

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Infotehnoloogia teaduskond

Filip Fjodorov 176059IDAR

TURBAALADE PÕLENGUTE TUVASTAMISE SÜSTEEMI LOOMINE

Diplomitöö

Juhendaja: Marika Kulmar

Tehnikateaduste
magister

Kaasjuhendaja: Ove Tüksammel

TTÜ diplom

Tallinn 2020

Autorideklaratsioon

Kinnitan, et olen koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autor: Filip Fjodorov

13.01.2020

Annotatsioon

Selles lõputöös käsitletakse turbaalade põlengute tuvastamise süsteemi lahenduse loomist. Suurte maa-alade jälgimiseks kasutatakse IoT andureid, mis saadavad andmed LoRa võrgu kaudu serverile ning luuakse rakendus turbaalade põlengute varaseks avastamiseks.

Esmalt kirjeldatakse LPWAN sidevõrku ja lühidalt selle tehnoloogia eelised. Teiseks on toodud LPWAN standardid ja nende lühikirjeldus, ning põhjendatakse LoRaWAN standardi valik. Töö praktilises osas kirjeldatakse monitooringu süsteemi jaoks vajalike seadmete valik ning nende konfigureerimine ja provisjoneerimine süsteemi. Järgnevalt pannakse kirja andmete töötlemise protsess rakendusserveris ja kasutajaliidese loomiseks vajalikud nõuded. Seejärel koostatakse kasutajaliides ja häirete genereerimise reeglite ahelad. Töö lõpuks on toodud süsteemi integreerimisega seotud aspektid ja finantsosa.

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 40 leheküljel, 9 peatükki, 19 joonist, 7 tabelit.

Abstract

PEATLANDS COMBUSTION DETECTION SYSTEM DEVELOPMENT

This thesis deals with creating a solution to detect a peatlands combustion and to monitor large areas with IoT sensors that send data to the server through the LoRa network and develop an application for early detection of peatland combustions.

In theoretical part of thesis author describes the LPWAN communication network and the benefits of this technology. Next, LPWAN standards and their brief description, and the reason for choosing LoRaWAN standard. The practical part describes the selection of equipment needed for the monitoring system and how to configure and provision them to the system. In the next part author explains the data processing process, alarms thresholds on the application server and the requirements for creating the user interface. The user interface is then compiled. Aspects related to system integration and financial part are presented at the end of the thesis.

The thesis is in Estonian and contains 40 pages of text, 9 chapters, 19 figures, 7 tables.

Lühendite ja mõistete sõnastik

LPWAN	Low Power Wide Area Network
IoT	Internet of Things / Asjade Internet
ISM	Industrial Scientific Medical
LoRa	Long Range
3GPP	3rd Generation Partnership Project
CSS	Chirp Spread Spectrum modulation
OSI	Open Systems Interconnection
PHY	Physical
MAC	Medium Access Control
MQTT	Message queuing telemetry transport
ppm	Parts per million / Osad miljoni kohta
CO	Carbon monoxide/süsinikoksiid, vingugaas

Sisukord

1 Sissejuhatus	9
1.1 Ülevaade tööst	9
2 LPWAN.....	11
2.1 LPWAN tehnoloogia	11
2.2 LPWAN tehnoloogia eelised	12
3 LPWAN standardid	13
3.1 LoRaWAN.....	14
3.2 LoRaWAN eelised.....	16
3.3 LoRaWAN arhitektuur	16
3.4 LoRaWAN turvalisus	19
4 Monitooringu süsteemi komponentide valik.....	21
4.1 LoRa andurite ja saatjate valik	21
5 Monitooringu süsteemi seadistamine	24
5.1 Seadme provisjoneerimine	24
5.2 Seadme konfigureerimine.....	25
5.3 Andmete konverteerimine	27
5.4 Monitooringu süsteemi lävend	30
6 Monitooringu süsteemi kasutajaliides	32
6.1 Kasutajaliidese nõuded.....	32
6.2 Kasutajaliidese koostamine	33
7 Süsteemi integreerimine	35
8 Finantsosa	37
9 Kokkuvõte	38
Kasutatud kirjandus	39
Lisa 1 – Uplink sõnum	41
Lisa 2 – Dekooder	42
Lisa 3 – CID koodid	46

Jooniste loetelu

Joonis 1. Täht-topoloogia	11
Joonis 2. LPWAN IoT Market [10].....	14
Joonis 3. LoRaWAN OSI mudel [12]	15
Joonis 4. LoRaWAN seadme klassid	17
Joonis 5. LoRa arhitektuur [18].....	19
Joonis 6. LoRaWAN turvalisus [19]	20
Joonis 7. Polysense WxS8800.....	23
Joonis 8. Polysense WxS8800 sisu.....	23
Joonis 9. NORAnet network.....	24
Joonis 10. Seadme provisjoneerimine	25
Joonis 11. DX API.....	26
Joonis 12. LoRa kaadri formaat [23]	28
Joonis 13. Konverteeritud andmed	30
Joonis 14. Temperatuuri lävendi reegel.....	31
Joonis 15. CO lävendi reegel.....	31
Joonis 16. Esipaneel	34
Joonis 17. Seadme kinnitamiseks varras koos sisse ehitatud anduriga [25].....	35
Joonis 18. Seadmete paigutamise plaan	36
Joonis 19. CID koodid	46

Tabelite loetelu

Tabel 1. Seadme võrdlus	22
Tabel 2. Anduri parameetrid [21]	26
Tabel 3. Seadme konfigureerimise käsklused	27
Tabel 4. Üleslingi teate põhivorming	28
Tabel 5. MSGType definitsioon	29
Tabel 6. Funktsionaalsed nõuded	32
Tabel 7. Mittefunktsionaalsed nõuded	33

1 Sissejuhatus

Asjade Internet (IoT) viitab seadmete/andurite vahelisele ühendusele ja andmevahetusele. Praegu on Asjade Interneti tehnoloogiate plahvatusliku kasvu tõttu üha rohkem praktilisi rakendusi paljudes valdkondades, sealhulgas tööstuses, varade jälgimises, põllumajanduses, näitude kauglugemises (elektriarvestid, gaasiarvestid, veearvestid), targa linna ja targa maja rakendustes. IoT-rakendustel on erinõuded, näiteks pikk tegevusulatus, madal andmeedastuskiirus, väike energiatarve ja kulutasuvus. Laialdaselt kasutatavaid lähivõrgu tehnoloogiaid (nt ZigBee, Bluetooth, WiFi, DASH7) ei kohandata stsenaariumide jaoks, mis vajavad andmeedastust pika vahemaa taha. Mobiilidel (nt 2G, 3G, 4G ja 5G) põhinevad lahendused võivad pakkuda suuremat katvust, kuid need tarbivad seadme jaoks liiga palju energiat. Seetõttu on Asjade Interneti rakenduste nõuded ajendanud uue traadita kommunikatsioonitehnoloogia tekkimist: väikese energiatarbega laivõrk (LPWAN).

LPWAN on üha enam populaarsust kogumas tööstus- ja teadusringkondades oma madala energiatarbe, pika vahemaa ja odavate suhtlusomaduste tõttu. See tagab kaugühenduse 10-15 km maapiirkondades ja 2–5 km linnapiirkondades. [1]

Lisaks on see ülimalt energiasäästlik (andurite aku kestab kuni 10 aastat) ja odav, anduri maksumus võrreldes teiste tehnoloogia anduritega madalaim. [2] Need paljulubavad LPWAN-i aspektid on ajendanud hiljutisi eksperimentaalseid uuringuid LPWAN-i toimimise kohta välis- ja siseruumides. Kokkuvõtlikult võib öelda, et LPWAN sobib väga hästi Interneti-rakenduste jaoks, kus on vaja edastada vaid väikeseid andmemahte suurtele kaugustele.

1.1 Ülevaade tööst

Kuna antud töö tehti koostöös Levikom Eesti OÜ ettevõttega, siis autoril oli võimalus kasutada NORAnet võrku, mis on Eesti esimene üleriigiline juhtmeta LPWAN-sidevõrk ja põhineb LoRaWAN võrgutehnoloogial. Lisaks, autor ei pidanud seadistama ja

paigaldama ise tugijaamad testide läbiviimiseks. Serveri infrastruktuuri pakub Levikomi koostööpartner ThingPark.

Selle töö eesmärgiks on luua turbaalade põlengute tuvastamise süsteem, kasutades selleks tänapäevaseid mõõtetehnoloogiaid ja traadita sidevõrku. Turbatootjatel oli alati probleem tuvastada turbaalade ja -aunade sisemist põlengut. Auna sees toimuvad bioloogilised protsessid tekitavad kuumust, mis võib edasi areneda sisemiseks põlenguks, mida ei pruugi väliselt tuvastada enne, kui turbamaterjali hävimise tõttu aun kokku variseb. Praegu käivad inimesed mõõteriistadega ja teevad pistelised mõõtmised turbaalade ja aunade olukorra järgimiseks. Autori poolt loodav monitooringu süsteem asendab käsitsi tehtavaid tööd automaatse mõõtmisega, mis tehakse perioodiliselt ööpäevaringselt. Kuna andurid on paigutatud teadaolevatesse kohtadesse maapinnal, siis alati on teada, kus kohas võib tekkida põlengu risk ja ennetada põlengut. Lisaks kogutud andmete põhjal tekkivad statistilised andmed, mis annavad võimaluse kasutada neid tulevaste uuringute jaoks.

Selle töö raames autor valib andurid ja LoRaWAN võrgu kaudu edastamiseks sobivad saatjad, edaspidi seadmed. Seejärel kirjutab lahti, kuidas toimub seadmete provisjoneerimine NORAnet võrku ja millised parameetrid vaja konfigureerida seadmetele, et nad saadaks vajalikud andmed perioodiliselt või vajaliku läve saavutamisel.

Järgmise peatüki esimeses osas autor kirjeldab, millises formaadis jõuavad andmed rakendusserverisse, läbides teekonna seadmest läbi tugijaama ja võrguserveri. Teises osas autor selgitab, kuidas toimub andmete dekodeerimine hex formaadist rakendusserverile sobivasse formaadi.

Seejärel autor kirjeldab, kuidas toimub andmete visualiseerimine ja vajaliku monitooringuloogika paika panemine. Edaspidi autor seadistab monitooringu juhtpaneeli ning lisab tabelid ja graafikud vajaliku informatsiooni kuvamiseks operaatori kui lõppkliendi jaoks.

