



Norwegian University of  
Science and Technology

# Fjernavlesning av vannmålere med LoRa-teknologi

Forfattere

Daniel B. Kristensen  
Kevin A. Barhaugen  
Kristian A. Skaue  
Hans Kristian T. Solstad

Bachelor i IT-drift og informasjonssikkerhet  
20 ECTS

Institutt for informasjonssikkerhet og kommunikasjonsteknologi  
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet,

20.05.2019

Veileder

Slobodan Petrovic

## Sammendrag av Bacheloroppgaven

Tittel:	<b>Fjernavlesning av vannmålere med LoRa-teknologi</b>
Dato:	20.05.2019
Deltakere:	Daniel B. Kristensen Kevin A. Barhaugen Kristian A. Skaue Hans Kristian T. Solstad
Veiledere:	Slobodan Petrovic
Oppdragsgiver:	Ringsaker Kommune
Kontaktperson:	Andreas Walle
Nøkkelord:	LoRa, LoRaWAN
Antall sider:	76
Antall vedlegg:	5
Tilgjengelighet:	Åpen

---

Sammendrag:	I dag blir all vannavlesning i Ringsaker kommune gjort manuelt av huseierene. Teknisk drift i Ringsaker kommune er interessert i å automatisere denne prosessen, og LoRaWAN er en teknologi som kan bli brukt for å muliggjøre dette. Siden Ringsaker kommune har en ujevn topografi og mange vanskelige områder, blir det utfordrende å sette opp en optimal arkitektur for å dekke hele kommunen. Pris, sikkerhet, rekkevidde og energiforbruk er blant de avgjørende faktorene som må vurderes om dette skal være en løsning som skal bli implementert. Etter å ha utført flere tester og vurdert resultatene av disse, blir det presentert en mulig arkitektur som kan tilfredstille Ringsaker kommune sine krav.
-------------	---

## Summary of Graduate Project

Title:	<b>Remote Reading of Water Meters with LoRa Technology</b>
Date:	20.05.2019
Authors:	Daniel B. Kristensen Kevin A. Barhaugen Kristian A. Skaue Hans Kristian T. Solstad
Supervisor:	Slobodan Petrovic
Employer:	Ringsaker Kommune
Contact Person:	Andreas Walle
Keywords:	LoRa, LoRaWAN
Pages:	<a href="#">76</a>
Attachments:	5
Availability:	Open

---

**Abstract:** Today, all water readings in Ringsaker municipality are done manually by the homeowners. Teknisk drift in Ringsaker municipality are interested in automating this process, and LoRaWAN is a technology that can be used to make this possible. Because Ringsaker municipality has an uneven topography with many difficult areas, it becomes challenging to set up an optimal architecture to cover the entire municipality. Price, security, range and energy consumption are among the crucial factors that must be considered if this is to be a solution that is to be implemented. After performing several tests and evaluating the results of these, a possible architecture is presented that can satisfy Ringsaker municipality's requirements.

## Forord

Vi har i denne bacheloroppgaven jobbet med LoRaWAN for å vurdere om dette er en teknologi som kan brukes til fjernavlesning av vannmålere i Ringsaker kommune. Denne oppgaven ble mulig på grunn av kommunen sin villighet til å gi oss gode arbeidsvilkår. Det har vært en interessant og spennende oppgave hvor vi har lært mye.

Dermed ønsker vi å si takk til Ringsaker kommune for god hjelp og problemløsning. Vi ønsker også å utgi en takk til Andreas Walle og Svein Ekre for god oppfølging underveis og hjelp til problemløsning. Til slutt vil vi takke Slobodan Petrovic for god veiledning under bachelorperioden.

# Innhold

<b>Forord</b> .....	<b>iii</b>
<b>Innhold</b> .....	<b>iv</b>
<b>Figurer</b> .....	<b>vi</b>
<b>Tabeller</b> .....	<b>viii</b>
<b>Ordliste</b> .....	<b>ix</b>
<b>1 Innledning</b> .....	<b>1</b>
1.1 Oppgavedefinisjon .....	1
1.2 Problemområde .....	1
1.3 Avgrensning .....	2
1.4 Formål .....	2
1.5 Målgruppe .....	2
1.6 Egen bakgrunn og kompetanse .....	3
1.7 Øvrige roller .....	3
<b>2 Teori</b> .....	<b>4</b>
2.1 LoRaWAN .....	4
2.2 Antenneteori .....	5
2.3 Data Rate .....	8
2.4 Adaptive Data Rate .....	9
2.5 LoRa Duty Cycles .....	9
2.6 Teoretisk betegnelser og informasjon .....	10
2.7 LoRaWAN arkitektur .....	14
2.8 Sikkerhet .....	18
2.9 Interferens .....	19
2.10 Radiobølger gjennom materialer .....	20
2.11 Temperatur og vær .....	21
<b>3 Arbeidsmetode</b> .....	<b>23</b>
3.1 Utstyr .....	23
3.2 Valg av potensielle baser .....	30
3.3 Testfasen .....	31
<b>4 Resultater</b> .....	<b>34</b>
4.1 Sjusjøen .....	34
4.2 Lismarka, Brøttum, Åsen og Næroset .....	35
4.3 Moelv .....	36
4.4 Rudshøgda, Brumund, Veldre og Nybygda .....	38
4.5 Kylstad, Kval og Furuberget .....	39

---

4.6 Gaupen, Jølstad, Torsberget, og Sund . . . . .	40
<b>5 Diskusjon . . . . .</b>	<b>41</b>
5.1 Plassering av basestasjoner . . . . .	41
5.2 Problemområder . . . . .	42
5.3 Usikkerhet . . . . .	46
5.4 Påvirkning av vær og temperatur . . . . .	46
5.5 Andre aktører . . . . .	46
5.6 Fysisk sikkerhet . . . . .	47
5.7 Potensielle angrep . . . . .	47
5.8 Risikovurdering . . . . .	48
5.9 Driftsmuligheter . . . . .	55
5.10 Applikasjoner . . . . .	58
5.11 Low Power Wide Area Network alternativer . . . . .	59
<b>6 Konklusjon . . . . .</b>	<b>68</b>
6.1 Konklusjon . . . . .	68
6.2 Videre arbeid . . . . .	69
<b>Bibliografi . . . . .</b>	<b>70</b>
<b>A Kart . . . . .</b>	<b>77</b>
<b>B Resultatlogg . . . . .</b>	<b>102</b>
<b>C Dagslogg . . . . .</b>	<b>107</b>
<b>D Møtereferater . . . . .</b>	<b>113</b>
<b>E Prosjektplan . . . . .</b>	<b>116</b>

## Figurer

1	Illustrasjon av signalflyt [1]. . . . .	6
2	Illustrasjon av signal over og under støygulvet [1]. . . . .	7
3	Effective Radiated Power [2]. . . . .	7
4	Duty Cycles [3]. . . . .	10
5	Spread spectrum og Narrowband signaler [4]. . . . .	11
6	Eksempel på upchirp og downchirp med endring i frekvens over tid. En ”pulse” tilsvarende en chirp, Venstre: Puls [5] Høyre: Chirp [6]. . . . .	12
7	Eksempel på LoRaWAN topologi [7]. . . . .	14
8	Oppbygging av LoRaWAN pakke [8]. . . . .	15
9	Oppbygging av LoRaWAN pakke med størrelser i bits [9]. . . . .	17
10	Oppbygging av LoRaWAN pakke med størrelser i bits [10]. . . . .	19
11	Radiobølger gjennom ulike materialer [11]. . . . .	20
12	Temperaturpåvirkning med spreading factor 7. . . . .	21
13	Temperaturpåvirkning med spreading factor 12 [12]. . . . .	22
14	LoRa Base [13]. . . . .	24
15	LoRa antenne. . . . .	24
16	Nasys LoRaWAN™ IP68 Pulse Reader [14]. . . . .	26
17	Digital pulsleser av typen FTD. . . . .	27
18	Informasjon om en puls vist i IoT Hub. . . . .	28
19	Oversikt over basestasjoner. . . . .	28
20	Oversikt over LoRa senderne m/QoS. . . . .	28
21	Notasjon i kommunekart. . . . .	29
22	Kart over Jølstad med vann-nett. . . . .	29
23	Oversikt over valgte lokasjoner. . . . .	31
24	Basestasjonen og antennen satt opp for testing. . . . .	32
25	Sjusjøens testresultater. . . . .	35
26	Testresultater for Lismarka, Brøttum, Åsen og Næroset. . . . .	36
27	Moelv testresultater. . . . .	37
28	Testresultater for Rudshøgda, Veldre 1, Brumund og Nybygda. . . . .	38
29	Testresultater for Kylstad, Kval og Furuberget. . . . .	39
30	Testresultater for Gaupen, Jølstad, Torsberget og Sund. . . . .	40
31	Problemområdene i Sjusjøen. . . . .	42
32	Problemområdene rundt Moelv. . . . .	43
33	Problemområdet i Nybygda. . . . .	44

34	Problemområdet i Nydal. . . . .	45
35	LPWAN teknologier [15]. . . . .	59
36	Bit Error Rate for LoRaWAN og Sigfox [16]. . . . .	65



## Tabeller

1	SNR følsomhet [1]. . . . .	8
2	Datarate og konfigurasjon [17]. . . . .	9
7	Sammenligning av Low Power WAN alternativer [18]. . . . .	62
8	Forskjeller mellom LoRa og NB-IoT [19]. . . . .	66

## Ordliste

- Aksesspunkt:** Enhet som sender ut et radiosignal som endeenheter kan bruke til å kommunisere med.
- Basestasjon:** Radiosender som kommuniserer med endeenheter.
- Chiffertekst:** Den uleslige teksten man får av å bruke en krypteringalgoritme på klartekst [20].
- Demodulere:** Hente ut igjen informasjonen som ble modulert inn i en bærebølge.
- EUI:** (Extended Unique Identifiers) er en 48 eller 64-bit unik adresse. Ofte brukt som MAC-adresse [21].
- Handshaking:** I kommunikasjon er handshaking den automatiserte prosessen for å sette opp en kommunikasjonskanal mellom enheter [22].
- Interoperabilitet:** Å kunne fungere med andre produkter eller systemer.
- klartekst:** Enhver tekst, tekstfil eller dokument som bare inneholder ren leselig tekst [23].
- Line-of-sight:** En observatør kan se et område eller objekt direkte.
- Linkbudsjett:** Alle gevinster og tap fra en sender til en mottaker.
- Mesh nettverk:** Et nettverk der enhetene er koblet sammen, sånn at noen, eller alle, har flere veier til andre enheter [24].
- Narrowband:** Teknologi som bruker liten frekvens båndbredde.
- Ortogonale spredningsformer:** Signaler som er totalt uavhengige av hverandre [25].
- OSI-modellen:** Et konseptuelt rammeverk som beskriver funksjonene til et nettverk eller telekommunikasjonssystem [26].
- Phishing:** Betegnelse på digital snoking eller «fisking» etter sensitiv informasjon.
- Proprietær:** Noe som er brukt, produsert eller markedsført under eksklusiv juridisk rett til oppfinner eller produsent.
- Social engineering:** På norsk sosial manipulasjon er kunsten å manipulere folk, sånn at de gir opp fortrolig informasjon [27].
- Toveiskommunikasjon:** En enhet kan både sende og motta signaler.
- Transponering:** I matrise sammenheng er det operasjonen å flippe matrisen rundt diagonalen [28].
- Ulisensierte frekvensbåndbånd:** Ulisensiert betyr at operatøren på radiofrekvensen ikke trenger å søke for å bruke frekvensen, så lenge personen følger reglene for fritt bruk [29].

# 1 Innledning

## 1.1 Oppgavedefinisjon

Inntil nå har all vannmåling for husstander i kommunen blitt gjort manuelt av forbrukerne, for så at forbruker sender inn informasjonen til kommunen. Dette kan i noen tilfeller føre til problemer, som unøyaktighet, usikkerhet rundt integriteten til dataene og andre brukerfeil som kan være kostbare for kommune og/eller forbruker.

