

LoRaWAN-päätelaitteiden käyttö ja datan hyödyntäminen: Stora Enso

LAB-ammattikorkeakoulu

Tradenomi (AMK)

2024

Marjo Jäkärä

Tiivistelmä

Tekijä Jäkärä, Marjo	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 31	Valmistumisaika 2024
Työn nimi LoRaWAN-päätelaitteiden käyttö ja datan hyödyntäminen: Stora Enso		
Tutkinto Tradenomi (AMK), tietojenkäsittely		
Toimeksiantajaorganisaatio (jos opinnäytetyöllä on toimeksiantaja) Stora Enso Oyj		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä LoRaWAN-tekniikkaan. Tavoitteena oli koota toimeksiantajalle kattava tietopaketti, jossa perehdytään LoRaWAN-tekniikkaan, ratkaisumallin hyödynnettävyyteen Suomen ulkopuolella sekä päätelaitteisiin, datan kulkuun ja datan hyödyntämiseen.</p> <p>LoRaWAN on LPWAN-verkkotekniikkaan kuuluva langaton tiedonsiirtoverkko. LoRaWAN on tarkoitettu pienitehoiseen tiedonsiirtoon, joten se soveltuu erityisesti IoT-laitteille.</p> <p>Opinnäytetyössä hyödynnettiin verkkolähteitä ja toimeksiantajaorganisaation sekä Digitaalisen asiantuntijoita. Lisäksi hyödynnettiin Digitaalisen Support Portalia ja Actilityn Thingpark-alustaa.</p> <p>Opinnäytetyöstä saa yleiskuvauksen LoRaWAN-tekniikasta ja sen rajoituksista sekä hyödynnettävyydestä esim. roaming-ominaisuuksien suhteen. Datalla osalta paneudutaan datan muotoon, kulkuun sekä käytännön hyödynnettävyyteen.</p>		
Asiasanat LoRaWAN, LoRa, IoT, data, roaming, hyödynnettävyys		

Abstract

Author(s) Jäkärä, Marjo	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2024
	Number of Pages 31	
Title of Publication The usage of LoRaWAN-enabled end devices and data utilization		
Name of Degree Bachelor of Business Administration, Business Information Technology (UAS)		
Organization of the client (if the thesis work is commissioned by another party) Stora Enso Oyj		
Abstract <p>The purpose of the thesis was to familiarize LoRaWAN technology. The intention was to combine a comprehensive information package which introduces LoRaWAN technology and the usability of the solution model outside of Finland. In addition, data flow and utilization were also addressed.</p> <p>LoRaWAN is a data transmission network included in LPWAN network technologies. LoRaWAN is intended for low-power data transmission which makes it especially suitable for IoT devices.</p> <p>Online sources and the experts of the client organization and Digita were used in the thesis as a source. Digita's Support Portal and Actility's Thingpark platform were also used as a source.</p> <p>The thesis provides a general overview of LoRaWAN technology and its limitations as well as its usability in terms of e.g. roaming features.</p>		
Keywords LoRaWAN, LoRa, IoT, data, roaming, utilization		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	LoRaWAN-teknologia	2
2.1	LoRa ja LoRaWAN	2
2.2	Taajuusalue ja rajoitukset.....	3
2.3	Käyttökohteet	4
2.4	Verkkoarkkitehtuuri.....	4
2.5	Päätelaitteet	5
2.6	Yhdyskäytävät.....	7
2.7	Palvelimet.....	8
2.8	Turvallisuus ja aktivointi.....	11
3	LoRaWAN-ratkaisun hyödynnettävyys Suomen ulkopuolella	13
3.1	LoRaWAN-roaming	13
3.2	Lisätukiasemat	16
4	Päätelaitteen vaatimukset ja liittäminen Digitan verkkoon	17
4.1	Hankinta	17
4.2	Merkit ja sertifikaatit.....	18
4.3	Lisääminen ja hallinta	19
5	Päätelaitteen data.....	21
5.1	Datan kulku	21
5.2	Datan hyödynnettävyys ja rajoitukset	21
6	Yhteenveto ja pohdinta	23
	Lähteet	28

Liite 1. Päätelaitteen vaatimukset Digitan LoRaWAN-verkkoon liittämiseksi

1 Johdanto

IoT on lyhenne sanoista *Internet of Things* (suom. esineiden Internet). IoT on järjestelmä, joka koostuu fyysisistä laitteista ja sensoreista, jotka voivat kerätä ja lähettää dataa muiden IoT-laitteiden sekä pilven kanssa. (Gillis 2023.) Statistan mukaan vuonna 2023 verkkoon yhdistettyjä IoT-laitteita oli 15,14 miljardia ympäri maailman. Vuonna 2030 määrän ennustetaan olevan jo 29,42 miljardia. (Statista 2024.)

IoT-laitteille soveltuvia langattomia verkkoratkaisuja ovat mm. matkapuhelinverkot kuten NB-IoT tai 4G, LAN/PAN (*Local Area Network*) kuten WiFi tai Bluetooth Low Energy, LPWAN (*Low Power Wide Area Network*) kuten LoRaWAN tai Sigfox sekä Mesh-protokollat kuten Zigbee tai RFID. (Muts 2023.) Tässä työssä keskitytään LoRaWAN-verkkoratkaisuun.

Stora Enso toimii pakkaus-, biomateriaali- ja puutuoteteollisuuden uusiutuvien tuotteiden globaalina toimittajana ja on eräs suurimpia yksityisiä metsänomistajia maailmassa. Stora Enso uskoo, että kaikki, mikä nykypäivänä valmistuu uusiutumattomista materiaaleista, on mahdollista huomenna valmistaa puusta. Konsernissa on työntekijöitä noin 21 000. Stora Enson liikevaihto vuonna 2022 oli 11,7 miljardia euroa ja Suomeen investoitiin noin 1,3 miljardia euroa. (Stora Enso.)

Opinnäytetyön tavoitteena on toimittaa Stora Enson käyttöön selvitystyö LoRaWAN-teknologiasta. Tarkoituksena on selvittää ymmärrettävästi, mistä LoRaWAN-verkossa on kyse, millaisiin käyttötapauksiin se soveltuu ja mitä seikkoja on tarpeen huomioida, mikäli IoT-laitteita halutaan liittää LoRaWAN-verkkoon. Lisäksi tarkastellaan nykyisen LoRaWAN-ratkaisun hyödynnettävyyttä valikoiduissa Euroopan maissa sekä perehdytään datan kulkuun ja hyödynnettävyyteen. IoT-laitteiden yleistymisen myötä selvitystyölle on tarvetta sekä kiinnostusta.

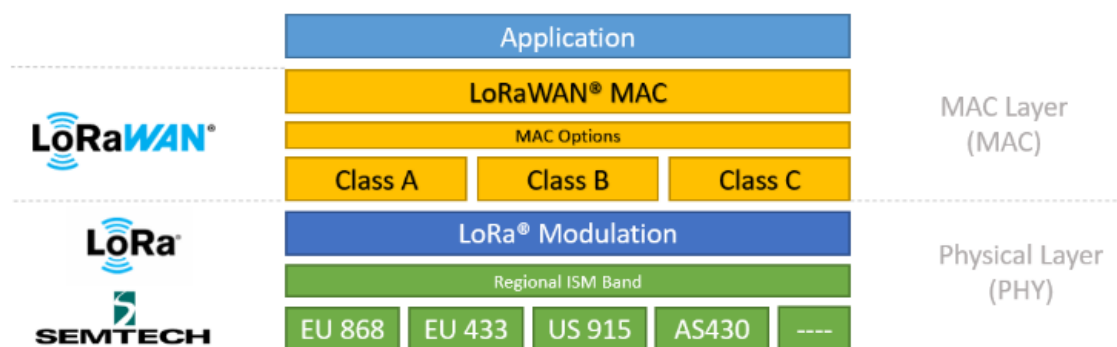
2 LoRaWAN-teknologia

2.1 LoRa ja LoRaWAN

LoRa (*Long Range*) on pitkänkantaman langaton modulaatiotekniikka, joka mahdollistaa langattoman datansiirron ja jota päätelaitteet ja reitittimet käyttävät keskinäisessä kommunikaatiossa. LoRa-teknikka on Semtechin kehittämä ja omistama. (Froehlich 2020.)

LoRa-teknologiassa signaalien kantama pitkilläkin etäisyyksillä on hyvä: kaupunkialueilla jopa 5 kilometriä ja maaseudulla yli 15 kilometriä, riippuen päätelaitteiden sijainneista. Samaan aikaan tehonkulutus pysyy minimissä. (LoRa Developer Portal.)

LoRaWAN (*Long Range Wide-Area Network*) puolestaan on globaali, avoimeen lähdekoodiin pohjautuva verkkoratkaisu, joka on rakennettu LoRa-modulaation päälle. LoRaWAN koostuu LoRa-päätelaitteista ja -reitittimistä, sovelluksista ja palvelimista, jotka toimivat taustalla. (Digita b.) Kuvassa 1 on esitettyinä LoRaWAN-kerrokset.



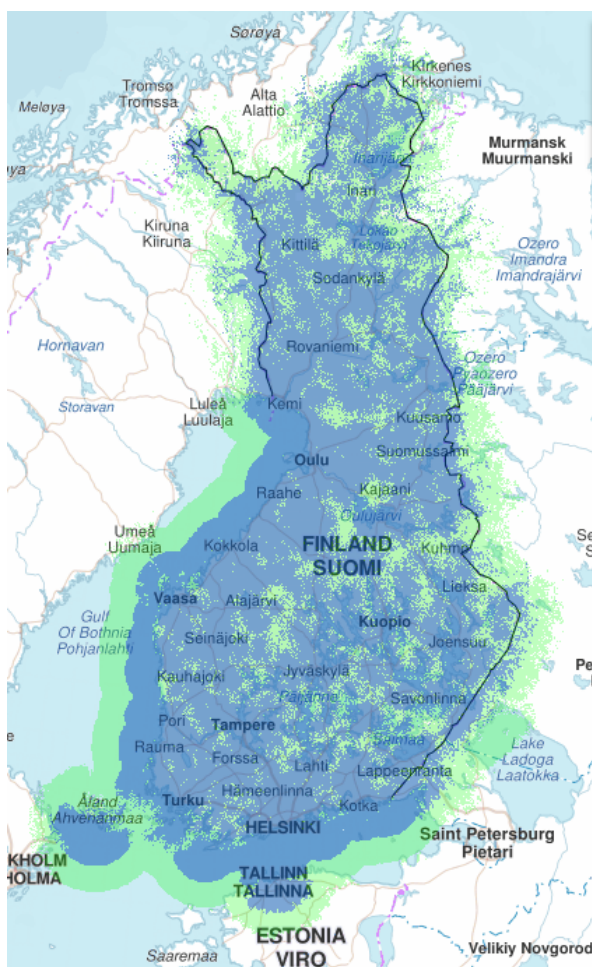
Kuva 1. LoRaWAN-teknologiapino (Semtech b)

LoRaWAN on tarkoitettu nopeaan, langattomaan ja vähätehoiseen tiedonsiirtoon ja se kuuluu langattomaan LPWAN-verkkoteknologiaan (*Low Power Wide Area Network*). Verkko soveltuu pienien datamäärien lähettämiseen sekä vastaanottamiseen. Tiedonsiirtonopeus LoRaWAN-verkossa on tyypillisesti 0,3–50 Kb/s ja tiedonsiirtomäärät joitakin kymmeniä tavuja. (Digita b.) Tiedonsiirtonopeuden mukautus tapahtuu dynaamisesti LoRaWAN-protokollan mukaan ja siihen vaikuttaa miten kaukana anturi on reitittimestä (Lorrain 2022).

LoRaWANin merkittävimpiin piirteisiin kuuluvat helppo käyttöönotto, paikannuspalvelut, liikuteltavuus sekä kaksisuuntainen tiedonsiirto. Tiedonkeruuseen käytetyt anturit ovat kevyitä ja vaivattomia asentaa paikoilleen, koska ne eivät vaadi kaapelointia. Tyypillisesti dataliikenne on anturista eli päätelaitteesta verkon suuntaan. Lähetystiheys viesteillä on tavallisimmin 15–60 minuuttia. LoRaWAN on Lora Alliance -järjestön standardoima ja järjestö vastaa verkon kehityksen hallinnoinnista. (Digita b.)