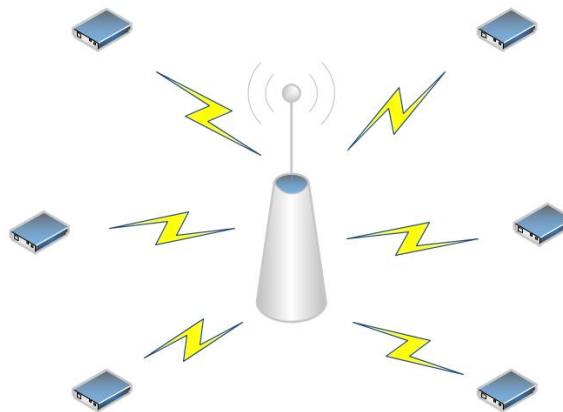
Eelviimane peatükk kirjeldab, kuidas plaanitakse rakendada turbaalade põlengute tuvastamise süsteemi reaalses olukordades ja viimane peatükk selle lahenduse finantsosa.

2 LPWAN

LPWAN (*Low Power Wide Area Network*) on laia ulatusega traadita sidevõrk, mis võimaldab seadmetel kasutada oluliselt vähem energiat andmete edastamisel. Võrgu oluline eelis mobiilside tehnoloogiate ees seisneb võimekuses toetada viimastest enam seadmeid suurema leviala ulatuses. [3]

LPWAN-tehnoloogia sobib suurepäraselt selliste seadmete ühendamiseks, mis peavad saatma väikese hulga andmeid üle pika vahemaa, säilitades samas aku pika tööaja. Mõni IoT (Asjade Internet) rakendus peab edastama ainult pisikesi koguseid andmeid - näiteks parkimismaja andur, mis edastab ainult siis, kui mõni parkimiskoht vabastatakse või kui see läheb kasutusse. Sellise seadme väike energiatarve võimaldab seda ülesannet täita minimaalsete kuludega. [4]

LPWAN võrgus kasutatakse täht-topoloogiat. Täht topoloogia puhul on iga andur ühendatud keskse tööjamaga, nagu seda näitab Joonis 1.



Joonis 1. Täht-topoloogia

2.1 LPWAN tehnoloogia

LPWAN-tehnoloogial signaali võimsuse kadu teekonnal saatjast vastuvõtjani võrdub 140-160 detsibelli (dB), see võib õigetes olukordades anda võimaluse signaalile ulatada

mitme kilomeetri kaugusele. See saavutatakse peamiselt vastuvõtja kõrge tundlikkusega. Vastuvõtja tundlikkus üle -130 dBm on LPWAN-tehnoloogiate puhul tavaline, võrreldes -90 kuni -110 dBm-ga paljudes traditsioonilistes traadita tehnoloogiates. -130 dBm-ga tehnoloogiad suudavad tuvastada signaale, mis on 10 000 korda nõrgemad kui signaalid, mida saab tuvastada -90 dBm-ga tehnoloogiatega. See annab suurt eelist LPWAN tehnoloogiale. [4]

LPWAN tehnoloogiad enamasti kasutavad litsentseerimata sagedusribad sagedustel alla 1 GHz. Näiteks, LoRaWAN tehnoloogia kasutab 433/868/780/915 MHz, Sigfox 868/902 MHz, DASH7 433/868/915 MHz sagedused. Sagedus sõltub regioonist ja riigi kohalikust regulatsioonist. Eestis saab kasutada 868 MHz sagedus.

2.2 LPWAN tehnoloogia eelised

LPWAN tehnoloogial on mitu eelist võrreldes teiste tehnoloogiatega. Autor toob kolm põhieelist:

- Suur edastuskaugus. Lõppsõlmed/andurid võivad olla tugijaamast kuni 10 kilomeetri kaugusel, sõltuvalt kasutatavast tehnoloogiast.
- Väike andmeedastuskiirus. Vähem kui 5000 bitti sekundis. Sageli saadetakse mitu korda päevas ainult 20–256 baiti sõnumi kohta.
- Väga väike energiatarbimine. See võimaldab aku väga pikka kasutusiga, sageli vahemikus 5 kuni 10 aastat. [4]

3 LPWAN standardid

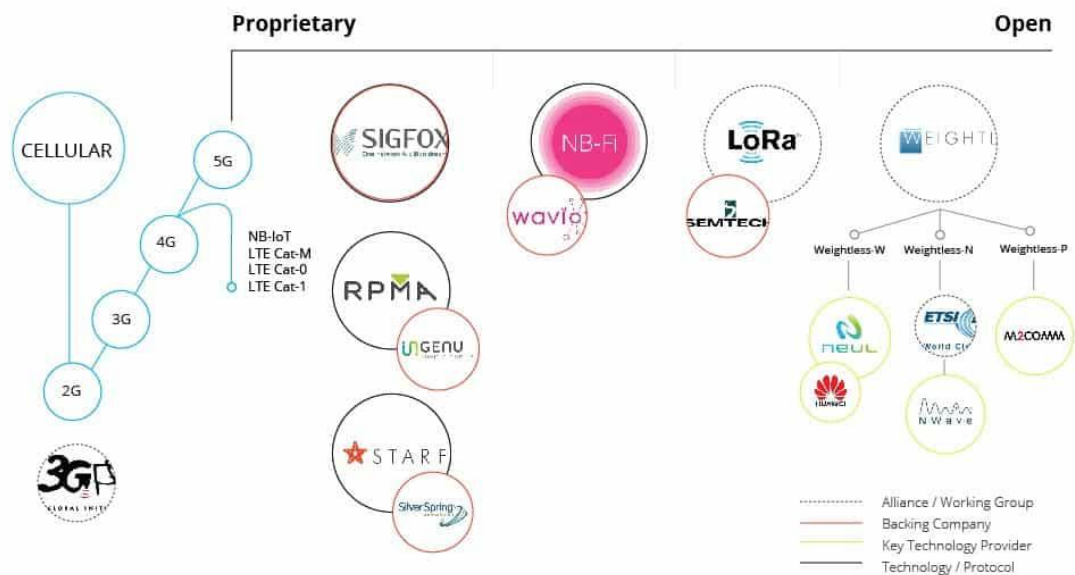
- SigFox. Seda tehnoloogiat töötas välja 2010. aastal idufirma Sigfox (Prantsusmaal Toulouse'is), mis on nii ettevõtte kui ka LPWAN-i võrguoperaator. Sigfox opereerib ja turustab oma IoT-lahendust 31 riigis ja on tänu erinevate võrguoperaatoritega tehtavale partnerlusele tehnoloogiat kasutusele võtmas kogu maailmas.
- Narrowband IoT. Standard arendatud 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) poolt juunis, 2016 aastal. [5] 2019 aasta märtsikuus, Global Mobile Suppliers Association teatas, et rohkem kui 100 operaatorit võtsid kasutusele seda tehnoloogiat.
- Weightless. LPWAN-i avatud traadita tehnoloogia standardite nimi, kui ka grupi Special Interest Group (SIG) nimi. Weightless on standardite kogum andmete vahetamiseks tugijaama ja selle ümber asuvate tuhandete masinate vahel. Selle standardi riistvara oli esmalt välja toodud Ubiik Inc poolt 2017 aasta juulis. [6]
- LoRaWAN. Töötati esmakordselt välja Cycleo poolt 2009. aastal (Grenoble'is, Prantsusmaal) ja selle ostis kolm aastat hiljem Semtech (USA). 2015. aastal standardiseeris LoRa-Alliance LoRa ning seda rakendatakse 42 riigis, ning teistes riikides on see endiselt kasutusele võtmisel tänu erinevatele mobiilsideoperaatoritele (nt Levikom Eestis, Bouygues ja Orange Prantsusmaal, KPN Hollandis ja Fastnet Lõuna-Aafrikas). [7]
- DASH7 Alliance Protocol 1.x. Arendatud DASH7 Alliance poolt. D7A on kahe-suunalise, alla 1 GHz (sub-GHz) sagedusega keskmise edastuskaugusega traadita raadiosidevõrgu avatud standard. [8]

Joonis 2 näitab graafiliselt, millised standardid on avatud ja millised on firmaomase omandiõigusega kaitstud.

LPWAN-tehnoloogiad, nagu SigFox, LoRa, NB-IOT, võetakse kasutusele IoT-põhistes põllumajanduse rakendustes, tänu oma madala energiatarbele, suure edastuskauguse ja odavuse tõttu. Paljud teadlased analüüsisid erinevaid tehnoloogiaid ja leidsid, et LoRa sobib kõige paremini nutikate põllumajanduse rakenduste jaoks. [9] Kuna see töö tehti koostöös ettevõttega Levikom Eesti OÜ, kes on ainus avaliku LoRaWAN teenusepakkuja Eestis, siis tehnoloogia valimisel oli kindel otsus LoRaWAN kasuks.

LPWAN IoT Market

(Low-Power Wide Area Network)



Postscapes CC Attribution License: Updated 8/2016

Joonis 2. LPWAN IoT Market [10]

3.1 LoRaWAN

LoRaWAN on madala energiatarbega laivõrgu (LPWAN) tehnoloogia. LoRaWAN põhineb hajaspektri modulatsiooni tehnikatel, mis on tuletatud spektrilaotuse modulatsiooni (*Chirp Spread Spectrum modulation*) tehnoloogiast. Selle töötas välja Prantsusmaal Grenoble'is asuv Cycleo ettevõte ja selle hiljem omandas LoRa liidu asutajaliige Semtech. [11]

LoRaWAN pakub täiustatud lahendust, mis võimaldab lõppkasutajal süsteemi kohandada vastavalt tema vajadustele. LoRaWAN OSI mudel koosneb kolmest kihist: füüsiline kiht (PHY), kanalikiht (MAC) ja rakenduse kiht (APP). Täpsemalt, LoRaWAN määratleb OSI

(avatud süsteemide ühendamise) mudeli füüsilise (PHY) ja meediumi pöörduse juhtimise MAC (*Media Access Control*) kihid (vt Joonis 3). PHY kihis kasutab LoRaWAN nende poolt välja töötatud modulatsiooniskeemi, nn LoRa (Long Range), mis on patenteeritud tehnoloogia, mis põhineb spektrilaotuse (CSS) modulatsioonil ja võimaldab väikese võimsusega pikamaaülekandeid. MAC-kihis määratleb LoRaWAN sideprotokolli, süsteemi arhitektuuri ning muud teenused ja liidesed kõrgema kihi rakenduste jaoks. Mõlemad kihid pakuvad mõningaid kohandatavaid sätteid, mis pakuvad süsteemile väärtuslikku paindlikkust selle kohandamiseks erinevatele kasutusjuhtudele.