For å løse disse problemene ønsker Ringsaker kommune selv å ta seg av lesing av vannmålere. Derfor har de begynt med testing av en nyere teknologi for fjernavlesning av dem. Denne teknologien er kalt Long Range Wide Area Network (LoRaWAN). LoRaWAN sine styrker innebærer lang rekkevidde og lavt batteriforbruk. Dette er optimalt i en stor kommune der det ofte er lange avstander mellom husstander.

Med denne teknologien vil dataene bli samlet inn automatisk, noe som reduserer brukerfeil, og hindrer brukere fra å sende inn falske data. Dette vil også effektivisere fakturering og funksjonaliteten kan utvides slik at det blir mulig å oppdage lekkasjer i vann-nettet. I tillegg så kan LoRaWAN gi mulighet for innsamling av data fra andre typer målere, så det er muligheter for å utvide i fremtiden.

Til slutt vil vi komme med en vurdering om dette er en teknologi det er verdt å satse på for Ringsaker kommune, med en anbefaling av plasseringer av basestasjoner for optimal dekning. Denne vurderingen blir tatt etter å ha analysert selve LoRaWAN-teknologien, hvilke utfordringer som implementeringen fører med seg, og våre egne testresultater.

## 1.2 Problemområde

Et av de største problemområdene blir topografien til Ringsaker kommune, da kommunen er veldig kupert og har varierende terreng som kan skape ulike problemer for LoRaWAN enheter. Terrenget blir det problemet vi må ta mest hensyn til da radiosignaler kan reduseres eller blokkeres av ulike hindringer [30].

De store tettstedene i Ringsaker kommune er det ekstra viktig å få dekket, henholdsvis Sjusjøen, Moelv og Brummundal. Dette er store områder med mange husstander og utfordrende topologi. Det er derfor viktig med en god vurdering av plassering for potensielle basestasjoner i disse områdene.

Det må bli tatt hensyn til plassering av basestasjoner, batterilevetid på vannmålere, spredning av husstander og rekkevidde på signalet. Hvor i verden en server for mottak av informasjonen skal plasseres med tanke på sikkerhetsaspekter, i tillegg til kostnader, må også bli sett på. Samtidig blir eierskap av dataene også et viktig grunnlag for hvilke valg som må tas.

### 1.3 Avgrensning

Vannmålerene skal plasseres i husstandene til innbyggerne i Ringsaker, men vi har ikke mulighet til å gjøre tester inne i husstandene. Testene våre blir gjort i en bil, og da blir ikke signalene påvirket i samme grad da de signalene som blir sendt fra husstandene ofte må gå gjennom én eller flere typer materialer.

Vi kommer ikke til å involvere oss i programvareoppdateringer for LoRaWAN og eventuelle problemer disse oppdateringene kan medføre. Men eventuelle feil i programvare kan påvirke oss og testene vi ønsker å utføre.

Vi kommer ikke til å komme med anbefalinger til valg av potensielle LoRaWAN endeenheter eller LoRaWAN basestasjoner.

### 1.4 Formål

Ringsaker vil ha mer informasjon om dette emnet siden de ønsker å kunne lese av vannmålerne sine på en smart måte som ikke krever manuell avlesning. De trenger å vite om dette lar seg gjøre i den kupperte kommunen de bor i og om det faktisk er en teknologi som fungerer.

Vi valgte denne oppgaven fordi vi ønsket en praktisk oppgave med krevende teori og denne passet oss derfor bra. Oppgaven gir oss muligheten til å teste en relativt ny teknologi og er derfor en unik oppgave.

### 1.5 Målgruppe

Målgruppen er først og fremst teknisk drift i Ringsaker kommune, men det vil også være interessant for teknisk drift i de andre kommunene i Norge dersom prosjektet er en suksess. Det vil altså være mulig å videreutvikle nettverket slik at flere kommuner inkluderes. Et samarbeid mellom kommunene kan også være positivt for drift, vedlikehold og for dekning i områder kommunen selv ikke klarer å dekke.

Videre kan nettverket utvides til å inkludere mer enn bare innsamling av vanndata, som gjør at flere avdelinger i de forskjellige kommunene kan ta nytte av oppgaven.

Eventuelle bedrifter som blant annet Øvre-Johnsen og Last Mile Communication kan også være interessert i oppgaven, da de jobber med salg og drifting av LoRa utstyr.

## 1.6 Egen bakgrunn og kompetanse

Kristian har bakgrunn og kompetanse fra IT-drift og informasjonssikkerhet. Daniel har bakgrunn og kompetanse fra dataingeniør studiet og fagskoleutdanning innen IT-drift og sikkerhet. Kevin har bakgrunn og kompetanse fra dataingeniør og IT-drift. Hans Kristian har bakgrunn og kompetanse fra Forsvarets Ingeniør Høgskole og IT-drift og informasjonssikkerhet, i tillegg til grunnleggende kunnskaper innenfor radio.

Gruppen må undersøke teori om LoRaWAN og hvordan radiosignaler fungerer. I tillegg må gruppen bli kjent med LoRa utstyr som skal brukes for testing av rekkevidde.

## 1.7 Øvrige roller

**Leder:** Daniel B. Kristensen

**Loggfører:** Kevin A. Barhaugen

**Medlem:** Kristian A. Skaue

**Medlem:** Hans Kristian Solstad

**Veileder:** Slobodan Petrovic, IIK

**Oppdragsgiver:** Ringsaker kommune

**Kontaktperson:** Andreas Walle

## 2 Teori

### 2.1 LoRaWAN

LoRaWAN er en Low Power Wide Area Network(LPWAN) teknologi som er optimalisert for batteridrevne endeenheter. Dette gjelder både mobile og monterte enheter [31]. Det er de monterte enhetene det er aktuelt at kommunen benytter seg av, da disse skal monteres der vanndataen skal innhentes.

LoRaWAN er en teknologi som er veldig skalerbar. Det er enkelt å koble seg på en infrastruktur som allerede eksisterer. For å skalere opp infrastrukturen trenger man kun å sette opp flere basestasjoner eller endeenheter i det ønskede området. Når LoRaWAN skal skaleres opp har teknologien fordelen av at den ikke er proprietær. Det vil si at man er ikke låst til en LoRa leverandør, og kan derfor velge de beste produktene fra forskjellige leverandører, og man vil kunne bruke de nye produktene med sine eksisterende LoRa produkter.

Videre har LoRaWAN styrker som lang rekkevidde, lavt batteriforbruk, sikkerhet og mobilitet. Det er også høy kapasitet per basestasjon til endeenheter. I forhold til konkurrerende teknologier, vil infrastrukturen som kreves for å ta i bruk et LoRa nettverk gi reduserte kostnader i forhold til implementasjon, men også med tanke på batteri- og driftskostnader [32].

En LoRaWAN endeenhet konfigureres til hvor ofte den skal sende informasjon, dette er et valgfritt intervall innenfor visse grenser bestemt av duty cycles (forklart i seksjon. 2.5). Endeenhetene kan for eksempel settes til å sende hver 24. time. Utenfor den satte sendetiden vil endeenheten ligge i en form for dvalemodus, dette er for å spare på batteriet [2]. Sendeintervallet kan endres men endringen vil først ta effekt neste gang endeenheten er aktiv, da vil den også åpne for innkommende kommunikasjon fra basestasjon som vi kaller nedlastingsvinduer. Det er mulig å sette egne tider der endeenheten tillater for nedlastingsvinduer, utenom standard tidene [2]. Det er her LoRaWAN klassene kommer inn.

LoRaWAN er oppdelt i tre klasser: A, B og C [2]. A klassen er obligatorisk mens B og C er valgfrie og gir noen ekstra funksjoner. Sendere av klasse A tillater toveiskommunikasjon hvor hver endeenhet har to korte mottaksvinduer etter sending av data [2]. Denne klassen har også lengst batterilevetid. Sendere med klasse B tillater ekstra tidsrom for mottak av data, der man kan konfigurere når endeenhetene skal kunne motta signal. Klasse C er bare en utvidelse av klasse B og tillater for et maksimalt antall tidsrom endeenhetene kan motta data [2]. Disse tidsrommene endeenhetene kan motta data vil redusere batteritiden betraktelig.

LoRaWAN endeenheter har ikke mulighet til å kommunisere med hverandre direkte. Dataene kan kun bli sendt fra en endeenhet til basestasjonen, eller omvendt [9].

## 2.2 Antenneteori

### Frekvenser

Antenner fungerer ved å sende/motta elektromagnetiske bølger. En antenne kan plukke opp elektromagnetiske bølger fra mange forskjellige frekvenser og disse bølgene beveger seg i lysets hastighet. Bølgen er periodisk og gjentar seg selv. Frekvens er dermed definert som  $f = \frac{1}{T}$ , der  $f$  er frekvensen og  $T$  er perioden i sekunder. Bølgelengde regnes ut med formelen  $\lambda = \frac{c}{f}$ , der  $\lambda$  er bølgelengden,  $c$  er lysets hastighet ( $3 \times 10^8 m/s$ ) og  $f$  er frekvensen [33]. LoRa bølger er radiobølger som gjentar seg for hvert 1.15 nanosekund ( $\frac{1}{868MHz}$ ) med en bølgelengde på 0.345 meter ( $\frac{3 \times 10^8 m/s}{868MHz}$ ). Det er viktig at antenne er kompatibel med bølgelengden til signalet den skal motta, for at antenne skal kunne øke styrken på signalet ved mottak (se ANT i figur 1). LoRa benytter seg av UHF (Ultra High Frequency) båndet som har frekvenser mellom 300MHz og 3000 MHz, og en bølgelengde på mellom 0.1 meter og 1 meter [33].

### Antenne

#### Antenneeffektivitet

Antenneeffektivitet er et forhold mellom strømmen som blir tilført antennen og strømmen som blir brukt til utstråling fra antennen. En antenne med høy effektivitet utstråler mesteparten av strømmen den får tilført. Formelen for antenne effektivitet er  $\epsilon = \frac{P_{utstrålt}}{P_{input}}$ . Det anbefales å bruke en så effektiv antenne som mulig [33].

#### Antennegevinst

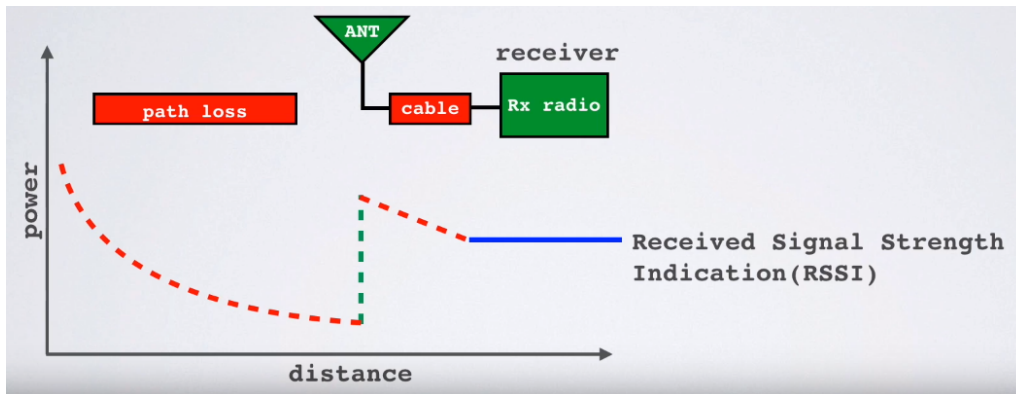
Antennegevinst sier hvor mye bedre antennen kan sende/motta i en spesiell retning. Så i en mottaker antenne beskriver gevinsten hvor godt antennen konverterer radiobølger som kommer fra en bestemt retning. Det er ikke alltid ønskelig å ha en antenne med høy antennegevinst. Hvis man ikke vet hvor signalet kommer fra er det bedre med en antenne med lav gevinst, dvs. stang antenne [33]. Dette er tilfelle for LoRa siden signalene kommer fra alle mulige retninger.