Suomessa LoRaWAN-verkkoratkaisuja tarjoaa Digita. Kuvasta 2 käy ilmi Digitan LoRaWAN-verkon peitto. Sininen väri kuvaa verkon peittoa päätelaitteen ollessa sijoitettuna sisätiloihin ja vihreä väri, kun päätelaitte on sijoitettuna ulkotiloihin. Kartta on tietokonemallinnus, jonka peittoalueen rajat perustuvat seuraaviin parametreihin:

- SF (Spreading Factor) 12
- päätelaitte sijoitettuna 1,5 metrin korkeudelle maanpinnasta
- dataliikenne päätelaitteelta verkon suuntaan. (Digita c.)



Kuva 2. Digitan LoRaWAN-verkon peitto Suomessa (Digita c)

2.2 Taajuusalue ja rajoitukset

LoRaWAN toimii ISM-taajuuksilla (*Industrial, Scientific & Medical*), jotka ovat lisensoimattomia ja tarkoitettu käytettäväksi teollisuudessa, tieteessä sekä lääketieteessä. Radiotaajuuksissa on maa- ja aluekohtaisia eroja. (The Things Network f.) Suomessa käytetään EU433-kaistan taajuuksia 433,05–434,79 MHz sekä EU863-870 kaistojen taajuuksia 863–873 MHz (LoRa Alliance 2022).

LoRaWANin käyttämät radiotaajuudet ovat matalampia ja kantamat pidempiä, johon liittyy usein alue- ja maakohtaisia rajoituksia (The Things Network f). Esimerkiksi Euroopassa ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) on määrittellyt toimintasuhteelle (*duty cycle*) tiettyjä rajoituksia: esim. osuuden ajasta, jonka laite saa lähettää. Tämä on tyypillisesti yhden prosentin. (The Things Network e.)

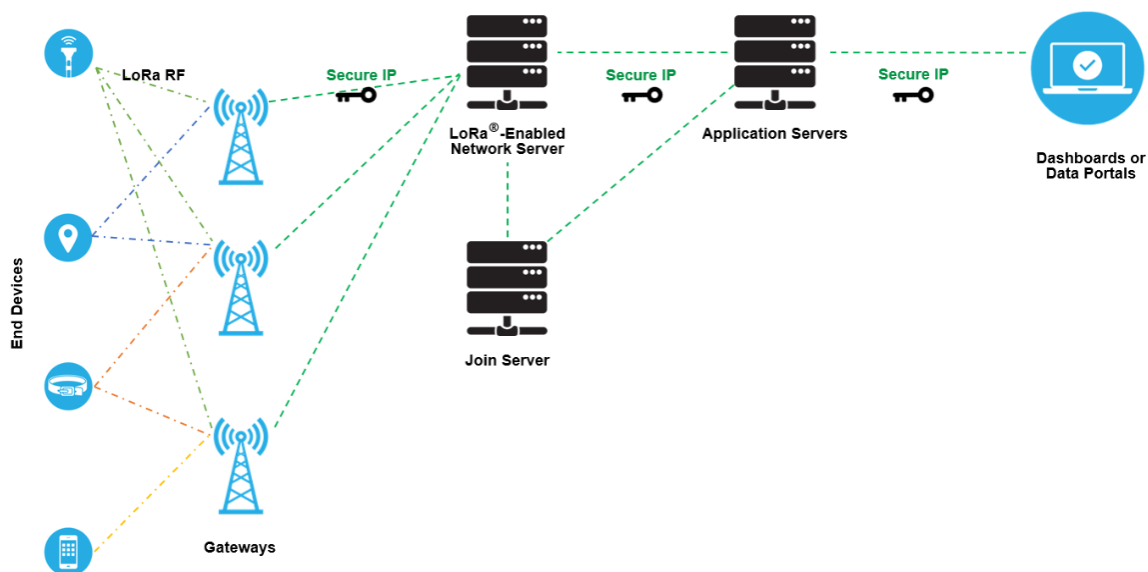
2.3 Käyttökohteet

Sopivimpia käyttökohteita ovat kohteet, jotka eivät vaadi jatkuvaa tiedonsiirtoa. Tällaisia voivat olla esim. paikannukset, olosuhteiden mittaukset tai erilaiset etäluennat. Energiankulutus kasvaa mitä useammin tietoja siirretään, mikä puolestaan pienentää antureiden pariston kestoja. Valtaosa käytettävistä antureista toimii paristoilla. On mahdollista, että riittävän harvalla tiedonsiirrolla pariston käyttöikä on lähemmäs 10 vuotta. (Anttila 2019.)

Sensorit mahdollistavat mittaukset sellaisista paikoista, joihin ihmisten on hankala päästä: esim. automaattivarastoista. Lisäksi mittauksia on mahdollista suorittaa myös liikkuvista kohteista kuten trukeista. (Leinonen 2023.)

2.4 Verkkoarkkitehtuuri

Kuvasta 3 käy ilmi tyypillinen toteutus LoRaWAN-verkolle, jonka arkkitehtuuri on tähtitopologian mukainen. Päätelaitte (*end device*) on yhteydessä yhdyskäytävään (*gateway*) ja yhdyskäytävä puolestaan verkkopalvelimeen (*network server*). On mahdollista, että samaan verkkoon kuuluu useita päätelaitteita, yhdyskäytäviä sekä palvelimia. (Semtech b.)

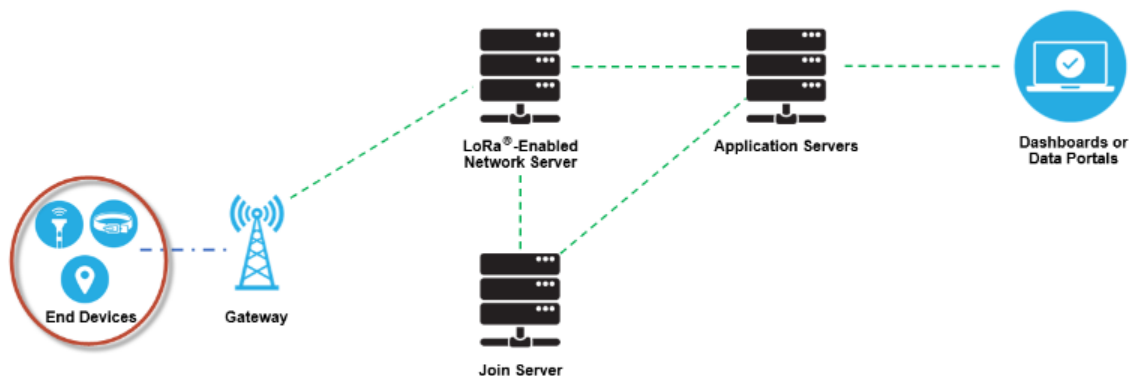


Kuva 3. LoRaWAN-verkon tavanomainen toteutus (Semtech b)

Digitan verkko tukee LoRaWAN-versioita 1.1 sekä 1.0.x ja on päätelaitteesta kiinni, mitä versiota hyödynnetään. 1.1-versiota hyödyntäviä laitteita on melko harvassa, mutta ne tulevat todennäköisesti yleistymään tulevaisuudessa. (Hörkkö 2023.)

2.5 Päätelaitteet

LoRaWAN-yhteensopivat päätelaitteet ovat sensoreita/antureita tai käyttölaitteita. Ne ovat yhdistetty langattomasti LoRaWAN-verkkoon yhdyskäytävien kautta käyttäen LoRa RF -modulaatiota. (Semtech b.) Kuvassa 4 näkyy päätelaitteen asema tavanomaisessa LoRaWAN-verkon toteutuksessa.

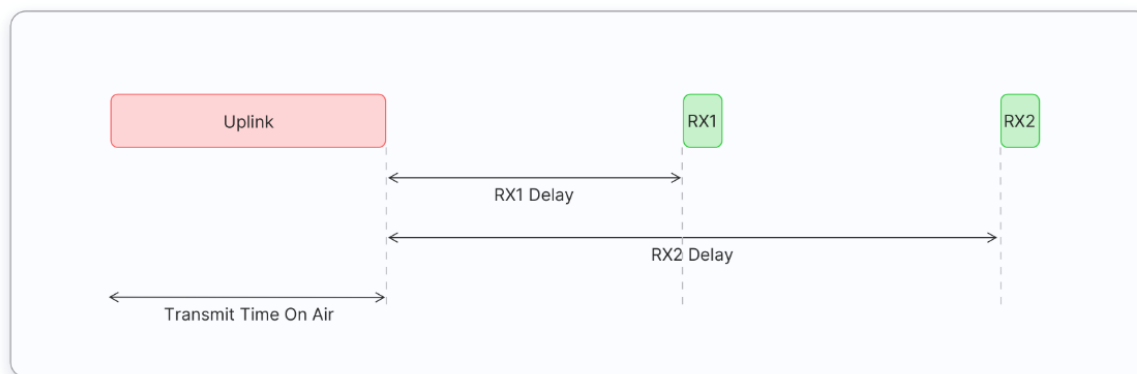


Kuva 4. Päätelaite tavanomaisessa LoRaWAN-verkon toteutuksessa (Semtech b)

LoRaWAN-päätelaitteita on kolme laitetyyppiä: A (*All*), B (*Beacon*) ja C (*Continuous*). Kaikki kolme tyyppiä ovat kaksisuuntaisesti kommunikoivia eli ne pystyvät sekä lähettämään, että vastaanottamaan dataa. (Czeczot ym. 2023.)

A-luokan laite

A-luokan laite voi lähettää uplink-viestin milloin tahansa. Lähetyksen jälkeen laite avaa kaksi lyhyttä vastaanottoikkunaa (RX1 ja RX2) vastaanottaakseen downlink-viestin verkosta. Mikäli vastaanottoikkunat eivät saa vastausta verkkopalvelimelta, ajoitetaan seuraava downlink välittömästi seuraavan uplink-lähetyksen jälkeen. Verkkopalvelin voi vastata ensimmäisen vastaanottoikkunan (RX1) tai toisen vastaanottoikkunan (RX2) aikana. (The Things Network a.) Päätelaitteen viestintää palvelimelle on nähtävissä kuvassa 5.

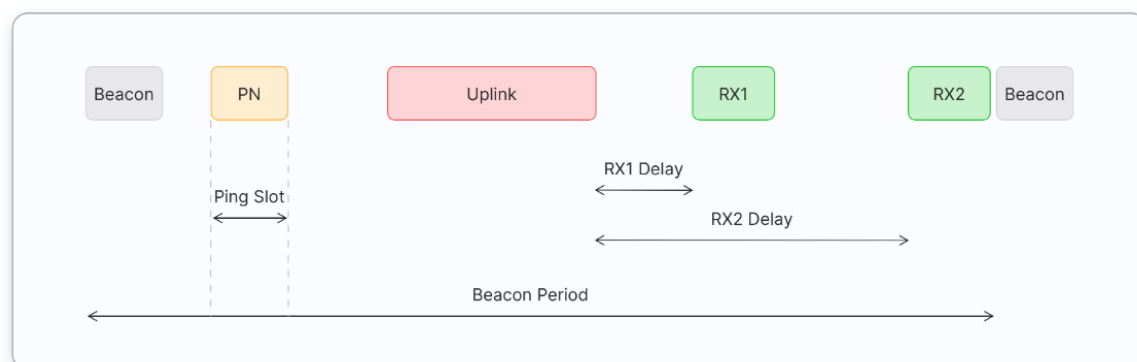


Kuva 5. A-luokan päätelaitteen toimintaperiaate (The Things Network a)

A-luokan päätelaitteen virrankulutus on hyvin alhainen. Se viettää suuren osan ajasta lepo-tilassa ja downlinkin vastaanottaminen on mahdollista vain onnistuneen lähetyksen jälkeen. A-luokan päätelaitetta voidaan käyttää esimerkiksi ympäristön ja eläinten seurannassa, vesivuotojen tunnistamisessa tai jätehuollossa. (The Things Network a.)

