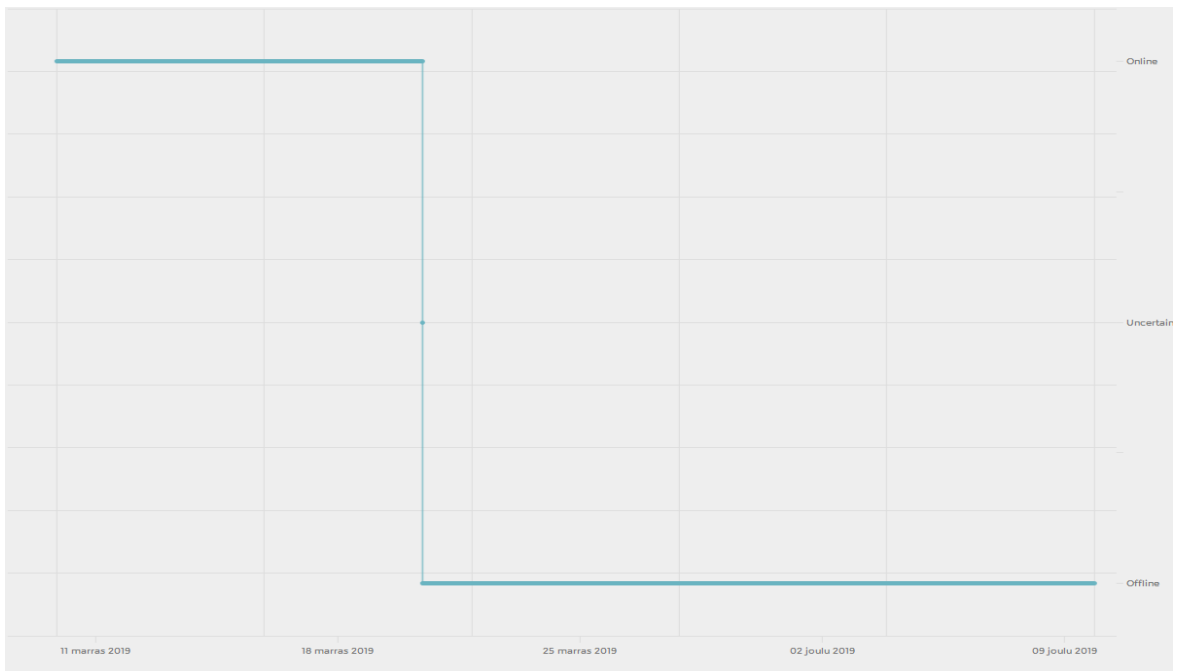


Kuva 18. B44_1 gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvo.

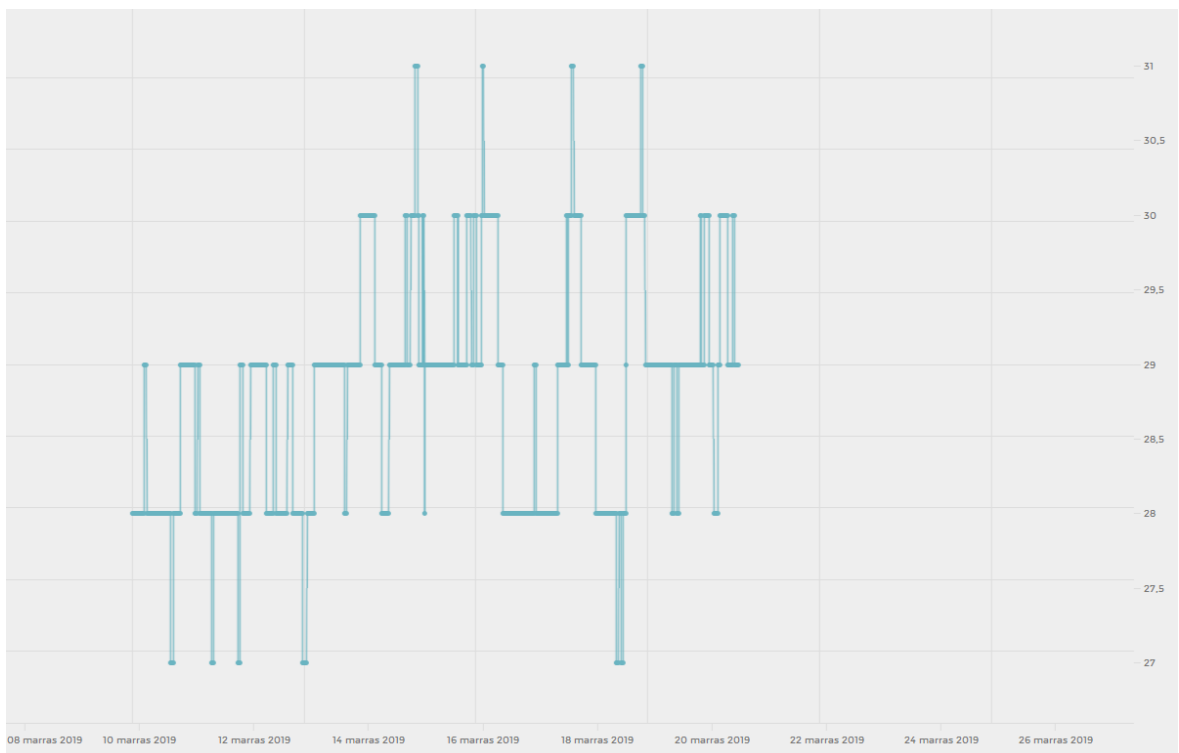
3.1.1.6. Gateway-laite B44_2

Kuva 19 esittää gateway-laitteen online-statusta, kuva 20 gateway-laitteeseen liittyneiden anturien lukumäärää, kuva 21 gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärää ja kuva 22 gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvoa.

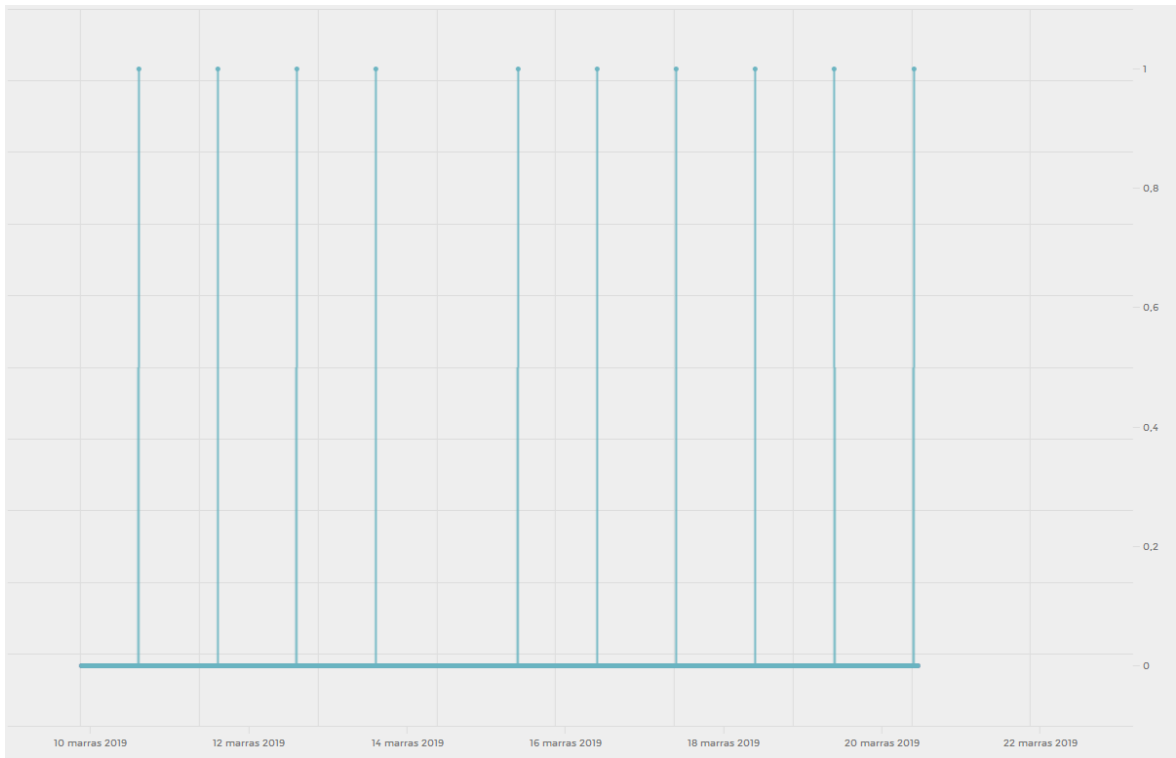
Kuvasta 19 nähdään, että laite on ollut yli puolet mittausjaksosta yhteydettömässä tilassa. Laitteeseen yhdistettyjen anturien määrä on vaihdellut paljon mittausjakson aikana, kuten kuvasta 20 nähdään. Kuvasta 21 nähdään laitteen lähettäneen dataa mittausjakson alussa, mutta mittausjakson loppua kohti mentäessä datan lähetys on loppunut. Laite on lähettänyt dataa tiheästi mittausjakson alussa käyttäen lähetykselle varattua aikaikkunaa usein, kuten kuvasta 22 nähdään.



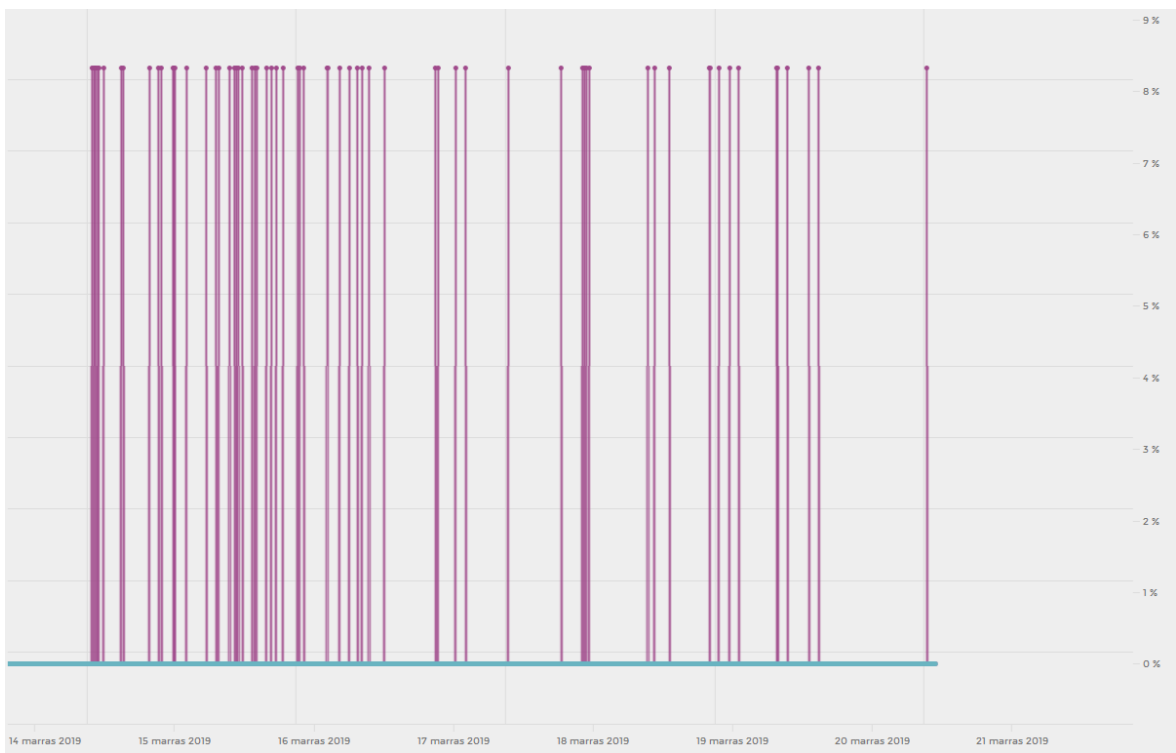
Kuva 19. B44_2 gateway-laitteen online-status.



Kuva 20. B44_2 gateway-laitteeseen liittyneiden antureiden lukumäärä.



Kuva 21. B44_2 gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärä.



Kuva 22. B44_2 gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvo.

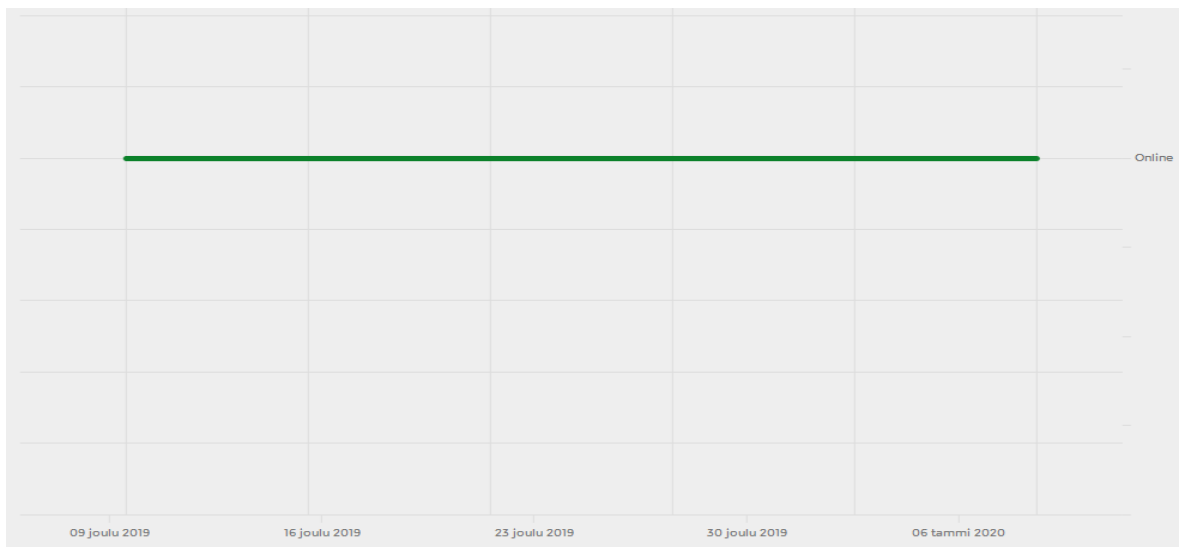
3.1.2. Testiverkko II

Testiverkkoon II kuuluu yhteensä 12 gateway-laitetta. Gateway-laitteet ovat sijoitettuna yhteensä neljään eri rakennukseen, siten että gateway-laitteet ovat eri kerroksissa keskenään.

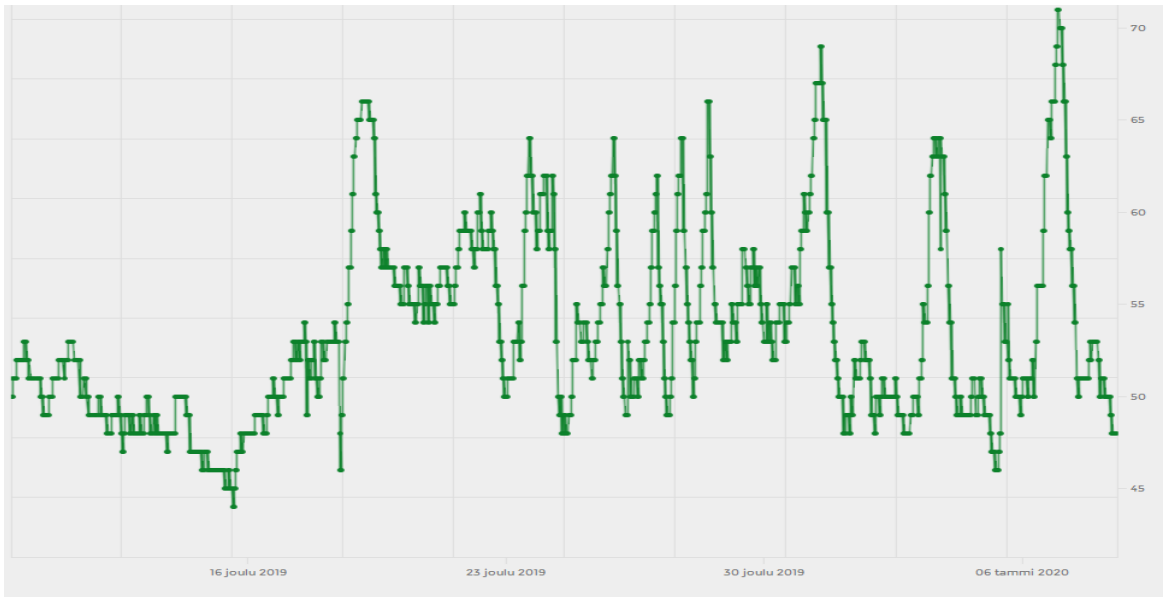
3.1.3. Rakennus 5

Rakennuksessa 5 on yksi gateway-laite, joka on asennettu ensimmäiseen kerrokseen. Kuva 23 esittää gateway-laitteen online-statusa, kuva 24 gateway-laitteeseen liittyneiden anturien lukumäärää, kuva 25 gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärää ja kuva 26 gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvoa.

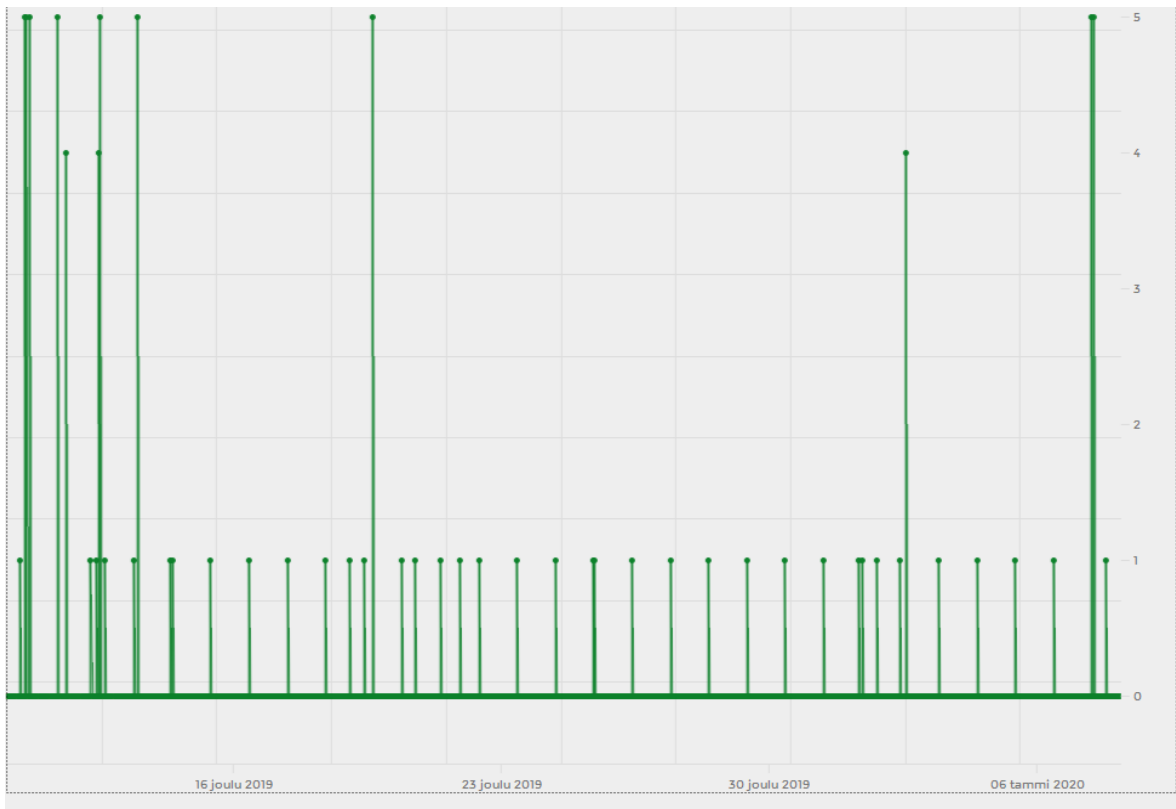
Laite on ollut koko mittausjakson ajan yhdistettynä verkkoon, kuten kuvasta 23 nähdään. Laitteeseen yhdistettyjen laitteiden määrä on vaihdellut koko mittausjakson ajan. Kuvasta 25 nähdään, että laitteella on ollut satunnaisesti ongelmia lähettää dataa. Kuvasta 26 nähdään, että laite on käyttänyt muutaman kerran lähetyksen aikaikkunasta noin puolet.