### Båndbredde

Båndbredde er differansen mellom den høyeste og laveste frekvensen et signal består av, eller som en overføringskanal kan bestå av [34]. LoRa endeenhetene sender signaler på kanaler med en båndbredde på 125 KHz [35].

## Received Signal Strength Indication

Received Signal Strength Indication (RSSI) er styrken på det mottatte signalet og er målt i dBm (decibels at 1 miliwatt). Verdien indikerer styrken på signalet over 1 miliWatt. dBm regnes ut ved  $10 \log_{10} \frac{P}{1mW}$  hvor P er styrken på det mottatte signalet [36]. Denne verdien indikerer hvor sterkt signalet blir mottatt. Vi ser i figur 1 at signalet taper styrke på veien fra sender, øker i styrke på mottakers antenne og taper styrke i kabelen. Tapet i kabelen vil bli større avhengig av lengden på kabelen. RSSI er alltid negativt for selve radiomottakeren, og signalet som blir mottatt er bedre når det nærmer seg 0 dBm. [1]



Figur 1: Illustrasjon av signalflyt [1].

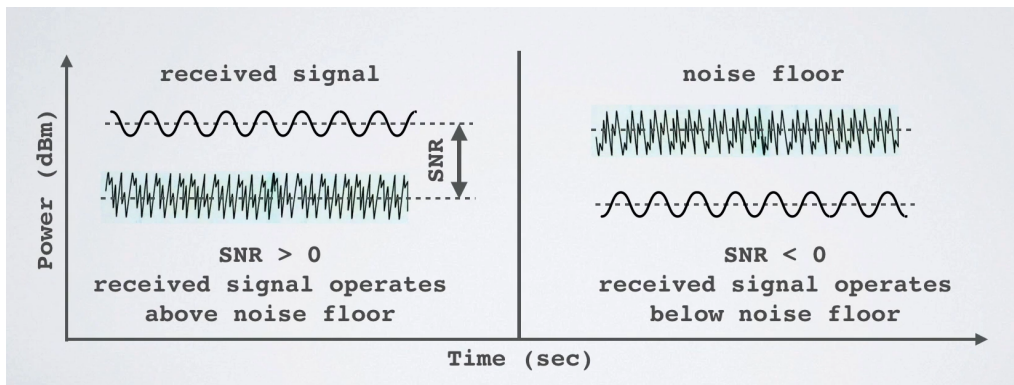
## Signal-to-Noise Ratio

Signal-to-Noise Ratio (SNR) er kvaliteten på det mottatte signalet og er målt i dB. dB uttrykker forholdet mellom en verdi av en kraft- eller feltmengde til en annen verdi i en logaritmisk skala[37]. For å finne kvaliteten på signalet brukes følgende formel:

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{signal}}{P_{noise}} \right)$$

SNR er en måling av signalstyrken relativt til støygulvet. Støygulvet er et område med uønskede interfererende signalkilder som kan forstyrre det overførte signalet. Ved en SNR på mer enn 0 er det mottatte signalet over støygulvet. Tilsvarende vil det mottatte signalet være under støygulvet hvis det er en SNR på mindre enn 0. Dette er illustrert i figur 2 [1].

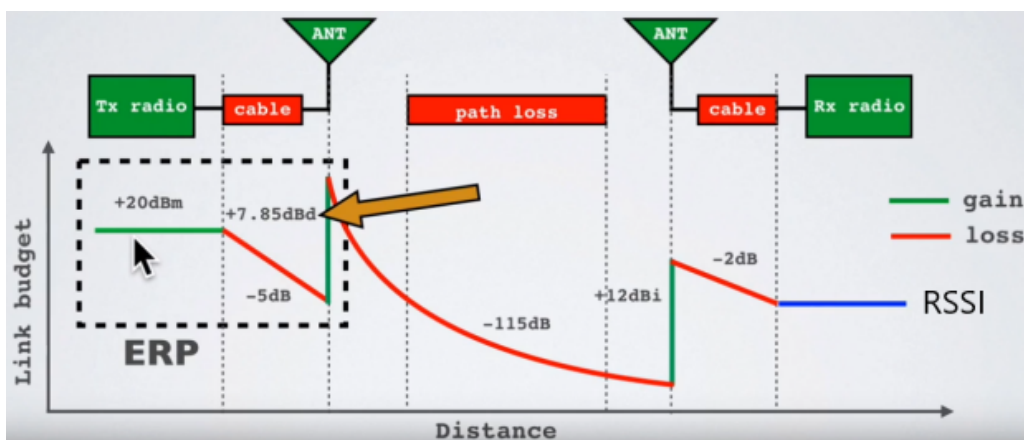




Figur 2: Illustrasjon av signal over og under støygulvet [1].

### LoRa begrensninger

Kapittel 4.3.2.2 i *ETSI EN 300 220-2 V3.2.1* sier at Effective Radiated Power (ERP) ikke kan være høyere enn det som blir beskrevet i Annex B i samme dokument. For LoRa som opererer på 867.1 MHz – 868.5 MHz er maksimum ERP på 25mW som vil si en sendestyrke på +14dBm[38]. Den effekten som utstråles fra senderen kan altså ikke overskrive +14dBm. ERP regnes ut ved å ta sendestyrken til senderen - kabeltapet + antennegevinsten. ERP blir illustrert i figur 3.



Figur 3: Effective Radiated Power [2].

Det er også klare avgrensninger på hvor sterkt et signal må være for å bli plukket opp av basestasjonen. Signaler som er svakere enn -120 dBm med dårligere SNR enn -20dB forventes ikke å bli detektert. Det som er spesielt for LoRa er at den kan detektere signaler med en SNR mellom -7.5dB og -20dB avhengig av hvilken Data Rate (seksjon 2.3) det blir sendt med. Tabell 1 gir en oversikt over hvilken SNR grense hver sendestyrke har [1].

Tabell 1: SNR følsomhet [1].

Spreading Factor	chips/symbol	SNR limit (dB) [2]
7	128	-7.5
8	256	-10
9	512	-12.5
10	1024	-15
11	2048	-17.5
12	4096	-20

### 2.3 Data Rate

En LoRa endeenhet har ulike valg når det gjelder sendestyrke og enhver sendestyrke har sine fordeler og ulemper. LoRa endeenheter kan variere fra DR0-DR5 avhengig av Adaptive Data Rate innstillinger (seksjon 2.4). Sendestyrken og batteribruken er størst ved bruk av DR0 og signalet vil da ha lengre rekkevidde, men da vil det også ta lenger tid å sende signalet på grunn av lav bit rate. Ved bruk av DR5 vil sendestyrken være lavere, men senderen vil også bruke mindre batteri per sending. Den garanterte rekkevidden til signalet vil være kortere, men bitraten vil være mye høyere. Alle Data Ratene kommunen benytter seg av bruker frekvenser med en båndbredde på 125 kHz. Det er verdt å merke seg at DR0 tilsvarer en Spreading Factor på 12 og at DR5 tilsvarer en Spreading Factor på 7.

Spreading Factor (SF) bestemmer antall bits som kan kodes av et symbol (chirp, seksjon 2.6). Ved bruk av ulik Spreading Factor vil det være  $2^{SF}$  antall chips for å kode et symbol. Antallet chips sier hvordan et signal blir spredt utover båndbredden. Ved et høyere antall chips per symbol (høyere SF) vil det ta lenger tid for signalet å bli fordelt utover båndbredden. Derfor har SF12 en mindre bitrate enn SF7 [39].

Tabell 2 viser en oversikt over Data Rate, Spreading Factor, Båndbredde, bit rate (presentert i Bytes/sec) og rekkevidde.

Tabell 2: Datarate og konfigurasjon [17].

Data rate	Spreading Factor	Bandwidth(In kHz)	Radio bit rate(Bytes/sec)	Range/Energy Consumption
0	SF12	125	31	Longest / Highest
1	SF11	125	55	Longer / Higher
2	SF10	125	122	Long / High
3	SF9	125	220	Short / Small
4	SF8	125	390	Shorter / Smaller
5	SF7	125	683	Shortest / Smallest

## 2.4 Adaptive Data Rate

Adaptive Data Rate (ADR) er en mekanisme som sørger for optimalisering av data rate, sendetid og energibruk i nettet. ADR bruker de 20 siste uplink meldingene til å analysere hvilken datarate LoRa endeenheten skal sende med. Altså hvis signalet blir mottatt med en god RSSI og SNR vil basestasjonen gi endeenheten beskjed om at den kan forsøke å senke sendestyrken og i motsatt tilfelle vil den øke sendestyrken. De tre tingene som blir analysert er om signalet har kommet frem ved hjelp av en teller, Signal-to-Noise Ratio og antallet basestasjoner som mottar signalet [40].

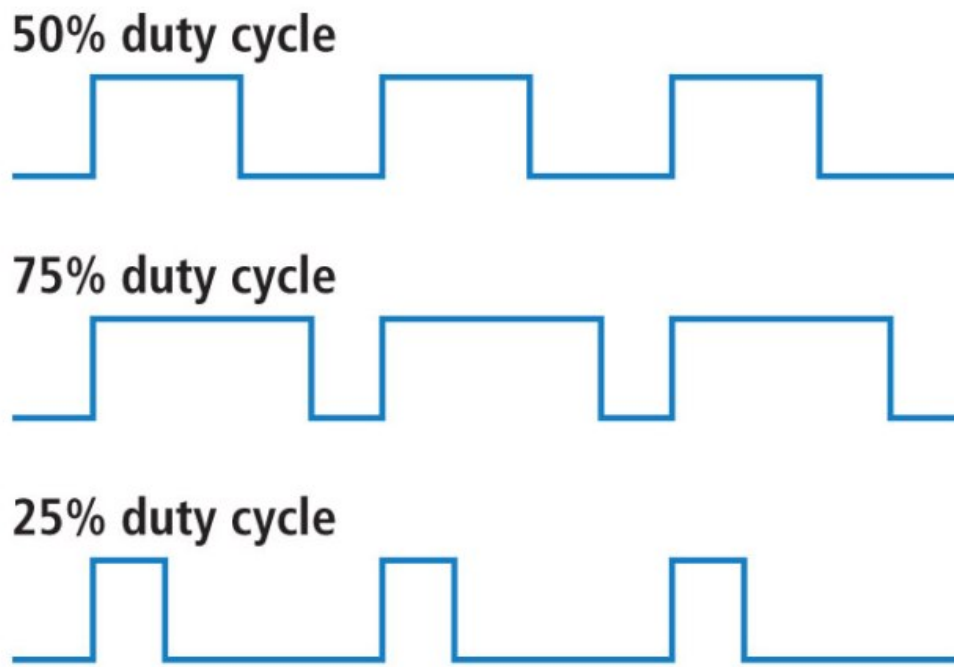
Siden sendetiden blir kortere ved lavere sendestyrke er ADR nødvendig når nettet skal inneholde flere enheter. ADR vil være viktig for å minimalisere kollisjoner for signaler med samme frekvens som blir sendt til samme tid, og for å redusere antallet enheter som må byttes på grunn av tomt batteri. Det er viktig at ADR kun er aktiv på statiske enheter som ikke beveger på seg da ADR analysen antar at signalet er sendt fra samme posisjon hver gang. Senderen vi bruker til vår testing har ADR skrudd av for at testene skal bli mest mulig like.

## 2.5 LoRa Duty Cycles

Duty Cycle definerer hvor ofte en enhet har lov til å være aktiv i et frekvensbånd og er ofte representert som en prosentverdi. Ved en Duty Cycle på 75% kan en endeenhet sende 75% av tiden, for så å ligge i dvale 25% av tiden. Figur 4 illustrerer en Duty Cycle på 50%, 75% og 25%.