B-luokan laite

B-luokan laite laajentaa A-luokan laitteen ominaisuuksia avaamalla ajoittain ylimääräisiä vastaanottoikkunoita (*ping-slots*) downlink-viestin vastaanottamiseksi. Reititin lähettää aikasykronisoidun Beacon- viestin (täsmälähetys ja ryhmä- tai monilähetys) yhdyskäytävän kautta päätelaitteelle. Beacon-viestit tarjoavat aikareferenssin päätelaitteelle, jolloin se voi samanaikaistaa sisäisen kellonsa verkon kanssa. Tämän avulla palvelin tietää, milloin downlink-viesti lähetetään tiettyyn laitteeseen tai laiteryhmään. Uplink-viestin jälkeen avautuu kaksi lyhyttä vastaanottoikkunaa (RX1 ja RX2) samaan tapaan, kuin A-luokan päätelaitteen tapauksessa. Beacon period on kahden Beacon-viestin välinen aika. (The Things Network a.) B-luokan laitteen viestintää palvelimelle on nähtävissä kuvassa 6.



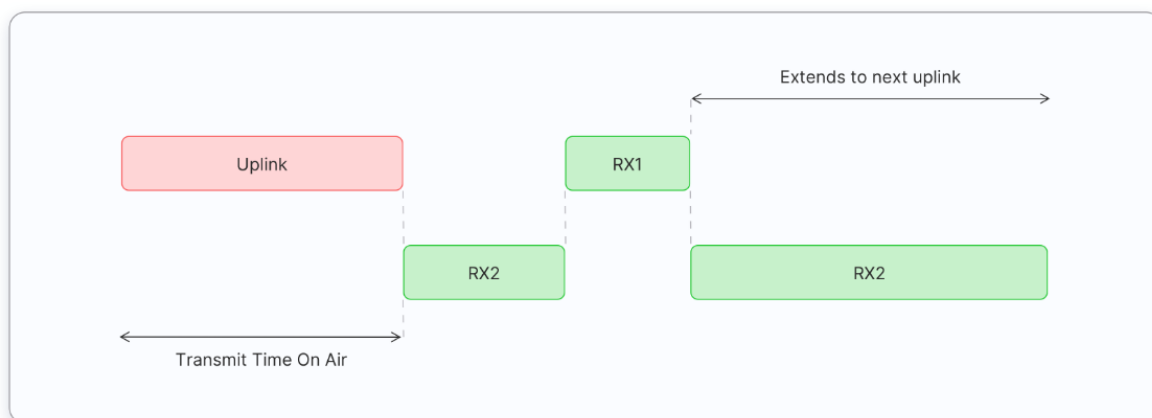
Kuva 6. B-luokan päätelaitteen toimintaperiaate (The Things Network a)

B-luokan laite on monesti paristokäyttöinen. Pariston kesto on lyhyempi A-luokan laitteeseen verrattuna, koska laite viettää enemmän aikaa aktiivisessa tilassa. Tämä johtuu Beacon-viestien vastaanottamisesta sekä ylimääräisistä vastaanottoikkunoista. B-luokan

päätelaitetta voidaan käyttää esimerkiksi katuvaloissa ja erilaisissa yleismittareissa, kuten sähkömittareissa tai vesimittareissa. B-luokan laite pystyy toimimaan myös A-luokan tilassa. (The Things Network a.)

C-luokan laite

C-luokan laite laajentaa A-luokan ominaisuuksia, sillä vastaanottoikkuna on lähes jatkuvasti auki. Ainoastaan uplink-viestin lähetyksessä vastaanottoikkuna sulkeutuu. Laite avaa kaksi vastaanottoikkunaa (RX1 ja RX2) samaan tapaan, kuin A-luokan laite. RX2-vastaanottoikkuna ei kuitenkaan sulkeudu ennen seuraavaa uplink-lähetystä. Kun laite lähettää uplinkin, avautuu aluksi lyhyt RX2-vastaanottoikkuna, jonka jälkeen avautuu vuorostaan lyhyt RX1-vastaanottoikkuna. Tämän jälkeen avautuu RX2-vastaanottoikkuna, joka pysyy auki aina seuraavan uplink-lähetysten ajoitukseen. Uplink lähetetään, kun downlink-lähetys ei ole käynnissä. (The Things Network a.) C-luokan päätelaitteen viestintää palvelimelle on nähtävissä kuvassa 7.

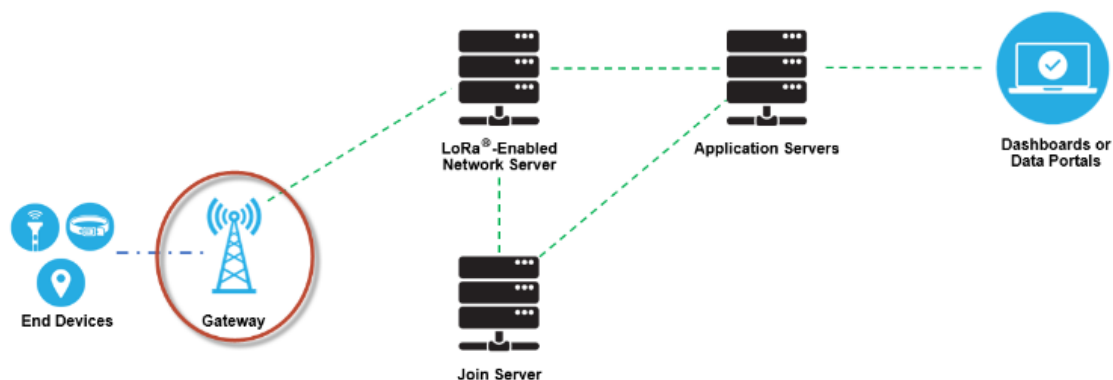


Kuva 7. C-luokan päätelaitteen toimintaperiaate (The Things Network a)

A- ja B-luokan laitteisiin verrattuna C-luokan laitteella on alhaisin viive, mutta korkein tehonkulutus johtuen vastaanottoikkunoiden aukioloista. C-luokan laite toimii usein verkkovirralla. C-luokan päätelaitetta voidaan käyttää esimerkiksi hälytyksissä, katuvaloissa ja käyttömittareissa, kuten sähkö- tai vesimittareissa. Myös C-luokan laite pystyy toimimaan A-luokan tilassa. (The Things Network a.)

2.6 Yhdyskäytävät

Yhdyskäytävä toimii LoRaWAN-verkon fyysisessä kerroksessa. Se vastaanottaa LoRa-moduloidun RF-viestin miltä tahansa kuuloetäisyydellä olevalta päätelaitteelta ja välittää viestin verkkopalvelimelle varmennettuaan viestin tietojen eheyden ja muunnettuaan RF-viestin IP-paketiksi. (Semtech b.) Kuvassa 8 näkyy yhdyskäytävän asema tavanomaisessa LoRaWAN-verkon toteutuksessa.



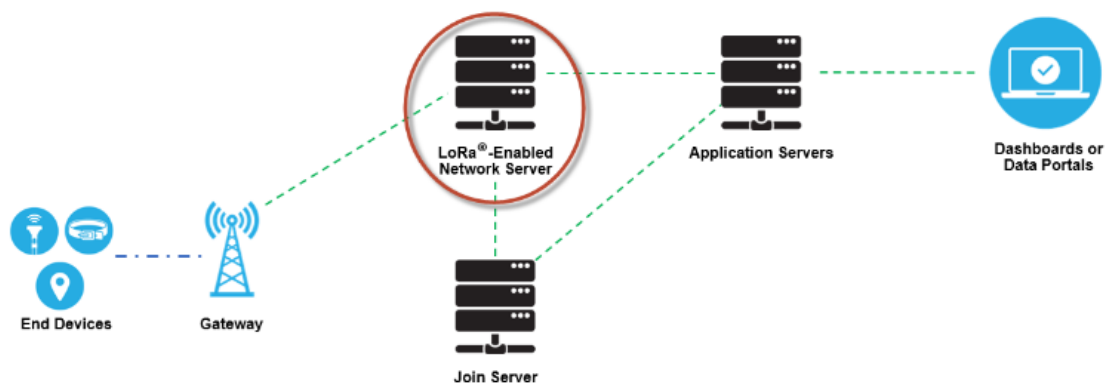
Kuva 8. Yhdyskäytävä tavanomaisessa LoRaWAN-verkon toteutuksessa (Semtech b)

Liikennöinti toimii myös toiseen suuntaan eli verkkopalvelimelta päätelaitteelle, mutta yleisimmin dataliikenne on päätelaitteelta verkkopalvelimelle. Päätelaite ei siis ole yhteydessä tiettyyn yhdyskäytävään, vaan kaikki kuuloetäisyydellä olevat yhdyskäytävät vastaanottavat päätelaitteiden viestit ja välittävät ne eteenpäin. Koska useammat yhdyskäytävät voivat vastaanottaa saman päätelaitteen viestin, jää verkkopalvelimen tehtäväksi huolehtia duplikaattien poistosta. Yhdyskäytävä ei prosessoivi viestien sisältöä, vaan toimii käytännössä pelkkänä viestien välittäjänä. (Semtech b.)

2.7 Palvelimet

Verkkopalvelin (*Network Server*)

Verkkopalvelimen tehtävänä on koko verkon hallinta, järjestelmän mukautus muuttuviin olosuhteisiin verkkoparametrien dynaamisella ohjauksella. Lisäksi verkkopalvelin muodostaa turvalliset AES-yhteydet päästä-päähän (pätelaitteelta loppukäyttäjän pilvisovellukseen) datan siirtoon sekä päätelaitteista verkkopalvelimelle (ja toisinpäin) tulevan liikenteen ohjaamiseen. Verkkopalvelimen tehtävänä on myös varmistaa jokaisen verkossa olevan anturin aitous sekä jokaisen viestin eheys. Verkkopalvelin ei kuitenkaan pysty näkemään tai käyttämään sovellustietoja. (Semtech b.) Kuvassa 9 näkyy verkkopalvelimen asema tavanomaisessa LoRaWAN-verkon toteutuksessa.



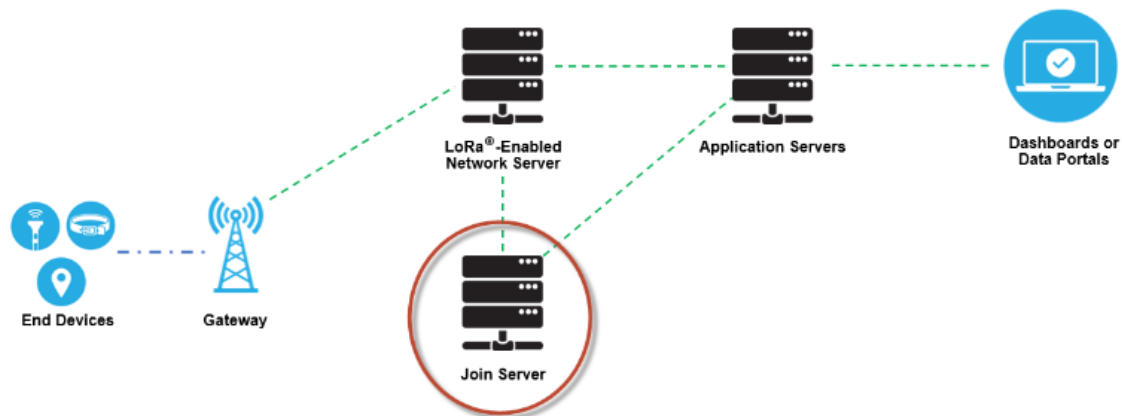
Kuva 9. Verkkopalvelin tavanomaisessa LoRaWAN-verkon toteutuksessa (Semtech b)

Tyypillisesti jokaisella LoRaWAN-verkkopalvelimella on seuraavat tehtävät:

- päätelaitteen osoitteen tarkistaminen
- viestikehyksen autentikoiminen ja kehyslaskurin hallinnoiminen
- vastaanotettujen viestien kuittaaminen
- datanopeuksien mukauttaminen käyttäen ADR-protokollaa
- kaikkiin päätelaitteilta tuleviin MAC-kerroksen pyyntöihin vastaaminen
- päätelaitteilta tulevien viestien välittäminen asianmukaisille sovelluspalvelimille
- sovelluspalvelimista päätelaitteisiin tulevien viestien jonottaminen
- päätelaitteiden ja liittymispalvelimen välillä liikkuvien yhdistämispyyntöjen (*join-request*) sekä yhdistämishyväksyntöjen (*join-accept*) välittäminen. (Semtech b.)