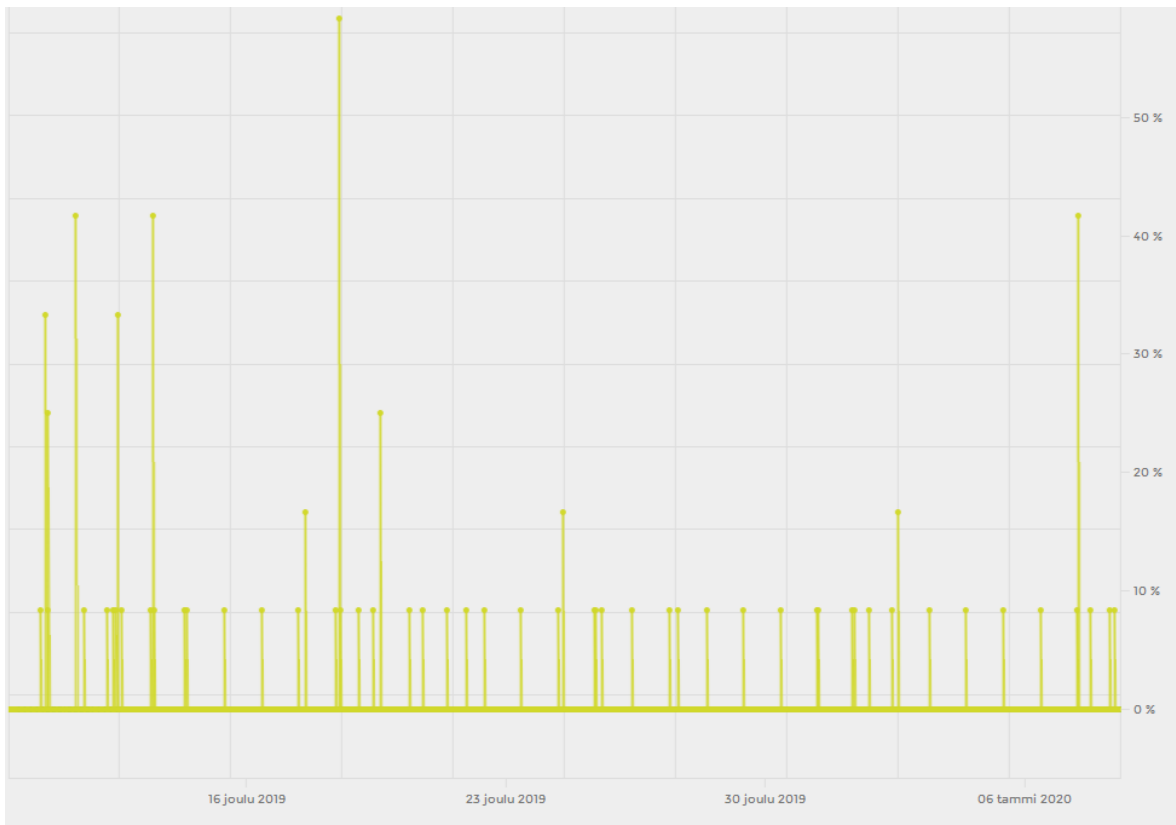
Kuva 23. Rakennus 5 gateway online-status



Kuva 24. Rakennus 5 gateway-laitteeseen liittyneiden antureiden lukumäärä.



Kuva 25. Rakennus 5 gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärä.



Kuva 26. Rakennus 5 gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvo.

3.1.4. Rakennus 6

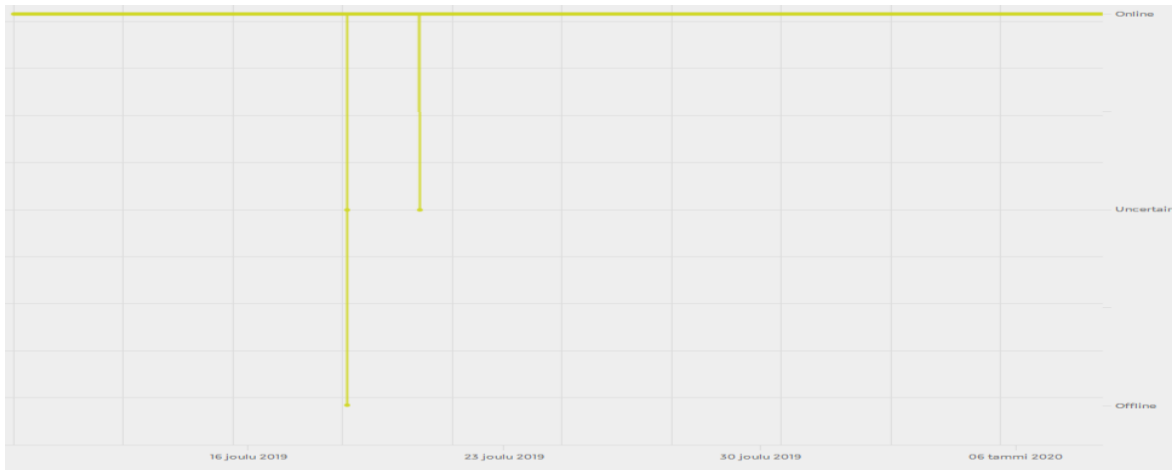
Rakennuksessa 6 on yhteensä neljä gateway-laitetta kolmessa eri kerroksessa. Kerroksissa yksi ja kaksi on asennettuna yksi gateway-laite, kun taas kellarikerrokseen on asennettu kaksi kappaletta gateway-laitteita.

3.1.4.1. Kerros 1

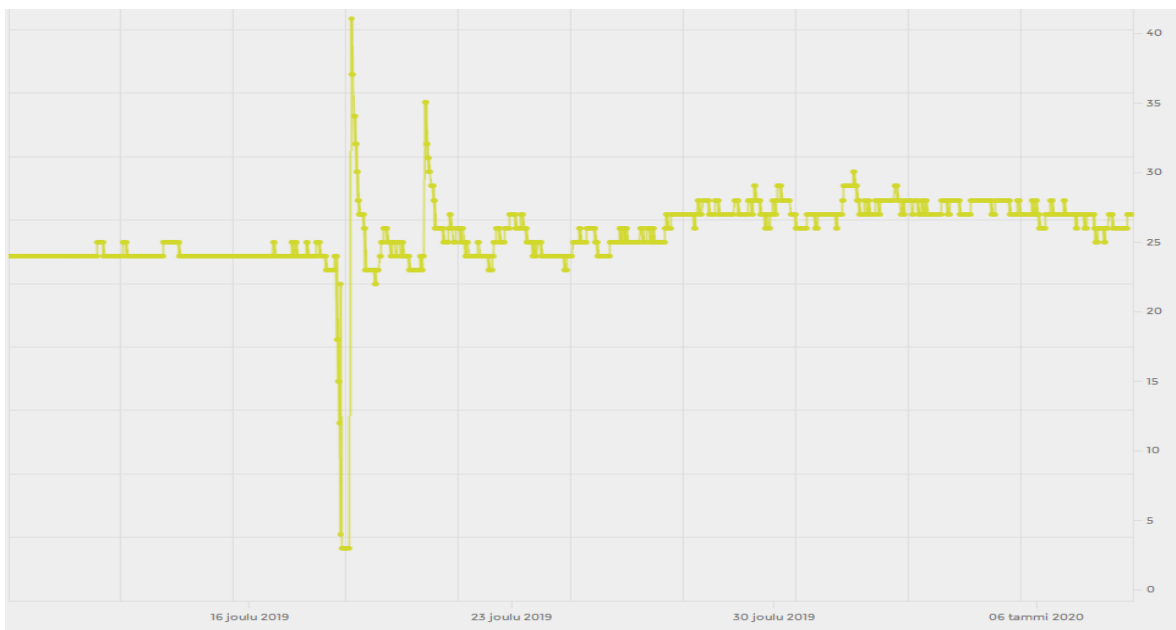
Kuva 27 esittää gateway-laitteen online-statusta, kuva 28 gateway-laitteeseen liittyneiden anturien lukumäärää, kuva 29 gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärää ja kuva 30 gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvoa.

Laite on ollut lähes koko mittausjakson ajan yhdistettynä verkkoon. Laitteeseen yhdistyneiden anturien määrä on pysynyt koko mittausjakson ajan suhteellisen tasaisena. Kuvasta 28 kuitenkin nähdään, että mittausjakson aikana on ollut yksi piikki, jolloin yhdistyneiden an-

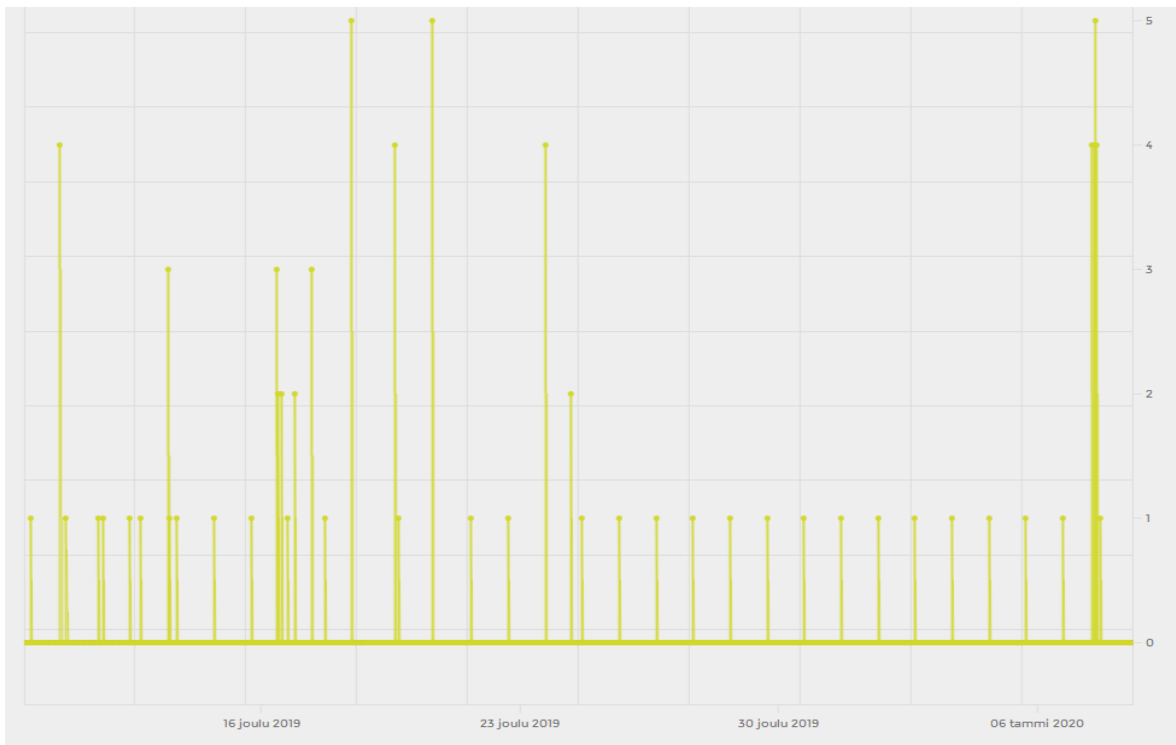
turien määrä on muuttunut merkittävästi. Laitteen epäonnistuneesti lähetettyjen verkkopakettien lukumäärässä on muutamia piikkejä, kuten kuvasta 29 nähdään. Kuvassa 30 nähdään samanlaisia piikkejä, kuin kuvassa 29.



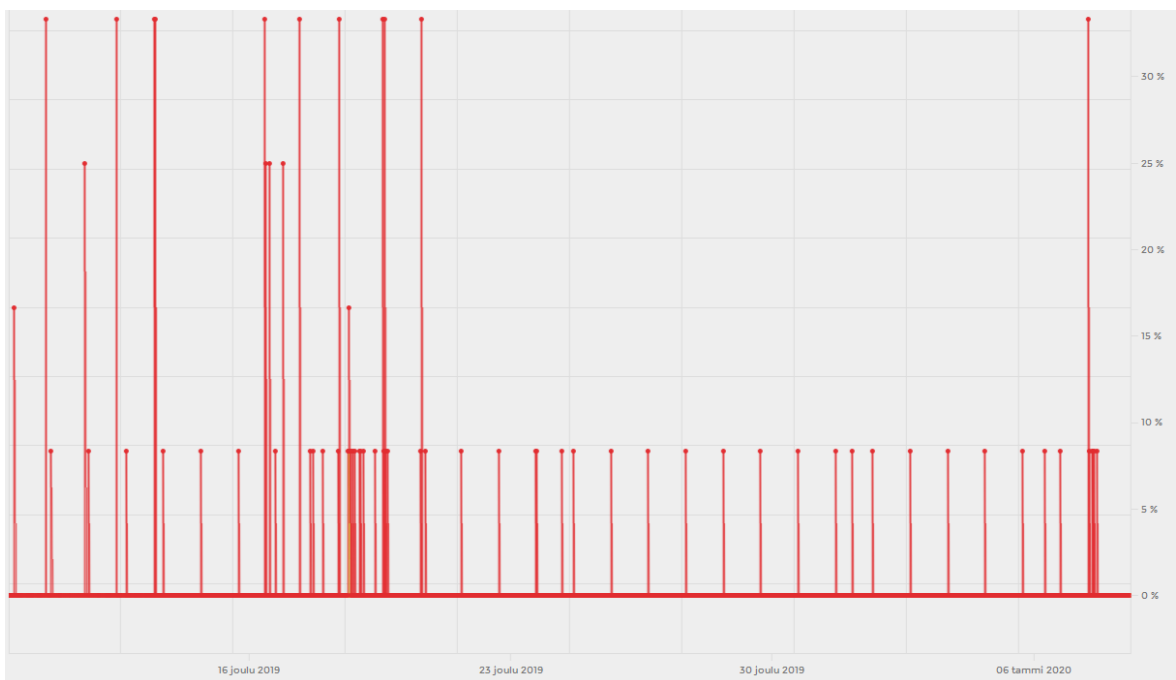
Kuva 27. Rakennus 6_1 gateway-laitteen online-status.



Kuva 28. Rakennus 6_1 gateway-laitteeseen liittyneiden antureiden lukumäärä.



Kuva 29. Rakennus 6_1 gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärä.



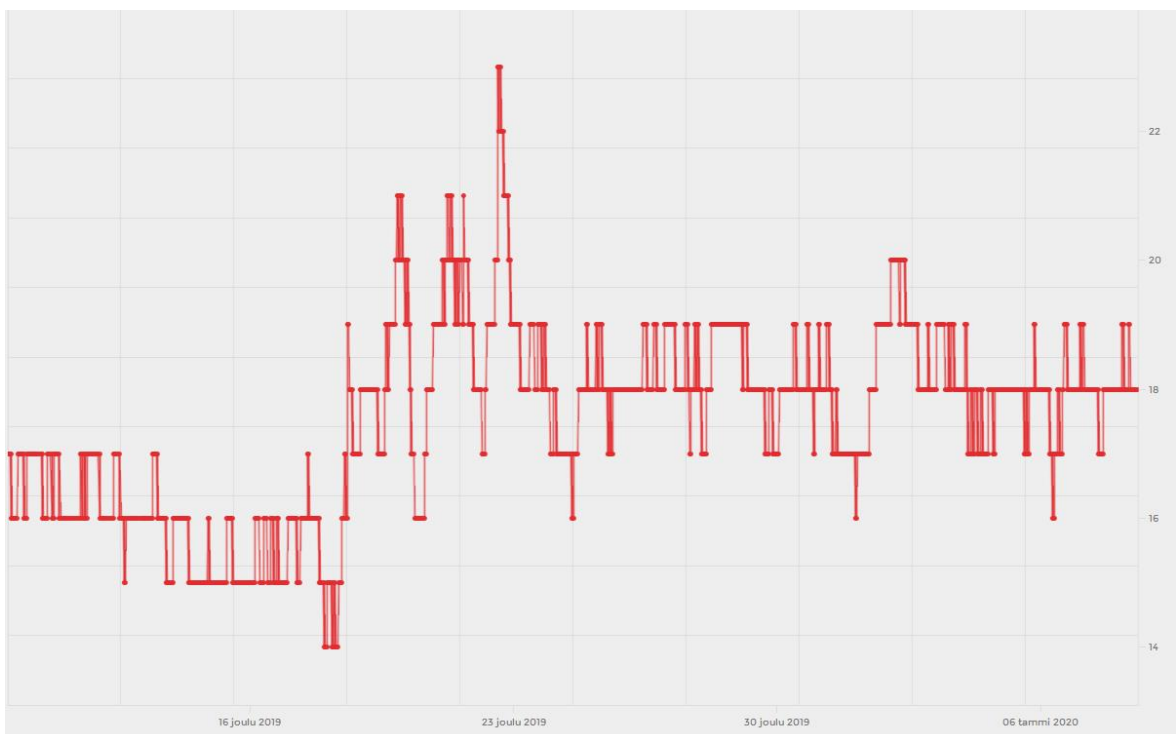
Kuva 30. Rakennus 6_1 gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvo.