I kommunen brukes LoRa med en duty cycle på 1%. Det vil si at en enhet har lov til å være aktiv på en frekvens 1% av tiden. For LoRa er dette spesifisert i Annex B i *ETSI EN 300 220-2 V3.2.1* [38]. Det vil si at hver enhet i nettverket har 864 sekunders sendetid per dag. Dette regnes ut ved å gange antallet sekunder i en dag med 1%, altså  $86400s \times 0.01 = 864s$ . For kommunen vil dette si at hvis en enhet sender i 0.5 sekunder (1%) må senderen vente i 49.5 sekunder (99%) før den kan sende igjen.

Det finnes også en fair access policy som begrenser sendetid mye mer enn en duty cycle på 1% ville gjort. I fair access policyen begrenses sendetiden til 30 sekunder per enhet, noe som vil si en duty cycle på 0.0347%. Men kommunen trenger ikke å ta hensyn til denne policyen da de planlegger å benytte seg av et privat LoRa nettverk [41].



Figur 4: Duty Cycles [3].

## 2.6 Teoretisk betegnelser og informasjon

### Bit Error Rate

Bit Error Rate (BER) er en måling av antall bitfeil som oppstår i et gitt antall overførte bits. Det er vanligvis uttrykt som et forhold. For eksempel, hvis 5 bitfeil oppstår i en million bits overført, er BER:  $\frac{\text{Bitmedfeil}}{\text{Antallbitsendt}} = \frac{5}{1000000}$  eller  $5 \times 10^{-6}$  [42].

For eksempel om denne sekvensen skal overføres: 1100101000 og den mottatte sekvensen blir: 1010101010. De understrekede bit-ene er feil, da har vi en BER på  $\frac{3}{10} = 0.3 = 30\%$ .

### Modulasjon

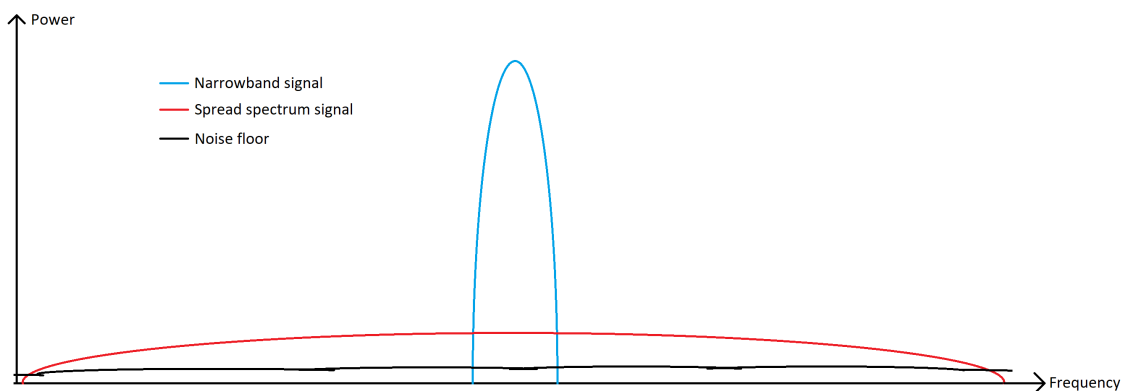
Fra Antenneteori (seksjon 2.2) ble det forklart hvordan en antenne kan sende informasjon ved å bruke elektromagnetiske bølger. Disse bølgene har tre egenskaper:

1. **Amplitude** - høyden på bølgen.
2. **Frekvens** - antallet perioder per sekund.
3. **Fase** - hvor fasen er til enhver tid.

For å forstå hva modulasjon vil si begynner vi med en "bærebølge"(carrier wave). En bærebølge er en ren bølge med konstant frekvens, litt som en sinusbølge. I seg selv bærer den ingen informasjon [43]. For å legge til informasjon som tale- eller datainformasjon, må en annen bølge legges på, kalt et inngangssignal, på toppen av bærebølgen. Denne prosessen med å påføre et inngangssignal på en bærebølge kalles modulering. Modulasjonen endrer med andre ord formen på bærebølgen, og koder den med tale- eller datainformasjon [43].

LoRa bruker en Chirp Spread Spectrum(CSS) modulasjonsteknikk. Det er en simpel implementering på det fysiske laget som gir et betydelig bedre linkbudsjett enn andre vanlige teknikker [44]. I tillegg gir det også bedre robusthet og flere valgmuligheter på grunn av teknikken som brukes. Dette muliggjør offring av hastighet for lengre rekkevidde eller redundans, selv i vanskelige og utfordrende miljøer [44].

Spread spectrum teknologi kommer fra en militær teknologi som har mye høyere båndbredde og signaler som ligger nærme støynivået, noe som gjør den vanskeligere å oppdage, avskjære og demodulere [45]. Fra figur 5 ser vi hvordan et spread spectrum signal ligger i forhold til et narrowband signal og støygulvet. Det er ikke uvanlig at mye av spread spectrum signalet ligger under støygulvet.



Figur 5: Spread spectrum og Narrowband signaler [4].

LoRa modulasjon bruker ortogonale spredningsformer. Dette tillater at flere pakker med ulike faktorer kan være i samme kanal samtidig, noe som er en betydelig forbedring for nettverks-effektiviteten [44].

Fra Semtech sin *LoRa Modulation Basics* [44] kan vi hente ut formelen for bitrate av datasignalet:

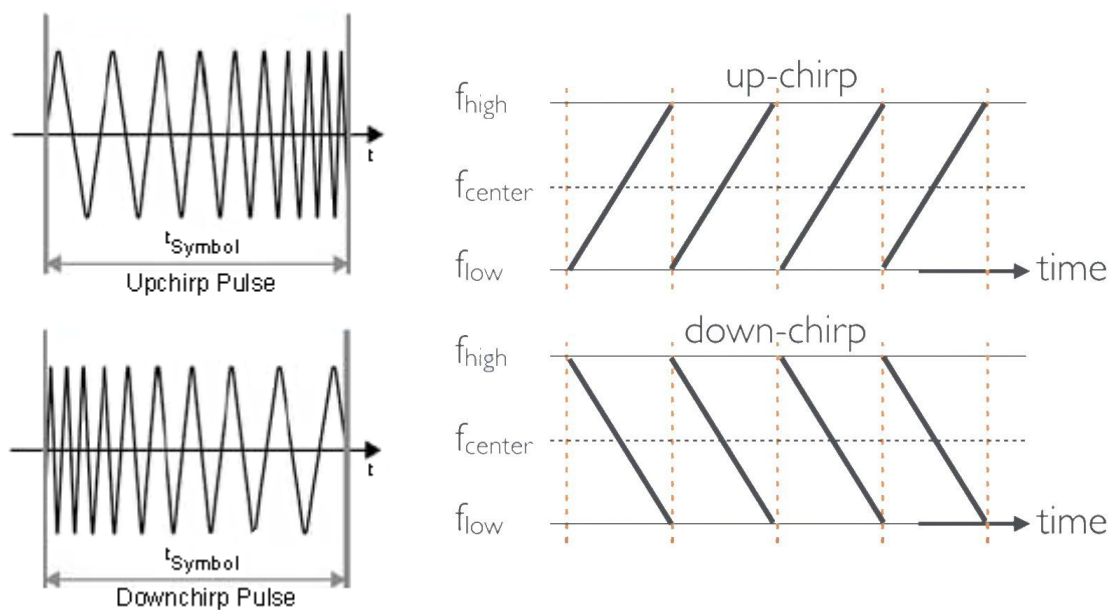
$$R_b = SF * \frac{4+CR}{\frac{2^{SF}}{BW}}$$

Hvor:

- $R_b$  = bitrate
- SF = spreading factor (7..12)
- CR = code rate (1..4) (seksjon 2.6)
- BW = modulation bandwidth/båndbredde (Hz)

Med dette kan vi regne ut hvor mange bits per sekund som vil bli sendt. Fra formelen kan vi også se direkte at en høyere spreading factor (SF) vil senke mengden bits som kan sendes betraktelig, det samme gjelder code rate (CR) (seksjon 2.6), noe som vil si at den må bruke lengre tid på å sende data og dermed bruke mer energi.

I CSS er symbolet brukt kalt "chirp". Et chirp er et signal hvor frekvensen øker (up-chirp) eller reduseres (down-chirp) med tiden [5] som kan ses i figur 6. Når man leser et CSS modulert signal er det en kombinasjon av up- og down-chirps man ser.



Figur 6: Eksempel på upchirp og downchirp med endring i frekvens over tid. En "pulse" tilsvarer en chirp, Venstre: Puls [5] Høyre: Chirp [6].

## Code rate og Forward Error Correction

Forward Error Correction (FEC) er prosessen der korrigeringsbit blir lagt til i datastrømmen. Disse redundante bit-ene bidrar til å gjenopprette dataene om dataene blir ødelagt av interferens. Hvis flere korrigeringsbit legges til, blir det lettere å korrigere dataene. Men ved å legge til flere korrigeringsbit, må mer data overføres, noe som reduserer batteriets levetid [46].

Code rate refererer til andelen av de overførte bitene som faktisk bærer informasjon [46].

I LoRa er disse code rates tillatt:  $CR = \frac{4}{5}, \frac{4}{6}, \frac{4}{7}, \frac{4}{8}$  En annen notasjon er:  $CR = \frac{4}{4+CR}$  hvor  $CR = \{1, 2, 3, 4\}$  som da vil tilsi [46]:

$$\begin{aligned} CR = 1, CR &= \frac{4}{5} \\ CR = 2, CR &= \frac{4}{6} \\ CR = 3, CR &= \frac{4}{7} \\ CR = 4, CR &= \frac{4}{8} \end{aligned}$$

Hvis det for eksempel blir sendt en datastrøm med 8 bit, og vi bruker  $CR = 1$ , vil  $\frac{4}{5}$  av bits være for informasjonen vi vil sende og  $\frac{1}{5}$  være for feilkorrigerings. Her bruker vi 8 bit,  $8 * \frac{4}{5} = 6.4$ , og av de 8 bit er 6.4 av dem brukt til data og resterende til feilkorrigerings.