Liityntäpalvelin (*Join Server*)

Liityntäpalvelimen tehtävänä on päätelaitteiden OTA-aktivointiprosessin (*Over-The-Air-Activation*) hoitaminen. Liityntäpalvelimella on tiedot, joita tarvitaan liittymispyyntöjen ja hyväksymisviestien käsittelyyn. (Semtech b.) Kuvassa 10 näkyy liityntäpalvelimen asema tavanomaisessa LoRaWAN-verkon toteutuksessa.



Kuva 10. Liityntäpalvelin tavanomaisessa LoRaWAN-verkon toteutuksessa (Semtech b)

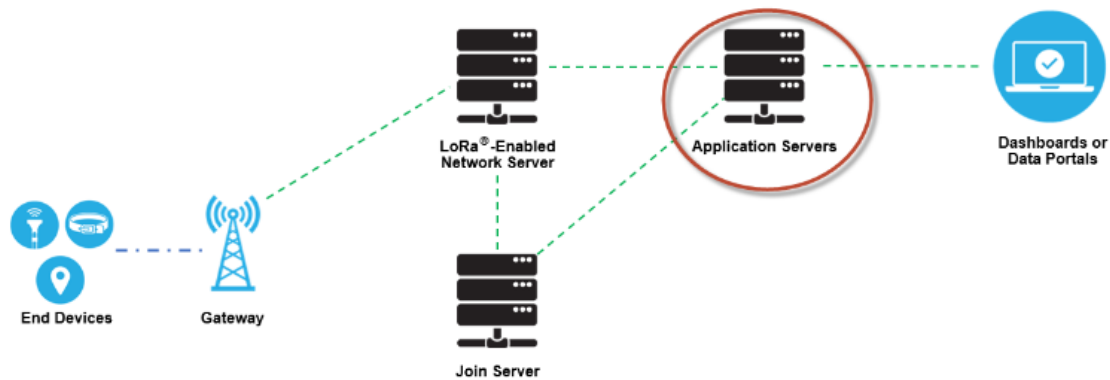
Liityntäpalvelin kertoo verkkopalvelimelle, mikä sovelluspalvelin tulee liittää päätelaitteeseen sekä hoitaa verkon ja sovellusistunnon salausavainten johtamisen. Se välittää päätelaitteen verkkoistuntoavaimen verkkopalvelimelle ja sovellusistuntoavaimen vastaavana olevalle sovelluspalvelimelle. Liityntäpalvelin tarvitsee tätä varten jokaisesta hallinnassaan olevasta päätelaitteesta seuraavat tiedot:

- DevEUI (*end-device serial unique identifier*)
- AppKey (*application encryption key*)
- NwkKey (*network encryption key*)
- sovelluspalvelimen tunniste (*application server identifier*)
- päätelaitteen palveluprofiili (*end-device service profile*). (Semtech b.)

Sovelluspalvelin (*Application Server*)

Sovelluspalvelin vastaa anturisovellustietojen hallinnasta, tulkinnasta sekä turvallisesta käsittelystä, mm. Uplink-datan salauksesta ja dekodauksesta sekä downlink-datan koodauksesta ja salauksesta (The Things Stack). Lisäksi sovelluspalvelin luo kaikki sovellustason downlink-hyötykuormat ja lähettää ne kytkettyihin päätelaitteisiin verkkopalvelimen kautta (The Things Network c). LoRaWAN-verkossa voi olla useita sovelluspalvelimia.

Kuvassa 11 näkyy sovelluspalvelimen sijainti tavanomaisessa LoRaWAN-verkon toteutuksessa.



Kuva 11. Sovelluspalvelin tavanomaisessa LoRaWAN-verkon toteutuksessa (Semtech b)

2.8 Turvallisuus ja aktivointi

LoRaWAN-verkossa tiedonsiirto on salattu ja toteutettu verkon eri kerroksissa käyttäen yksilöllisiä salausavaimia (Digita d). Salausavaimet ovat 128-bittisiä AES-avaimia (*Advanced Encryption Standard*) (The Things Network d).

Verkot ja päätelaitteet voivat kuitenkin vaarantua, mikäli salausavaimia ei säilytetä turvallisesti tai käytetään uudelleen samoja salausarvoja (LoRa Alliance b). Tietoturvaa on parannettu LoRaWAN v1.1 julkaisun myötä (Kuntke ym. 2022).

Jokainen päätelaite tulee rekisteröidä verkkoon, ennen kuin laite pystyy lähettämään tai vastaanottamaan viestejä. Kyseistä toimenpidettä kutsutaan aktivoinniksi ja siihen on olemassa kaksi eri tapaa: OTAA tai ABP. Kummankin aktivointimenetelmän tuloksena päätelaite sekä verkkopalvelin pitävät hallussaan salausavaimia, joiden avulla viestejä voidaan turvallisesti lähettää sekä vastaanottaa verkossa. (Semtech a.)

ABP:ssä salausavaimet ovat ennalta määriteltynä päätelaitteeseen ja OTAA:ssa tietyt salausavaimet määritellään verkkoon liittymisproseduurin aikana. Liityntämenettelyissä on pieniä eroavaisuuksia LoRaWAN-spesifikaatioiden 1.1 ja 1.0.x välillä. (Semtech a.)

OTAA (Over-The-Air-Activation)

OTA-aktivointitapaa suositellaan ensisijaisesti käytettäväksi, koska se on menetelmistä turvallisempi. Päätelaitteelle sekä verkkopalvelimelle määritellään samat parametrit.

Liittyäkseen verkkoon, päätelaitteen täytyy suorittaa verkkopalvelimen kanssa kättely, jossa sovitaan muut tarpeelliset parametrit (DevAdd, AppSKey sekä NwkSKey). (The Things Network b.)

Vaaditut parametrit:

DevEUI - Yksilöllinen, valmistajan määrittelemä sarjanumero laitteelle

AppEUI / JoinEUI -Sarjanumero, joka viittaa sovellukseen tai käyttötarkoitukseen

AppKey (Application Key) - Salausavain, jonka avulla päätelaite ja verkkopalvelin luovat NwkSKey ja AppSKey –avaimet, joita tullaan käyttämään liikennöinnissä. (Digita a.)

LoRaWAN-spesifikaatiossa 1.1 on erillinen liityntäpalvelin (*Join Server*), jolle verkkopalvelin välittää liittymispyynnön ja jossa pyyntö käsitellään. Spesifikaatiossa 1.0.x pyynnön käsittely tapahtuu verkkopalvelimen omassa liityntäpalvelinkomponentissa (*join server component*). (Semtech a.)

ABP (Activation By Personalization)

ABP-aktivointitapa on yksinkertaisempi, mutta ei yhtä turvallinen kuin OTAA, koska erillistä liittymisprosessia verkkoon ei tapahdu. Tarvittavat parametrit määritellään laitteeseen tuotanto- tai konfiguraatiovaiheessa. Päätelaite ei pysty vaihtamaan verkkopalveluntarjoajaa, ilman että laitteen parametrit vaihdetaan manuaalisesti. Kaikissa laitteissa vaihtaminen ei ole välttämättä mahdollista. (The Things Network b.)

Vaaditut parametrit:

DevEUI - Yksilöllinen, valmistajan määrittelemä sarjanumero laitteelle

DevAddr - Verkko-osoite laitteelle LoRaWAN-verkossa

NwkSKey (*Network Session Key*) - Salausavain verkon komennoille

AppSKey (*Application Session Key*) - Salausavain datalle, jonka päätelaite tuottaa. (Digita a.)

3 LoRaWAN-ratkaisun hyödynnettävyys Suomen ulkopuolella

3.1 LoRaWAN-roaming

Roaming eli verkkovierailu tarkoittaa langattoman verkkopalvelun laajennusta rekisteröidyn kotiverkon sijainnista poikkeavalla alueella. Matkapuhelinverkoissa roaming on ollut käytössä jo pitkään. Tällöin roaming mahdollistaa mobiililaitteen pääsyn Internetiin sekä muihin mobiilipalveluihin tyypillisen peittoalueensa ulkopuolella. Lisäksi se mahdollistaa siirtymisen yhdestä tukiasemasta toiseen. (Rouse 2023.)

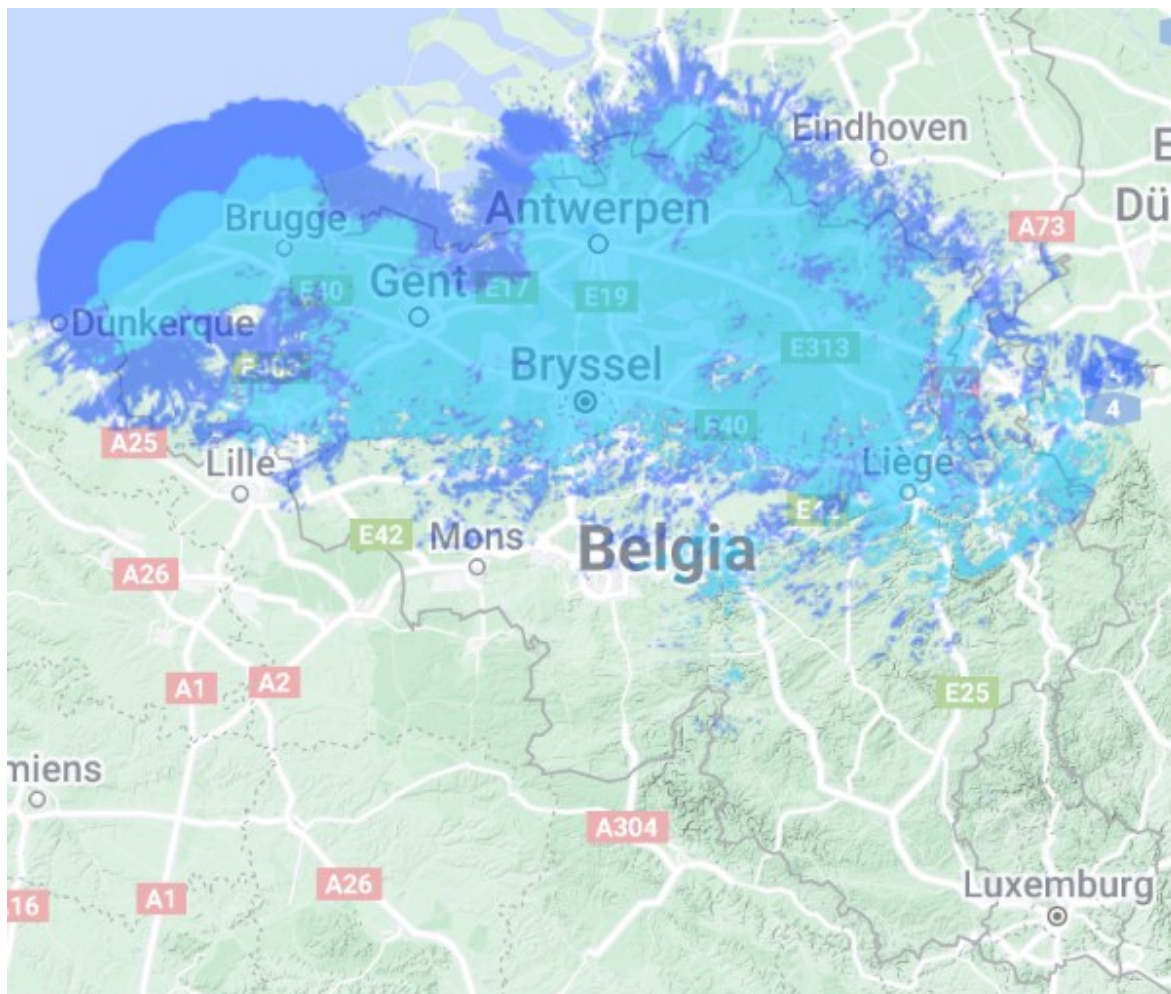
Roaming on mahdollista myös LoRaWAN IoT-verkoissa eri maiden LoRaWAN-verkkojen välillä. Tällöin ei tarvita erikseen sopimuksia kohdemaan verkko-operaattoreiden kanssa. Roaming-päätelaitteiden hallinta tapahtuu oman operaattorin (tässä tapauksessa Digitan) verkkopalvelussa, samoin kuin muidenkin laitteiden. Tiedonsiirto, eli päätelaitteiden lähetämät viestit asiakkaan palveluun, tapahtuu saman yhteisen rajapinnan avulla. (Digita e.)