Joonis 3. LoRaWAN OSI mudel [12]

LoRaWAN raamistik määratleb kaks hästi diferentseeritud kihti, PHY kiht, mille määratleb LoRa modulatsioon, ja MAC kiht, mis on määratletud LoRaWAN protokolliga. LoRa esitleb kolme erinevat konfigureeritavat parameetrit, nimelt hajutegurit SF (*Spreading Factor*), kodeerimise kiirust CR (*Coding Rate*) ja ribalaiust BW (*Bandwidth*). Neid tegureid häälestades saab reguleerida mõningaid kliendi ja lõpp seadme kommunikatsiooni funktsioone, näiteks andmeedastuskiirus, vigade parandamise võime ja edastuskaugus. Seoses SF-ga teostatakse hajasperktri modulatsioon, esindades iga andmebiti mitme kiibiga (*chirp*). Seega tähistab SF suhet kiibi kiiruse ja põhiriba teabe kiiruse vahel. Tavalised SF väärtused on vahemikus 7 kuni 12, seega suurendavad suuremad SF väärtused edastuslingi vastupidavust, suurendades vastuvõtja seadme tundlikkust edastuskiiruse arvelt. Teisest küljest, vähendades SF-d, suureneb andmeedastuskiirus märkimisväärselt, kuid selle nõuetekohaseks dekodeerimiseks tuleb edastatud signaal vastu võtta kõrgemal võimsustasemel. Vaja pöörata tähelepanu, et SF täiendav väärtus on niinimetatud andmeedastuskiirus DR (*Data Rate*); sel juhul on skaala vastupidine, nii et DR0 on samaväärne SF12-ga ja DR5 on samaväärne SF7-ga. Nüüdsest

kasutatakse mõistet DR. Lingi töökindluse täiendavaks parandamiseks kasutab LoRa tsüklilist tõrkekodeerimist, et edastada vigade tuvastamist ja parandamist. Sellise veakoodimisega kaasneb CR parameetri abil edastatav ballast (lisabitid LoRa PHY kihi kasulikus koormuses), mille saab seada järgmistele väärtustele: 4/5, 4/6, 4/7 ja 4/8 . Lõpuks on LoRa ülekandes enim kasutatud ribalaius (BW) 125 kHz, ehkki toetatud on ka ribalaiusi 250 kHz ja 500 kHz. [13]

3.2 LoRaWAN eelised

- Väga lai leviala, linnatingimustes ca 3-5 km ja maapiirkondades kuni 15 km.
- Väga väikese energiatarbega, mille tõttu kestab patarei tööiga pikalt (kuni 10 aastat).
- Kasutab adaptiivset andmeside kiiruse tehnoloogiat lõppseadmetes. See aitab pikendada aku eluiga ja üldiselt LoRaWAN võrgu läbilaskevõimet. Andmeside kiirus võib olla vahemikus 0.3 Kbps kuni 27 Kbps 125 kHz ribalaiuse juures.
- Kasutab üle maailma vabalt kasutuses olevat 868 MHz/ 915 MHz ISM sagedusriba. [14]

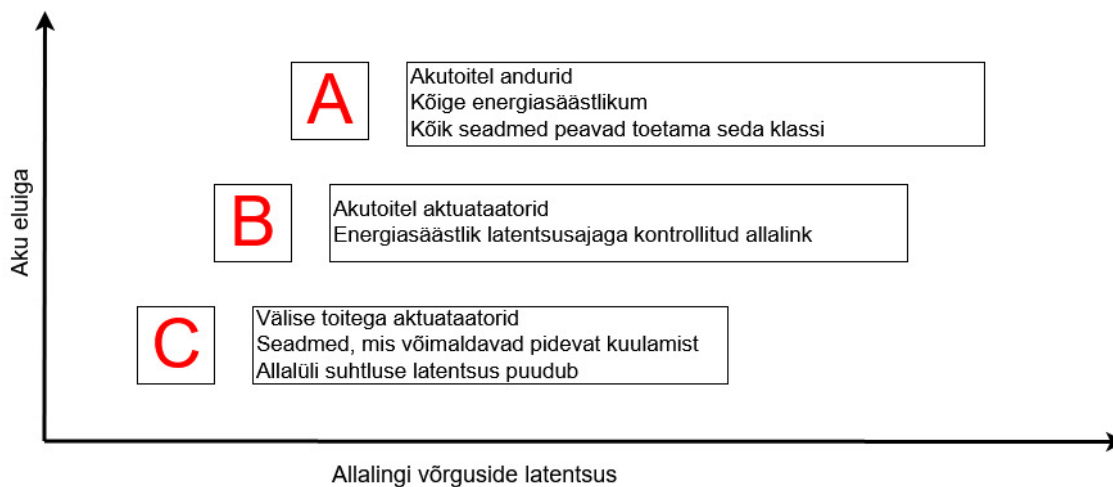
3.3 LoRaWAN arhitektuur

LoRaWAN - võrgus seadmed ei ole seotud konkreetse tugijaamaga. Selle asemel võetakse seadme poolt edastatud andmeid vastu tavaliselt mitme tugijaama kaudu. Igaüks neist edastab vastuvõetud paketi tugijaamast mõne võrguühenduse kaudu (kas Etherneti, 4G või Wi-Fi kaudu) võrgu serverisse. [15] Võrguserverid suunavad sõnumid lõppseadmetest vastavasse rakendusse ja tagasi, nagu seda näitab Joonis 5.

Seade nimetatakse inglise keeles tavaliselt - *end device, node, sensor, mote*. Seadmel peab olema LoRaWAN-moodul, kas sisseehitatud plaadi peal, laiendus moodulina või ühendatud juhtmega. Alati peaks olema toite allikas, tavaliselt A klassi seadmel kasutatakse patareid/akud. Ja üks kuni mitu andurit, viimane sõltub seadme põhiplaadi spetsifikatsioonist. Mõned seadme tootjad lisavad lülitid ja erandjuhtudel LCD ekraanid ja aktuaatorid. Viimased eriti tundlikud allalangi kommunikatsiooni latentsusele.

LoRaWAN võrk toetab kolme erinevat tüüpi seadmeid. Seadmed jagunevad A, B ja C klassi. Kõik seadmed peavad kuuluma Klassi A ja teised klassid siis omakorda täiendavad esimest. (Joonis 4)

- Klass A seadmed toetavad kahepoolset andmesideühendust seadme ja tugejaama vahel. Seade saab võrku saada oma sõnumeid igal ajal. Peale saatmist on kaks ajaakent kui seade on valmis võtma vastu sõnumeid võrgust. Sõnumeid saab vastu võtta ainult ühel korral kahest võimalikust.
- Klass B seadmed laiendavad Klass A seadme võimalusi kasutades ajastatud aknaid andmete vastuvõtmiseks serverist. Sisuliselt tähendab see, et seadmed kuuluvad perioodiliselt, kas serveril on neile midagi saata.
- Klass C seadmed laiendavad Klass A seadme võimalusi ja suudavad samal ajal andmeid vastu võtta kuni nad andmeid saadavad. Võrreldes Klass A seadmetega on selline kommunikatsioonilahendus kordades energiamahukam. [14]



Joonis 4. LoRaWAN seadme klassid

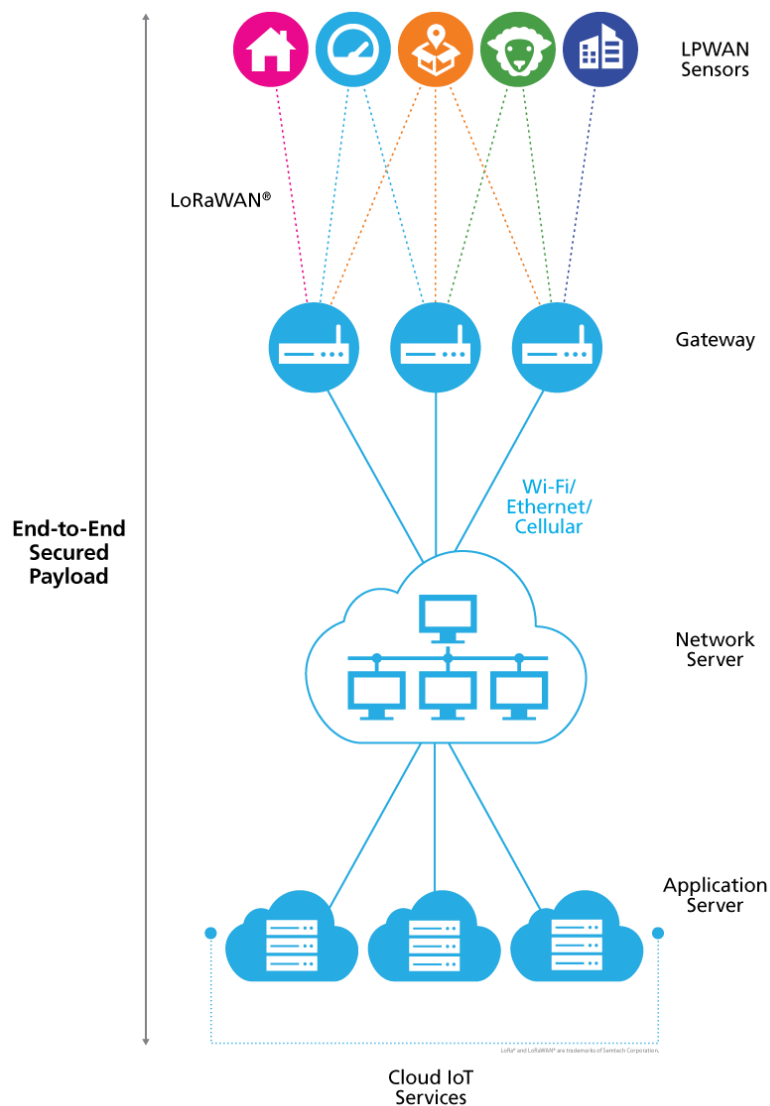
Tugijaam (*Gateway*) - moodustab silla seadmete ja võrguserveri vahel. Seadmed kasutavad tugijaamaga ühenduse loomiseks vähese energiatarbega võrku - LoRaWAN, samas kui tugijaam kasutab võrguserveriga ühenduse loomiseks suure ribalaiusega võrke, näiteks Ethernet, WiFi või 4G.