## Cyclic Redundancy Check

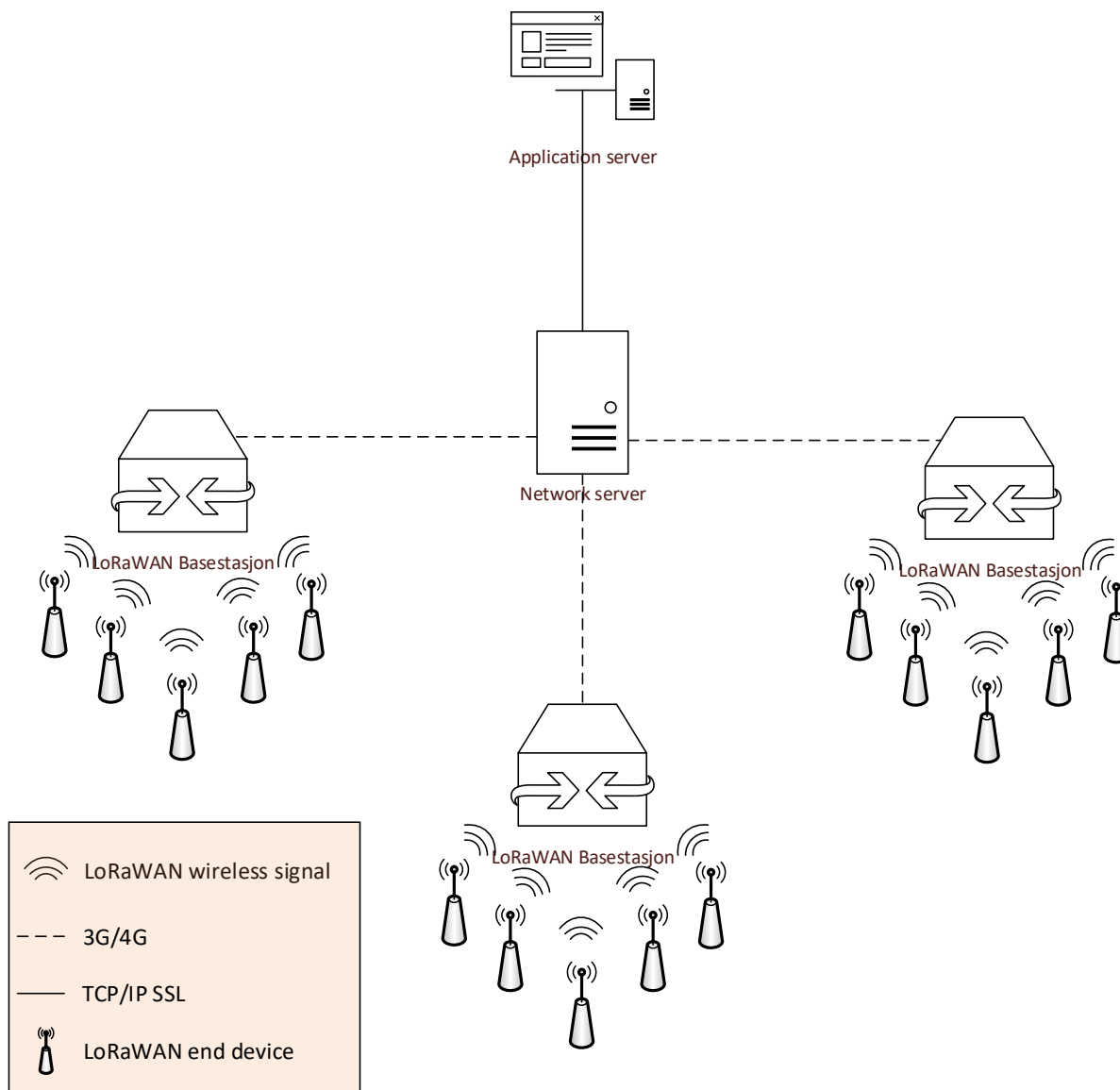
Cyclic Redundancy Check (CRC) er en teknikk som brukes til å oppdage feil i digitale data. Den gjør dette ved å bruke en primitiv hash-funksjon av dataene som så blir sendt med i pakken. Når pakken blir mottatt sjekkes denne summen opp mot dataene for å se om de fortsatt stemmer overens [47].

## Message Integrity Check

Message Integrity Check (MIC) er et felt i dataframen til trådløse pakker. Det er brukt en matematisk funksjon på dataene som mottakeren og senderen beregner hver for seg, og deretter sammenligner de resultatet. Hvis MIC-verdien ikke samsvarer antas det at pakken har blitt manipulert og den kastes [48].

## 2.7 LoRaWAN arkitektur

Techplayon [8] har en god oppsummering av LoRaWAN arkitekturen fra LoRa-alliance. LoRaWAN-teknologien brukes i kommunikasjon mellom endeenheter og basestasjoner. Teknologien bruker en "stjerne-av-stjernetopologier" som vist i figur 7. Denne topologien viser at en sluttenthet kan sende meldinger til flere basestasjoner samtidig, og basestasjonen vil så kommunisere dette videre til en nettverksserver[8]. Endeenheter er ikke knyttet til en bestemt basestasjon, derfor kan flere basestasjoner motta en pakke fra samme endeenhet. Basestasjonene er videre koblet opp mot en nettverksserver via en standard IP-tilkobling (internett) [8].



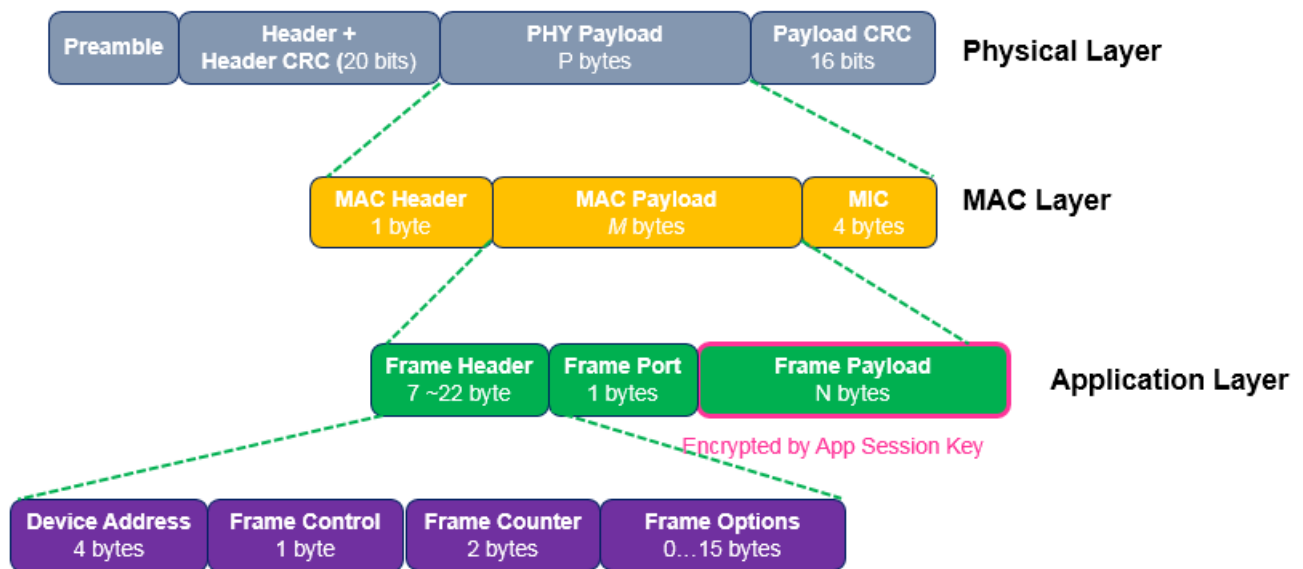
Figur 7: Eksempel på LoRaWAN topologi [7].



- En **LoRa endeenhet** brukes til å sende små mengder data ved lave frekvenser over lange avstander. Endeenheten kan brukes i ulike applikasjoner som smarte byer, smarte bygninger, fabrikkautomatisering, gårdautomatisering og logistikk [8], mer om dette i seksjon 5.10.
- En **LoRa basestasjon** mottar pakker fra endeenheter via en radiolink og deretter videresender dem til nettverksserveren via TCP/IP eller en 3G / 4G bredbåndstilkobling [8].
- En **Nettverksserver** administrerer hele nettverket. Når den mottar pakker, fjerner den redundansen fra pakken og utfører en sikkerhetskontroll. Deretter bestemmer nettverksserveren den mest passende basestasjonen for å sende tilbake en bekreftelsesmelding om at pakken er mottatt [8].
- En **applikasjonsserver** er sluttserveren der alle data sendt av en endeenhet blir behandlet, nødvendige tiltak blir tatt og dataene blir presentert [8].

### LoRaWAN pakker

Figur 8 viser hvordan en LoRaWAN pakke er bygget opp.



Figur 8: Oppbygging av LoRaWAN pakke [8].

Fra en tidligere studie om LoRaWAN av Techplayon [9, 8] forklares oppbyggingen av pakke- ne. LoRAWAN pakkene er delt opp i tre lag: Det fysiske laget, Media Access Control(MAC) la- get og applikasjonslaget. LoRa definerer det fysiske laget som gjør det mulig for langdistanse- kommunikasjon. LoRaWAN definerer de øvrige lagene MAC- og applikasjonslaget, kommuni- kasjonsprotokollen og systemarkitekturen for nettverket[49]. LoRaWAN er også ansvarlig for kontroll av kommunikasjonsfrekvenser, datahastighet og strømforbruk for alle enheter[50].

## Fysiske laget

Det fysiske laget i LoRaWAN er Semtech sin LoRa modulasjonsteknikk [51]. Dette laget er proprietært og det er ingen frittstående offentlig dokumentasjon. Forskere og andre interessenter har analysert og dokumentert hva de har funnet, og Semtech har gitt ut en overordnet dokumentasjon av modulasjonen og de tekniske spesifikasjonene [49].

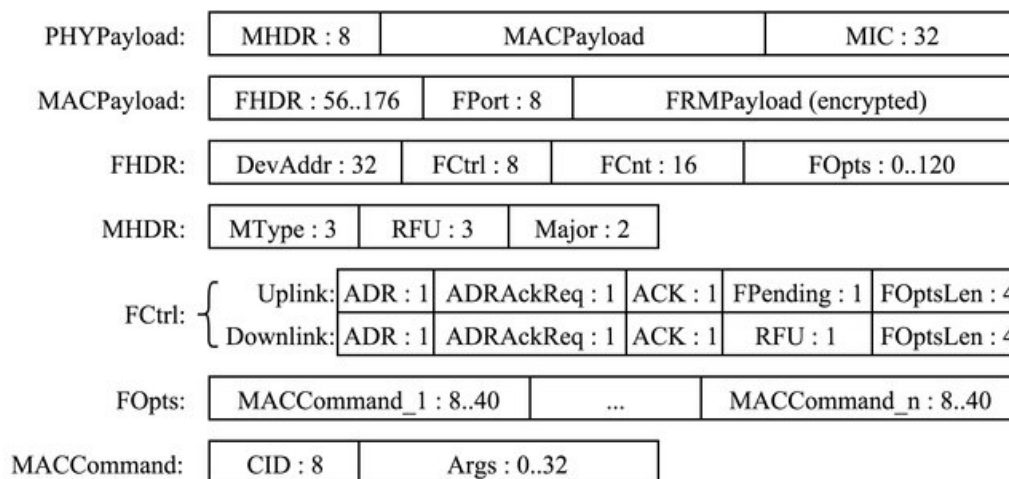
Det fysiske laget starter med et innledningsfelt (preamble), denne delen definerer pakkens modulasjon ved å sende en serie ”upchirps” som dekker hele frekvensbåndet LoRaWAN kan sende på. De siste to ”upchirps” er et kodet synkroniseringsord. Enheter kan konfigureres til å ignorere pakker som kommer fra enheter uten synkroniseringsord [9] [8].

Etter innledningsfeltet kommer et header felt som er valgfritt. Dette feltet inneholder størrelsen på dataene i bytes, code rate til resten av dataene og om det er en 16-bit CRC i slutten av pakken. Header feltet har også en egen CRC for seg selv, som gjør det mulig for mottakeren å kaste pakken om header er ugyldig. Om informasjonen vanligvis sendt i header er kjent fra før av, er dette feltet unødvendig og kan fjernes [9, 8].

## Media Access Control laget

MAC-laget består av en MAC-header, en MAC-nyttelast og en Message Integrity Code-melding (MIC). MAC-headeren definerer protokollversjon og meldingstype, det vil si om det er en dataframe eller en administrasjonsframe, enten den overføres i uplink eller downlink og om den skal bli bekreftet eller ikke. Med dataframe mener vi at den overfører data som for eksempel fra vannmåling, og med administrasjonsframe er informasjon om for eksempel omstart av endeenhet og lignende MAC-header kan også vise om det er en leverandør spesifikk melding. Når endeenheter skal kobles mot en basestasjon kan MAC-payload erstattes av tilkoblingsforespørsel eller en aksepteringsmelding [8]. MAC-header og MAC-nyttelast brukes til å beregne MIC-verdien sammen med en nettverkssekresjonnøkkel (Nwk\_SKey). MIC-verdien brukes til å forhindre forfalskning av meldinger og for å autentisere endeenheten [8].

Figur 9 viser hva en pakke inneholder og størrelsen som er satt av til hvert felt.



Figur 9: Oppbygging av LoRaWAN pakke med størrelser i bits [9].

### Applikasjonslaget

Når MAC-payloaden blir håndtert av applikasjonslaget består den av frame header, frame port og frame payload. Verdien til frame port bestemmes av applikasjonstypen. Frame payload er kryptert med en applikasjonsnøkkel (App\_SKey). Denne krypteringen er basert på Advanced Encryption Standard 128-algoritmen (seksjon 2.8) [8].