Mahdollisuus käyttää roamingia täytyy aktivoida verkkopalvelussa päätelaitteille, joiden halutaan hyödyntävän roamingia. Aktivoinnin jälkeen päätelaite toimii automaattisesti niiden maiden LoRaWAN-verkoissa, joiden kanssa oma operaattori on ottanut käyttöönsä roamingin. (Digita e.)

Huomioon otettavia seikkoja ovat kustannukset, sillä roaming voi aiheuttaa lisäkustannuksia tiedonsiirtoon sekä päätelaitteiden vaatimukset eli roaming tulee olla aktivoituna ja päätelaitteiden konfigurointien tulee olla yhteistyöoperaattorin mukaiset (esim. JoinEUI (AppEUI)). Lisäksi verkkojen peittoalueissa on maakohtaisia eroavaisuuksia. On myös huomioitava minkä tasoinen tiedonsiirto sopimuksissa on. Roaming saattaa edistää tiedonsiirron parempaa laatua ja verkon peittoa, mikäli alueilla on operaattoreiden useampia päällekkäisiä LoRaWAN-verkkoja. Tämä saattaa parantaa verkon palveluntasoa. (Digita e.)

Belgia

Belgiassa Digitan yhteistyökumppanina ja LoRaWAN-verkko-operaattorina toimii Netmore Group (Netmore a). Kuvassa 12 on nähtävissä Netmoren Groupin LoRaWAN-verkon peitto Belgiassa.

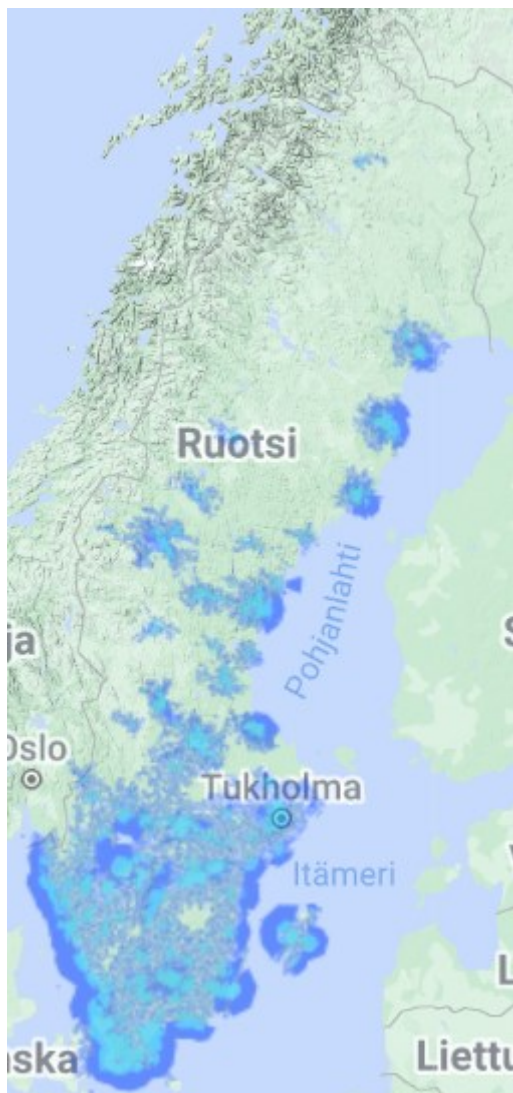


Kuva 12. Netmore Groupin LoRaWAN-verkon peitto Belgiassa (Netmore a)

Kyseinen kuva on tietokonemallinnettu peittoalue. Vaaleansinisellä on kuuluvuus sisätiloissa (RSSI -107 dBm) ja tummansinisellä ulkotiloissa (RSSI -127 dBm). Kuuluvuuskartta on mahdollisimman realistinen, mutta monet tekijät voivat vaikuttaa radiosignaaleihin, kuten esimerkiksi tiheät metsät. (Netmore a.)

Ruotsi

Ruotsissa Digitan verkko-operaattorikumppaneina toimivat Pingday AB sekä Netmore Group (Netmore b). Kuvassa 13 on nähtävissä Netmore Groupin LoRaWAN-verkon peitto Ruotsissa.



Kuva 13. Netmore Groupin LoRaWAN-verkon peitto Ruotsissa (Netmore b)

Kuva on tietokoneella simuloitu peittoalue sensorin ollessa sijoitettuna 1,5 metrin korkeudella maan pinnasta. Vaaleansininen väri kuvaa peittoa sisätiloissa (RSSI -107 dBm) ja tummansininen väri peittoa ulkotiloissa (RSSI -127 dBm). Huomioitavaa on, että mallinnus on vain suuntaa antava ja kuuluvuus spesifisissä kohteissa voi erota simuloidusta. (Netmore b.)

Puola

Puolassa Digitalilla ei ole tällä hetkellä paikallisten verkko-operaattoreiden kanssa roaming-sopimusta. Yksityisiä LoRaWAN-verkkoratkaisuja tarjoaa esim. The Things Industries. (Digital e.)

The Things Industries on kaupallisten LoRaWAN-palvelujen ja -yhteyksien tarjoaja, jolla on yli 50 000 yhdyskäytävää ja miljoonia yhdistettyjä päätelaitteita. Ydintuotteena on LoRaWAN-verkkopalvelin. The Things Industries on LoRa Alliancen jäsen. (LinkedIn.)

3.2 Lisätukiasemat

Vaihtoehtona roamingille ovat asiakaskohtaiset lisätukiasemat, mikäli kohteissa tarvitaan nykyistä kattavampaa kuuluvuutta. Lisätukiasemia on mahdollista sijoittaa asiakkaan kohteisiin, jotka sijaitsevat Suomen ulkopuolella. (Digita a.)

Lisätukiasemien tarpeesta sekä kustannuksista sovitaan erikseen palveluntarjoajan eli Digitan kanssa. Lisätietoja tukiasemista saa Digitan yhteyshenkilöltä tai Digitan IoT-tuesta. (Digita a.)

4 Päätelaitteen vaatimukset ja liittäminen Digitan verkkoon

4.1 Hankinta

Digitalla on laitevalmistajia sekä laitetoimittajia yhteistyökumppaneita, mutta se ei toimi itse laitemyyjänä. Digita tarjoaa kuitenkin asiakkailleen osana IoT-palveluita konsultointia päätelaitteiden valitsemiseen sekä käyttöönottoon liittyen. (Digita a.)

Päätelaite täytyy näin ollen hankkia itse esimerkiksi laitevalmistajan verkkosivuilta. Päätelaitteen tulee täyttää tietyt vaatimukset, jotta se on mahdollista lisätä Digitan LoRaWAN-verkkoon (Digita a). Vaatimukset päätelaitteelle ovat listattuna liitteessä 1. Muita huomioon otettavia seikkoja päätelaitteen hankinnassa ovat:

Käyttötarkoitus

Laitteen käyttötarkoitus on oleellisin seikka: mitä laitteen halutaan mittaavan (esim. lämpötilaa, kosteutta, hiilidioksidia, liikettä, ääntä yms.) ja kuinka usein dataa halutaan vastaanottaa. Paikka, johon laite tullaan sijoittamaan, on myös oleellinen. Esim. ulkotiloihin soveltuvassa laitteessa on usein vankempi kuori ja jonkinasteinen vedenpitävyys. (Leibbrandt 2022.)

Sertifikaatit

Laitteilla voi olla erilaisia merkkejä tai sertifikaatteja, joten on hyvä varmistaa, että laitteella on ainakin CE-merkintä. Merkeistä ja sertifikaateista on kerrottu tarkemmin luvussa 4.2.

Mittaustarkkuus

Laitteiden mittaustarkkuuksissa voi olla eroja. Tyypillisesti erot ovat kuitenkin melko maltilliset. Esimerkkeinä ovat laitevalmistaja Elsyksen laitteet ERS, ERS LITE ja EMS sekä laitevalmistaja Small Data Gardenin laitteet IOTSU® AQ Combo LoRaWAN, IOTSU® AQ09 Combo for LoRaWAN sekä IOTSU® rH Temp LoRaWAN®. Kaikki edellä mainitut laitteet mittaavat ilmanlaadullisista ominaisuuksista vähintään lämpötilaa ja kosteutta. Kaikkien laitteiden tarkkuudeksi on ilmoitettu lämpötilan suhteen ± 0.2 °C ja kosteuden suhteen ± 2 % RH (*relative humidity*, suom. suhteellinen kosteus), lämpötilan ollessa 25 °C (Elsyksen laitteet). (Elsys a; Elsys b; Elsys c; Small Data Garden a; Small Data Garden b; Small Data Garden c.)

Konfigurointi

Päätelaitteet voivat vaatia aluksi jonkinasteista konfigurointia tai kalibrointia. Laitteiden määrittäykset tapahtuvat downlink-viestin lähetyksessä tai erillisen älypuhelinsovelluksen

avulla käyttäen BLE:tä tai NFC:tä. Prosessin monimutkaisuus voi tämän takia vaihdella. (Leibbrandt 2022.)

Energiankulutus ja huollettavuus

Tiedonsiirrolla on merkittävä rooli energiankulutuksessa. Mitä useammin laite lähettää tietoja, sitä enemmän käytetään energiaa.

Esimerkkinä Digital Matterin Oyster3-GPS-laitteen pariston kesto on arviolta yli 10 vuotta, jos sijaintitieto lähetetään kerran päivässä. Jos taas sijainti lähetetäänkin kerran tunnissa, tipahtaa pariston kesto reiluun 3,5 vuoteen. (Digital Matter.)

Paristolla toimivan päätelaitteen sijoituspaikkaa mietittäessä on hyvä huomioida, että paristo on joskus vaihdettava. Vaihtoehtoina perinteisille paristoille ovat aurinkopaneelit, joita voidaan käyttää päätelaitteiden virtalähteinä. Aurinkopaneelit vaativat kuitenkin toimiakseen riittävästi auringonvaloa. (Leibbrandt 2022.)

4.2 Merkit ja sertifikaatit

LoRaWAN Certified^{CM}

LoRaWAN Certified -merkillä varustettu päätelaite on testattu ja yhteensopiva LoRaWAN-spesifikaation kanssa. Sertifikaatin standardit ovat LoRa Alliancen määrittelemät ja ainoastaan LoRa Alliance voi myöntää sertifikaatin päätelaitteelle. (LoRa Alliance a.) Kuvassa 14 on kyseinen merkki.



Kuva 14. LoRaWAN Certified -merkki (Axioma Metering 2019)

LoRa Alliancen verkkosivuilta löytyy lista sertifioiduista päätelaitteista: https://lora-alliance.org/showcase/search/?_sfm_lorawan_certified_device=certified

RED (*The Radio Equipment Directive*) 2014/53/EU

EU:n radiolaitedirektiiviä sovelletaan EU-alueilla myytäviin radiolaitteisiin. Direktiivi sisältää vaatimuksia, jotka koskevat mm. laitteiden teknisiä ominaisuuksia, dokumentteja ja merkintöjä. (Traficom 2023b.)

Traficomien mukaan radiolaitedirektiiviin on tulossa pakollisia muutoksia tietoturva-vaatimusten osalta. Kyseiset vaatimukset liittyvät osiin radiolaitteista ja tulevat jatkossa olemaan osana vaatimuksia, jotka liittyvät CE-merkintään. EU-markkinoilla olevien radiolaitteiden on täytettävä uudet tietoturva-vaatimukset 1.8.2025 alkaen. (Traficom 2023a.)

CE-merkintä

Tukesin (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto) mukaan CE-merkintä tuotteessa kertoo, että tuotteen valmistaja tai valtuutettu edustaja vakuuttaa kyseisen tuotteen täyttävän radiolaitedirektiivin asiaankuuluvat vaatimukset. CE-merkintä on pakollinen tuotteille, joille on määritetty EU-spesifikaatiot ja jotka edellyttävät CE-merkinnän kiinnittämistä. Tällaisia tuotteita ovat mm. sähkölaitteet, koneet, henkilösuojaimet sekä kaasu- ja mittauslaitteet. (Tukes.)