Kõik seadme leviulatuses olevad tugijaamad võtavad seadme sõnumid vastu ja edastavad need võrguserverile. Võrguserver deduplitseerib sõnumid (kustutab ära koopiad) ja valib parima tugijaama kõigi allalingi (*downlink*) jaoks järjekorda pandud sõnumi

edastamiseks. Üks tugijaam võib teenindada tuhandeid seadmeid. Tugijaamad on ruuterid, mis on varustatud LoRa kontsentraatoriga, võimaldades neil vastu võtta LoRa pakette. [16]

Võrguserver (*Network server*) – on tagarakendus (*backend application*), mis vastutab Asjade Interneti andmete marsruutimise eest seadmete ja rakenduste vahel. Tüüpiline Asjade Interneti võrk kasutab tugijaamu sillana, konkreetsete raadioprotokollide ja Interneti vahel. Juhtudel, kui seadmed ise toetavad IP-pinu, edastavad tugijaamad pakette otse Internetti. IP-välised protokollid, näiteks LoRaWAN, nõuavad sõnumite teatud viisil töötlemist ja marsruutimist, enne kui sõnumeid saab rakendusele edastada. Võrguserver paikneb tugijaamade ja rakendusserverite vahel (vt. all olevat Joonis 5) ja vastutab nende marsruutimis- ja töötlemistoimingute eest. [17]

Rakendusserver (*Application server*) - see on andmete lõppsihtkoht. Võrguserver edastab andmed määratud rakendusserverisse oma patenteeritud JSON-vormingus, kas HTTP POST-i või MQTT-teemana (*topic*).



Joonis 5. LoRa arhitektuur [18]

Igal seadmel võrgus on 64-bitine unikaalne identifikaator (DevEUI ja AppEUI). Seadme ühendumisel võrku saab ta omale dünaamiline 32-bitise aadressi (DevAddr). LoRaWAN võrgus on kasutusel 128-bitised AES turvavõtmed. Rakenduse turvavõti on teada ainult seadmele ja rakendusele. Seadme ühendumisel võrku genereeritakse rakenduse (AppSKey) ja võrgu (NwkSKey) sessiooni võtmed. [14]

3.4 LoRaWAN turvalisus

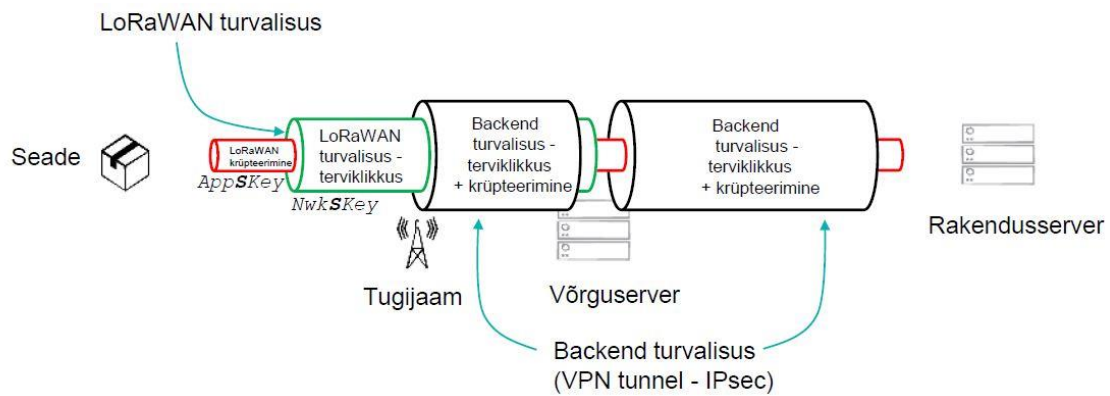
LoRaWAN standard sisaldab kahte turbekihti: üks võrgu jaoks ja teine rakenduse jaoks. Võrgukihi turvalisus tagab seadme võrgusõnumite autentimine ja rakendusekihi turvalisus tagab rakenduse andmete kaitse (konfidentsiaalsus, terviklikkus).

Turvaline suhtlus põhineb kahe erineva võtme kasutamisel:

- Võrguseansi võti (NwkSKey): seda kasutavad seade ja võrguserver sõnumi terviklikkuse koodi - MIC arvutamiseks ja kontrollimiseks (Joonis 12).
- Rakenduse seansi võti (AppSKey): seade ja rakendusserver kasutavad seda rakendusepõhiste andmesõnumite kasuliku teabe (payload) krüptimiseks ja dekrüpteerimiseks.

Andmevahetus tugijaamade ja rakendusserveri vahel toimub üle IPsec kanali kaudu.

Joonis 6 näitab LoRaWAN protokollki kõik turvakihid.



Joonis 6. LoRaWAN turvalisus [19]

4 Monitooringu süsteemi komponentide valik

Turbaalade põlengute tuvastamise süsteemi loomiseks on vaja valida sobivad andurid ja LoRa tehnoloogia põhjal töötav saatja. Autor kasutab NORAnet ja tema partnerite poolt toodetud tugijaamu, võrgu- ja rakendusservereid ning välja ehitatud avaliku sidevõrgu lahendust Eestis. Järgmistes peatükkides kirjeldatakse täpsemalt andurite valikut ning millest koosneb NORAnet sidevõrk, võrgu- ja rakendusserver.

4.1 LoRa andurite ja saatjate valik

Autori töös, andmete korjamisel on väga suur roll anduritel. Kuna viimastest sõltub, andmete täpsus, mille alusel toimub põlengute tuvastamine. Andur on seade, mis muundab mõõdetava füüsilise suuruse teiseks suuruseks (signaaliks), mida on parem võimendada, mõõta, edastada ning töödelda. [20] Selles töös autor plaanib kasutada andurid koos LoRa saatjaga, mida tänapäeval pakutakse turul nagu lõppseade andmete edastamiseks LoRa võrgu kaudu tugijaamadele. Kuna seadmed plaanitakse kasutada õues ja neid pole võimalik kuidagi kaitsta välise keskkonna kahjulike tegurite eest, siis nad peavad vastama järgmistele tehnilistele nõuetele:

- IP-kaitseaste: IP67
- ISM sagedusriba: 868 MHz
- Minimaalne andurite tugi: vingugaasiandur (CO), temperatuuriandur
- Toite allikas: aku
- LoRaWAN klass: A

Autor tegi turu uuringut ja leidis, et maailmaturul pakutakse järgmised seadmed LoRa tehnoloogia jaoks:

1. Decentlab DL-AC
2. Polysense WxS8800
3. GlobalSat LS-112P
4. Netvox RA02C

Seadmete kohta koostati järgnev võrdlustabel, kus on toodud peamised parameetrid.

Tabel 1. Seadme võrdlus

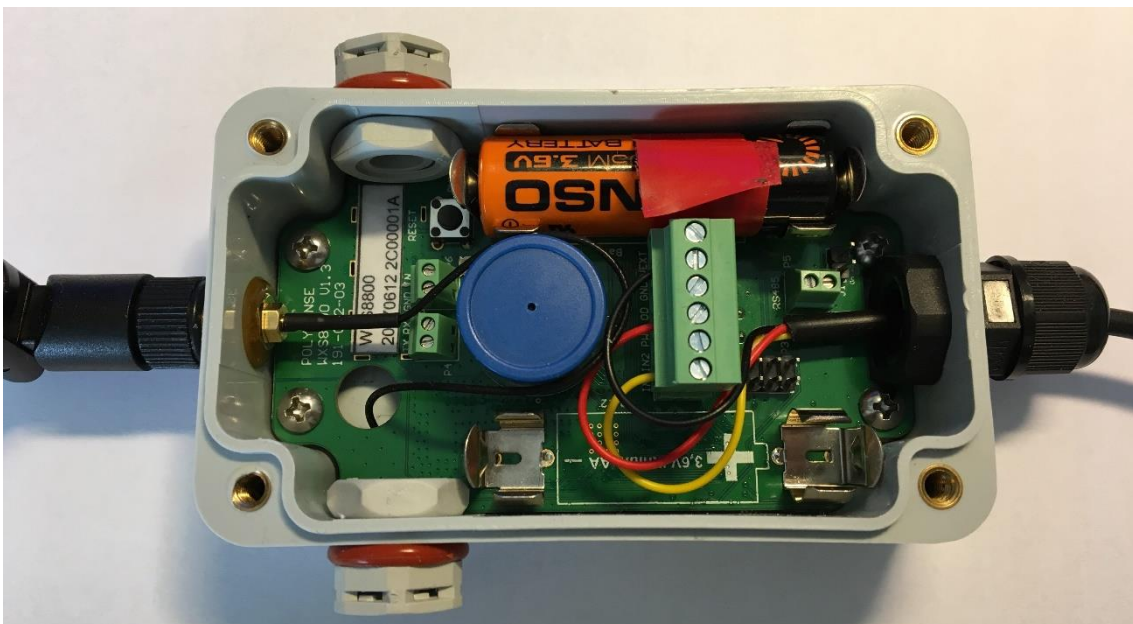
Seadme mudel	Decentlab DL-AC	Polysense WxS8800	GlobalSat LS-112P	Netvox RA02C
IP-kaitseaste	Puudub info	IP67	Puudub info	Puudub info
ISM sagedusriba	EU868-Europe 863-870MHz	863-870MHz Europe	920-928 MHz AS923/AU915	867-869MHz Europe
Toite allikas	4 x D alkaline batteries	3.6V LI/SOCI2 AA battery	8..24V/or Micro-USB, 5V	2*AAA alkaline battery
Töötemperatuur	-30...+50 °C	-60...+86 °C	-10...+50 °C	-20...+55 °C

Valik oli tehtud Polysense WxS8800 seadme kasuks (vt Joonis 7), kuna ainult see seade vastas kõikidele nõutud parameetritele, lisaks sellel seadmel on väga lai tugi erinevatele anduritele. Ligi 30 erinevaid anduri tüüpi, millest 8 tk võivad olla samal ajal ühendatud seadme plaadi külge. [21] Lisaks hinna ja seadme võimekus Polysense seadmel oli parim. Seadme hinnad on töö autorile teada ja nad ei erine üksteisest palju, kuid seoses äriprojekti, mis kuulub Levikom OÜ-le, neid avalikustada ei olnud võimalik.