Frame header inneholder informasjon om nettverket. Device address har to deler, de første 8 bitene identifiserer nettverket, resten blir tildelt dynamisk når de blir med i et nettverk og identifiserer enheten i dette nettet. Frame control er et 8 bit felt for nettverkskontrollinformasjon, for eksempel om man vil bruke datahastigheten angitt av basestasjonen for overføring, eller om meldingen bekrefter mottak av den forrige meldingen. Frame counter brukes for sekvensnummerering, altså telling av antallet pakker som er sendt. Frame options er for kommandoer som brukes til å endre datahastighet, overføringseffekt og tilkoblingsvalidering etc. [8].

## 2.8 Sikkerhet

Sikkerhet er alltid en stor bekymring og noe som må tas hensyn til. Tap av data, og data på avveie er alltid en risiko som må minimeres.

I LoRaWAN har sikkerhet vært med i utformingen av teknologien helt fra starten [52]. Sikkerheten retter seg mot de samme kravene som LoRaWAN teknologien har. Da med tanke på lavt strømforbruk, lav kompleksitet for implementering, lav pris og høy skalerbarhet.

For at en LoRaWAN endeenhet skal kunne koble seg til et LoRaWAN nettverk, kreves det gjensidig godkjenning fra begge parter som en del av nettverksprosedyren. Dette sikrer at det kun er ekte og autoriserte enheter som vil bli slått sammen med ekte og autentiske nettverk.

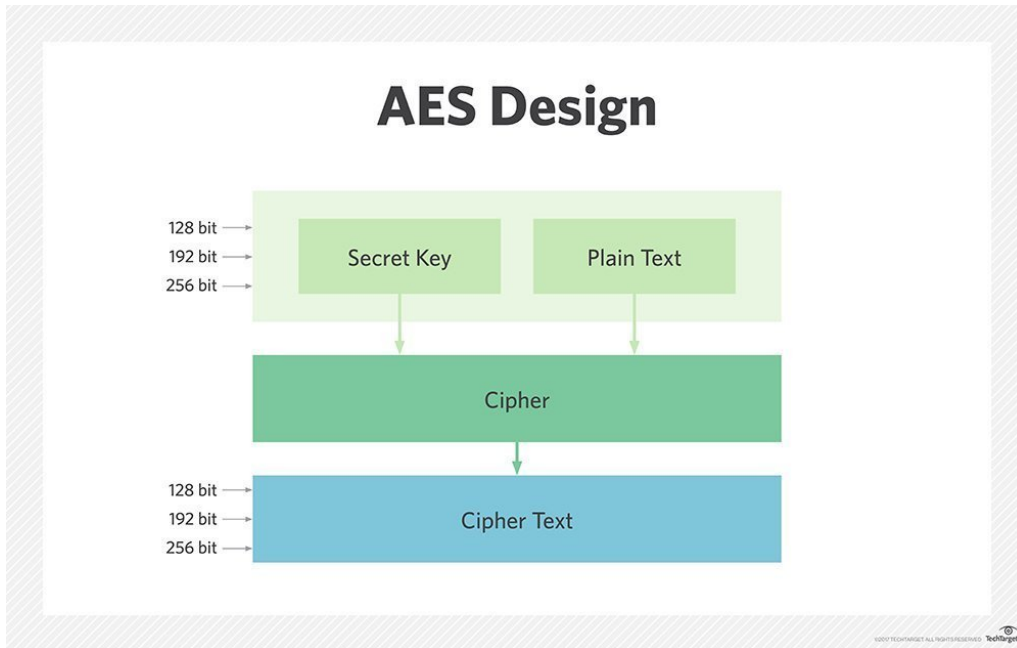
I LoRaWAN er MAC og applikasjonsmeldinger opprinnelsesautentisert, integritetsbeskyttet, repetisjonsbeskyttet og kryptert [52]. Denne beskyttelsen, kombinert med gjensidig autentisering sikrer at nettverkstrafikken ikke har blitt endret eller tuklet med, at pakken kommer fra en legitim enhet, at dataene ikke er forståelige for en utvendig avlytter og at de ikke kan bli tatt og sendt på nytt fra en kriminell aktør.

Opprinnelsesautentisering vil si at mottakeren kan verifisere kilden til meldingen og at den kom fra en autorisert enhet. Integritetsbeskyttelse er til for å verifisere at dataene ikke er tuklet med under sending. Både opprinnelsesautentisering og integritetsbeskyttelse bruker MIC-feltet (Message Integrity Code) i MAC-lag frame-en. Dette sikrer at bare de autoriserte enhetene som holder kryptonøklene (endeenheten og nettverksserveren) kan generere gyldige frames. Repetisjonsbeskyttelse brukes slik at en gyldig frame ikke kan bli motatt flere ganger, dette gjøres ved å bruke en frame counter. Dataene er ende-til-ende kryptert fra endeenheten (i dette tilfellet er det vannmåleren) til applikasjonsserveren som tar imot dataene. LoRaWAN støtter operasjoner som tillater kryptering av MAC-kommandoene. Dette vil si at dataene blir kryptert og uleslig med mindre man har krypteringsnøkkelen. Denne krypteringen bruker Advanced Encryption Standard standarden med en 128-bit kryptografisk nøkkel og 128-bit algoritme [53].

### Advanced Encryption Standard

Som tidligere nevnt bruker LoRAWAN ende-til-ende kryptering med Advanced Encryption Standard (AES) algoritmen. Algoritmen har støtte for 128-bit, 192-bit og 256-bit nøkler og har en blokkstørrelse på 128-bit [54]. Algoritmen er blitt godt analysert av kryptografisamfunnet og er godkjent av National Institute of Standards and Technology (NIST) [52]. Med 128-bit nøkkel er algoritmen sett på som god nok for informasjon som ikke er topp hemmelig, og den er anbefalt av Norsk Datatilsyn [55].

Algoritmen er symmetrisk (noen ganger kjent som hemmelig nøkkel), som betyr at den bruker samme nøkkel for kryptering og dekryptering. Derfor må både avsenderen og mottakeren vite den samme hemmelige nøkkelen for å kryptere eller dekryptere data [10].



Figur 10: Oppbygging av LoRaWAN pakke med størrelser i bits [10].

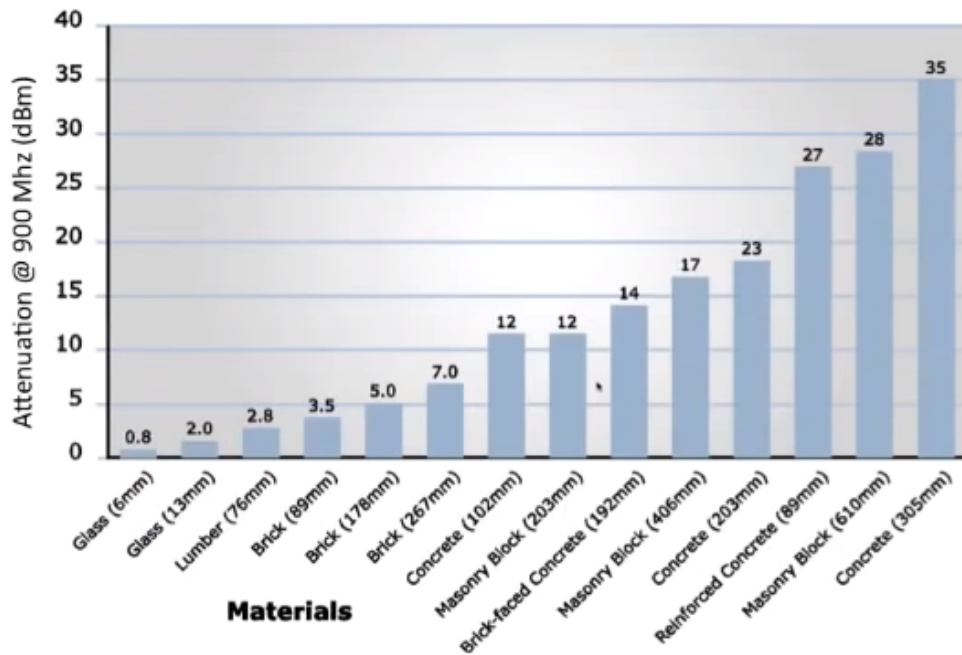
I figur 10 ser man teknikken til AES. Algoritmen tar imot nøkkelen og data som skal krypteres og gjør dette om til cipher data som kan behandles med matematiske funksjoner. Algoritmen vil kjøre et bestemt antall ganger avhengig av lengden på nøkkelen som brukes. En runde består av flere behandlingstrinn som inkluderer substitusjon, transponering, miksing av klartekst og omforming til den ferdige chifftereksten. Det er 10 runder for 128-bit nøkler, 12 runder for 192-bit nøkler og 14 runder for 256-bit nøkler [10].

## 2.9 Interferens

LoRaWAN bruker en spread spectrum teknikk som kalles frekvenshopping (FHSS) for å hovedsakelig unngå jamming, men også interferens [56, 57]. Dette vil si at man kan raskt bytte frekvenser for å blant annet unngå interferens fra andre kilder. Dette gjør at når data skal sendes vil endeenheten kontinuerlig bytte frekvenser mens endeenheten sender data til base-stasjonen. Endeenhet og base-stasjon bruker en pseudo-tilfeldig tallgenerator som bestemmer hvilken frekvens endeenheten og base-stasjonen er på. Den pseudo-tilfeldige tallgeneratoren tar utgangspunkt i sin egen tilstand for å generere nærmeste tilfeldige tall [58].

## 2.10 Radiobølger gjennom materialer

Vannmålerne som LoRa endeenhetene skal festes på befinner seg inne i husstandene. Det vil si at når signalet skal sendes må det alltid gjennom minst ett materiale. Vi ser i figur 11 hvor mye dBm som går tapt når et radiosignal går igjennom glass, treverk og andre materialer. De mest relevante materialene å trekke frem er treverk (Lumber) som taper 2.8 dBm per 76 millimeter, murblokk (Masonry Block) som taper 12 dBm per 203 millimeter og betong (Concrete) som taper 12 dBm per 102 millimeter [11].



Figur 11: Radiobølger gjennom ulike materialer [11].

## 2.11 Temperatur og vær

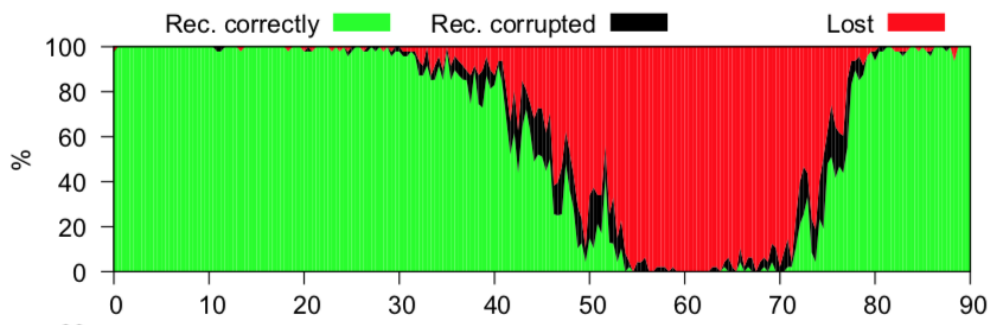
### Temperatur

Temperaturforskjeller kan påvirke trådløse nettverk som opererer utendørs. Temperaturen går som oftest ut over det utstyret som brukes, og ikke selve signalet [59]. Det har blitt gjort en undersøkelse av "Institute of Technical Informatics, Graz University of Technology, Austria" på hvordan temperaturendringer påvirker LoRa [12]. I denne undersøkelsen blir temperaturen i rommet som basestasjonen er plassert i varmet opp ved bruk av infrarøde varmelamper i et kontrollert miljø. Det ble så sendt en pakke med følgende forhåndsbestemt informasjon, slik at eksperimentet ble konsistent [12]:

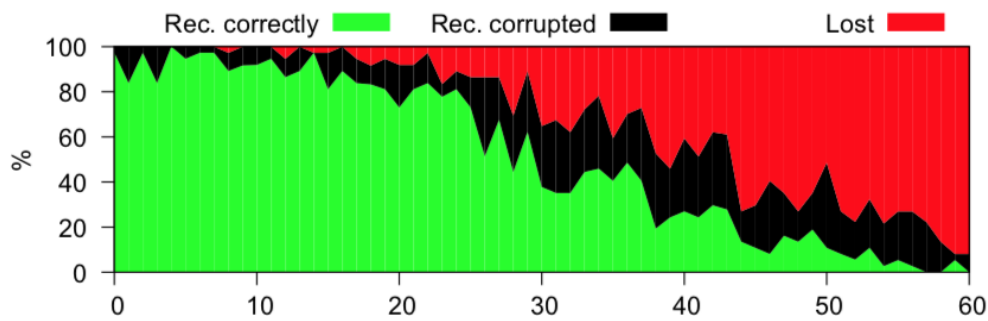
- RSSI på -100dBm eller bedre.
- Coding rate på 4/5.
- Båndbredde på 125kHz.
- Spreading Factor på enten 7 eller 12.