3.1.4.2. Kerros 2

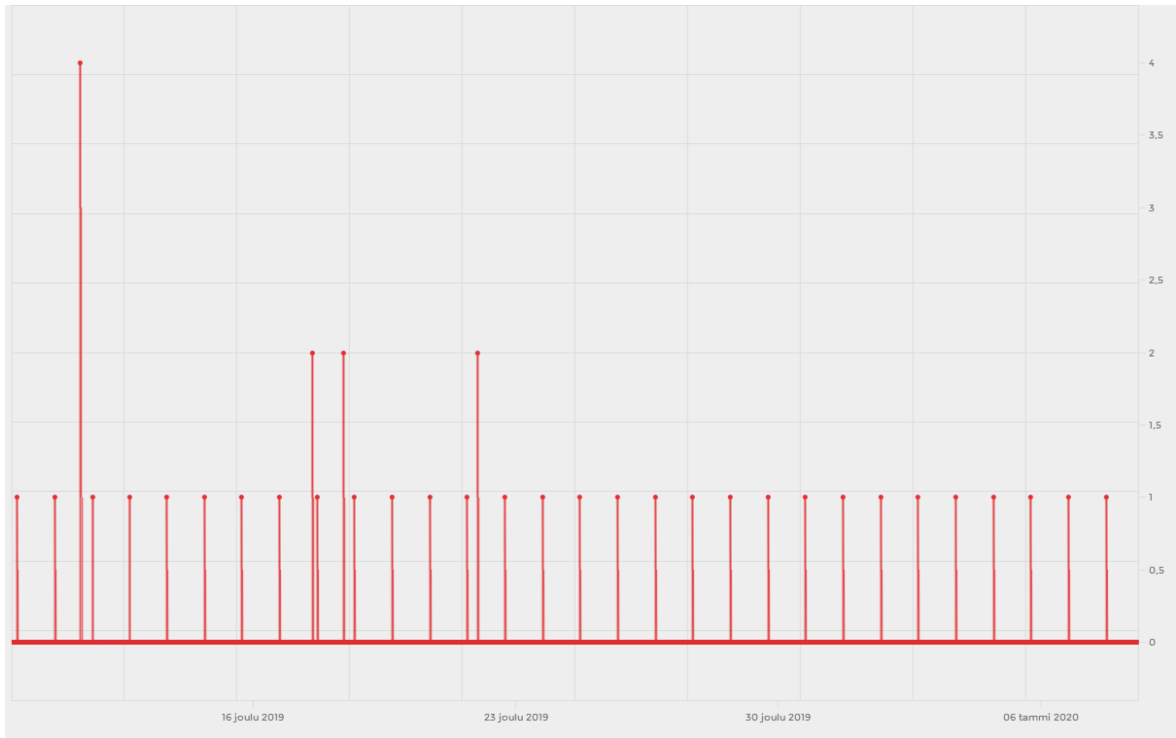
Kuva 31 esittää gateway-laitteen online-statusta, kuva 32 gateway-laitteeseen liittyneiden anturien lukumäärää, kuva 33 gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärää ja kuva 34 gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvoa.



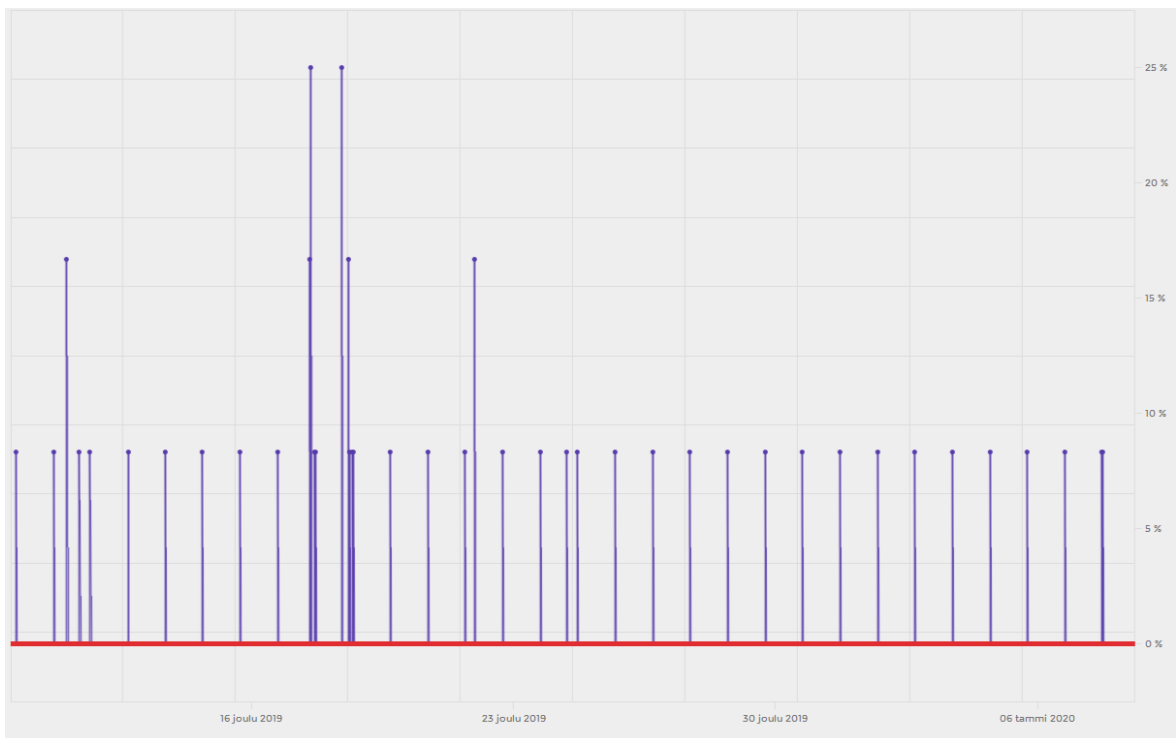
Kuva 31. Rakennus 6_2 gateway-laitteen online-status.



Kuva 32. Rakennus 6_2 gateway-laitteeseen liittyneiden anturien lukumäärä.



Kuva 33. Rakennus 6_2 gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärä.



Kuva 34. Rakennus 6_2 gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvo.

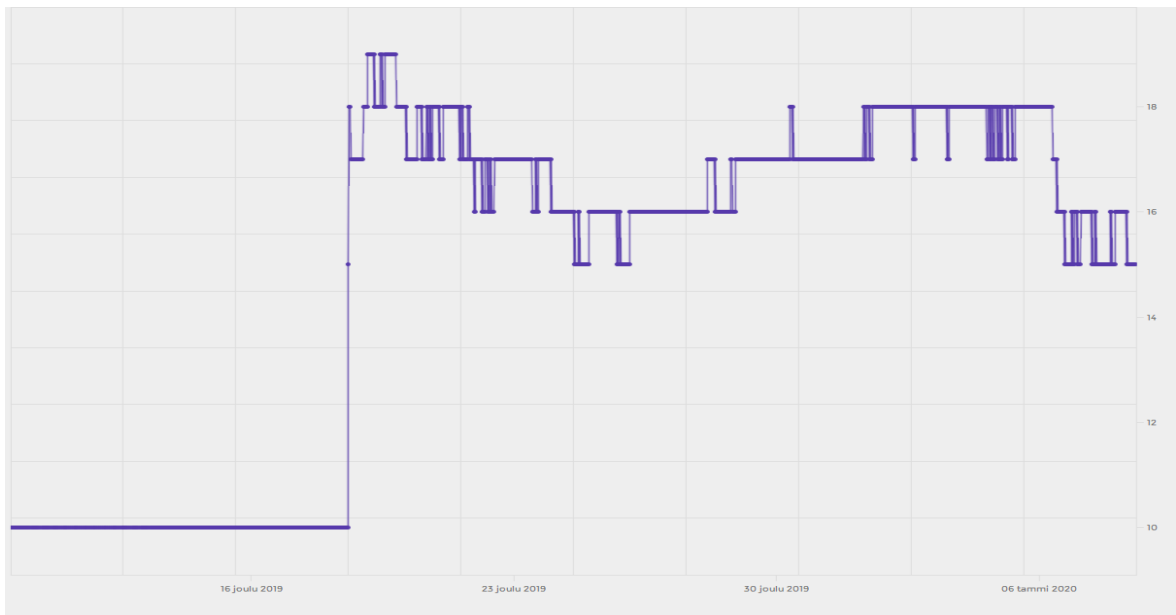
Laite on ollut yhdistettynä verkkoon lähes koko mittausjakson ajan. Kuvasta 31 kuitenkin nähdään, että laite on ollut hetken epävarma yhteydestä verkkoon. Laitteeseen yhdistettynä olleiden antureiden lukumäärä on vaihdellut koko mittausjakson ajan. Yhdistyneiden anturien lukumäärässä ei kuitenkaan ole suuria piikkejä, kuten kuvasta 32 nähdään. Kuvista 33 ja 34 nähdään laitteen toiminnan olleen vakaata, muutamia piikkejä lukuun ottamatta.

3.1.4.3. Kellarikerros

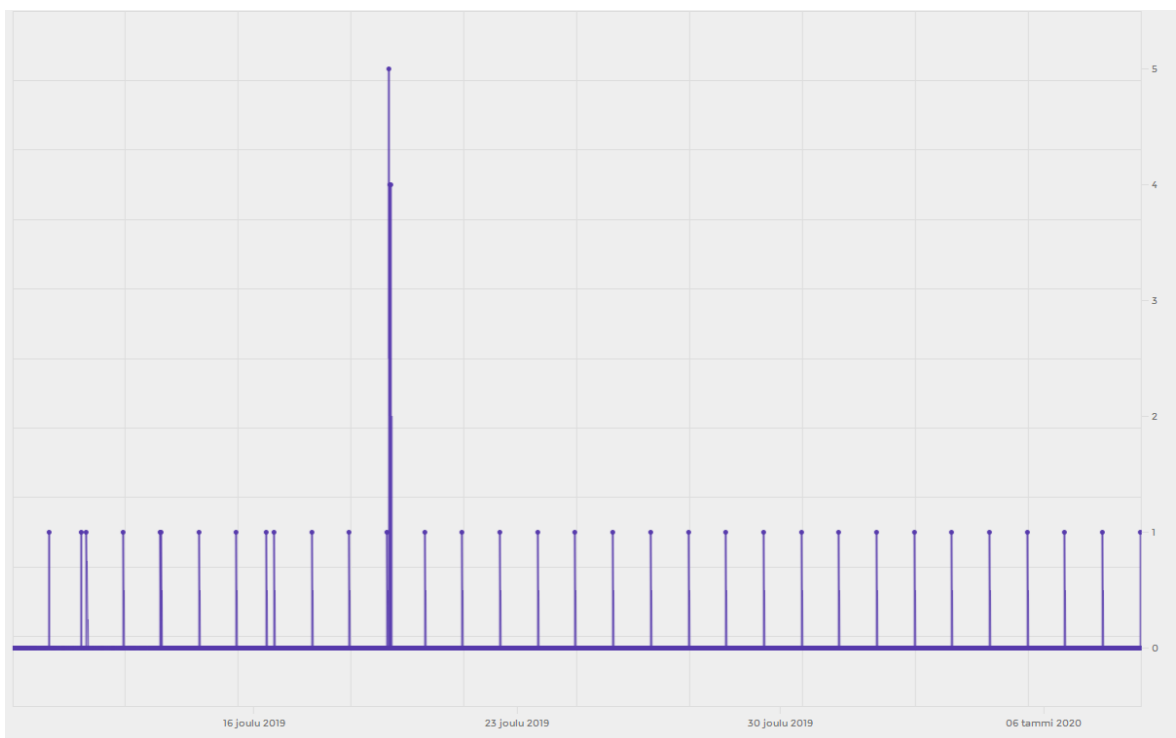
Toisesta kellarikerrokseen asennetusta gateway-laitteesta ei ollut mahdollista tarkastella dataa laitteen yhteysongelmien vuoksi. Tämän vuoksi työssä tarkastellaan vain toista kellarikerrokseen asennetuista gateway-laitteista. Kuva 35 esittää gateway-laitteen online-statusa, kuva 36 gateway-laitteeseen liittyneiden anturien lukumäärää, kuva 37 gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärää ja kuva 38 gateway-laitteen lähetyksen aikaikunan käytön huippuarvoa.



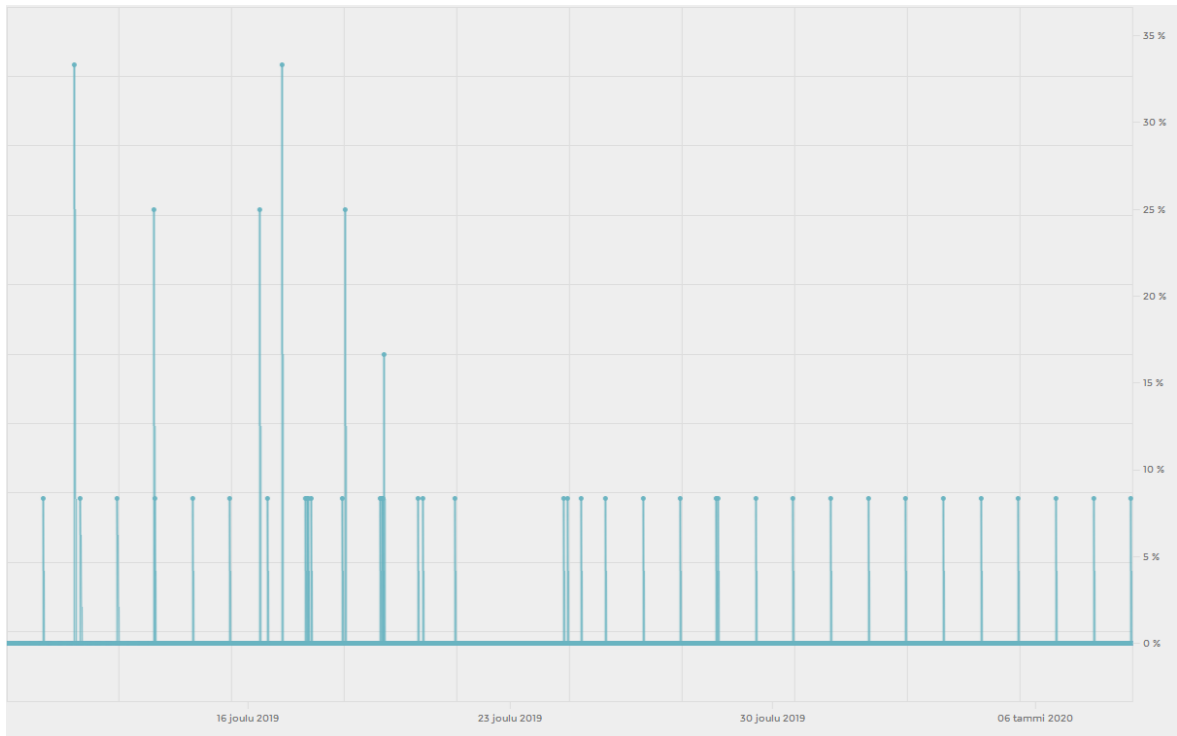
Kuva 35. Rakennus 6_k gateway-laitteen online-status.



Kuva 36. Rakennus 6_k gateway-laitteeseen liittyneiden antureiden lukumäärä.



Kuva 37. Rakennus 6_k gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärä.



Kuva 38. Rakennus 6_k gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvo.

Kuvasta 35 nähdään, että laite on ollut yhdistettynä verkkoon lähes koko mittausjakson ajan. Laitteeseen yhdistyneiden anturien lukumäärä on pysynyt mittausjakson alun vakaana, jonka jälkeen yhdistyneiden anturien määrä on kasvanut mittausjakson loppua kohti. Kuvasta 37 nähdään, että laite on lähettänyt dataa tasaisesti koko mittausjakson ajan. Laite on myös käyttänyt lähetyksen aikaikkunaa tasaisesti mittausjakson lopussa. Kuvasta 38 kuitenkin nähdään, että mittausjakson alussa laite käytti aikaikkunasta suuremman osan.

3.1.5. Rakennus 7

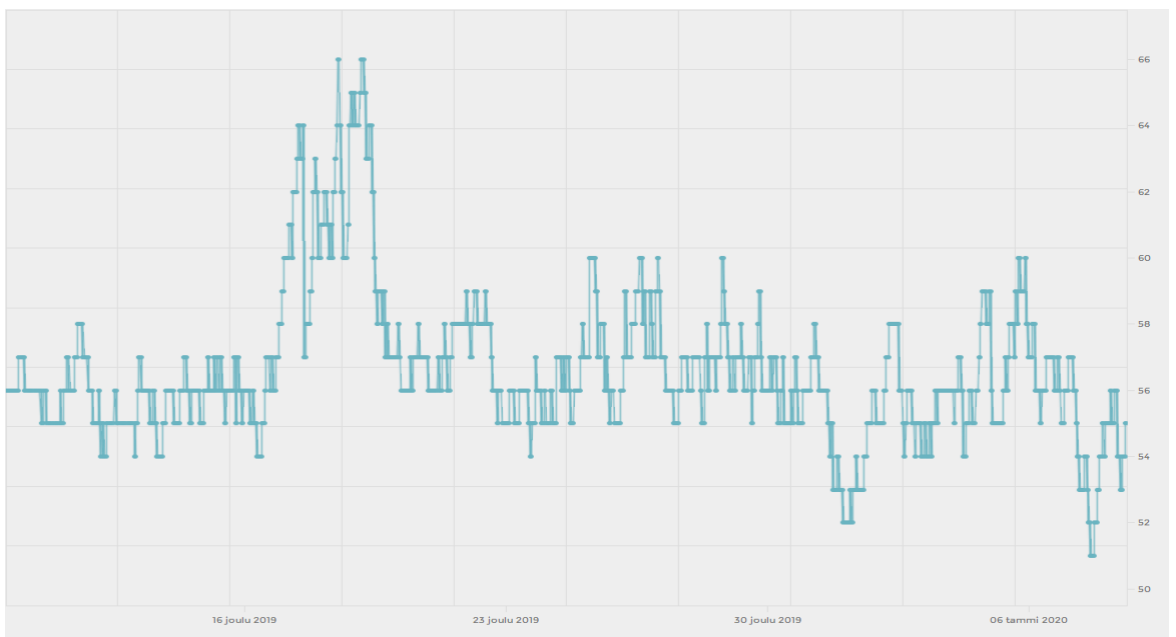
Rakennukseen 7 on asennettu gateway-laitteita kahteen eri kerrokseen yhteensä kolme kappaletta. Rakennuksen 7 ensimmäisessä kerroksessa on kaksi gateway-laitetta, joista käytetään nimityksiä rakennus 7_1 ja rakennus 7_1_v. Rakennuksen 7 kerroksessa 2 on asennettuna yksi gateway-laite.

3.1.5.1. Kerros 1

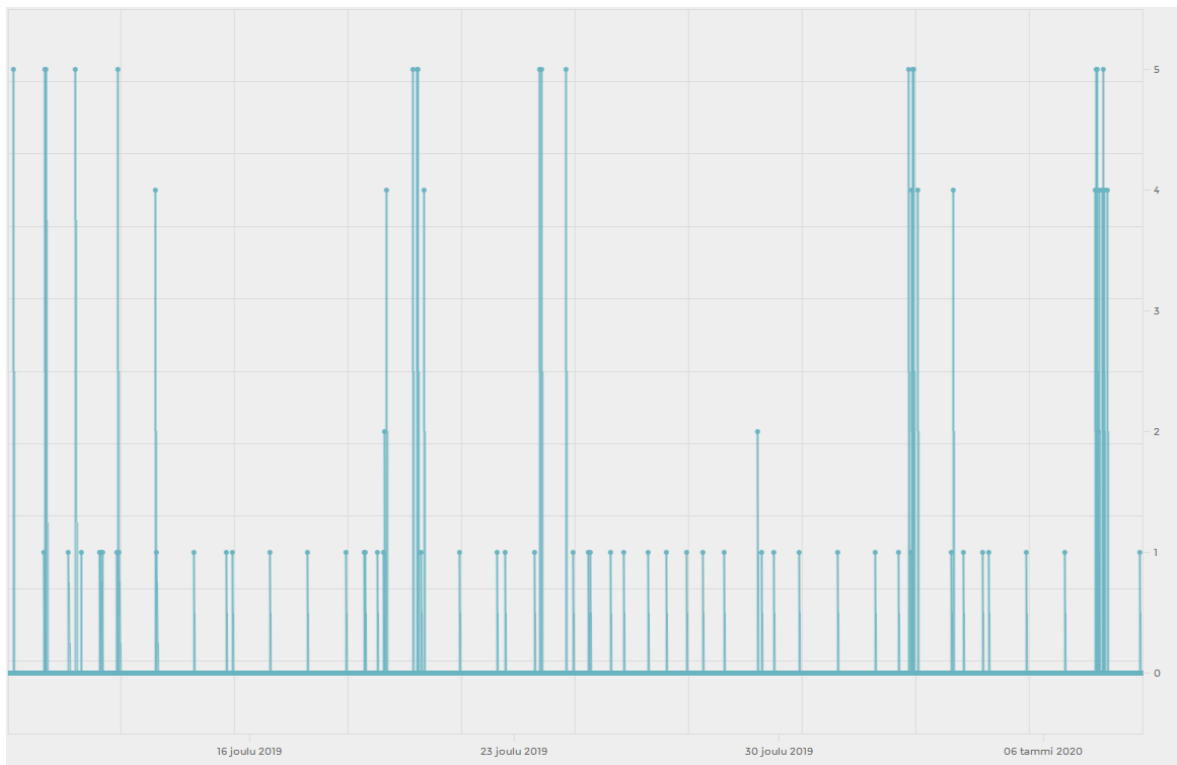
Kuva 39 esittää rakennus 7_1 gateway-laitteen online-statusta, kuva 40 rakennus 7_1 gateway-laitteeseen liittyneiden anturien lukumäärää, kuva 41 rakennus 7_1 gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärää ja kuva 42 rakennus 7_1 gateway-laitteen lähteyksen aikaikkunan käytön huippuarvoa.