Joonis 7. Polysense WxS8800

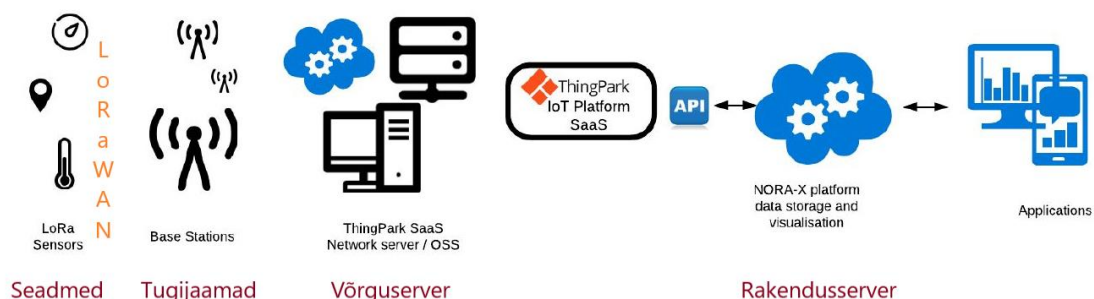
Polysense WxS8800 on võimas multifunktsionaalne seade (Joonis 8), mis toetab väga laia valikut IoT sensorirakendusi, sealhulgas, nutikas/turvaline hoone, nutikas/turvaline linn, perimeetri turvalisus, tule- ja gaasiseire, põllumajandus, objektide jälgimine, masina seisukorra jälgimine, jne. WxS8800 toetab üleslingi liidesena LPWAN/LoRa, et edastada andurite andmeid rakendusserverisse LoRa võrgu kaudu. [21]



Joonis 8. Polysense WxS8800 sisu

5 Monitooringu süsteemi seadistamine

Andmete kogumiseks, töötlemiseks ja lõppkliendile esitamiseks kasutab autor NORAnet poolt pakutavat NORA-X visualiseerimiskeskonda. Kuna see on Levikom Eesti OÜ partnerite poolt arendatud ja töö alguses see oli autorile ette antud. Andurid edastavad andmed tugijaamale kasutades LoRa tehnoloogiat. Tugijaam omakorda on ühendatud Ethernet võrgu kaudu, ThingPark võrgu serveriga. Võrguserverisse edastatakse kõik andmed, mida andurid saatsid läbi erinevate tugijaamade. Võrguserver deduplitseerib sõnumid (kustutab ära koopiad) ning edastab neid API protokolliga kaudu NORA-X platvormile (rakendusserver). Rakendusserveris toimub andmete struktureerimine, töötlemine ja visualiseerimine. Lõppkasutajale kuvatakse info veebilehe portaalis. (vt, Joonis 9)



Joonis 9. NORAnet network

5.1 Seadme provisjoneerimine

Nagu varem oli mainitud, Polysense WxS8800 on väga võimas seade, mis lubab valida, millised andurid on soov kasutada ja vastavalt sellele neid konfigureerida.

Selleks, et oleks võimalik konfigureerida andurid ja nende parameetrid, on vaja kõigepealt provisjoneerida seade võrgus. Võrguserver nõuab iga lisatava seadme kohta järgmiste parameetrite: seadme nimi, tootja, mudel, aktiveerimise meetod, DevEUI (seadme unikaalne aadress), AppEUI (rakendusserveri aadress), AppKey (unikaalne krüpteerimis võti), ühenduse plaan ja profiil (vt, Joonis 10).

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

- Administrative data:**
 - Device name: WxS8800_CO
 - Marker: * (Location icon) Change marker
 - Administrative info: (Empty text box)
 - Administrative location: * Network location Change location
 - Motion indicator: Near static
- Device identification:**
 - Manufacturer: * Generic
 - Model: * LoRaWAN 1.0 - class A - ETSI - Rx2_SF12 eu868
 - Device activation: Over The Air Activation (OTAA)
 - DevEUI: * 201706122C00001A
 - AppEUI: * AC-DF-48-23-46-45-AD-CD
 - Key format: Clear text
 - AppKey: * 0F 64 03 00 0E 00 03 0E 41 0D 00 00 01 64 10 01
- Network parameters:**
 - Connectivity plan: NORAnet Connectivity Supplier / SF11 test CP (10)
 - DevAddr: * Allocated by the network server
- Application layer handling:**
 - Application server routing profile: nora-x WxS8800X

Joonis 10. Seadme provisjoneerimine

5.2 Seadme konfigureerimine

Kui seade provisjoneeritud ja sisse lülitatud, siis ta saadab päringu (*JoinRequest*), et luua ühendus. Pärast edukat ühendust, võrguserverist vastuseks saadetakse aktsept vastus (*JoinAccept*). Seda saab jälgida ka ThingPark võrgu serveris, wireless-logger konsoolis.

Edasi autor kirjeldab, kuidas toimub seadme konfigureerimine vastavalt valitud anduritele. Konfigureerimine toimub allalingi teatega (*downlink message*), mis valmistakse ja sisestatakse ThingPark DX Core API Post portaalis (Joonis 11). Allalingi teade saadetakse seadmele kohe peale seda, kui seade järgmisel korral saadab mingid andmed serverile (*uplink message*).

Response Content Type

Parameters

Parameter	Value	Description	Parameter Type	Data Type
device	<input type="text" value="(required)"/>	Ref or DevEUI of the device to which the downlink message should be sent.	path	string
confirmDownlink	<input type="checkbox"/>	Indicates to send a downlink reception confirmation. Requires the feature flag 'ackedDownlinkFrame' to be checked in the device's connectivity plan. Default is false.	query	boolean
flushDownlinkQueue	<input type="checkbox"/>	Indicates to flush the LRC downlink queue before adding the new message to the queue. Default is false.	query	boolean
message	<pre>{ "payloadHex": "aa00bb11", "targetPorts": "222" }</pre> <input type="text" value="Parameter content type: application/json"/>	Contents of the downlink message to send.	body	Model Example Value Message { payloadHex (string): Payload of the message in hexadecimal format. targetPorts (string): LoRa port(s) targetted by the message. securityParams (MessageSecurityParameters, optional): Specifies eventual security parameters for

Joonis 11. DX API

Nagu varem oli mainitud, Polysense WxS8800 seade lubab määrata kuni kaheksa andurit, aadressidega 0-7. Iga anduri kohta võib konfigurereida kuus parameetrit. Kõik võimalikud parameetrid toodud tabelis (Tabel 2)

Tabel 2. Anduri parameetrid [22]

Andurite olemasolu plaadil	0/1 (pole ühendatud/ühendatud)
Administreerimise olek	sees/väljas
Perioodiliste andmete saatmine	sees/väljas
Planeerimistsükkel	10 (60 * 10 = 600 sekundit = 10 minutes)
Andmete läve	400 (40°C, saadab kohe andmed kui väärtus üle 40°C)
Saatmis kordi	1 (saadab üks kord igas planeeritud tsüklis)

Seadme konfigureerimise käskluse koostamiseks autor kasutas seadme tootja kasutusjuhendit. CID käsu ID on konkreetne käsk, mis on algatatud LoRa serverist. Seadmel andurite konfigureerimiseks kasutatakse kood 0x13 – PlssSetPPB (Set specific attribute in WxS8800 PPB (Polysense Proprietary Base)) Täisnimekiri võimalikest käskudest on toodud tabelis Lisas 3. *Attribute* lahtrisse pannakse anduri järjekorra number mis on korrutatud toimingu koodiga, mille saab leida juhendi tabelis. ValueLength, ja

Value vaadatakse samast tabelist. Selle nelja numbriga järjest panemine, tekitab baitide jada, ehk PayloadHex'i. Viimane sisestatakse ThingPark DX Core API portaalis allalingi saatmiseks. Näidis käsud on toodud tabelis (Tabel 3).

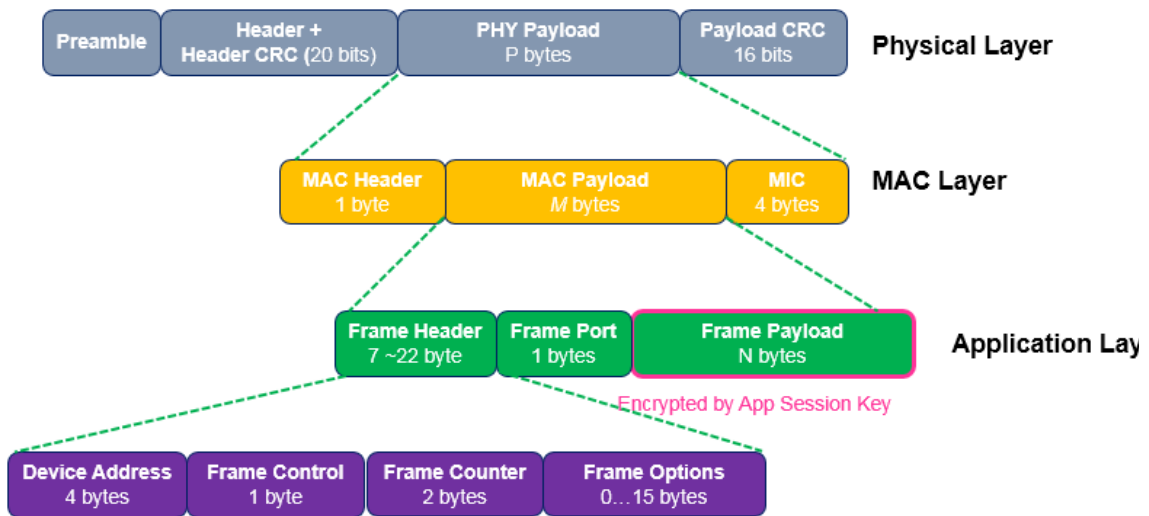
Tabel 3. Seadme konfigureerimise käsklused

CID	Attribute	ValueLength	Value	payloadHex	kommentaariid
13	4*0x12+0x2C HEX> 74	1	0x10	13740110	Määratakse 5. kohale andur (0x10 – External digital temperature sensor (DS18B20)).
13	4*0x12+0x2D HEX> 75	1	(11001000) 0xC8	137501C8	Perioodilise andmete saatmine aktiveerimine (Bit[3] – Periodic data report control)
13	4*0x12+0x2E	2	1e00	1376021E00	Määratakse ajakava tsükkel Set SCHEDULING_CYCLE 30min

5.3 Andmete konverteerimine

Peatükis 3.1 LoRaWAN kirjeldati, et LoRaWAN OSI mudel koosneb kolmest kihist, kuid selles peatükis räägitakse lähemalt, millistest kaadritest koosneb rakenduse kiht (*APP layer*). MAC kaader moodustab rakenduskihi, mis on omakorda koosneb kaadri päisest (*Frame Header*), kaadri pordist (*Frame Port*) ja kaadri kasulikest andmetest (*Frame Payload*). Frame Payload väärtus krüptitakse rakenduse seansi võtmega (*AppKey*). See krüptimine põhineb AES 128 algoritmil. (Joonis 12)

LoRa Frame Format



Joonis 12. LoRa kaadri formaat [23]

Frame Payload osas on andmed HEX formaadis baitide jadas: PLSSPayloadIndicator, MSGType, MSGPayload. Tabel 4 näitab üleslingi teate põhivormingu, Frame Payload kaadri sisu.