For at RSSI skal bli -100dBm eller bedre er det brukt fire enheter, der to av enhetene er plassert på en avstand som gir en RSSI på -100dBm. De to gjenværende er plassert nærmere, og gir derfor et bedre signal enn -100dBm RSSI. Resten av dataene som er brukt i eksperimentet blir konfigurert under oppsettet av enhetene.

Dette ga resultatene som vist i figur 12 og 13, avhengig av om det ble brukt spreading factor 7 eller 12[12]. Figurene viser hvor mye av det mottatte signalet som blir tatt i mot, når det er variasjoner i temperaturen med spreading factor på enten 7 eller 12. Figuren viser korrekt mottatt data med grønn farge, korrupte data med sort farge og tapt data med rød farge. Tallene på y-aksen er % av mottatt signal. Tallene på x-aksen er temperaturen [12].



Figur 12: Temperaturpåvirkning med spreading factor 7.



Figur 13: Temperaturpåvirkning med spreading factor 12 [12].

I figur 13, med SF 12 kan vi se at ved 10 grader mottar vi ca. 90% korrekt data og ca. 10% korrumpert. Når temperaturen øker til ca. 30% grader, ser vi at kun ca. 40% av dataene blir mottatt korrekt, ca. 30% blir korrumpert og ca. 30% blir tapt. Om temperaturen øker til 50 grader, blir kun ca. 20% av dataene mottatt korrekt. I figur 12 ser vi at SF 7 blir påvirket på en helt annen måte enn med SF 12. [12]

Ut i fra disse dataene ser vi at temperatur har stor innvirkning på signalstyrken som blir mottatt. En økning i temperatur kan altså være nok til å transformere et brukbart signal til ubrukbart signal.

## Vær

Med ulikt vær kan det oppstå forskjellige utfordringer. Enten om det er regn, snø eller høy luftfuktighet i været, og det er viktig å være klar over dette. Været kan altså ha store innvirkninger på mottatt RSSI [60, 59].

Regn kan påvirke signalet, da regn kan absorbere og da delvis blokkere signalet [59]. Dette er fordi regn er en elektrisk konduktor, og effekten av dette er at signalet blir absorbert og at signalet derfor blir brutt/ufullstendig [60]. I følge et eksperiment gjort på "Low-Power Radio Communication in Industrial Outdoor Deployments" [61], så vil ikke lett regn eller tåke ha en merkbar påvirkning. Kraftig regn derimot, kan ha en effekt på signalene som sendes, spesielt når enheten er plassert på enden av signalets rekkevidde.

Snø kan også ha en effekt ved å forhindre "line-of-sight" [62]. Dette kan føre til at signalet går fra å være bra til å bli brutt eller ufullstendig. Det er også mulig at snø måkt inn mot husvegger, eller store snøsamlinger kan blokkere signalet.

Luftfuktighet påvirker også signalet som sendes, og dette har en negativ effekt på RSSI. Det er spesielt viktig å vite om dette, da LoRa signalene skal sendes over lengre distanser. Luftfuktigheten vil ha større påvirkning på signalene over lengre distanser. Luftfuktighet påvirker signalene da det konstant ligger vann i luften som kan absorbere signalene [59].



## 3 Arbeidsmetode

### 3.1 Utstyr

Vi har fått tildelt utstyr av kommunen slik at vi får gjort testene og generelt arbeid på en god og effektiv måte. Av kommunen har vi fått tildelt følgende utstyr:

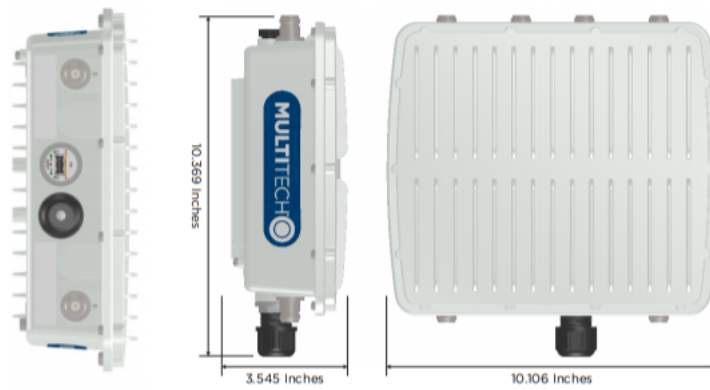
- 1 Mobil LoRa basestasjon.
- 1 Analog LoRa pulsleser.
- 1 Digital LoRa pulsleser.
- 1 iPad m/tastatur.
- 1 Arbeidsbil.
- 4 Adgangskort til Teknisk Drift sitt bygg.
- 1 Bomkort til Storåsen AS.
- 1 Bomkort til Rømåsen.
- 1 Nøkkel til høydebasseng.
- Eget kontor.

#### Basestasjonen

Basestasjonen som ble brukt under testingen var en *MultiConnect<sup>®</sup> Conduit<sup>™</sup> IP67 Base Station* levert av Multitech. Denne basen er godt egnet for norske forhold da den tåler temperaturer fra 40 minusgrader til 70 plussgrader. Den har et robust design som vist i figur 14 og er designet for å motstå selv de verste miljøene. IP67 klassifiseringen gjør at den er motstandsdyktig mot fuktighet, støv, vind, regn, snø og ekstrem varme. Dermed kan basen støtte LoRaWAN applikasjoner i nesten alle miljøer [13]. Basen er laget for å støtte tusener med LoRaWAN sertifiserte endeenheter.

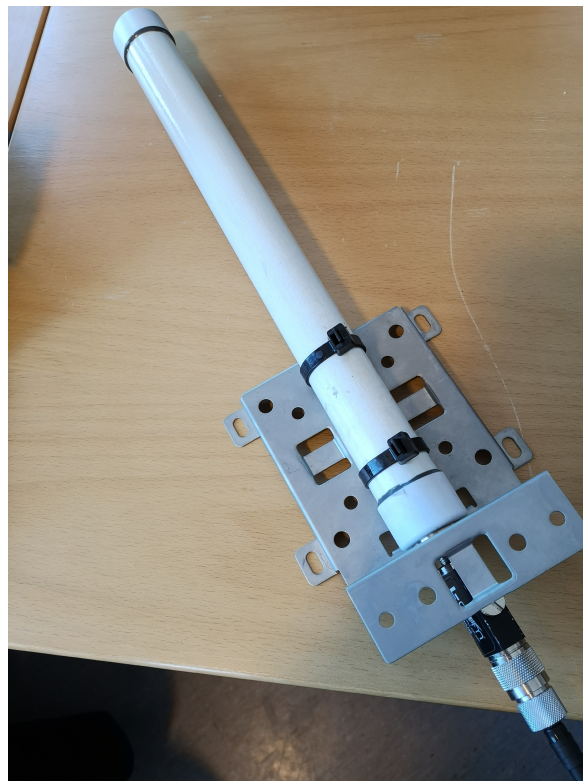
Basen benytter seg av Power over Ethernet (PoE) som følger IEEE802.3at standarden for strøm. Den har to cellulære antenner, en utgang til LoRa antenne og en til GPS. Basen har følgende fordeler:

- Utvider LoRa nettverksdekning.
- Ekstern antenne øker LoRa konnektiviteten til endeenhetene.
- Designet for god termisk ytelse.
- Lett tilgang på SIM og USB port [13].



Figur 14: LoRa Base [13].

Antennen vi har brukt med basestasjonen er en standard monopol antenne som er laget for å kunne stå ute. Antennen er ca. 50 cm lang og festet på en jernplate for lettere montering på stengene som er montert på de aktuelle lokasjonene. Antennen vi har brukt er vist i figur 15.



Figur 15: LoRa antenne.

## Analog pulsleser

Endeenheten vi har brukt under testingen var av typen *Nasys LoRaWAN<sup>TM</sup> IP68 Pulse Reader*. Dette er en enhet som kan både motta og sende informasjon. Den kan operere i temperaturer mellom 20 minusgrader og 65 plussgrader. Maks rekkevidde er 15 km og den klarer kun å motta signaler som er bedre enn -142 dBm[14]. Den er batteridrevet og laget for å sende over lang avstand med lavt energiforbruk. Enheten kan bli brukt med enhver pulsemitterende enhet som vann, strøm, gass, osv. Andre applikasjoner for LoRaWAN blir diskutert i seksjon 5.10.

Pulsleseren har følgende egenskaper:

- Trådløs dataoverføring over lengre distanser.
- Pulstelling.
- innebygd batteri for lang levetid.
- Innebygd antenne.
- Konfigurerbart rapporteringsintervall.
- Vedlikeholdsfri.
- Enkel installasjon.
- Sikker kommunikasjon.

På testenheten vår var Adaptive Data Rate skrudd av slik at alle testene blir utført med samme sendestyrke (DR0). Denne enheten har vi hatt liggende lett tilgjengelig i bilen for effektiv testing. Enheten vi har benyttet oss av under testingen er den kommunen ønsker å montere i husstandene og er vist i figur 16.



Figur 16: Nasys LoRaWAN™ IP68 Pulse Reader [14].

### Digital pulsleser

Den digitale pulsleseren fikk vi halvveis inn i testperioden og vi var da allerede kommet godt i gang med testingen. Leseren var av typen Field Test Device (FTD) levert av Adeunis [63]. Denne ble i hovedsak brukt de gangene vi hadde problemer med den analoge pulsleseren siden vi opprinnelig ønsket å ta alle testene på samme måte. En av fordelene med FTD'en er at den umiddelbart viser dekningen til LoRa nettverket på skjermen sin.

Som vi ser i figur 17 har leseren en LCD skjerm som viser resultatet av testen, temperaturen og sendestyrken signalet ble sendt med. For å ta testen så trykker vi på knappen som er referert som "Pushbutton 1" i figuren og resultatet dukker opp etter et par sekunder. I bunnen av enheten er det en av og på knapp i tillegg til en mikro USB port til lading.