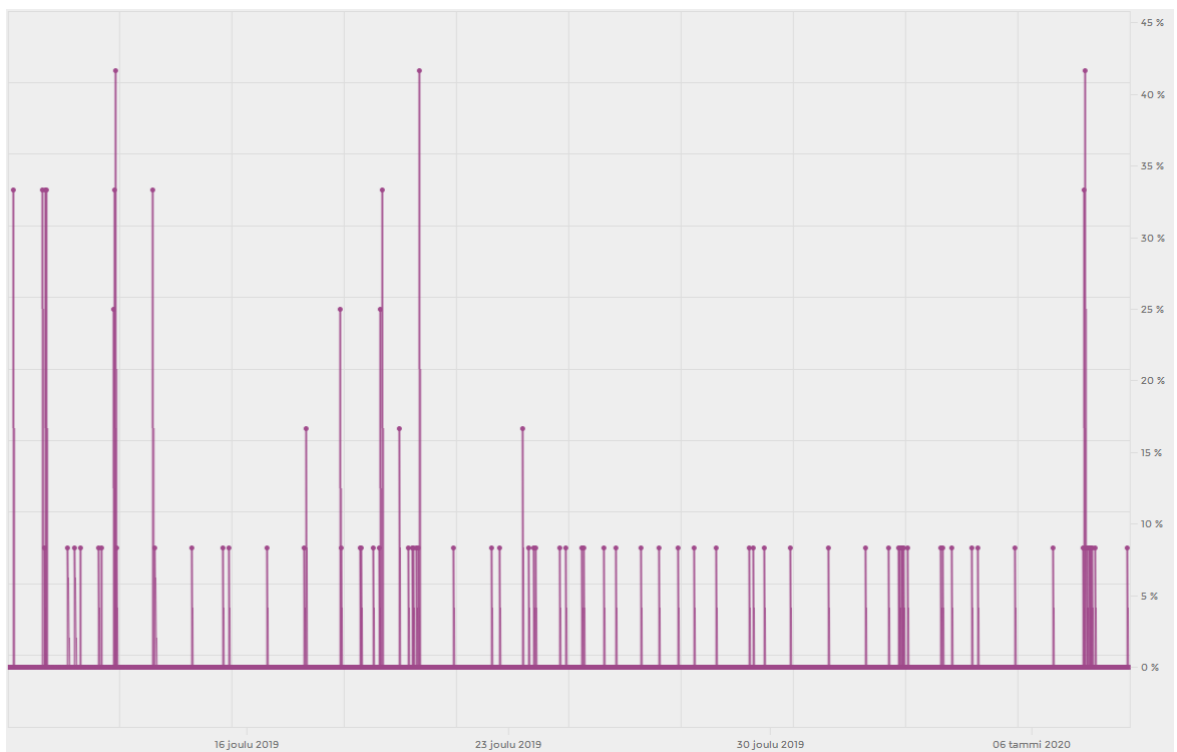
Kuva 39. Rakennus 7_1 gateway-laitteen online-status.



Kuva 40. Rakennus 7_1 gateway-laitteeseen liittyneiden antureiden lukumäärä.



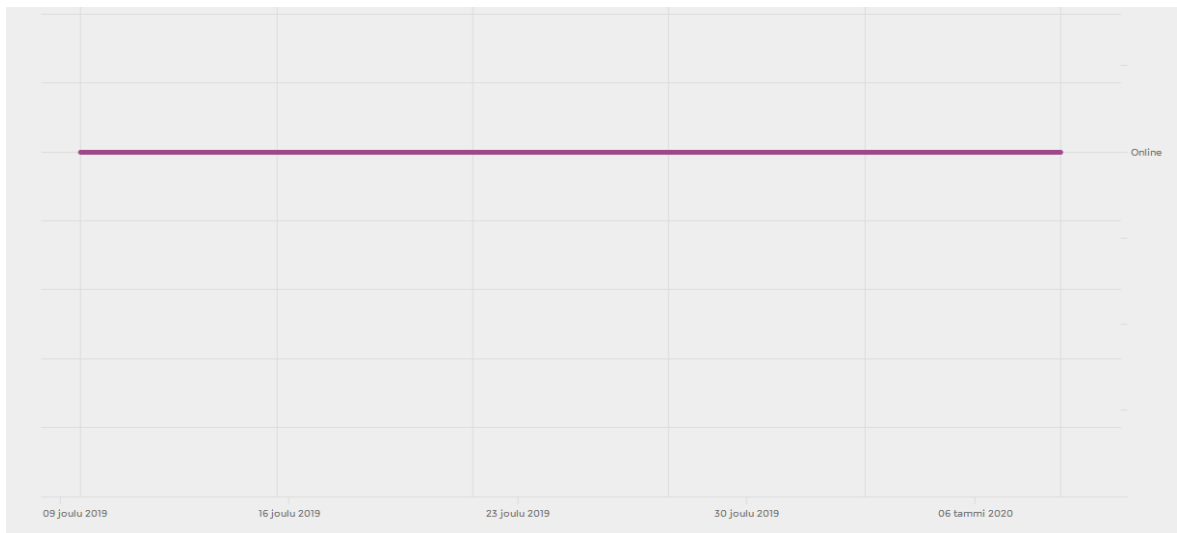
Kuva 41. Rakennus 7_1 gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärä.



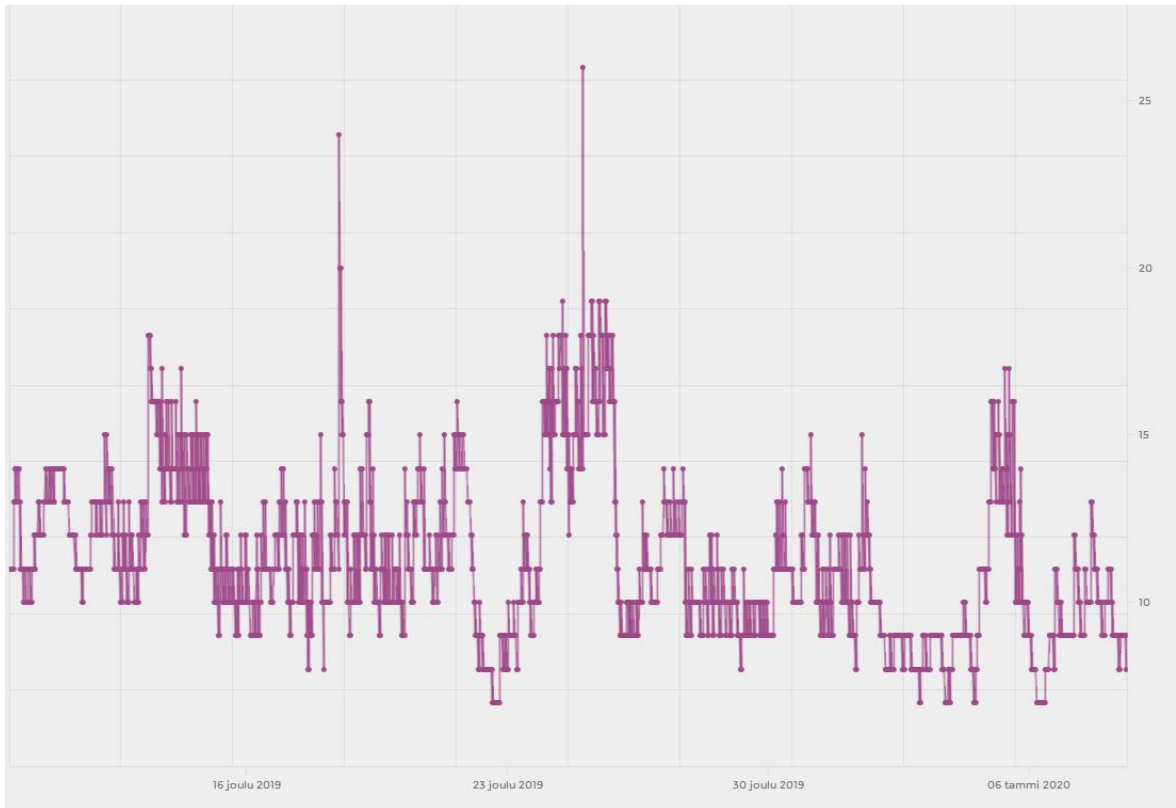
Kuva 42. Rakennus 7_1 gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvo.

Laite on ollut yhdistettynä verkkoon lähes koko mittausjakson ajan. Kuvasta 39 nähdään, että laite on kaksi kertaa mittausjakson aikana ollut epävarmassa yhteystilassa. Laitteeseen yhdistyneiden anturien lukumäärä on vaihdellut koko mittausjakson ajan. Kuvista 41 ja 42 nähdään, että laite on lähettänyt dataa koko mittausjakson ajan.

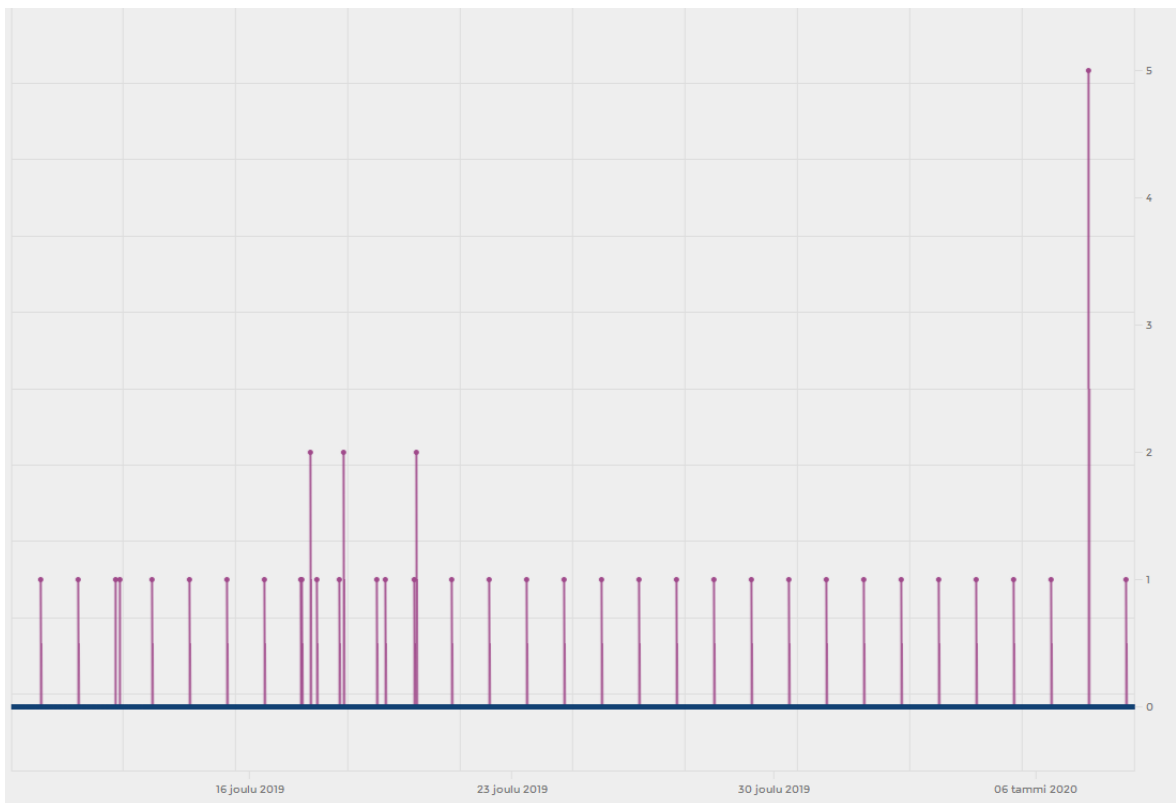
Kuva 43 esittää rakennus 7_1_v gateway-laitteen online-statusta, kuva 44 rakennus 7_1_v gateway-laitteeseen liittyneiden anturien lukumäärää, kuva 45 rakennus 7_1_v gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärää ja kuva 46 rakennus 7_1_v gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvoa.



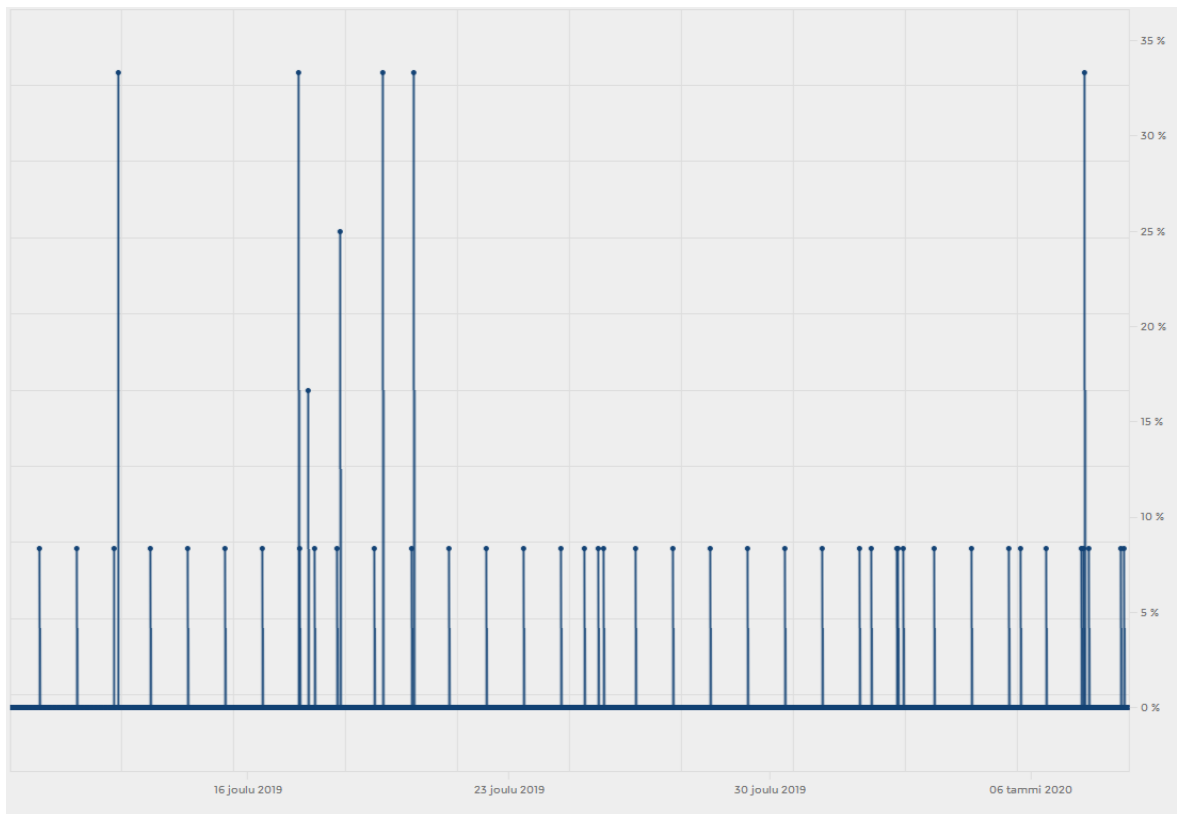
Kuva 43. Rakennus 7_1_v gateway-laitteen online-status.



Kuva 44. Rakennus 7_1_v gateway-laitteeseen liittyneiden antureiden lukumäärä.



Kuva 45. Rakennus 7_1_v gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärä.

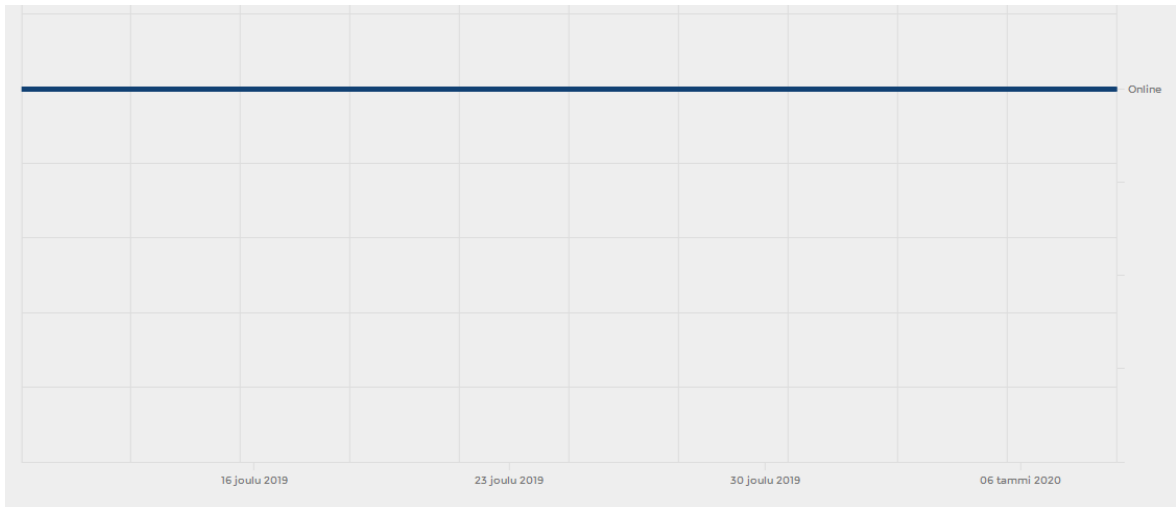


Kuva 46. Rakennus 7_1_v gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvo.