Tabel 4. Üleslingi teate põhivorming

Size (bytes)	1	1	1..N
FRMPayload	PLSSPayloadIndicator (0xD7)	MSGType	MSGPayload

Allpool tabelis (Tabel 5) on toodud MSGType definitsioon:

Tabel 5. MSGType definitsioon

MSGType	Seletus	Kommentaar
0x7E	Anduri andmete aruande teade kindla andmepikkusega	WxS8800 algatab andmearuande autonoomselt
0x84	Mote teabe aruande sõnum	Vastus PlssGetInfo sõnumile LoRa serverist
0x85	Kohaliku kuupäeva ja kellaaja aruande sõnum	WxS8800 teatab LoRa serverile oma kohaliku kuupäeva-aja, kui see on algladitud ja serverisse edukalt registreerunud. WxS8800 edastab pidevalt 10 sellist sõnumit
0x87	Mote statistika aruande sõnum	Osa vastusest PlssGetInfo-le teade LoRa serverist
0x88	PPB atribuudi aruande sõnum	Vastus PlssGetPPB sõnumile LoRa serverist

[21]

Frame Payload kaadri sisse on kodeeritud anduriga mõõdetav väärtus, mis on vaja teisendada rakendusserverile sobiva kujule, et saaks need andmed kuvada esipaneelil. NORA-X rakendusserver võimaldab integreerida andmete konverteri moodulisse (data converter) ise kirjutatud koodi. Konverter muundab andmed MSGPayload hex formadist JSON väärtusele. Sissetulevate andmete näidis on toodud Lisas 1. Selleks, et teisendada temperatuuri väärtus veebiportaali arusaadavale kujule, otsitakse *case*-lause (*case klause*) abil Frame Payloadis alates viiendast baidist, baidi jada „0e“ ja võetakse kolmandast kuni kuuenda baidini ja jagatakse 10-ga.

Tulemuseks on temperatuuri väärtus °C. (Joonis 13)

Out

```
{
  "deviceName": "201706122C00001A",
  "deviceType": "WxS8800_X",
  "attributes": {
    "model": "WxS8800_field",
    "softwareVersion": "1.0.0",
    "integrationName": "WxS8800X"
  },
  "telemetry": {
    "extemp1": 21
  }
}
```

Joonis 13. Konverteeritud andmed

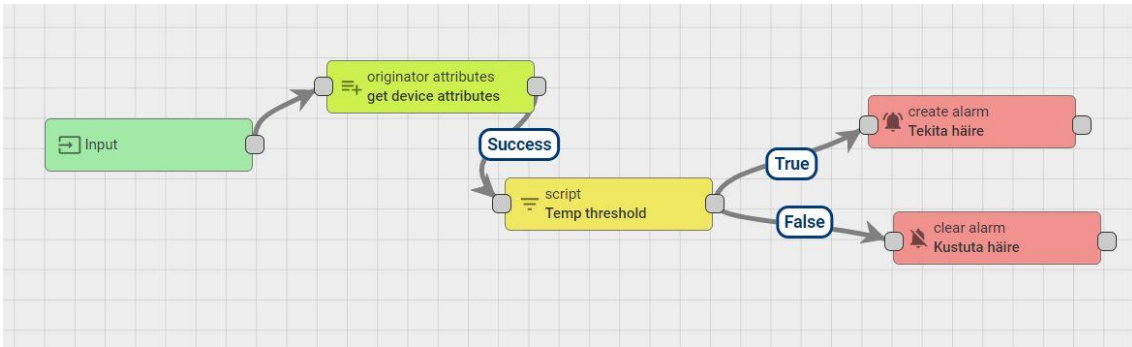
Konverteri terve programmikood toodud Lisas 2.

5.4 Monitooringu süsteemi lävend

Nüüd on andmed rakendusserveris konverteeritud ja asuvad monitooringu süsteemis sobival kujul koos meta-andmetega. Monitooringu süsteemis peavad olema reeglid, mille järgi kontrollitakse, et jälgitav parameeter ei lähe üle või alla ländendi (threshold). NORA-X rakendusserveris selleks olemas moodul, mis annab võimaluse visuaalselt ja kirjutades koodi plokki, ehitada reeglite ahelad erinevate parameetrite jaoks.

Turbaalade põlengute tuvastamiseks kasutatakse temperatuuri ja CO andurid. Mõne allika järgi, turba isesüttimistemperatuur on 50-60°C. [24] Turbatootja poolt on paika pandud temperatuuri lävend, mis võrdub 40°C. Kui temperatuur on üle 40°C, siis antakse häire seire keskusele ja üle kuumenenud alas alandatakse temperatuur teatud meetodiga.

Selle töö autori turbaalade põlengute tuvastamise süsteemis sai tehtud järgmine reeglite ahel. Esialgu võetakse andmed, mis jõuavad anduritest (Input boks), järgmiseks määratakse atribuudid, (temperatuuri puhul max_temp=40°C), edasi skripti plokkis toimub andmete võrdlemine varem määratud atribuudiga, kui temperatuur on üle seatud läve, siis luuakse süsteemis häire (Joonis 14).

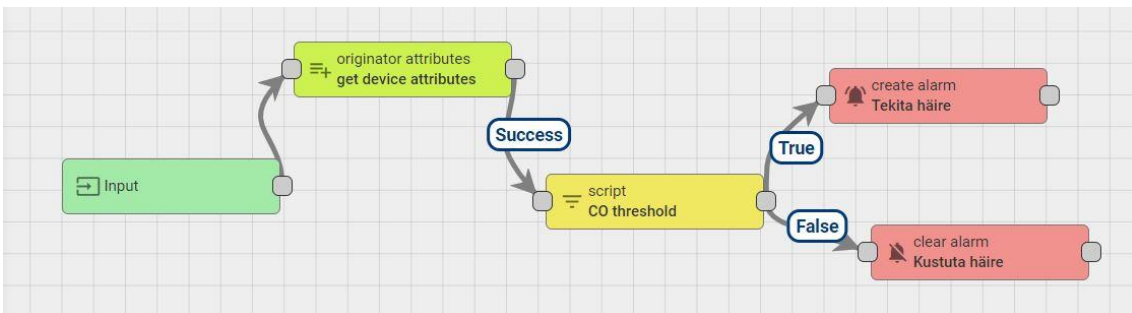


Joonis 14. Temperatuuri lävendi reegel

CO (vingugaas) andmete kontrollimiseks sai tehtud ka analoogne reeglite ahel. Vingugaasi puhul sai pandud lävend mis võrdub 10ppm'i, hiljem seda parameetrit võib korrigeerida vastavalt vajadusele. Kontrollimiseks oli kirjutatud järgmine väljend

```
return msg.CO >= metadata.ss_COhi;
```

CO häire genereerimise reegli ahel näidatud järgmisel pildil. (Joonis 15)



Joonis 15. CO lävendi reegel

6 Monitooringu süsteemi kasutajaliides

Anduritest saadud andmed on vaja kuvada operaatorile, samuti kui mingis turbaväljade piirkonnas või aunades tekkib põlengute oht, siis operaatoril peaks olema võimalus kiiresti aru saada, kust tuleb häire ja ennetada põleng.

6.1 Kasutajaliidese nõuded

Mugava kasutajaliidese koostamiseks pandi kirja nõuded veebirakendusele. Nõuded on jagatud kahte erinevasse gruppi: funktsionaalsed (Tabel 6) ja mittefunktsionaalsed (Tabel 7) nõuded.

Tabel 6. Funktsionaalsed nõuded

Nõue	Selgitus
Temperatuuri kuvamine	Graafikus kuvatakse temperatuuri mõõtmistulemused
CO kuvamine	Graafikus kuvatakse CO mõõtmistulemused
Häirete kuvamine	Süsteem peab näitama häirete nimekiri ja võimaldama neid filtreerida kindlas ajavahemikus.
Häirete staatuse filtreerimine	Süsteem peab võimaldama häirete filtreerimist staatuse järgi: aktiivne, kustutatud, kinnitatud.
Temperatuuri, CO ja häirete perioodi valik	Süsteem peab võimaldama temperatuuri, CO ja häirete filtreerimist kindlas ajavahemikus.

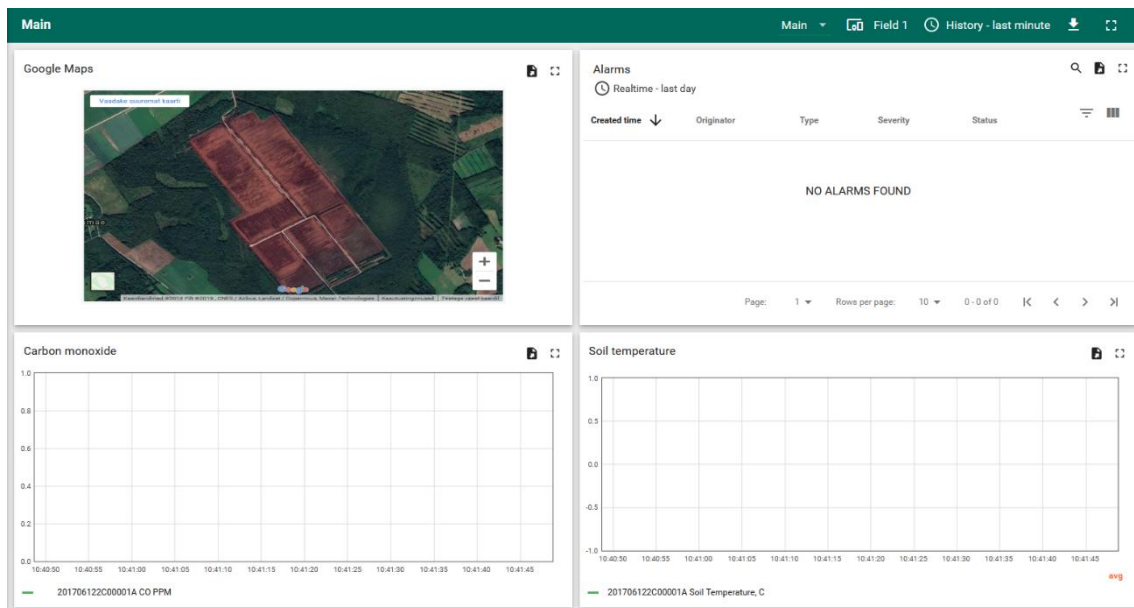
Tabel 7. Mittefunktsionaalsed nõuded

Nõue	Selgitus
Kasutatavus	Kasutamine peab olema mugav, lihtne ja käepärane. Kasutajad peavad olema autenditud.
Süsteemi hooldamine	Süsteemi hooldamise eest vastutaval inimesel peab olema võimalikult lihtne. Peakasutajal peaks olema võimalus lisada ja kinni panna töötajate kasutajakontod.
Laiendatavus	Süsteemi on võimalik lisada uusi turbavälju, ilma et tuleks süsteemis teha suuri ümberkorraldusi.
Usaldusväarsus	Süsteem peab töötama vastavalt seatud funktsionaalse nõutele.