4.3 Lisääminen ja hallinta

Uusien päätelaitteiden lisääminen ja lisättyjen laitteiden hallinta tapahtuu Digitan Actility Thingpark –alustalla Device Managerissa. Palvelun käyttö vaatii Digitan luomat käyttäjätunnukset ja kirjautumaan pääsee verkkoselaimessa. Kuvassa 15 on nähtävissä Uusi laite –ikkuna ja tiedot, joita laitteen lisäämiseen vaaditaan. Digitan Support Portalista löytyy tarkemmat selitykset vaadituille tiedoille sekä muuta ohjeistusta.

The screenshot shows the 'New device' configuration window with the following fields and options:

- Administrative data:**
 - Device name: [Text input]
 - Marker: [Location pin icon] [Change marker]
 - Administrative info: [Text input]
 - Administrative location: Network location [Change location]
 - Motion indicator: Device profile settings [Dropdown]
- Device identification:**
 - Manufacturer: <Empty> [Dropdown]
 - Model: <Empty> [Dropdown]
 - Device activation: Over The Air Activation (OTAA) [Dropdown]
 - Join server: Local Join server with software encryption [Dropdown]
 - DevEUI: [Redacted]
 - JoinEUI (AppEUI): [Redacted]
 - Key format: Clear text [Dropdown]
 - AppKey: [Redacted]
- Network parameters:**
 - Connectivity plan: Not activated. [Dropdown]
 - DevAddr: Allocated by the network server [Dropdown]
- Application layer handling:**
 - Application server routing profile: Digita RP [Dropdown]

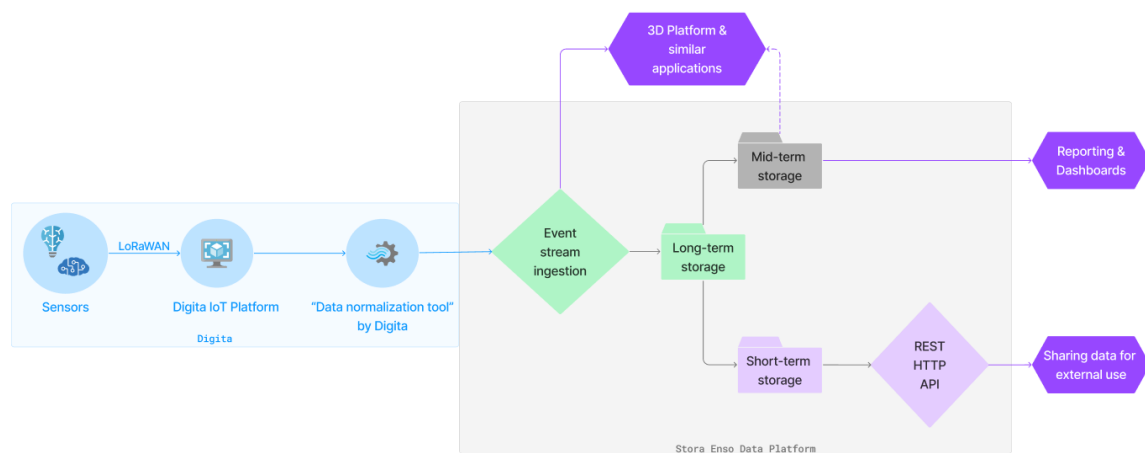
Kuva 15. Uusi laite –ikkuna Thingpark-alustalla (Digita Activity Thingpark)

Alustalla voidaan muuttaa lähetysväliä, eli miten usein päätelaite lähettää tietoja. Muutos lähtee downlink-viestissä, jonka päätelaite lukee ottaessaan yhteyttä verkkoon. Laitteen lähetystiheydestä ja luokasta riippuen muutokset eivät siis välttämättä tule heti voimaan. Esim. A-luokan laite vastaanottaa dataa verkolta päin vasta oman lähetyksensä päätteeksi ja on muun ajan ns. lepotilassa. (Digita a.)

5 Päätelaitteen data

5.1 Datan kulku

Sensori lähettää datan LoRaWAN-verkossa Digitan IoT-alustalle. IoT-alusta lähettää datan eteenpäin reititysprofiiliin ja sen asetusten mukaisesti. Datan muoto on laitteesta riippuvainen, mutta usein se tulee hex-muodossa. Datan normalisointityökalulla saatu data muunnetaan helpomman käytettävyyden vuoksi JSON-formaattiin ja lähetetään eteenpäin Stora Enson data-alustalle. (Leinonen 2023.) Data-alustalla data on mahdollista ohjata eteenpäin eri kanavia pitkin. Datan kulkua on nähtävillä kuvassa 16.



Kuva 16. LoRaWAN-sensorin datan kulku (mukailtu Leinonen 2023)

Datan säilyvyys

Long-term dataa säilytetään pysyvästi. Tulevaisuudessa määritellään mahdollisesti säilytysajalle rajoituksia: esim. 10 vuotta. (Leinonen 2023.)

Mid-term dataa säilytetään kolme kuukautta. Tulevaisuudessa tehdään tällekin säilytysajalle mahdollisesti muutoksia. (Leinonen 2023.)

Short-term dataa säilytetään 30 päivää. Lisäksi säilytetään viimeisimpänä vastaanotettu arvo, vaikka sen saapumisesta olisikin enemmän kuin 30 päivää. (Leinonen 2023.)

5.2 Datan hyödynnettävyys ja rajoitukset

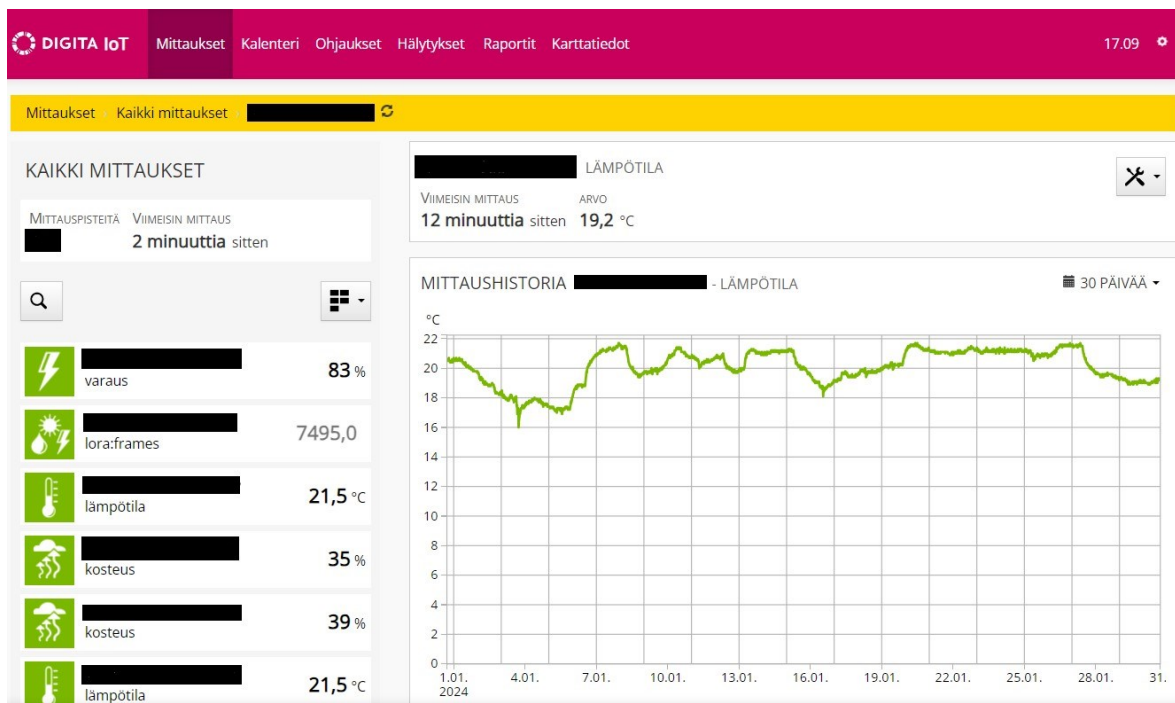
Päätelaitteista saatua dataa voidaan hyödyntää useissa erilaisissa tapauksissa. Kuvassa 16 on määritelty erilaisia loppukäyttökohteita, joissa saatua dataa voidaan hyödyntää:

- raportoinnissa sekä visuaalisissa mittaristoissa tai näkymissä
- 3D-alustoissa ja muissa samankaltaisissa applikaatioissa

- jakamisessa ulkoista käyttöä varten. (Leinonen 2023.)

Käyttötapauksia suunniteltaessa on huomioitava LoRaWANin sekä Digitan alustan rajoituksia: LoRaWAN-päätelaite lähettää dataa suhteellisen harvakseltaan ja vain pieniä määriä kerrallaan, joten minkään nopean prosessin mittaukseen ne eivät sovellu. Lisäksi uusien laitevalmistajien sensoreiden tuonnin tai versioiden päivittymisen seurauksena normalisointityökalua voidaan joutua päivittämään. (Leinonen 2023.)

Digita IoT:n kautta kirjautunut käyttäjä pääsee näkemään päätelaitteiden dataa visuaalisessa muodossa. Kyseinen näkymä riittää sensoreiden seurantaan, jos dataa ei tarvita itselle. (Oikku 2023.) Kuvassa 17 on nähtävissä erään sensorin mittausnäkymä. Kuvasta on peitetty laitetunnukset.



Kuva 17. Sensorin dataa visuaalisessa muodossa Digita IoT -palvelussa (Digita IoT)

Digita IoT-palvelun kautta on mahdollista määritellä laitteille hälytyksiä. Hälytys on mahdollista saada SMS-viestillä ja/tai sähköpostilla ilmoitettuihin sähköpostiosoitteisiin ja puhelinnumeroihin. Lisäksi hälytys näkyy web-palvelussa. (Digita IoT.)

6 Yhteenveto ja pohdinta

Työn tavoitteet

Työn tavoitteena oli toimittaa Stora Enson käyttöön LoRaWAN-verkkoteknologiaan liittyvä opas, josta selviää olennaiset asiat verkkoratkaisun käyttöön, toimintaan ja hyödynnettävyyteen liittyen. Suomen LoRaWAN-verkkoratkaisun tarjoajana toimii Digita.

Opinnäytetyössä käsiteltiin LoRaWAN-teknologiaa ja sen toimintaperiaatetta. Lisäksi selvitettiin ratkaisun hyödynnettävyyttä Ruotsin, Belgian ja Puolan suhteen. Lopuksi perehdyttiin toimeksiantajan näkökulmasta päätelaitteiden datan kulkuun data-alustalla ja datan hyödynnettävyyteen.

Opinnäytetyö toimii käytännön oppaana LoRaWAN-teknologiasta kiinnostuneille toimeksiantajaorganisaation jäsenille. Opinnäytetyö tarjoaa yleiskuvan teknologiasta, mihin käyttöön se soveltuu sekä millaisia seikkoja tulee huomioida esim. päätelaitteen valinnassa, jotta laitteen pystyy liittämään Digitan LoRaWAN-verkkoon.

Ratkaisumallin edut, hyödyt ja rajoitukset

LoRaWAN on hyvä ja varteenotettava vaihtoehto IoT-laitteiden verkkoratkaisuksi ja sen käyttöönotto on helppoa: käytännössä tarvitaan yhteistyösopimus Digitan kanssa sekä päätelaite tai päätelaitteita. Käytön aloitus on myös kustannustehokasta, koska Digitalta ostettuun palveluun sisältyy tiettyjen elementtien käyttö esim. tukiasemien, joten niitä ei tarvitse itse erikseen hankkia. Lisäksi päätelaitteet ovat suhteellisen edullisia; tyypillisesti hinnat vaihtelevat noin 50 eurosta aina muutamiin satasiin.

LoRaWANin etuja ovat mm. pitkät kantamat, hyvä kuuluvuus, vähäinen virrankulutus ja liikkuvuus. On mahdollista, että reitittimen kantama on yli 40 kilometriä aukeilla ja harvaan asutuilla alueilla. Kaupunkialueilla puolestaan kantama voi yltää viiteen kilometriin.

LoRaWAN mahdollistaa kuuluvuuden sellaisissakin paikoissa, joihin sisäverkkojen kantama ei riitä. LoRaWAN-verkon peitto Suomessa on erittäin hyvä ja kattaakin käytännössä lähes koko alueen. Lisäksi lisätukiasemilla voidaan lisätä kuuluvuutta kohteissa, joissa sitä kaivataan lisää. Lisätukiasemia on myös mahdollista sijoittaa asiakkaan tiloihin, jotka sijaitsevat Suomen ulkopuolella. Tässä on kuitenkin hyvä huomioida sen kannattavuus, koska roamingia pystyy hyödyntämään monissakin kohteissa. Lisätukiasemat myös tuovat lisäkustannuksia, jotka on otettava huomioon, kun mietitään hyötyjä suhteessa kustannuksiin.