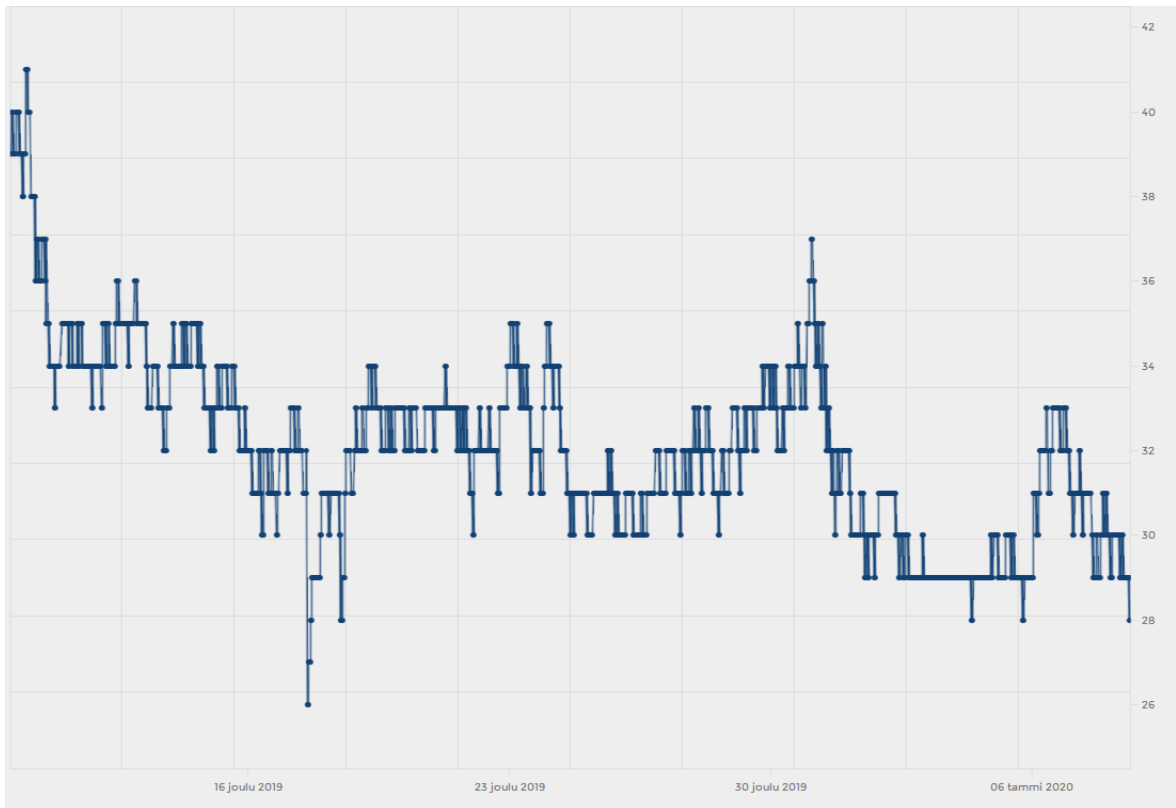
Kuvasta 43 nähdään, että laite on ollut yhteydessä verkkoon koko mittausjakson ajan. Laitteeseen liittyneiden antureiden määrä on vaihdellut koko mittaushistorian ajan. Kuvista 45 ja 46 nähdään, että laite on lähettänyt dataa koko mittaushistorian ajan tasaisesti muutamaa piikkiä lukuun ottamatta.

3.1.5.2. Kerros 2

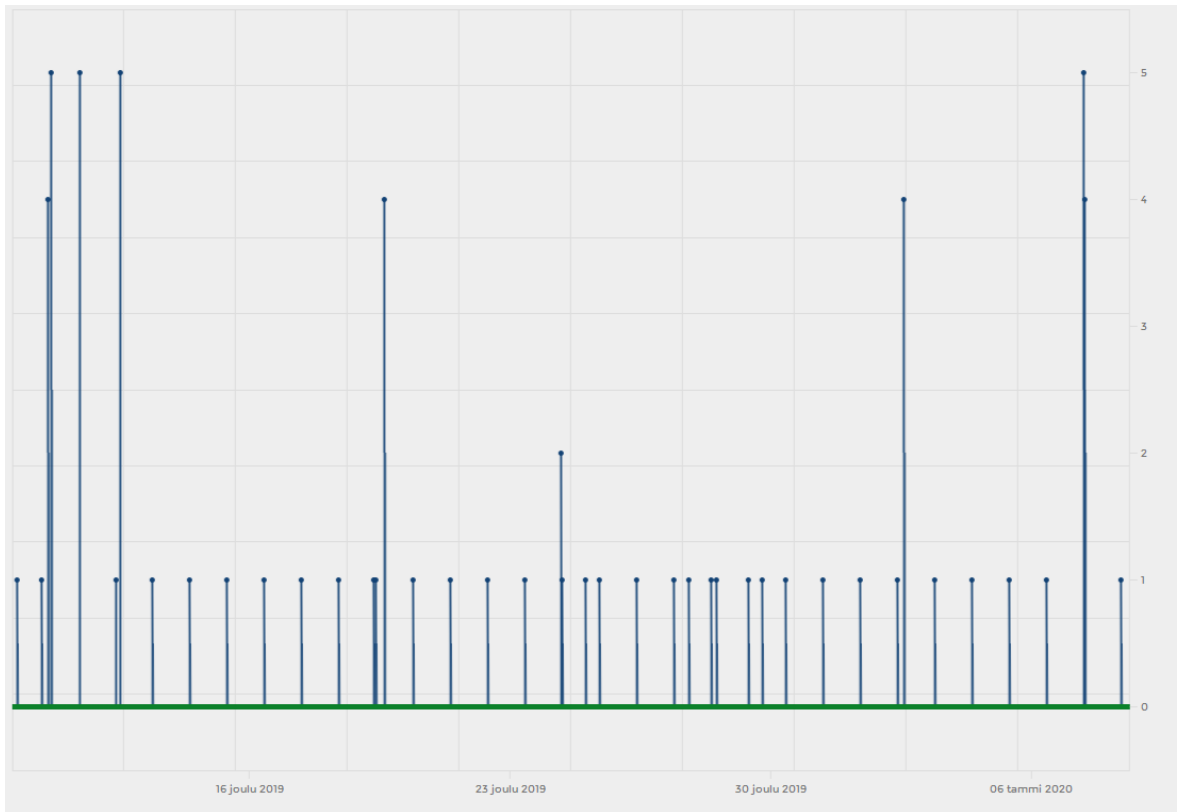
Kuva 47 esittää gateway-laitteen online-statusta, kuva 48 gateway-laitteeseen liittyneiden anturien lukumäärää, kuva 49 gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärää ja kuva 50 gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvoa.



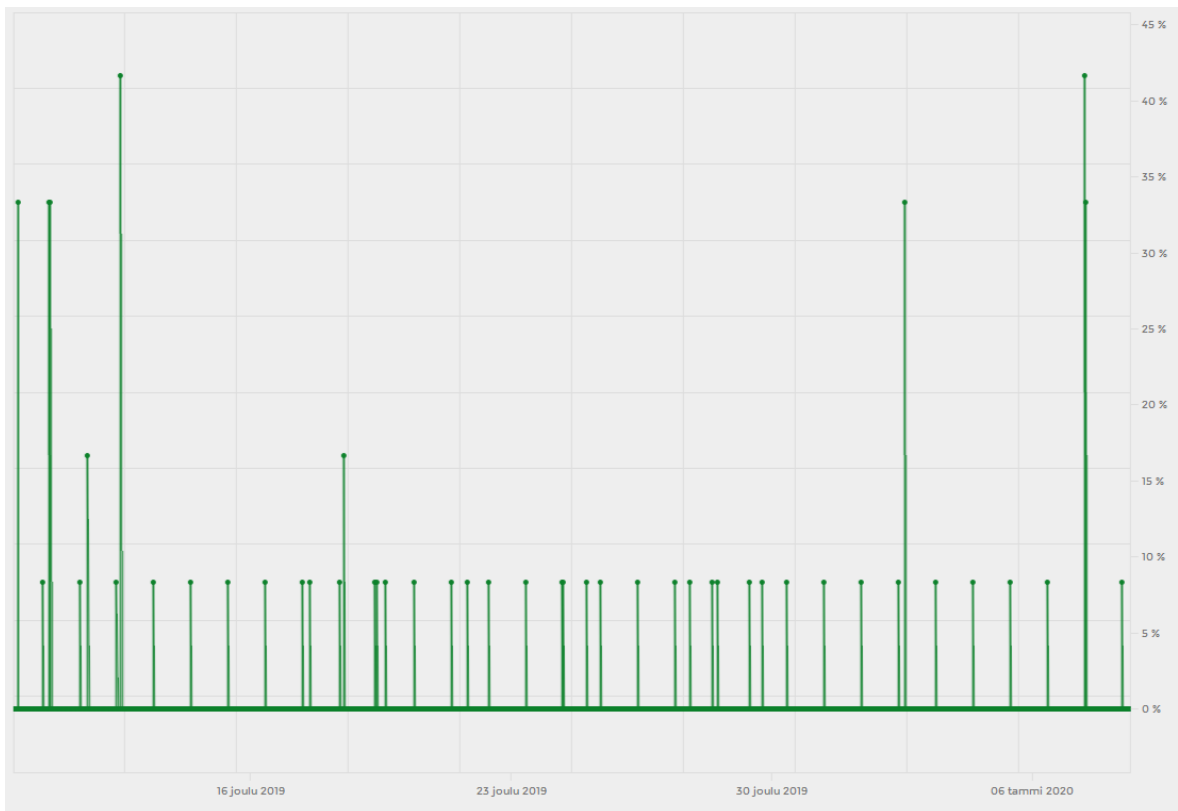
Kuva 47. Rakennus 7_2 gateway-laitteen online-status.



Kuva 48. Rakennus 7_2 gateway-laitteeseen liittyneiden antureiden lukumäärä.



Kuva 49. Rakennus 7_2 gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärä.



Kuva 50. Rakennus 7_2 gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvo.

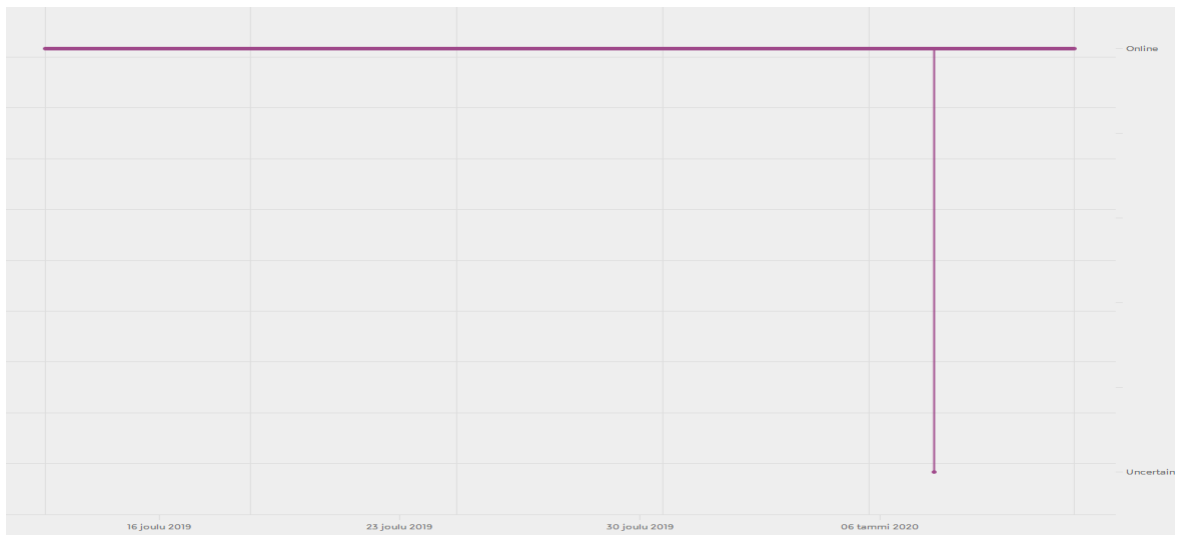
Laite on ollut yhteydessä verkkoon koko mittausjakson ajan, kuten kuvasta 47 nähdään. Kuvasta 48 nähdään, että laitteeseen liittyneiden anturien määrä on vaihdellut huomattavasti mittausjakson ajan. Kuvista 49 ja 50 nähdään laitteen lähettäneen dataa tasaisesti koko mittausjakson ajan. Molemmissa kuvissa on nähtävissä kuitenkin muutamia piikkejä mittausjakson alussa ja lopussa.

3.1.6. Rakennus 9

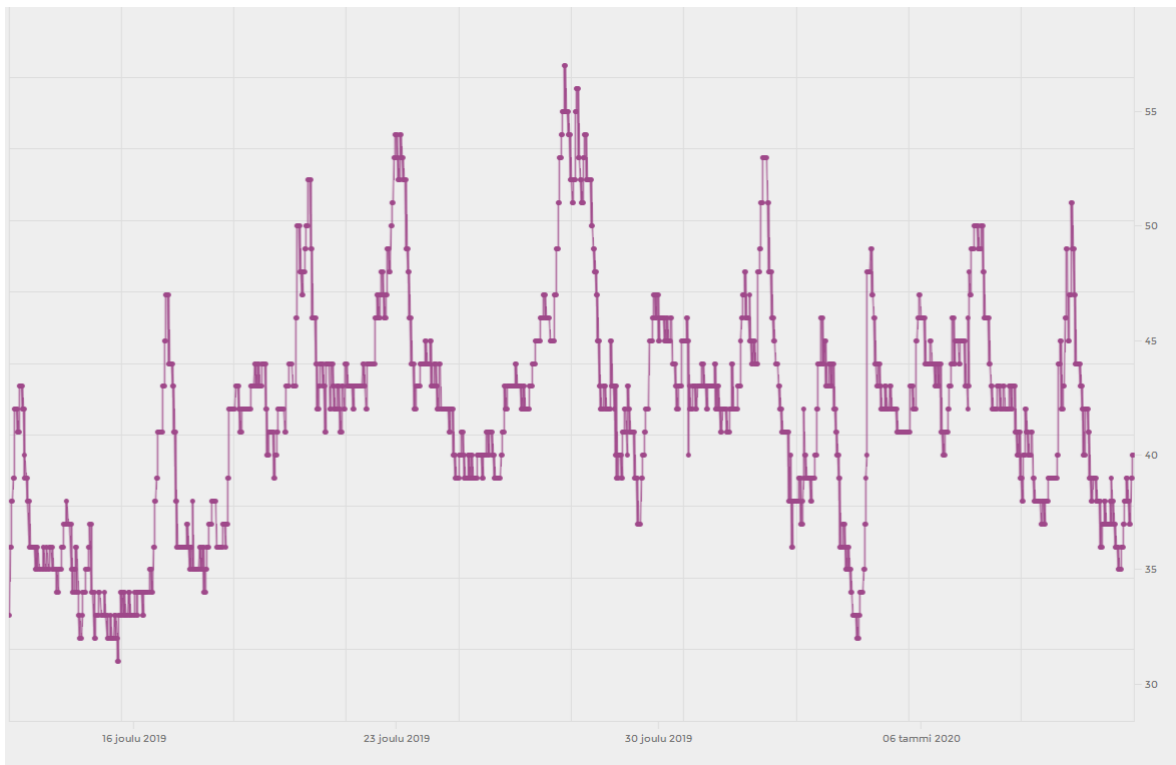
Rakennuksessa 9 on asennettuna yhteensä neljä gateway-laitetta kahteen eri kerrokseen. Molempiin kerroksiin on asennettuna kaksi gateway-laitetta.

3.1.6.1. Kerros 1

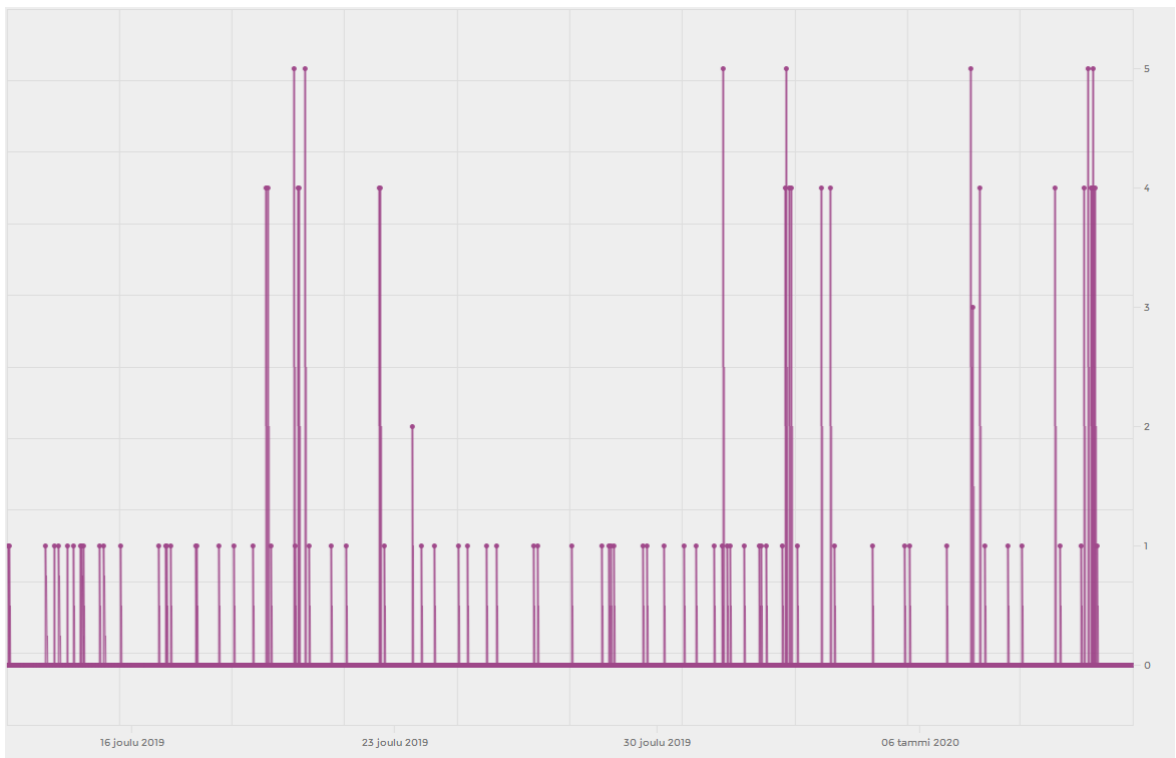
Kerroksen 1 gateway-laitteet ovat nimettynä rakennus 9_1 sekä rakennus 9_1_v. Kuva 51 esittää rakennus 9_1 gateway-laitteen online-statusa, kuva 52 rakennus 9_1 gateway-laitteeseen liittyneiden anturien lukumäärää, kuva 53 rakennus 9_1 gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärää ja kuva 54 rakennus 9_1 gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvoa.