6.2 Kasutajaliidese koostamine

Kasutajal on sisse logimiseks vaja sisestada kasutajanimi või email ja parool. Samas aknas on võimalik vajadusel uuendada parool.

Kasutaja avalehel kuvatakse esipaneel, kus on peamised graafikud ja tabel häiretega. Graafikud näitavad CO ja temperatuuri valitud perioodi kohta (Joonis 16). Soovi korral, kasutaja võib teha suuremaks ühe soovitud graafikutest. Häirete tabelis, iga rea kohta on toodud järgmine info: häire tekitamise aeg, algataja, tüüp, raskusaste, staatus. Lisaks on võimalik häireid filtreerida staatuse järgi.



Joonis 16. Esipaneel

Vaikimisi näidatakse esipaneelis andmed reaalajas viimase päeva kohta. Kasutajal on võimalus vaadata ka varasemaid andmeid, näiteks mingi kindla ajavahemiku kohta. Selleks on esipaneeli ülemises reas olemas hüpikaken, kus saab määrata soovitud ajavahemiku.

7 Süsteemi integreerimine

Seade oli vaja kuidagi kinnitada maapinna lähedale, et oleks võimalik mõõta CO ja temperatuuri turbaaladel ja -aunadel. Selleks sai leitud Draminski tootja veebikataloogis 1,5 m pikkune kokkupandav varras koos sobiva temperatuuri anduriga (Joonis 17), mis on sisse ehitatud antud varda sisse. Sellise varda külge võimalik väga lihtsalt kinnitada Polysense seade (Joonis 7) ja anduri kaabel ühendada seadme plaadi külge. Välistemperatuuri anduri tehnilise dokumentatsiooni järgi mõõtmisvahemik on -50°C kuni $+150^{\circ}\text{C}$ ja mõõtmise täpsus $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ja eraldus 0.1°C . Turbaalade põlengute tuvastamise süsteemi jaoks antud parameetrid sobivad.



Joonis 17. Seadme kinnitamiseks varras koos sisse ehitatud anduriga [25]

Monitooringu seadmed plaanitakse paigaldada turbaalade perimeetris iga 100 m tagant ja põllu pindalas 50 m korda 100 m intervalliga, nagu seda näitab Joonis 18.



Joonis 18. Seadmete paigutamise plaan

Käesoleva lõputöö käigus valminud lahenduse juures võivad esineda ka teatud riskid. Kuid suurem osa neist õnnestus maandada erinevate lisa kontrollimiste kaudu. Näiteks kui keegi varastab seadmeid või aku läheb tühjaks. Monitooringu süsteemi andmete terviklikkuse tagamiseks, lisati rakendusserveris toitepinge kontroll, seade saadab iga kolme päeva tagant aku pinget, seda võrreldakse pinget lävendiga ja vajadusel genereeritakse häire. Sarnane kontroll rakendatakse ka juhul, kui seade ei saada mitte mingeid andmeid 8 tunni jooksul viimasest saatmishetkest. See kõik kaitseb seire andmete terviklikkust. Seadme varastamisest tekkivat rahalist kahju siin ei vaadelda. Ühe või enama tugijaamade riknemise korral ei tekki katkestus monitooringu süsteemi töös, kuna seadmed saadavad andmeid erinevate tugijaamade kaudu seadme leviulatuses. Süsteemi kasutusele võtmise käigus on vaja veenduda, et antud piirkonnas on seadmetele kättesaadavad kaks või rohkem tugijaama.

Üks tulevastest arendustest, mis autor näeb selle töö juures, on GPS andmete edastamine seadmetest rakendusserverile. Praegu positsioneerimine maapinnal toimub käsitsi, aga kuna antud süsteem ei nõua väga tihti seadmete asukohtade muutmist maapinnal, siis see polnud antud töö skoobis.

8 Finantsosa

Iga loodetav lahendus peaks ennast õigustama ka rahaliselt. Antud peatükis, autor toob välja arendatud lahenduse finantsosa. Vastavalt kaevandamise ohutusnõude määrusele, peatükk 1 § 21⁸ punkt 3, turbatootjad on kohustatud läbi viima keskkonnaseireid turbaaladel. [26] See tähendab, et lisaks sellele, et vaja jälgida, et ei tekkiks põlengu oht, seadus nõuab regulaarselt kontrollida aunade ja turbaalade sisemist temperatuuri. Selleks peavad turbatootjad palkama inimesed, kes teevad käsitsi mõõtmised turbaaladel. Sellega kaasnevad tööjõukulud.

Selle lahenduse kasutuselevõtmisega kaasneb ühekordne investeering, mille käigus turbatootja peaks ostma seadmed. Edaspidi jääb ainult veebirakenduse teenuse igakuise rendi kulud, mis on Levikom Eesti OÜ hinnakirja alusel on 2,90 eurot iga seadme kohta kuus. Ühe ruutkilomeetri pindala katmiseks monitooringu süsteemiga, vastavalt seitsmendas peatükis toodud planeeritava seadme paigaldamise vahekaugusega, tuleb soetada 200 seadet. Ühe seadme hind on 128 eurot, mis antud pindala katmiseks vajab 25600 eurot. Seadme amortisatsioon on 10 aastat. Lihtne arvutus näitab, et igakuine investeering võrdub umbes 213 eurot, lisaks veebirakenduse teenustasu lisab 580 eurot. Kokku monitooringu süsteemi ühe ruutkilomeetri turbala kuu maksumus võrdub $213+580=793$ euro. Kui võtta arvestuseks keskmine tööjõukulu töötaja kohta kuus, siis Eesti Statistikaameti 2018. aasta andmete põhjal, tööandjale ühe töötaja tööjõukulu kuus on 1756 eurot. [27] Kui autori poolt loodud monitooringu süsteem asendab ühe või rohkem töötajaid, siis ettevõtte kasum suureneb vähemalt $1756-793=963$ eurot kuus ja $963*12=11556$ euro võrra aastas. Arvestamata seda, et monitooringu süsteem pakub turbatootjatele võimalus ööpäevaringselt jälgida turbaalad, kui ka võrreldes töötajate poolt tehtud pisteliste mõõtmistega, mõõdab samades kohtades. See kõik annab lisaväärtuse monitooringu süsteemile praegu kasutusel oleva lahenduse ees.

9 Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli luua lahendus turbaalade põlengute tuvastamiseks. Autori poolt kirjeldatud monitooringu süsteem asendab käsitsi tehtavad tööd, automaatse mõõtmisega ja genereerib häireid juhul, kui tekib põlengute oht.

Teoreetilises osas kirjeldati LPWAN sidevõrku ja selle tehnoloogia eelised. Edaspidi autor tõi välja LPWAN standardid ja nende lühikirjelduse. Kuna see töö tehti koostöös ettevõttega Levikom Eesti OÜ, kes on ainus avaliku LoRaWAN teenusepakkuja Eestis, siis tehnoloogia valimisel oli kindel otsus – LoRaWAN tehnoloogia kasuks.

Praktilises osas autor tegi võrdlustabeli turul pakutavatest monitooringu seadmetest. Peale võrdlemist sai valitud Polysense WxS8800 seade, mis vastas kõikidele nõutele. Järgnevas peatükis oli kirjeldatud monitooringu süsteemi seadistamiseks vajalikud parameetrid nii seadmes kui ka rakendusserveris. Rakendusserveris koostati reeglite ahelad, et oleks võimalik automaatselt genereerida häireid, kui mingis turbaalas tekkib põlengu oht. Kasutajaliidese loomiseks sai kirja pandud funktsionaalsed ja mittefunktsionaalsed nõuded, mille järgi turbaalade operaatorite jaoks autor seadistas rakenduse esipaneeli, mis kuvab andurite andmed graafikute peal ja häirete nimekirja.

Eelviimases peatükis on kirja pandud süsteemi integreerimisega seotud tegevused. Kuidas plaanitakse paigutada seadmed turbaaladel ja millised kinnitused selleks olid leitud. Lisaks sellele pakutakse välja ka projekti edasiarendamise võimalused. Viimases peatükis on toodud monitooringu süsteemi finantsosa.