LoRaWAN-verkon arkkitehtuuri on tähtitopologian mukainen ja se koostuu päätelaitteista, yhdyskäytävistä ja palvelimista. Palvelimia ovat verkkopalvelin, liityntäpalvelin sekä sovel-luspalvelin. Samaan verkkoon voi kuulua useita päätelaitteita, yhdyskäytäviä ja palvelimia.

Digitan LoRaWAN-verkko tukee päätelaitteita, jotka hyödyntävät LoRaWANin spesifikaatioita 1.0.x sekä 1.1. LoRaWAN 1.0.x-sarjan tuorein versio on vuonna 2020 julkaistu 1.0.4, jossa on parannuksia mm. turvallisuuteen ja B-luokkaan sekä tarkennuksia ja selvennyksiä esim. MAC-komentojen käsittelyyn ja ADR:n hallintaan liittyen (The Things Network 2021). Kuvassa 18 on nähtävissä LoRaWAN-spesifikaatiot ja niiden julkaisuvuodet.



Kuva 18. LoRaWAN-spesifikaatiot (The Things Network 2021)

LoRaWAN-päätelaitteiden energiankulutus on vähäistä, koska dataa lähetetään suhteellisen harvoin ja vain pieniä määriä kerralla. Laitteiden paristojen kesto voikin olla jopa kymmenen vuotta, joten kyseessä on myös huoltovapaa ratkaisumalli. LoRaWANin etuihin kuuluu myös liikkuvuus eli LoRaWAN kykenee seuraamaan paikasta toiseen liikkuvia antureita.

LoRaWAN-ratkaisua voidaan hyödyntää monipuolisesti teollisuudessa esim. tuotanto-olosuhteiden seurannassa, kulunvalvonnassa, tilojen käyttöasteiden seurannassa, ilmanlaadun seurannassa sekä erilaisissa paikannuksissa. Teollisuusympäristössä on paikkoja, joihin ihmisen voi olla hankala päästä. Sensoreilla tällaisten kohteiden seuranta onnistuu helposti eikä sensoreita tarvitse huoltaa kovinkaan usein. Verkkopalveluissa on mahdollista määrittellä sensoreille raja-arvoja, jolloin poikkeavista arvoista tulee hälytys. Tämä mahdollistaa nopean reagoinnin mahdollisiin poikkeavuuksiin. Myös laitteiden mittaushistoriaa selaamalla näkee, minkälaista vaihtelua mittaustuloksissa ilmenee. Esimerkiksi sähkötiloissa ilmankosteuden tai lämpötilan radikaali nousu voi jopa rikkoa laitteita. Lämpötilan ja ilmanlaadun seurannassa on usein riittävää, että mittaustulokset lähetetään esim. 15 minuutin välein tai kerran tunnissa. On myös mahdollista, että laita suorittaa mittauksia vaikka 15 minuutin välein, mutta mittaustulokset lähetetäänkin vain kerran tunnissa. ThingPark-alueella voidaan tehdä muutoksia lähetysväliin, mikäli se on laitteen puolesta mahdollista.

LoRaWAN-verkon ja sen laitteiden käyttöön liittyy lainsäädännöllisiä rajoituksia. Koska LoRaWAN toimii lisenssivapailla taajuuksilla, on lähetysaikaan määritelty rajoituksia

(tyypillisesti lähetysaika on 36 sekuntia per tunti). Näin ollen päätelaitteet voivat lähettää dataa suhteellisen harvakseltaan, mikä asettaa rajoitukset, mihin käyttötapauksiin ratkaisumalli soveltuu. Lähetettävät datamäärät ovat myös suhteellisen pieniä. LoRaWAN ei siis sovellu reaaliaikaista dataa tai suuria datamääriä vaativiin käyttötapauksiin tai sovelluksiin.

Päätelaitteet

Päätelaitteiden hankinnassa on huomioitavia seikkoja, jotka voivat tuntua haastaville, etenkin, jos tutustuu aiheeseen ensimmäistä kertaa. Laitteiden hankinnassa on tärkeää huolehtia, että laite täyttää tietyt tekniset vaatimukset, jotta laite on mahdollista lisätä Digitan verkkoon. Vaatimukset ovat listattuna liitteessä yksi. Näiden vaatimusten lisäksi oleellisin kysymys on, että mihin laitetta aiotaan käyttää. Esimerkiksi pelkkään lämpötilan seurantaan kannattaa valita laite, joka mittaa lämpötilaa sopivalla tarkkuudella. Konsultaatiota päätelaitteiden hankintaan liittyvissä asioissa saa Digitalta ja tässä opinnäytetyössä on listattu päätelaitteiden hankinnassa huomioitavia seikkoja. Tällaisia ovat mm. mittaustarkkuus, mahdolliset sertifikaatit, konfigurointi, huollettavuus sekä käyttötarkoitus. Oleellimmat sertifikaatit ovat CE-merkintä sekä mahdollinen LoRaWAN Certified -merkki, joka on LoRa Alliancen kehittämä ja myöntämä.

LoRaWAN-päätelaitteita on markkinoilla runsaasti ja saatavuus laitteissa on hyvä. Päätelaitteita on saatavilla erilaisia ja iso osa sensoreista mittaa yhtä tai useampaa ominaisuutta, kuten lämpötilaa, kosteutta tai hiilidioksidia. Toinen tyypillinen ryhmä on sijaintia mittaavat päätelaitteet. Päätelaitteita voi tilata esimerkiksi laitevalmistajien verkkosivuilta. Myös Atean ja Dustinin kautta on saatavilla joitakin laitteita. Eurooppalaisia laitevalmistajia ovat mm. ruotsalainen Elsys sekä suomalainen Small Data Garden.

Mittaustarkkuus eri laitevalmistajien laitteilla on hyvä, mikä on tärkeää, kun laitteita käytetään teollisuudessa. Opinnäytetyössä vertailtiin kahdelta eri valmistajalta muutamia laitteita ja kaikissa laitteissa virhemarginaalit mittausten suhteen olivat samoja. Tämä oli kiintoisaa huomata ja yksi selittävä tekijä voi olla, että laitteissa on käytetty samantapaisia komponentteja.

Päätelaitteet voivat toimia eri tilassa riippuen niiden laiteluokasta. Laiteluokkia ovat A, B ja C. Kaikkien laitteiden on tuettava A-luokan toimintatilaa ja toimintatila kertoo, miten laite kommunikoi verkon kanssa. A-luokan laite viettää suurimman osan ajastaan lepotilassa ja kuuntelee verkkopalvelinta vain oman lähetyksensä pääteeksi. A-luokan laite on tämän vuoksi energiatehokkain. B-luokan laite laajentaa A-luokan ominaisuuksia ja avaa ylimääräisiä vastaanottoikkunoita ennalta määriteltynä aikoina kuunnellakseen verkkopalvelinta. B-luokan laite kuluttaa enemmän energiaa, kuin A-luokan laite. C-luokan laite taas kuuntelee verkkopalvelinta aina, kun sillä ei ole oma lähetyksensä käynnissä. Tämän takia C-luokan laite

kuluttaa eniten energiaa ja toimiikin usein verkkovirralla. Valtaosa ympäristöä seuraavista päätelaitteista toimii tyypillisesti luokan A-tilassa.

Päätelaitteen aktivointiin on olemassa kaksi eri tapaa: OTA-aktivointi tai ABP-aktivointi. OTAA-menetelmä on turvallisempi, joten sitä suositellaan käytettäväksi. Kummassakin menetelmässä tarvitaan tiettyjä parametrejä. Tarvittavista parametreistä on kerrottu luvussa 2.5 ja tarkempaa tietoa löytyy Digitan Support Portalista. Päätelaitteen aktivointi eli rekisteröiminen verkkoon mahdollistaa viestien välittämisen päätelaitteen ja verkkopalvelimen välillä.

Digitan palvelut

Digitan verkko käyttää Actilityn Thingpark -alustaa, jonka kautta tapahtuu päätelaitteiden lisääminen sekä hallinta Device Managerissa. Muita palveluita alustalla ovat Wireless Logger sekä Network Manager. Wireless Loggerissa pääsee tarkastelemaan laitteiden logitietoja ja Network Managerissa näkyy omat tukiasemat, jos sellaisia on (Digita a.)

Digitan IoT-palvelun kautta pääsee näkemään päätelaitteiden dataa visuaalisessa muodossa ja tarkastelemaan laitteiden mittaushistoriaa. Digitan Support Portalissa on kattavaa dokumentaatiota LoRaWANiin liittyen. Edellä mainittuja palveluita pääsee käyttämään Digitan luomilla käyttäjätunnuksilla.

Roaming

Digitan yhteistyösopimukset muiden maiden verkko-operaattoreiden kanssa mahdollistavat päätelaitteiden roaming-ominaisuuksien hyödyntämisen. Tällöin ei tarvita erillisiä sopimuksia kohdemaiden operaattoreiden kanssa, vaan laite pystyy automaattisesti hyödyntämään yhteistyökumppaneiden tarjoamia LoRaWAN-verkkoja, kunhan päätelaitteessa ovat tietyt asetukset ja konfiguroinnit kohdallaan. LoRaWAN-päätelaitteen roaming-ominaisuutta mahdollista hyödyntää Ruotsissa ja Belgiassa. Esim. Länsi-Ruotsissa sijaitseva Stora Enson Skoghallin tehdas sijaitsee alueella, jossa roamingia on mahdollista hyödyntää. Puolassa tämä ei ole toistaiseksi mahdollista ja vaatisi erillisen ratkaisun ja palveluntarjoajan.

Toimeksiantajalla on toimintaa ympäri maailman ja Digitalla on Euroopassa roaming-sopimuksia useiden maiden verkko-operaattoreiden kanssa. Verkon peitto yhteistyökumppanimaissa on kuitenkin rajallinen eikä välttämättä kata koko maata. Tämä asettaa omat haasteensa esimerkiksi liikkuvien kohteiden seurantaan. Seurannassa on otettava huomioon LoRaWAN-verkkoon liittyvät rajoitukset esim. lähetystehon ja -ajan suhteen, joten seurantaan on olemassa käytännöllisempiä vaihtoehtoja.

Päätelaitteiden data ja hyödynnettävyys

Datan kulkua Stora Enson data-alustalla käsiteltiin yleisellä tasolla menemättä liaksi yksityiskohtiin mahdollisten tietoturvahukien minimoimiseksi. Käyttökohteita, joissa dataa voidaan hyödyntää, olivat raportointi ja muut visuaaliset mittaristot, 3D-mallit ja vastaavat applikaatiot sekä jako ulkoista käyttöä varten. LoRaWAN-verkkoratkaisu on ollut käytössä vasta suhteellisen vähän aikaa, joka osaltaan vaikuttaa käyttökohteiden määrään ja hyödynnettävyyteen.

IoT-laitteiden käytön ja LoRaWAN-tekniikan yleistymisen myötä, on mahdollista löytää uusia käyttökohteita ja prosesseja, joissa ratkaisumallin ominaisuuksia voitaisiin hyödyntää. Uusia käyttökohteita mietittäessä on otettava huomioon nykyisen LoRaWAN-ratkaisun rajoitukset esim. lähetettävän datamäärän suhteen.

Loppusanat

LoRaWAN-tekniikka päivittyy ja kehittyy jatkuvasti. Verkkoratkaisuiden langattomuus tuo kuitenkin aina omat haasteensa turvallisuuden suhteen. Esim. LoRaWAN-spesifikaatioissa 1.1 onkin paikattu aiemmissa versioissa todettuja puutteita. Kuitenkin 1.1-spesifikaatiota hyödyntäviä laitteita on vielä toistaiseksi vähän. Eri laitevalmistajien verkkosivuilla esitellyjen LoRaWAN-päätelaitteiden hyödyntämää spesifikaatiota oli paikoitellen hankala löytää tai siitä ei löytynyt mainintaa ollenkaan. Uusia laitteita hankittaessa on tärkeää perehtyä laitteen ominaisuuksiin ja sen käyttämään spesifikaatioon ja mahdollisuuksien mukaan suosia uudempia spesifikaatioita hyödyntäviä laitteita.