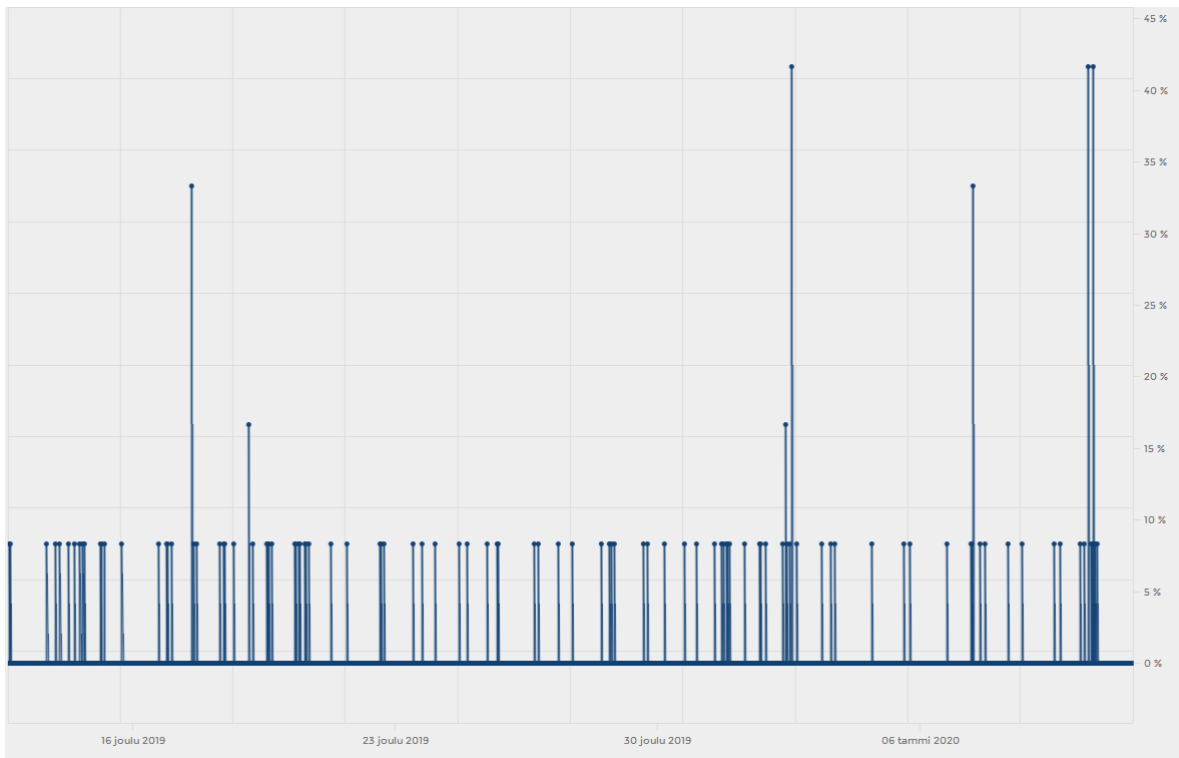
Kuva 51. Rakennus 9_1 gateway-laitteen online-status.



Kuva 52. Rakennus 9_1 gateway-laitteeseen liittyneiden antureiden lukumäärä.



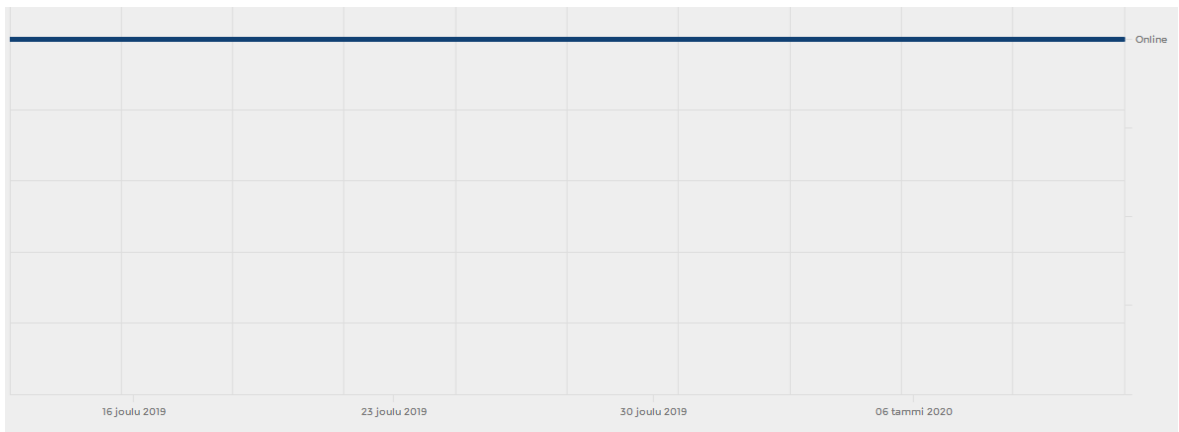
Kuva 53. Rakennus 9_1 gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärä.



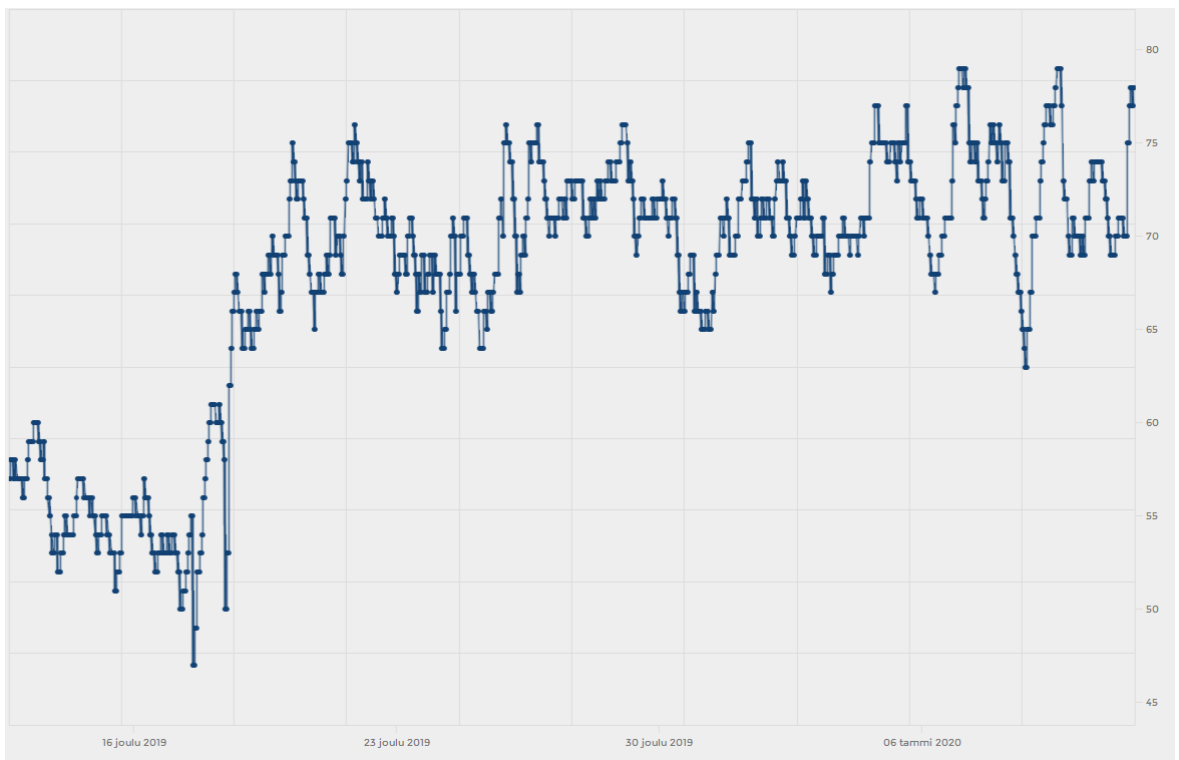
Kuva 54. Rakennus 9_1 gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvo.

Kuvasta 51 nähdään laitteen olleen yhteydessä verkkoon lähes koko mittausjakson ajan. Mittausjakson lopusta löytyy kuitenkin yksi kohta, jolloin laitteen yhteydestä ei ole varmuutta. Laitteeseen liittyneiden anturien määrä on vaihdellut koko mittausjakson ajan merkittävästi, kuten kuvasta 52 voidaan nähdä. Kuvista 53 ja 54 nähdään, että laite on lähettänyt dataa koko mittausjakson ajan suhteellisen tasaisesti. Kuvissa on kuitenkin nähtävissä piikkejä erityisesti mittausjakson lopussa.

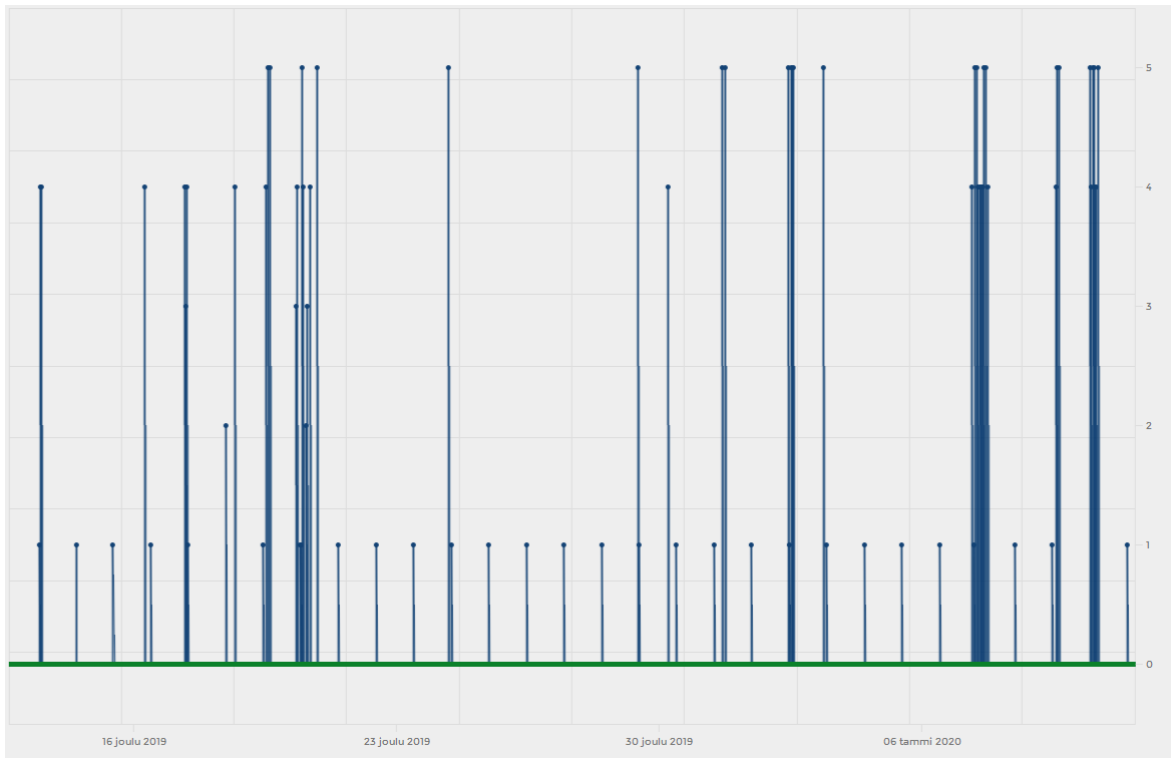
Kuva 55 esittää rakennus 9_1_v gateway-laitteen online-statusta, kuva 56 rakennus 9_1_v gateway-laitteeseen liittyneiden anturien lukumäärää, kuva 57 rakennus 9_1_v gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärää ja kuva 58 rakennus 9_1_v gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvoa.



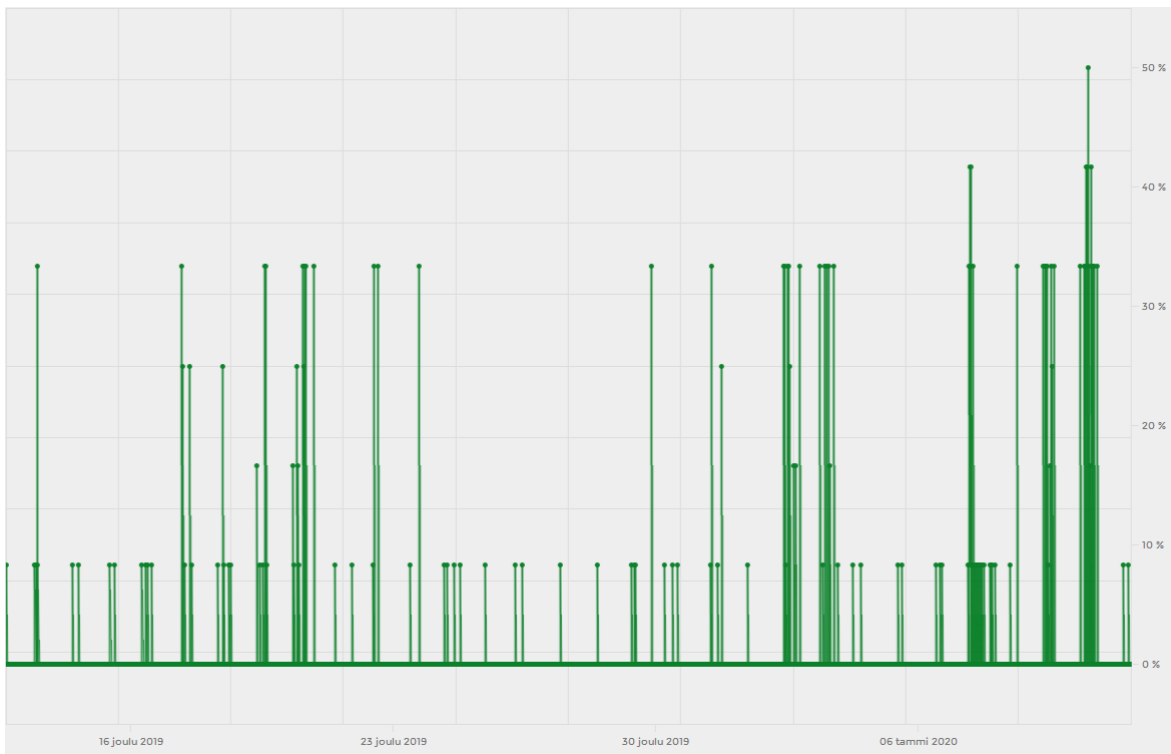
Kuva 55. Rakennus 9_1_v gateway-laitteen online-status.



Kuva 56. Rakennus 9_1_v gateway-laitteeseen liittyneiden antureiden lukumäärä.



Kuva 57. Rakennus 9_1_v gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärä.

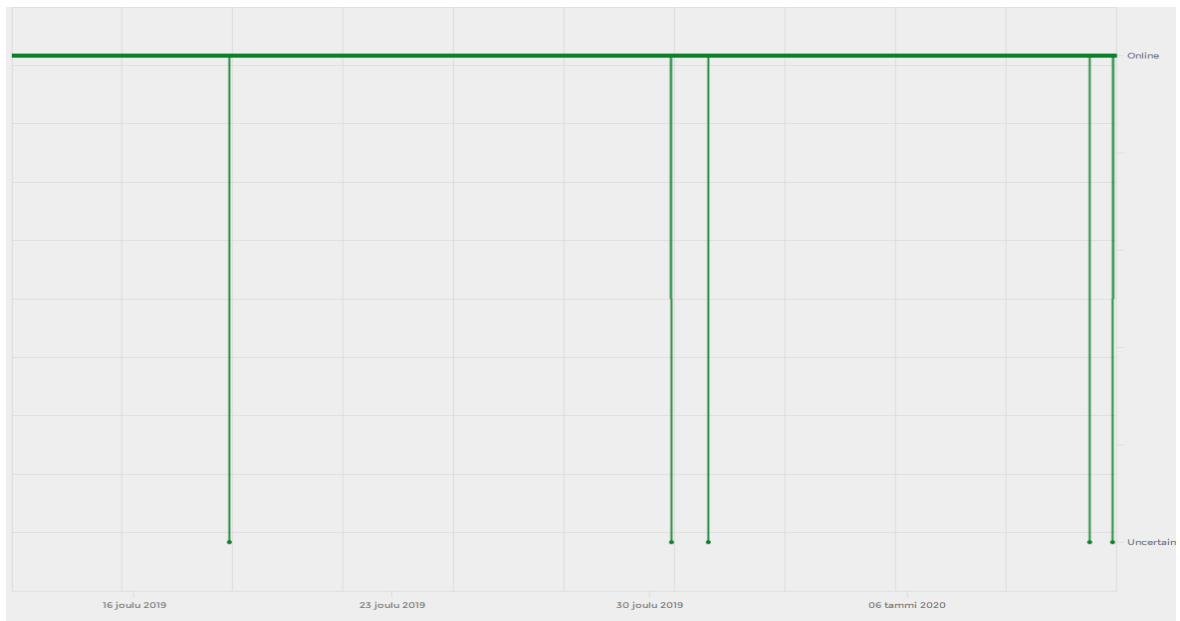


Kuva 58. Rakennus 9_1_v gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvo.

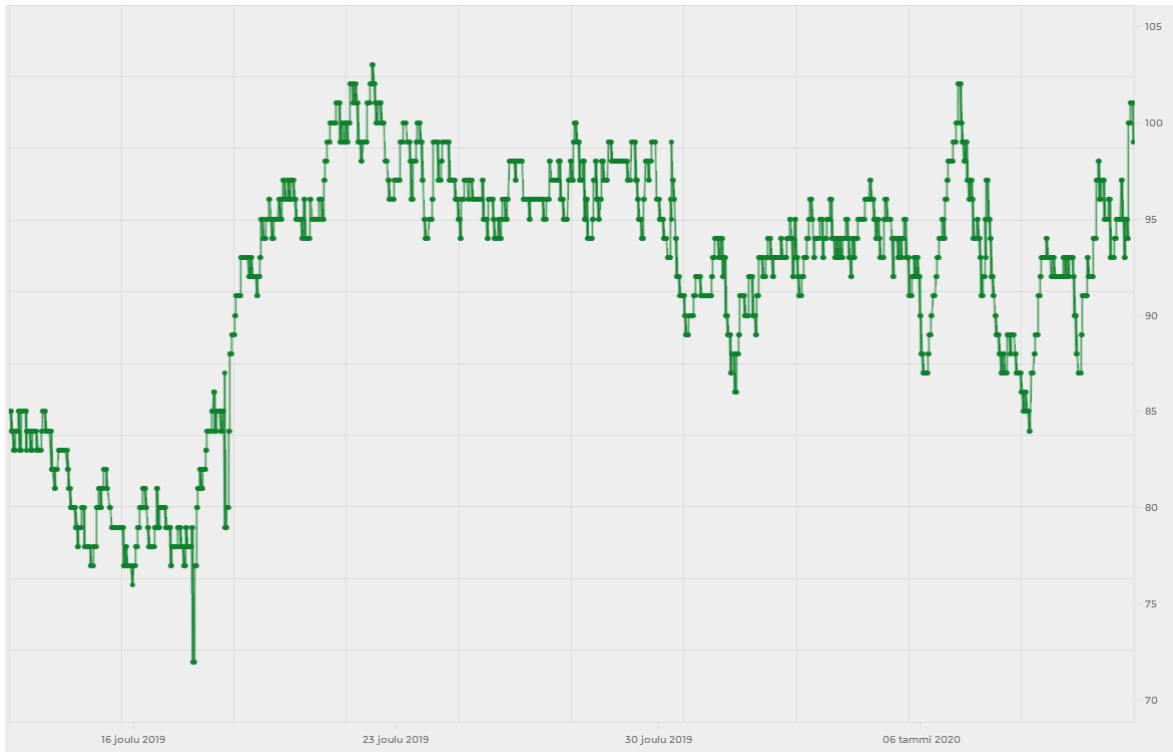
Kuvasta 55 nähdään, että laite on ollut koko mittausjakson ajan yhdistettynä verkkoon. Laitteeseen yhdistyneiden anturien määrä on noussut merkittävästi mittausjakson alusta, kuten kuvasta 56 nähdään. Kuvissa 57 ja 58 esiintyy paljon piikkejä. Piikkien suuresta määrästä huolimatta laite on saanut lähetettyä dataa koko mittausjakson ajan.