Kasutatud kirjandus

- [1] M. W. Dhaval Patel, Experimental Study on Low Power Wide Area Networks (LPWAN) for Mobile Internet of Things, IEEE, 2017.
- [2] „Low Power Wide Area Networks (LPWAN),“ 12 06 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.techplayon.com/low-power-wide-area-networks-lpwan/>. [Kasutatud 19 11 2019].
- [3] „Noranet.ee,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://noranet.ee/#asjade-internet>.
- [4] L. Labs, A Comprehensive Look At Low Power, Wide Area Networks For Internet of Things Engineers and Decision Makers, 2016.
- [5] „Standardization of NB-IOT completed,“ 22 06 2016. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1785-nb_iot_complete. [Kasutatud 29 10 2019].
- [6] „What is Weightless?,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.weightless.org/about/what-is-weightless>. [Kasutatud 02 11 2019].
- [7] E. B. F. C. F. M. Kais Mekkia, „A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment,“ 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959517302953>.
- [8] „DASH7 Alliance,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://dash7-alliance.org/>. [Kasutatud 28 11 2019].
- [9] L. E. T. J. A. G. M. A. C. J. M. A. D. T. P. L. A. Q. A. H. L. E. G. Jesús Martín Talavera, Computers and Electronics in Agriculture, ScienceDirect, 2017.
- [10] „LoRa Network Protocol and Long Range Wireless IoT,“ Postscapes, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.postscapes.com/long-range-wireless-iot-protocol-lora/>. [Kasutatud 21 11 2019].
- [11] S. Corporation, AN1200.22 LoRa™ Modulation Basics, 2015.
- [12] „Long Range Wide Area Network (LoRaWAN) stack,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5876541/figure/sensors-18-00772-f001/>.
- [13] J. S.-G. J. B.-V. M.-D. C. a. A. F. S. Ramon Sanchez-Iborra, „Performance Evaluation of LoRa Considering Scenario Conditions,“ 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5876541>.
- [14] M. Leier, „TTÜ linnakus saab kasutada LoRa IoT raadioside võrku,“ 18 05 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://iot.ttu.ee/lora-wan-ttu-linnakus/>. [Kasutatud 23 11 2019].
- [15] „Wireless Sensor Network Based on LoRa Technology,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.netvox.com.tw/down/Netvox%20LoRa%20Catalog.pdf>. [Kasutatud 29 11 2019].

- [16] „Extend The Things Network by installing a Gateway.“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/gateways/>. [Kasutatud 30 11 2019].
- [17] „Network Architecture.“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/network/architecture.html>. [Kasutatud 30 11 2019].
- [18] „What is LoRa?“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>. [Kasutatud 23 11 2019].
- [19] „LoRaWANSecurity“, Actility, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.actility.com/wp-content/uploads/2019/01/lorawan-security-webinar-190116093900.pdf>. [Kasutatud 02 01 2020].
- [20] T. Lehtla, ANDURID, Tallinn: TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL, 1996.
- [21] Polysense WxS8800 User Guide, 2018.
- [22] „Polysense WxS8800 Factory Settings“, 11 2018. [Võrgumaterjal].
- [23] „LoRa- (Long Range) Network and Protocol Architecture with Its Frame Structure“, 10 10 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.techplayon.com/lora-long-range-network-architecture-protocol-architecture-and-frame-formats/>. [Kasutatud 10 12 2019].
- [24] Е. А. Заудалов, Исследования самовозгорания и экологическая ценность торфа, 2006.
- [25] „DRAMINSKI Agricultural Thermometer“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.draminski.com/agri/thermometers-and-ph-meters/draminski-agricultural-thermometer/>.
- [26] „Riigi Teataja“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/120062017022>.
- [27] „Statistikaamet“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.stat.ee/stat-keskminekkuutoojoukulu-tootaja-kohta>. [Kasutatud 7 1 2020].
- [28] L. S. Sterling, The Art of Agent-Oriented Modeling, London: The MIT Press, 2009.

Lisa 1 – Uplink sönnum

```
IN {
  "DevEUI_uplink": {
    "Time": "2019-12-17T19:31:24.857+01:00",
    "DevEUI": "201706122C00001A",
    "FPort": 2,
    "FCntUp": 785,
    "ADRbit": 1,
    "MType": 2,
    "FCntDn": 183,
    "payload_hex": "d77e0e00d2",
    "mic_hex": "527e6de3",
    "Lrcid": "00000201",
    "LrrRSSI": -120.0,
    "LrrSNR": -1.75,
    "SpFact": 11,
    "SubBand": "G1",
    "Channel": "LC2",
    "DevLrrCnt": 1,
    "Lrrid": "DA006161",
    "Late": 0,
    "LrrLAT": 59.312195,
    "LrrLON": 24.614344,
    "Lrrs": {
      "Lrr": [{
        "Lrrid": "DA006161",
        "Chain": 0,
        "LrrRSSI": -120.0,
        "LrrSNR": -1.75,
        "LrrESP": -123.972855
      }]
    },
    "CustomerID": "100032887",
    "CustomerData": {
      "alr": {
        "pro": "LORA/Generic",
        "ver": "1"
      }
    },
    "ModelCfg": "0",
    "DevAddr": "5DCAB13B",
    "TxPower": 14.0,
    "NbTrans": 1
  }
}
```

Lisa 2 – Dekooder

```
// Decode an uplink message from a buffer
// payload - array of bytes
// metadata - key/value object

/** Decoder */

// decode payload to string
//var payloadStr = decodeToString(payload);

// decode payload to JSON
var data = decodeToJson(payload);

var deviceName = data.DevEUI_uplink.DevEUI;
var deviceType = 'WxS8800_X';

var value = [];
value[44]= 0;
var tempval=[];
var pplval=[];
var gpsval=[];

//extract payload
var payloadhex = data.DevEUI_uplink.payload_hex;

var len = payloadhex.length;
msgtype = payloadhex.slice(2, 4);
if (msgtype != "7e") return result;

var i = 4;
while (i < len) {
    sen = payloadhex.slice(i, i + 2);
    nr = parseInt(sen,16);

    switch (sen) {
        case "02":
            value[nr]= (parseInt(payloadhex.slice(i + 2, i + 4), 16));
            i = i + 4;
            break;

        case "37":
            pplval.push(parseInt(payloadhex.slice(i + 2, i + 6), 16));
            pplval.push(parseInt(payloadhex.slice(i + 6, i + 10), 16));
```

```

        slice1= (parseInt(payloadhex.slice(i + 6, i + 10), 16));
        i = i + 10;
    break;

    case "09":
        gpsval.push(parseInt(payloadhex.slice(i + 2, i + 10), 16));
        gpsval.push(parseInt(payloadhex.slice(i + 10, i + 18), 16));

        i = i + 18;
    break;

    case "11":
        value[nr]= (parseInt(payloadhex.slice(i + 2, i + 4), 16));
        i = i + 4;
    break;

    case "0d":
        value[nr]= (parseInt(payloadhex.slice(i + 2, i + 10), 16));
        i = i + 10;
    break;

    case "2c":
        value[nr]= hex2bin(payloadhex.slice(i + 2, i + 4));
        i = i + 4;
    break;

    case "14":
        value[nr]= hex2bin(payloadhex.slice(i + 2, i + 4));
        i = i + 4;
    break;

    case "0e":
        tempval.push(hextoInt16(payloadhex.slice(i + 2, i + 6))/10);
        i = i + 6;
    break;

    default:
        value[nr] = hextoInt16(payloadhex.slice(i + 2, i + 6));
        i = i + 6;
    }
}

}

// Result object with device attributes/telemetry data
var result = {
    deviceName: deviceName,
    deviceType: deviceType,
    attributes: {
        model: 'WxS8800_field',

```

```

        softwareVersion: '1.0.0',
        integrationName: metadata['integrationName']
    },
    telemetry: {

    }

};

if (typeof value[1] !== 'undefined') result.telemetry.temperature = value[1]
/ 10;
if (typeof value[2] !== 'undefined') result.telemetry.humidity = value[2];
if (typeof value[10] !== 'undefined') result.telemetry.CO = value[10];
if (typeof value[14] !== 'undefined') result.telemetry.soil_temp =
value[14]/10;
if (typeof value[13] !== 'undefined') result.telemetry.pressure = value[13];
if (typeof value[7] !== 'undefined') result.telemetry.battery = value[7] /
1000;
if (typeof value[6] !== 'undefined') result.telemetry.light = value[6];
if (typeof value[17] !== 'undefined') result.telemetry.soil_moist =
value[17];
if (typeof value[20] !== 'undefined') result.telemetry.button = value[20][0];
if (typeof value[49] !== 'undefined') result.telemetry.wind = value[49]/1000;
if (typeof value[50] !== 'undefined') result.telemetry.rain = value[50]/10;
if (typeof value[40] !== 'undefined') result.telemetry.CO2 = value[40];

if (value[44][0]==1) result.telemetry.extemp8 = tempval.pop();
if (value[44][1]==1) result.telemetry.extemp7= tempval.pop();
if (value[44][2]==1) result.telemetry.extemp6 = tempval.pop();
if (value[44][3]==1) result.telemetry.extemp5 = tempval.pop();
if (value[44][4]==1) result.telemetry.extemp4 = tempval.pop();
if (value[44][5]==1) result.telemetry.extemp3 = tempval.pop();
if (value[44][6]==1) result.telemetry.extemp2 = tempval.pop();
if (value[44][7]==1) result.telemetry.extemp1 = tempval.pop();
if (!result.telemetry.extemp1) result.telemetry.extemp1 = tempval.pop();
if (pplval) { result.telemetry.pplin = pplval[0];
result.telemetry.pplout = pplval[1];
}

if (gpsval[0]) { result.telemetry.lat = gpsval[0]/3600/1000;
result.telemetry.long = gpsval[1]/3600/1000;
}

/** Helper functions */

function decodeToString(payload) {
    return String.fromCharCode.apply(String, payload);
}

function decodeToJson(payload) {
    // covert payload to string.

```

```
    var str = decodeToString(payload);

    // parse string to JSON
    var data = JSON.parse(str);
    return data;
}

function hex2bin(hex){
    return ("00000000" + (parseInt(hex, 16)).toString(2)).substr(-8);
}

return result;

function hextoInt16(hexs){
    var i32= parseInt(hexs,16);
    var buffer = new ArrayBuffer(16);
    var dv = new DataView(buffer, 0);
    dv.setInt16(0, i32);
    return dv.getInt16();
}
```

Lisa 3 – CID koodid

CID	Command	Format#	Comment
0x02	PlssReboot	1	Reboot WxS8800 immediately
0x8	PlssGetInfo	1	Get WxS8800 management information, WxS8800 should respond this with Mote information report message in next uplink transmission window
0x12	PlssVideoDataCtrl	2	LoRa server to control the video data transmission on WxS8800, including to report the location/offset of the missed video data or request WxS8800 to stop the transmission, etc.
0x13	PlssSetPPB	3	Set specific attribute in WxS8800 PPB (Polysense Proprietary Base)
0x14	PlssSetPRB	3	Set specific attribute in WxS8800 PRB (Polysense Runtime Base)
0x15	PlssSetClk	2	Set WxS8800 local date-time to align with the server
0x19	PlssSetExtCntr	2	Set the counter of the external counter sensor to the value specified in Value field
0x1A	PlssGetPPB	3	Get specific attribute in WxS8800 PPB, and there is NO Value parameter in format#3 above

Joonis 19. CID koodid