Tällä hetkellä käytössä oleva Digitan LoRaWAN-verkkoratkaisu pitää sisällään tietyt verkkoelementit ja palvelut. Tulevaisuudessa tutkimuskohteena voisi olla millaisia resursseja oman LoRaWAN-verkon rakentaminen ja ylläpitäminen vaatii, mikäli LoRaWAN-päätelaitteiden käyttö yleistyy.

LoRaWANin lisäksi on useita muitakin IoT-laitteille soveltuvia verkkoja, kuten esim. NB-IoT, joka kuuluu myös LPWAN-tekniikoihin. Vaihtoehtoisia tekniikoita LoRaWANille ei tässä työssä käsitelty, mutta on hyvä huomioida, että niitä on, mikäli tulevaisuudessa LoRaWAN-ratkaisu ei riitä tarjoamaan tarvittavia ominaisuuksia.

Lähteet

Anttila, J. 2019. LoRa, mikä ihme se on? Petari. Viitattu 23.10.2023. Saatavissa <https://www.petari.fi/blogi/lora-mika-ihme-se-on/>

Axioma Metering. 2019. Qalcosonic W1 smart water meter now a LoRaWAN certified product. Viitattu 22.1.2024. Saatavissa <https://www.axiomametering.com/en/new/QalcosonicW1-smart-water-meter-now-LoRaWAN-certified-product>

Czeczot, G., Rojek, I & Mikołajewski, D. 2023. Analysis of Cyber Security Aspects of Data Transmission in Large-Scale Networks Based on the LoRaWAN Protocol Intended for Monitoring Critical Infrastructure Sensors. ResearchGate. Viitattu 18.1.2024. Saatavissa https://www.researchgate.net/figure/Classes-in-LoRaWAN_tbl2_371270589

Digita a. Viitattu 19.1.2024. Digita Support Portal -palvelu

Digita b. Digitan IoT-laitteiden varaston tyhjennysmyynti – laitteet huippuhintaan! Viitattu 19.1.2024. Saatavissa <https://www.digita.fi/digitan-iot-laitteiden-varaston-tyhjennysmyynti-laitteet-huippuhintaan/>

Digita c. IoT:n kartta. Viitattu 23.10.2023. Saatavissa <https://www.digita.fi/iotn-kartta/>

Digita d. LoRaWAN technology. Viitattu 5.10.2023. Saatavissa <https://www.digita.fi/en/services/iot/lorawan-technology/>

Digita e. Roaming eli verkkovierailu LoRaWAN IoT-verkkojen välillä. Viitattu 22.1.2024. Saatavissa <https://www.digita.fi/etusivu/palvelut-yrityksille/digitan-iot-palvelut/roaming-eli-verkkovierailu-lorawan-iot-verkkojen-valilla/>

Digita Actility Thingpark. Viitattu 22.1.2024. Digita Actility Thingpark -verkkoalusta

Digita IoT. Viitattu 30.1.2024. Digita IoT -palvelu

Digital Matter. Oyster3 Tech Specs. Digital Matter. Viitattu 19.1.2024. Saatavissa <https://www.digitalmatter.com/devices/oyster3/tech-specs/>

Elsys a. 2019. EMS. Viitattu 19.1.2024. Saatavissa https://elsys.se/public/datasheets/EMS_datasheet.pdf

Elsys b. 2019. ERS. Viitattu 19.1.2024. Saatavissa https://elsys.se/public/datasheets/ERS_datasheet.pdf

Elsys c. 2019. ERS Lite. Viitattu 19.1.2024. Saatavissa https://elsys.se/public/datasheets/ERS_Lite_datasheet.pdf

Froehlich, A. 2020. What is the difference between LoRa and LoRaWAN? TechTarget. Viitattu 23.10.2023. Saatavissa <https://www.techtarget.com/searchnetworking/answer/What-is-the-difference-between-LoRa-and-LoRaWAN>

Gillis, A. 2023. Definition: internet of things (IoT). TechTarget. Viitattu 18.1.2024. Saatavissa <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/Internet-of-Things-IoT>

Hörkkö, T. 2023. VS: LoRaWAN-aiheiseen opinnäytetyöhön liittyviä kysymyksiä. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja Jäkärä, M. Lähetetty 8.11.2023.

Kuntke, F., Romanenko, V., Linsner, S., Steinbrink, E. & Reuter, C. 2022. LoRaWAN security issues and mitigation options by the example of agricultural IoT scenarios. Wiley Online Library. Viitattu 22.1.2024. Saatavissa <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ett.4452>

Leibbrandt, A. 2022. Elements to Consider When Evaluating a LoRa Sensor. Akenza.io. Viitattu 19.1.2024. Saatavissa <https://blog.akenza.io/evaluating-lora-sensor>

Leinonen, M. 2023. VS: LoRaWAN-aiheisestä opinnäytetyöstä. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja Jäkärä, M. Lähetetty 5.12.2023.

LinkedIn. The Things Industries. Viitattu 22.1.2024. Saatavissa <https://www.linkedin.com/company/the-things-industries>

LoRa Alliance. 2022. LoRaWAN Regional Parameters RP002-1.0.4. Viitattu 1.2.2024. Saatavissa <https://resources.lora-alliance.org/technical-specifications/rp002-1-0-4-regional-parameters>

LoRa Alliance a. LoRaWAN CertifiedCM. Viitattu 19.1.2024. Saatavissa <https://lora-alliance.org/lorawan-certification/#help>

LoRa Alliance b. LoRaWAN® Is Secure (but Implementation Matters). Viitattu 22.1.2024. Saatavissa <https://resources.lora-alliance.org/security/lorawan-is-secure-but-implementation-matters>

Lorrain, R. 2022. 10 Things About LoRaWAN & NB-IoT. Semtech. Viitattu 13.10.2023. Saatavissa <https://blog.semtech.com/title-10-things-about-lorawan-nb-iot>

Netmore a. Netmore Coverage: Belgium. Viitattu 22.1.2024. Saatavissa https://portal.blink.services/net/netmore-coverage?network=BELGIUM&type=NET_E

Netmore b. Netmore Coverage: Sweden. Viitattu 22.1.2024. Saatavissa https://portal.blink.services/net/netmore-coverage?network=SWEDEN&type=NET_E

Muts, I. 2023. 4 Types of IoT Networks: Overview and Use Cases. Euristiq. Viitattu 18.1.2024. Saatavissa <https://euristiq.com/types-of-iot-networks/>

Oikku, J. 2023. VS: LoRaWAN-aiheisesta opinnäytetyöstä. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja Jäkärä, M. Lähetetty 12.12.2023.

Rouse, M. 2023. TechDictionary: Roaming. Techopedia. Viitattu 18.1.2024. Saatavissa <https://www.techopedia.com/definition/2971/roaming>

Semtech a. LoRa Developer Portal. In-Depth: LoRaWAN® End Device Activation. Viitattu 19.1.2024. Saatavissa <https://lora-developers.semtech.com/documentation/tech-papers-and-guides/lorawan-device-activation/device-activation>

Semtech b. LoRa Developer Portal. What are LoRa® and LoRaWAN®? Viitattu 23.10.2023. Saatavissa <https://lora-developers.semtech.com/documentation/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>

Small Data Garden a. 2022. IOTSU® AQ Combo LoRaWAN®. Viitattu 19.1.2024. Saatavissa <https://smalldatagarden.com/wp-content/uploads/2021/03/IOTSU%C2%AE-L3-AQ01.pdf>

Small Data Garden b. 2022. IOTSU® rH Temp for LoRaWAN®. Viitattu 19.1.2024. Saatavissa <https://smalldatagarden.com/wp-content/uploads/2021/03/IOTSU%C2%AE-L3-TH02.pdf>

Small Data Garden c. 2022. IOTSU® Rugged AQ09 Combo for LoRaWAN®. Viitattu 19.1.2024. Saatavissa <https://smalldatagarden.com/wp-content/uploads/2022/08/IOTSU-L7R-AQ09-Datasheet.pdf>

Statista. 2024. Number of IoT connected devices worldwide 2019-2023, with forecasts to 2030. Viitattu 18.1.2024. Saatavissa <https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/>

Stora Enso. Tietoa Stora Ensosta. Viitattu 5.10.2023. Saatavissa <https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso>

The Things Network. 2021. What's new in LoRaWAN® 1.0.4? Viitattu 16.2.2014. Saatavissa <https://www.thethingsnetwork.org/article/whats-new-in-lorawan-104-1>

The Things Network a. Device Classes. Viitattu 18.10.2023. Saatavissa <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/classes/>

The Things Network b. End Device Activation. Viitattu 19.1.2024. Saatavissa <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/end-device-activation/>

The Things Network c. LoRaWAN Architecture. Viitattu 1.2.2024. Saatavissa <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/architecture/>

The Things Network d. LoraWAN: Security. Viitattu 22.1.2024. Saatavissa <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/security/>

The Things Network e. Regional Limitations of RF Use in LoRaWAN. Viitattu 22.1.2024. Saatavissa <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/regional-limitations-of-rf-use/>

The Things Network f. Regional Parameters. Viitattu 1.2.2024. Saatavissa <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/regional-parameters/>

The Things Stack. Application Server. The Things Industries. Viitattu 1.2.2024. Saatavissa <https://www.thethingsindustries.com/docs/reference/components/application-server/>

Traficom. 2023a. EU:n uudet tietoturva vaatimukset parantavat langattomien laitteiden tietoturvaa. Viitattu 19.1.2024. Saatavissa <https://www.traficom.fi/fi/ajankohtaista/eun-uu-det-tietoturva-vaatimukset-parantavat-langattomien-laitteiden-tietoturvaa>

Traficom. 2023b. Radiolaitteiden vaatimusten mukaisuus ja markkinoille saattaminen. Viitattu 19.1.2024. Saatavissa <https://www.traficom.fi/fi/viestinta/radioluvat-ja-taajuudet/radiolaitteiden-vaatimusten-mukaisuus-ja-markkinoille-saattaminen>

Tukes. CE-merkintä. Viitattu 19.1.2024. Saatavissa <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/ce-merkinta>

Liite 1. Päätelaitteen vaatimukset Digan LoRaWAN-verkkoon liittämiseksi ovat seuraavat:

- Päätelaitteen on oltava LoRaWAN-spesifikaation mukainen, minimissään 1.0.
- Päätelaitteen on tuettava EU868-taajuusaluetta (minimissään EU868-taajuusalueen kolmea vaadittua taajuutta).
- Päätelaitteella on oltava uniikki DevEUI-tunniste sekä salausavain.
- Päätelaitteen on noudatettava määritettyjä rajoituksia toimintasuhteelle: (*duty cycle*) tyypillisesti 1 % (Laitte saa lähettää enintään 1 % ajasta) sekä lähettää kohtuullisesti viestejä (Mikäli viestejä lähetetään alle 5 minuutin välein, tulee tästä neuvotella operaattorin kanssa).
- Päätelaitteen on tuettava ADR-ominaisuutta (*Adaptive Data Rate*) ja viestityypin tulee olla ensisijaisesti "*unconfirmed*". Mikäli käytetään viestityyppinä "*confirmed*" tulee sovelluksen olla kriittinen ja viestin tärkeä (esim. kriittinen hälytys).
- On suositeltavaa käyttää alussa "*Generic Manufacturer*" vaihtoehdon alta löytyviä laiteprofileja Actility-alustalla, sen mukaisesti mikä on omalle laitteelle sopiva, sillä uudelle laitteelle ei ehkä ole saatavilla omaa laiteprofileja. Esimerkkejä profileista:
 - LoRaWAN 1.0 - Class A –ETSI- Rx2_SF12
 - LoRaWAN 1.0 - Class A –ETSI- Rx2_SF9

Spreading Factor (SF) on Rx2-ikkunassa käytetty käynnistysarvo, jota käytetään OTAA-päätelaitteiden liityntäprosessissa ja ABP-päätelaitteiden ensimmäisissä viesteissä. Päätelaitteen on pystyttävä vaihtamaan vastaanottoikkunan datanopeutta (*data rate*) verkon komentojen mukaisesti: OTAA-laitteille Join:ssa ja ABP-laitteille MAC-komennoilla. (Digita a.)