3.1.6.2. Kerros 2

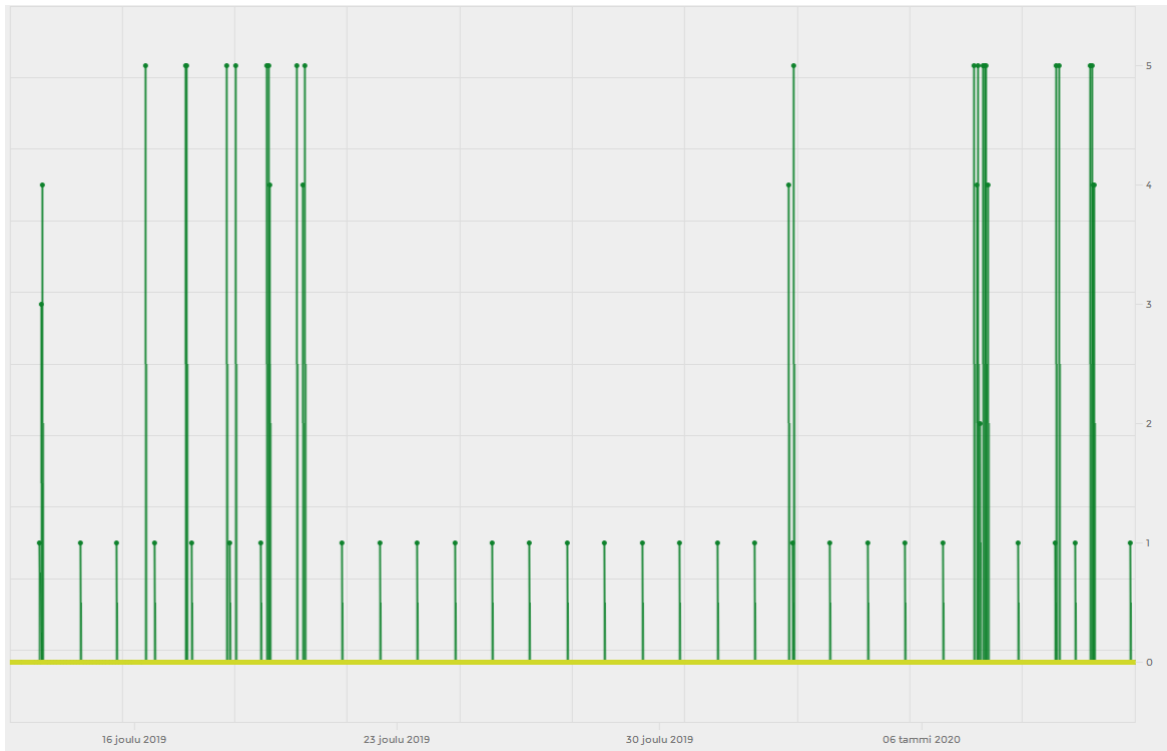
Toiseen kerrokseen on asennettu yhteensä kaksi gateway-laitetta. Laitteista toinen sijaitsee koneen hoitopuolella ja toinen vastaavasti käyttöpuolella. Käytetään gateway-laitteista nimityksiä Rakennus 9_2_hp ja Rakennus_2_kp. Kuva 59 esittää rakennus 9_2_hp gateway-laitteen online-status, kuva 60 rakennus 9_2_hp gateway-laitteeseen liittyneiden anturien lukumäärää, kuva 61 rakennus 9_2_hp gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärää ja kuva 62 rakennus 9_2_hp gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvoa.



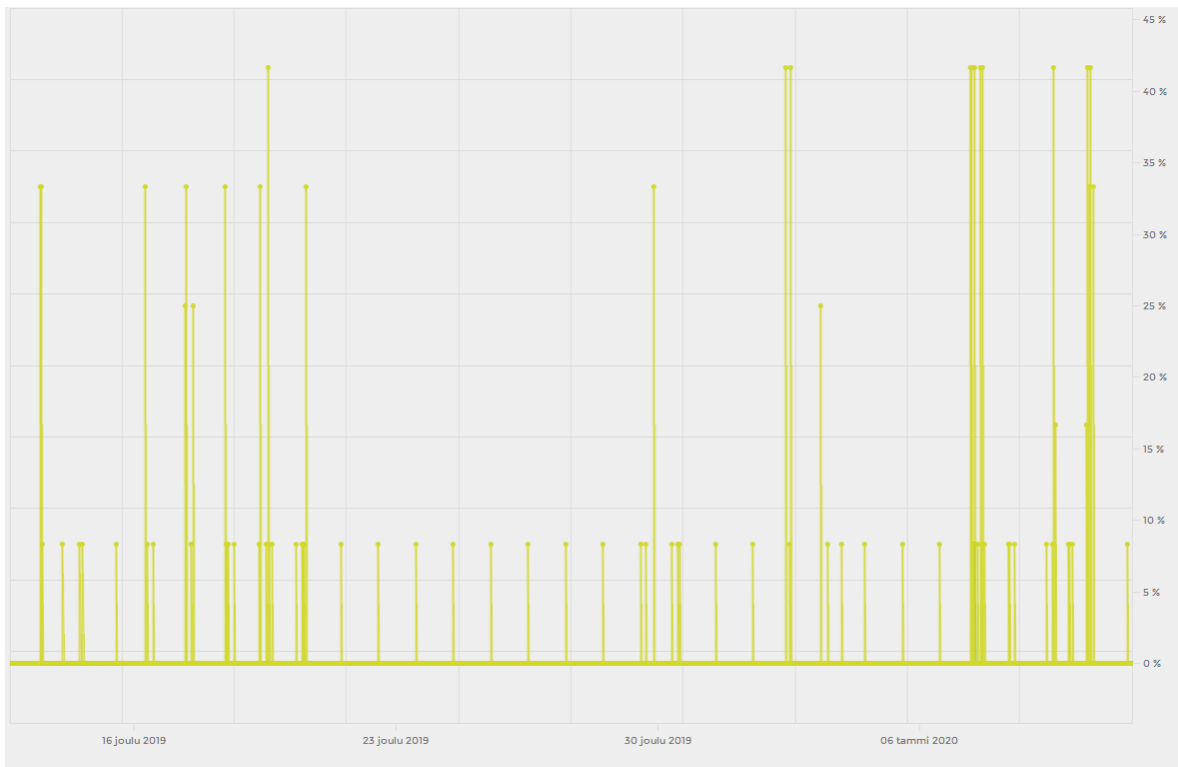
Kuva 59. Rakennus 9_2_hp gateway-laitteen online-status.



Kuva 60. Rakennus 9_2_hp gateway-laitteeseen liittyneiden antureiden lukumäärä.



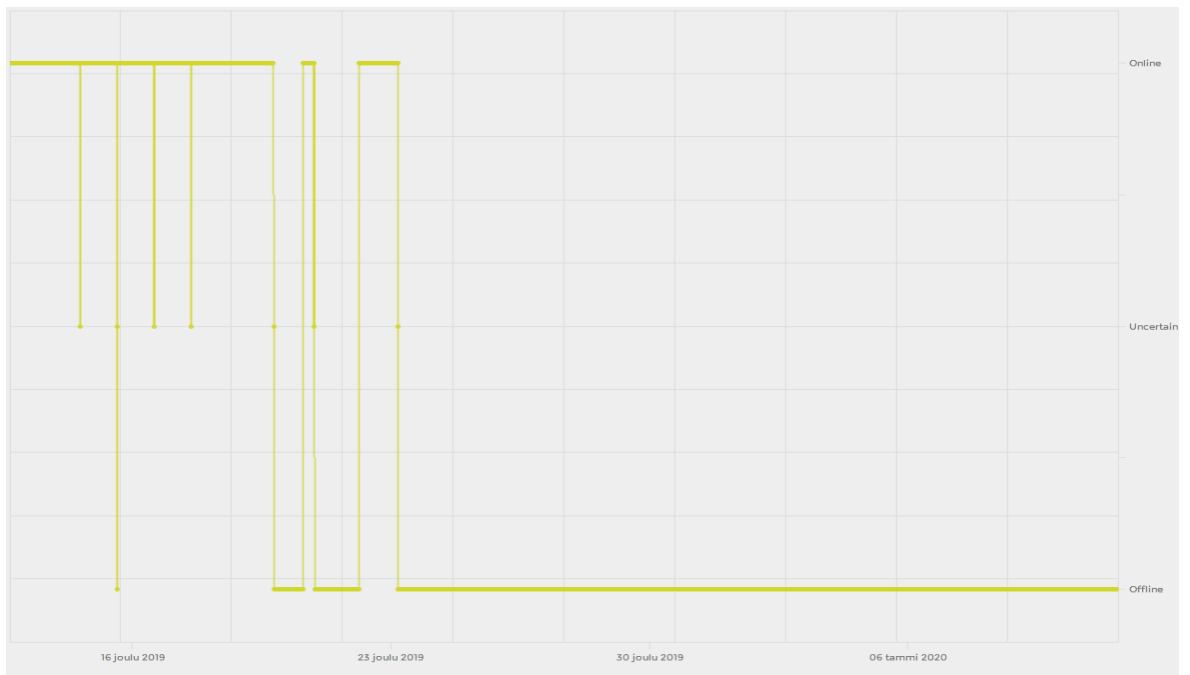
Kuva 61. Rakennus 9_2_hp gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärä.



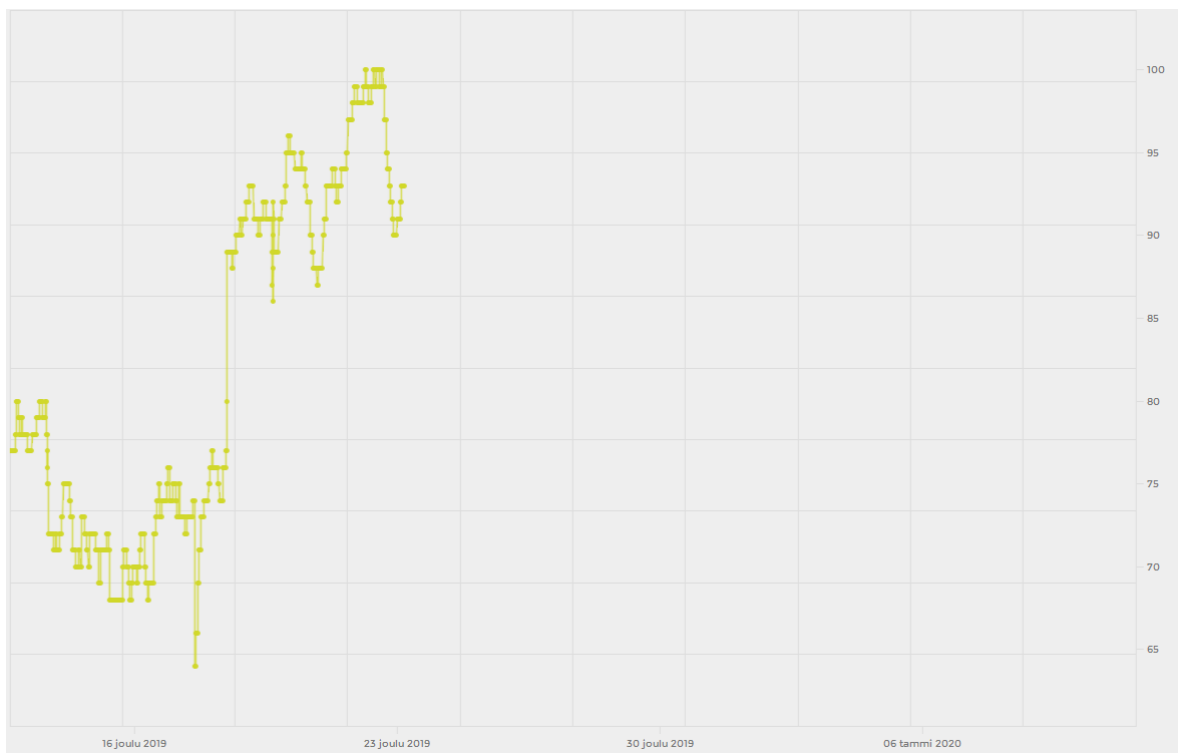
Kuva 62. Rakennus 9_2_hp gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvo.

Laite on ollut yhdistettynä verkkoon lähes koko mittausjakson ajan. Kuvasta 59 kuitenkin nähdään, että laite on ollut viisi kertaa epävarma yhteydestä mittausjakson aikana. Laitteeseen yhdistyneiden anturien määrä on kasvanut mittausjakson alun jälkeen. Kuvissa 61 ja 62 näkyy suhteellisen paljon piikkejä mittausjakson alussa ja lopussa. Laite on kuitenkin lähettänyt dataa koko mittausjakson ajan.

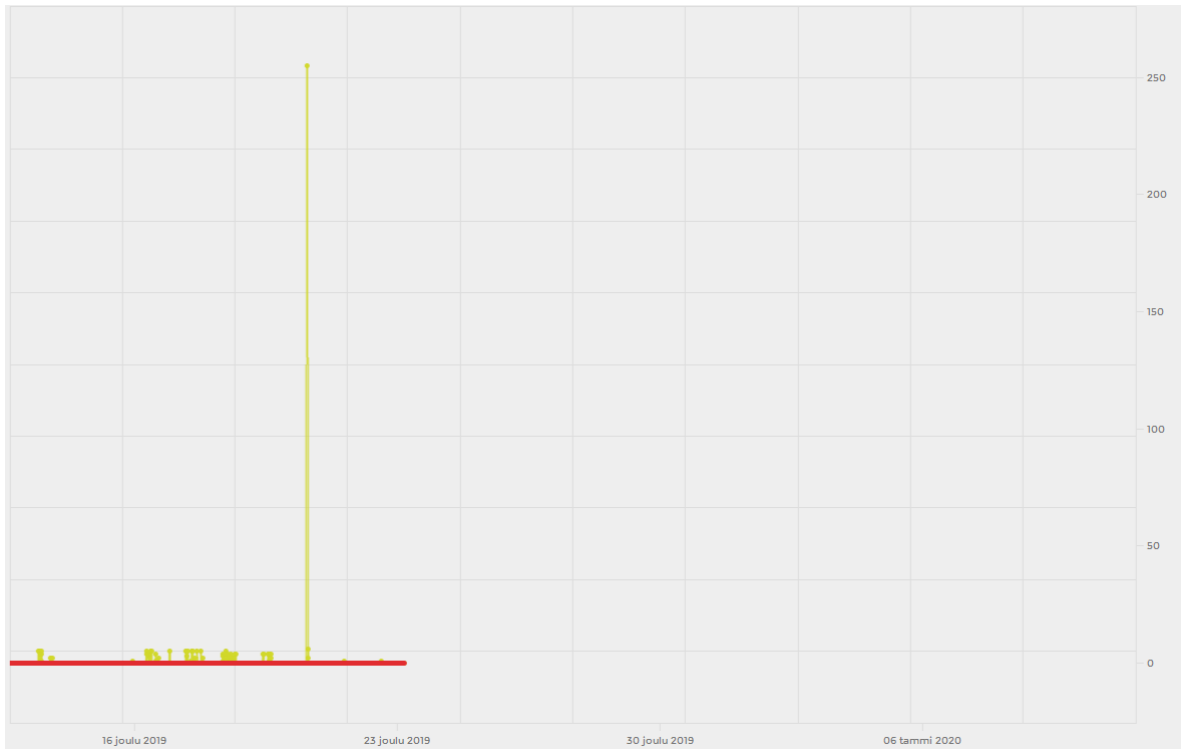
Kuva 63 esittää rakennus 9_2_kp gateway-laitteen online-statusta, kuva 64 rakennus 9_2_kp gateway-laitteeseen liittyneiden anturien lukumäärää, kuva 65 rakennus 9_2_kp gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärää ja kuva 66 rakennus 9_2_kp gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvoa.



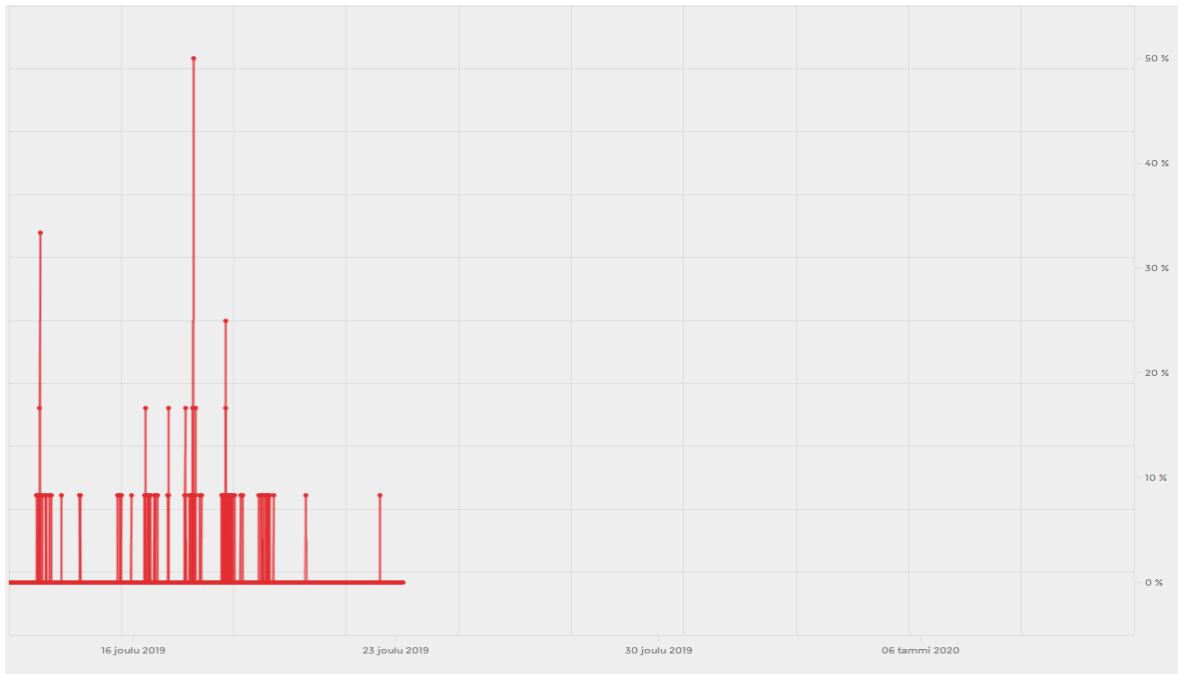
Kuva 63. Rakennus 9_2_kp gateway-laitteen online-status.



Kuva 64. Rakennus 9_2_kp gateway-laitteeseen liittyneiden antureiden lukumäärä.



Kuva 65. Rakennus 9_2_kp gateway-laitteen epäonnistuneiden verkkopakettien lukumäärä.

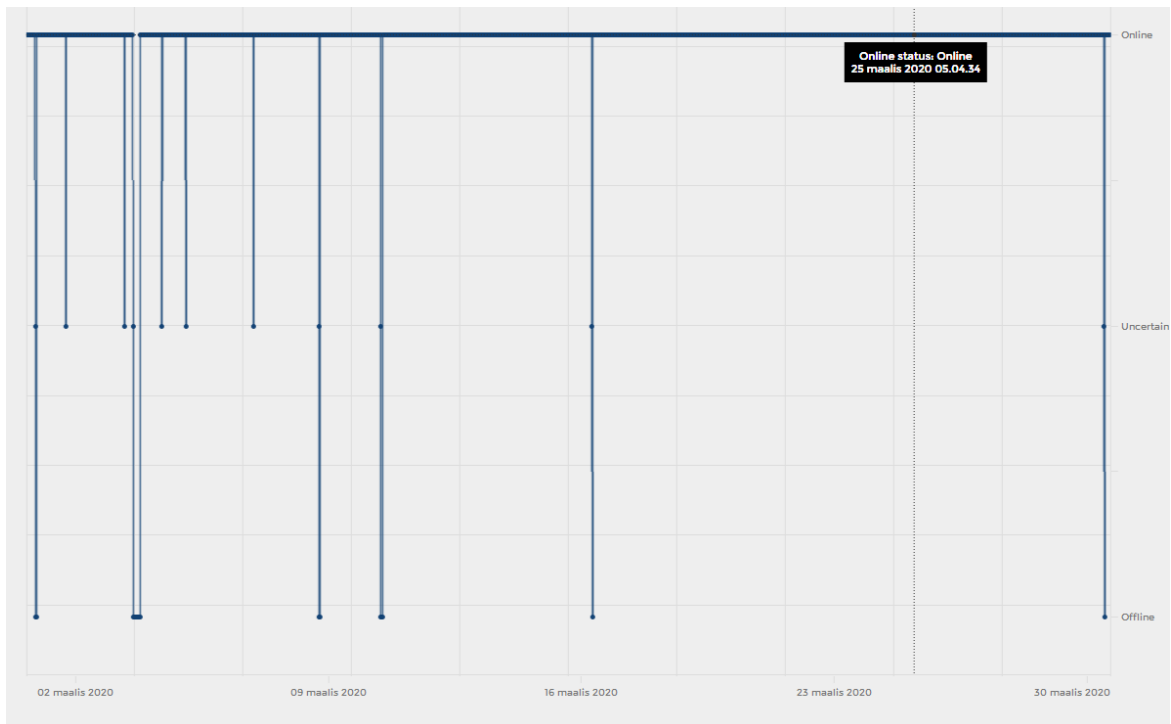


Kuva 66. Rakennus 9_2_kp gateway-laitteen lähetyksen aikaikkunan käytön huippuarvo.

Mittausjakson alussa laite on ollut vaihtelevasti yhdistyneenä verkkoon, kuten kuvasta 63 nähdään. Mittausjakson lopussa laite ei ole ollut yhdistyneenä verkkoon. Kuvasta 64 nähdään, että laitteeseen liittyneiden anturien määrä on kasvanut mittausjakson alusta. Kuvasta 65 nähdään, että laite on lähettänyt dataa vaihtelevasti mittausjakson aikana. Kuvassa on nähtävissä yksi suuri piikki sekä useampi matala piikki. Kuvasta 66 nähdään laitteen käyttäneiden lähetyksen aikaikkunaa suhteellisen tasaisesti muutamaa piikkiä lukuun ottamatta.

3.2. Testiverkon I mittaukset gateway-laitteiden ohjelmistopäivityksen jälkeen

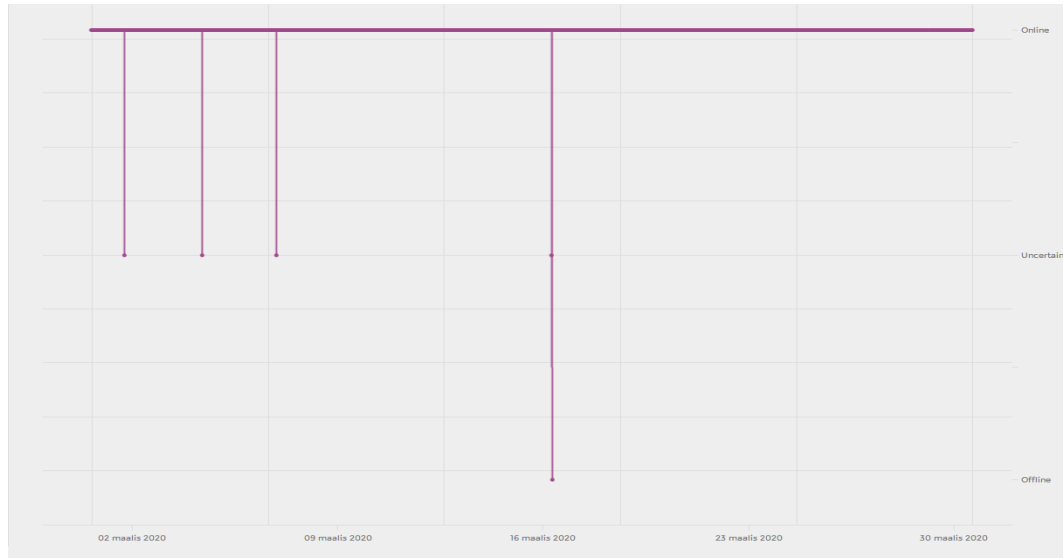
Testiverkkoon I kuuluvien gateway-laitteiden ohjelmisto päivitettiin mittausjakson jälkeen. Ohjelmistopäivityksen tarkoituksena oli parantaa gateway-laitteiden toimintavarmuutta. Kuvassa 67 on esitetty rakennuksen B24 gateway-laitteen online-status.



Kuva 67. B24 Gateway-laitteen online-status ohjelmistopäivityksen jälkeen

Kuvasta 67 nähdään, että gateway-laite on ollut Online-tilassa lähes koko mittausjakson ajan. Kun verrataan kuvaa 67 kuvaan 3 voidaan huomata, että ohjelmistopäivitys on parantanut gateway-laitteen toimintavarmuutta, lyhentämällä yhteysongelmien kestoa useista päivistä lyhyisiin hetkiin.

Kuvassa 68 on esitetty gateway-laitteen B44_1 online-status ohjelmistopäivityksen jälkeen.



Kuva 68. B44_1 gateway-laitteen online-status ohjelmistopäivityksen jälkeen.

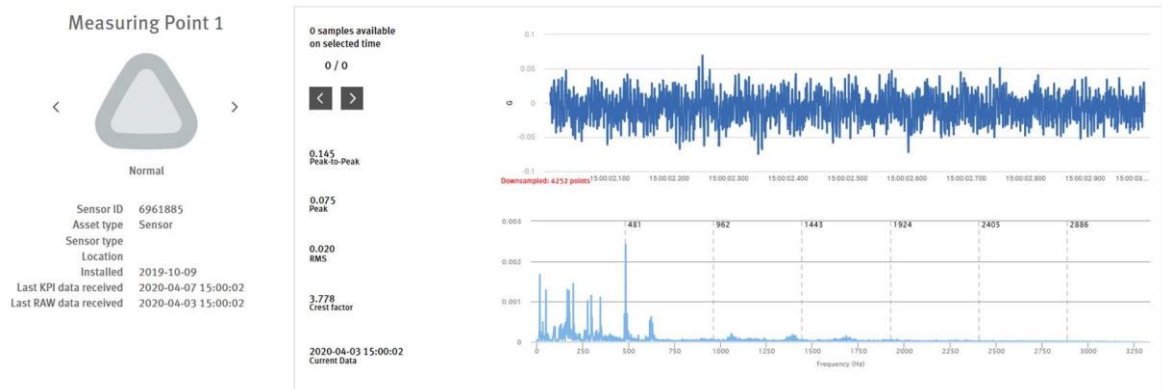
Kuvasta 68 nähdään, että myös gateway-laitteen B44_1 toimintavarmuus on parantunut merkittävästi ohjelmistopäivityksen myötä. Verrattaessa kuvaa 68 kuvaan 15 nähdään, että ohjelmistopäivityksen jälkeen laite on käynyt offline-tilassa vain kerran kuukauden aikana, kun taas ennen ohjelmistopäivitystä gateway-laite oli offline-tilassa useita kertoja mittausjakson aikana.

Ohjelmistopäivityksen jälkeen antureista saatu data on voitu kerätä pilveen, josta mitattua dataa voidaan tarkastella etänä. Kuvassa 69 on esitettyä esimerkki testiverkosta I saadusta mittausdatasta. Kuvasta nähdään, että antureista on saatu siirrettyä mitattua dataa pilveen tiheästi.



Kuva 69. Testiverkko I:sta saatua mittausdataa.

Kuvassa 70 on esitettyä testiverkon I anturista saatua raakadataa. Kuvasta on mahdollista tarkastella laitteessa havaittuja värähtelytaajuuksia. Kuvasta nähdään myös, että data on tallentunut koko mittausjakson ajalta, eikä värähtelyspektrissä ole aukkoja. Data on siis saatu siirrettyä anturista pilveen ilman virheitä.



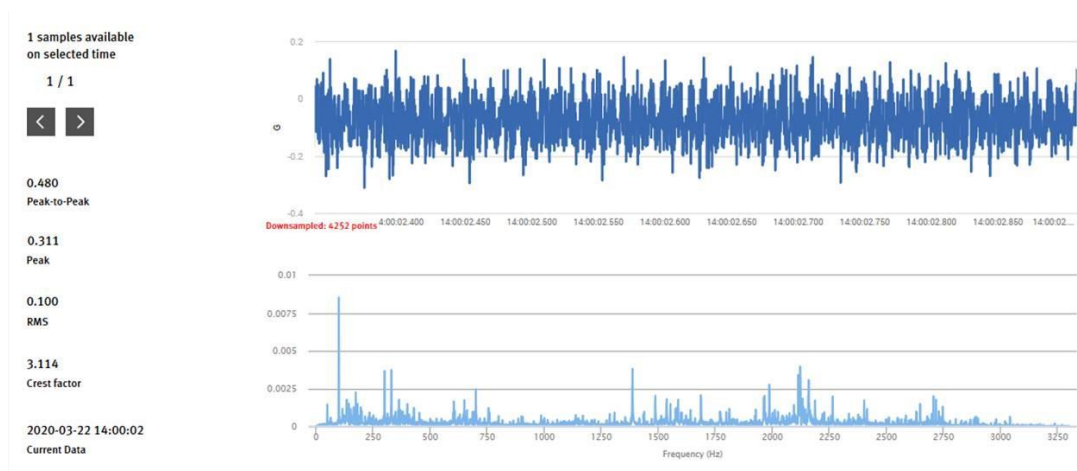
Kuva 70. Raakadataa testiverkosta I.

Kuvassa 71 on esitetty Testiverkosta II saatua mittausdataa. Kuvasta nähdään, että dataa on saatu kerättyä myös testiverkosta II hyvin. Kuvaajista nähdään, että antureista on saatu dataa siirrettyä pilveen tasaisin väliajoin.



Kuva 71. Mittausdataa testiverkosta II.

Kuvasta 72 nähdään, että myös raakadataa on saatu siirrettyä testiverkosta II samalla tavoin, kuin testiverkosta I. Värähtelyspektrissä ei näy aukkoja ja dataa on tallentunut koko mittausjakson ajalta.



Kuva 72. Raakadataa testiverkosta II.

3.3. Tulosten analysointi

Tuloksissa on nähtävissä selkeä ero testiverkkojen välillä. Suomessa sijaitsevassa testiverkossa on ollut huomattavan paljon vähemmän ongelmia, kuin Saksassa sijaitsevassa testiverkossa. Tulos on osittain odotusten kaltainen, sillä Saksassa sijaitsevaan testiverkkoon liitettyistä gateway-laitteista osa on asennettu tarkoituksella signaalin kannalta huonoihin olosuhteisiin. Testiverkon II gateway-laitteet toimivat kuitenkin kokonaisuutena huomattavan

paljon luotettavammin, kuin testiverkkoon I asennetut gateway-laitteet, vaikka otettaisiin huomioon joidenkin testiverkon I gateway-laitteiden huonompi asennuspaikka. Testiverkon I gateway-laitteista jokainen on menettänyt yhteyden verkkoon vähintään kerran mittausjakson aikana, kun taas testiverkossa II olevista laitteista vain laitteet rakennus 6_1 ja rakennus 9_2_kp ovat menettäneet yhteyden verkkoon mittausjakson aikana.

Tuloksista nähdään, että kaikissa gateway-laitteissa on tapahtunut epäonnistuneita verkkopakettien lähetyksiä vuorokauden välein koko mittausjakson ajan. Epäonnistuneet lähetykset tapahtuvat samaan aikaan vuorokaudesta, joten on mahdollista, että epäonnistuneet lähetykset ovat yhteydessä kerran vuorokaudessa lähetettäviin suuriin datapaketteihin. Epäonnistuneiden lähetysten määrä on suurempi testiverkossa II, kuin testiverkossa I. Testiverkossa I olevissa laitteissa epäonnistuneiden lähetysten lukumäärä on lähes koko mittausjakson ajan pysynyt yhden ja kahden paketin välillä. Testiverkossa II vaihtelu on ollut suurempaa ja epäonnistuneiden lähetysten lukumäärä on vaihdellut yhden ja viiden paketin välillä. Epäonnistuneiden lähetysten lukumäärällä ei kuitenkaan näytä olevan suoraa korrelaatiota gateway-laitteeseen yhdistettyjen antureiden lukumäärään, sillä testiverkon II gateway-laitteiden välillä on suuria eroja yhdistettyjen antureiden lukumäärässä. Epäonnistuneiden lähetysten kuvia katsottaessa ei voida kuitenkaan päätellä, kuinka monta anturia gateway-laitteeseen on yhdistetty. Vaikka testiverkoissa on havaittavissa epäonnistuneita verkkopakettien lähetyksiä, ei niiden lukumäärä ole kuitenkaan suuri verrattuna onnistuneisiin verkkopakettien lähetyksiin. Epäonnistuneiden verkkopakettien lähetysten määrä ei vaikuta suoraan verkon toimintaan, joten verkon toimintaa ei voida tarkastella vain epäonnistuneiden verkkopakettien lähetysten määrän avulla. (Abdul-Nabi, Khalil, Mary & H elard, 2017)

Ohjelmistopäivitys vaikuttaa parantaneen ainakin kahden gateway-laitteen toimintavarmuutta. Muiden laitteiden online-status ei muuttunut merkitt avasti ohjelmistopäivityksen jälkeen. T ama voi johtua gateway-laitteiden sijoituspaikoista. Gateway-laitteet B24 ja B44_1 ovat asennettu signaalin kannalta parempiin paikkoihin, kuin muut testiverkon I gateway-laitteet. Ohjelmistopäivityksen jälkeen hyv aan sijaintiin asennetut gateway-laitteet vaikuttavat toimivan hyvin, kuten testiverkon II laitteista n ahd aan.

4. POHDINTA

Testiverkossa I olevat laitteet toimivat huomattavasti epävarmemmin kuin testiverkossa II olevat laitteet. Tähän eroon vaikuttaa useampi eri asia. Testiverkon I laitteet ovat asennettu yhteyden suhteen huonompiin paikkoihin kuin testiverkon II laitteet. Asennuspaikan valinta vaikuttaa laitteen muodostaman 3G-yhteyden laatuun, jonka vuoksi huonoon paikkaan asennettu laite kärsii yhteysongelmista hyvään paikkaan asennettua laitetta herkemmin. Huonosta signaalista johtuvia yhteysongelmia voidaan korjata käyttämällä ulkoista antennia verkon muodostamiseen. Testiverkossa I esiintyneitä yhteysongelmia on voinut aiheuttaa myös mittausjakson aikana laitteisiin asennettuna olleet suomalaisen operaattorin SIM-kortit, jotka eivät ole välttämättä toimineet tarkoitetulla tavalla koko mittausjakson ajan.

Testiverkon II laitteet toimivat pääosin hyvin koko mittausjakson ajan. Poikkeuksen kuitenkin teki gateway-laite rakennus 9_2_kp, jonka yhteystila ei pysynyt vakaana mittausjakson alussa ja mittausjakson edetessä laite siirtyikin kokonaan pois verkosta. Kyseisen laitteen ongelmat eivät todennäköisesti johdu laitteen asennuspaikasta, sillä laitteen lähelle asennettu gateway-laite 9_2_hp toimi koko mittausjakson ajan.

Gateway-laitteiden verkkotekniikan muuttaminen 3G tekniikasta 4G tekniikkaan parantaisi luultavasti verkon toimintavarmuutta ja pidentäisi gateway-laitteiden käyttöikä. Verkon toimintavarmuus paranisi 4G verkkotekniikan myötä, sillä se mahdollistaa suuremman lähetysnopeuden kuin käytössä oleva 3G verkkotekniikka (Pinola, 2020). Verkon nopeus on riittävä tutkimuksessa käytetyissä sovelluksissa, joten on mahdollista, ettei verkkotekniikan vaihtamisella saavuteta merkittävää hyötyä, ellei lähetettävän datan määrää kasvateta pidentämällä antureiden mittausjaksoa. Uusien verkkotekniikoiden myötä vanhoja 2G ja 3G verkkoja aletaan sulkemaan ympäri maailmaa jo vuodesta 2022 alkaen, jolloin 4G verkkotekniikan hyödyntämisestä tulee välttämätöntä ainakin osassa maailmaa. (Sotra, 2019) Myös Suomessa 3G verkkotekniikan tuki tulee loppumaan tulevaisuudessa ja esimerkiksi Elisa Oyj on ilmoittanut sulkevansa 3G verkon vuoteen 2024 mennessä. (Elisa Oyj, 2020)

Mittausjakson jälkeen tehtyjen ohjelmistopäivitysten myötä vaikuttaa siltä, että verkko toimii suunnitellulla tavalla. Verkon toiminnan parantuminen on huomattavissa kuvissa 69-72, joista nähdään, että verkosta on saatu dataa siirtymään myös pilveen, jossa kerätyn datan

käsittely tapahtuu. Verkon toiminnan parantumista tukee myös kuvissa 67 ja 68 esitetyt testiverkon I kuvaajat, joissa gateway-laitteet ovat pysyneet yhteydessä verkkoon varmemmin kuin ennen ohjelmistopäivitystä. Esitettyjen tulosten perusteella vaikuttaakin siltä, että verkon kommunikaatio-ongelmat on saatu ratkaistua ohjelmistopäivitysten avulla. Tutkimuksessa testatun ratkaisun pohjalta on myös kehitetty tuote, joka tullaan julkaisemaan heinäkuussa 2020.

Tutkimuksessa käytetyn ratkaisun pohjalta kehitetyn tuotteen avulla olisi mahdollista suorittaa jatkotutkimuksia, joissa olisi mahdollista tutkia tarkemmin gateway-laitteisiin liitettyjen anturien toimintaa osana verkkoa. Jatkotutkimuksissa olisi myös mahdollista selvittää suurin mahdollinen yhteen gateway-laitteeseen liitettävien antureiden määrä sekä antureiden määrän kasvattamisen vaikutus verkon toimintavarmuuteen.

LÄHTEET

Abdul-Nabi, S., Khalil, A., Mary, P. & H elard, J. 2017. Efficient network coding solutions for limiting the effect of packet loss. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2017(1), pp. 1-14 [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2.4.2020] Saatavilla: <https://jwcn-urasipjournals.springeropen.com/articles/10.1186/s13638-017-0817-3>

Elisa Oyj, 2020. Elisa panostaa entistä vahvemmin 4G- ja 5G-verkkoihin – 3G-verkko on asiakkaiden käytössä vuoden 2023 loppuun saakka. ePressi [Lehdistötiedote]. [Viitattu 7.4.2020] Saatavilla: <https://www.epressi.com/tiedotteet/telekommunikaatio/elisa-panostaa-entista-vahvemmin-4g-ja-5g-verkkoihin-3g-verkko-on-asiakkaiden-kaytossa-vuoden-2023-loppuun-saakka.html>

Pinola M. 2020. 3G vs. 4G Technology. Lifewire [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 7.4.2020] Saatavilla: <https://www.lifewire.com/how-fast-are-4g-and-3g-internet-speeds-3974470>

Sotra M. 2019. Start planning for the 3G network shutdown. Geotab, Compliance [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 7.4.2020] Saatavilla: <https://www.geotab.com/blog/3g-network-shutdown/>

Wang, J., Xie, B. & Agrawal, D.P. 2009. Guide to Wireless Mesh Networks. London: Springer-Verlag London Limited, pp. 1 [E-Kirja]. [Viitattu 26.2.2020] Saatavilla: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-84800-909-7>