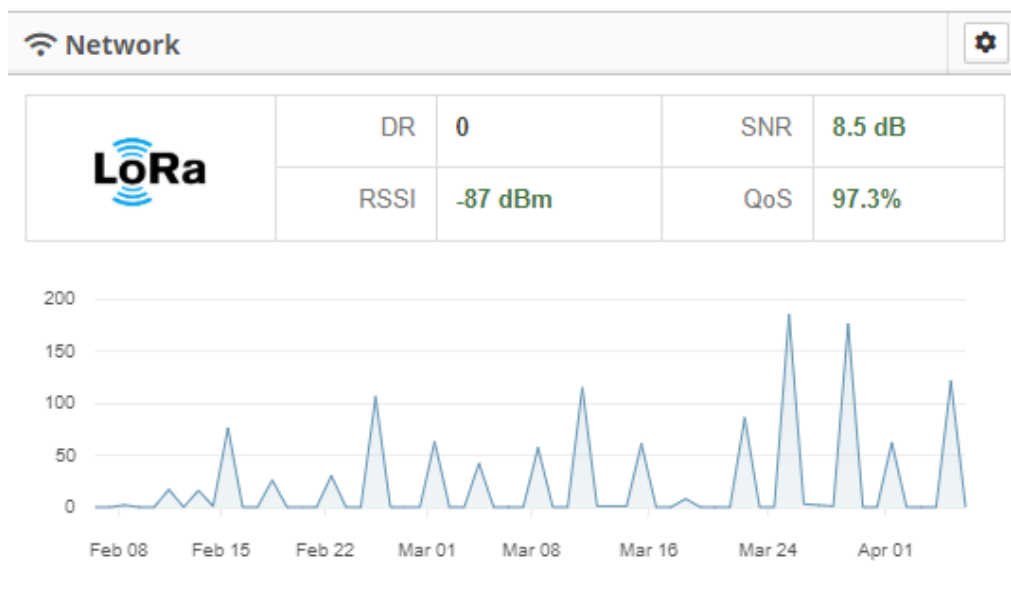
Figur 17: Digital pulsleser av typen FTD.

## Plattformene

I tillegg til alt utstyret over har vi fått tilgang til ulike plattformer som gir oss en oversikt over vann-nettverket til kommunen, lokasjonen til de potensielle basestasjonene og resultatene til pulsleserene. iPaden med 4g ble brukt for lett tilgang til de ulike plattformene.

## IoT Hub

IoT Hub er nettsiden som gir oss en oversikt over signalene fra basestasjonen og pulsleseren. Her bruker vi informasjonen som er vist i figur 18 til å se hva RSSI og SNR er på den LoRaWAN pakken som har blitt sendt. Denne nettsiden gir oss også en oversikt over hvilke basestasjoner som er oppe og hvilke som er nede, vist i figur 19. Der er også en oversikt over alle LoRa senderne som er montert og når de sist sendte en pakke, vist i figur 20.



Figur 18: Informasjon om en puls vist i IoT Hub.

Name	gwEUI	Address	Last seen
gateway_0011e_Multitech_19822215_Ringsaker_fixed	70b3d5b0200011e		16s ago
gateway_00120_Multitech_19822216_Ringsaker_mobile	70b3d5b02000120		20h 51m ago

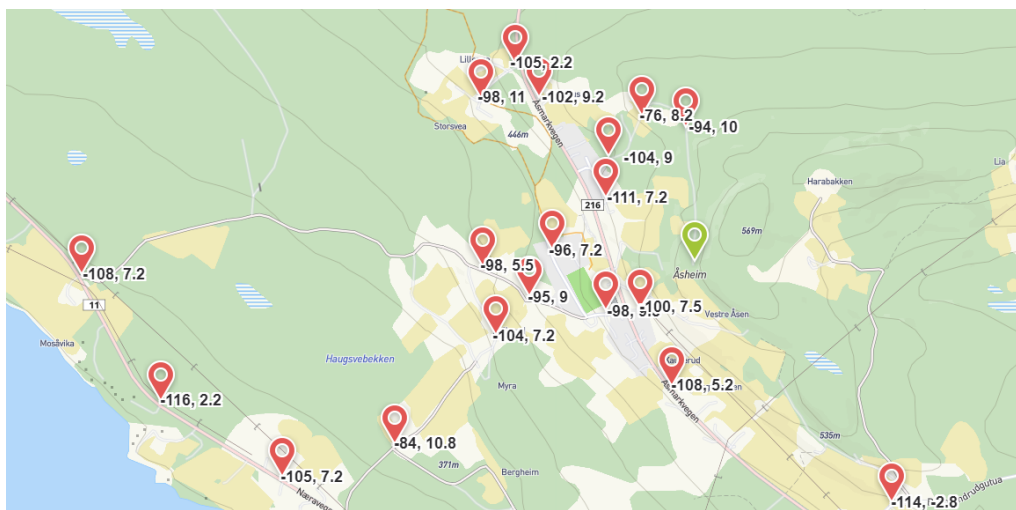
Figur 19: Oversikt over basestasjoner.

Name	DevEUI	Last seen
IP68 Pulse reader 4e1c002f	70b3d5b020037c5d	9m ago
IP68 Pulse reader 4e1c0031	70b3d5b020037c5f	13m ago

Figur 20: Oversikt over LoRa senderne m/QoS.

## Kommunekart

Vi brukte nettsiden kommunekart for å dokumentere lokasjon, RSSI, og SNR på testene vi utførte. Kommunekart lar oss lagre kartet som en kml fil. Verktøyet lar oss også importere kart som tidligere har blitt lagret, i tillegg til at vi også kan importere flere lagrede kart som kan vises samtidig. Figur 21 viser testene som ble utført på Åsen høydebasseng.



Figur 21: Notasjon i kommunekart.

### Geminiportalen

Vi bruker Geminiportalen til å få en oversikt over hvor høydebassengene ligger og hvor vann-nettet til kommunen går. Vi bruker denne informasjonen til å finne frem til de potensielle basestasjonene og for å vite hvor det er relevant å ta testene våre. Gemini lar oss også bruke lokasjonen til iPaden slik at det blir lettere å vite hvor vi er på kartet. Figur 22 viser hvordan vi ser vann-nettet på kartet i Geminiportalen.



Figur 22: Kart over Jølstad med vann-nett.

## 3.2 Valg av potensielle baser

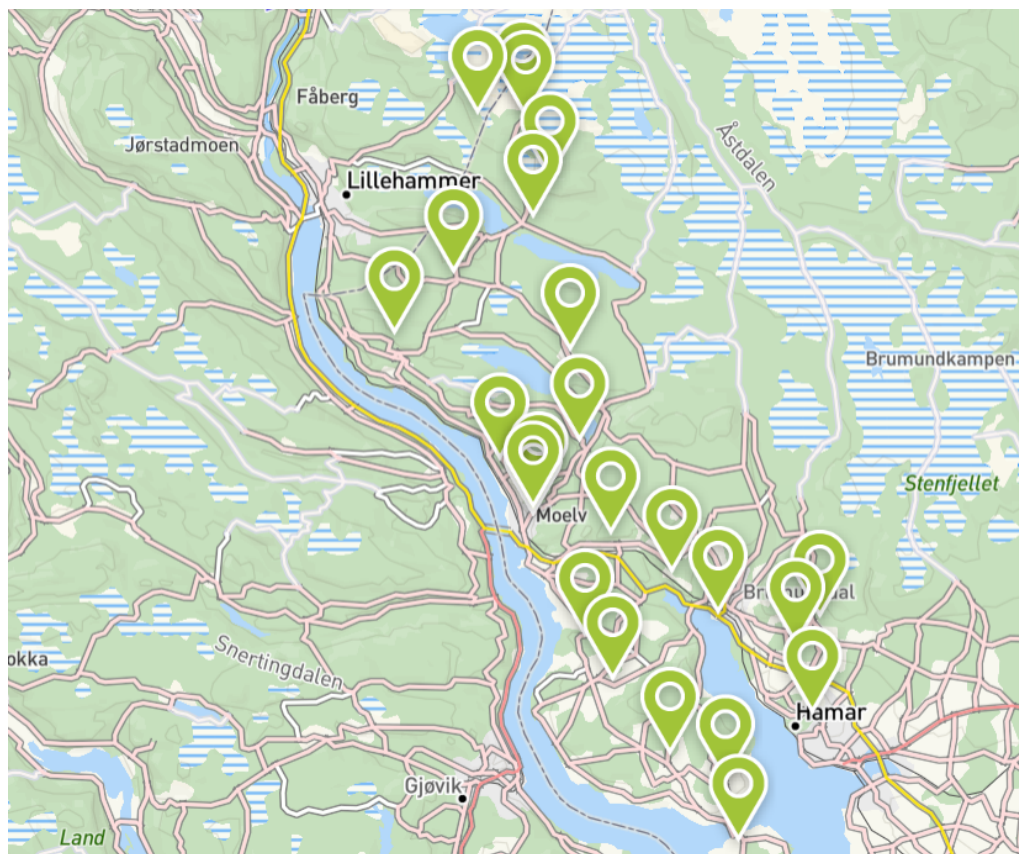
Da vi skulle velge potensielle baser var det flere ting vi måtte ta i betraktning. Siden oppgaven kun var å dekke kommunen sitt vann-nett og ikke hele arealet til kommunen, ble potensielle plasseringer lettere å velge. Det viktigste for oss og for kommunen da vi skulle velge potensielle baser var tilgangen på strøm. Dette er viktig for økonomien til kommunen og for at vi skulle ha muligheten for å teste under bachelorperioden. Derfor ble det tidlig klart at vi måtte velge bygg som kommunen allerede drifter fra før eller har tilgang til. Kommunen drifter i dag flere pumpestasjoner (PV), trykkøkere (TØ) og høydebasseng (HB). Siden høydebassengene allerede ligger i høyden ble disse de mest egnede plasseringene. Informasjonen ovenfor ga oss følgende punkter å vurdere for en potensiell plassering av en basestasjon:

- Er det et vann-nett i nærheten?
- Er lokasjonen oppe i høyden?
- Hvordan er terrenget rundt lokasjonen?

Det er også viktig å nevne at Ringsaker kommune allerede hadde satt opp en basestasjon på toppen av Mjøstårnet i Brumunddal. Vi har derfor ikke inkludert området rundt Brumunddal da vi valgte potensielle plasseringer da de ønsket å teste dette området selv.

Etter mye diskusjon kom vi frem til de plasseringene vi ønsket å teste fra, disse er vist i figur [23](#).





Figur 23: Oversikt over valgte lokasjoner.

### 3.3 Testfasen

Vi satte oss et mål om å bruke åtte uker til testing. Disse ukene testet vi hver mandag og fredag såfremt utstyret fungerte, mer om dette i seksjon 3.3. Vi delte oss opp i to par der det ene paret dro ut for å teste mens det andre paret ble igjen på kontoret i Ringsaker for å jobbe med teorien rundt LoRa.

#### Hvordan vi testet

Etter valget av de potensielle basene vi ønsket å teste (seksjon 3.2) ble det bestemt hvordan vi ønsket å utføre testene. Det ble bestemt at vi skulle jobbe oss fra nord nedover mot sør. Dette gjorde det lettere for oss å holde oversikt over hvor vi hadde vært og hvor vi skulle neste gang. Den mest effektive måten å gjøre selve testingen på var å bruke Geminiportalen for å få en oversikt over vann-nettet. Det ble kun testet der vann-nettet gikk. Denne avgjørelsen sparte oss for mye tid og unødig testing. Under testingen ble det testet sentralt rundt bolig-områdene, før det ble testet hvor langt vi kunne dra langs vann-nettet, før signalet ikke lenger ble detektert av basestasjonen. Alle testene vi gjorde ble dokumentert på kommunekart og resultatet blir presentert i kapittel 4 og problemområder diskutert i seksjon 5.2.



Figur 24: Basestasjonen og antennen satt opp for testing.

### Oppsett av basestasjon

Under selve testingen ble som regel basestasjonen lagt i snøen på taket av bygget. Dette var nødvendig siden antennekabelen var kort og vi ønsket å plassere antennen så høyt som mulig. Antennen ble festet på antennestengene på lokasjonene hvis det var en montert. Hvis det ikke var en stang der måtte vi finne på andre måter å feste antennen på. Figur 24 viser hvordan basestasjonen og antennen ble satt opp da vi testet på Storåsen HB. Vi passet også på at LTE antennene til basestasjonen var frie for snø slik at vi raskest mulig kunne se om vi fikk et positivt resultat eller ikke på testene våre. Dette er siden basestasjonen laster opp pakker den mottar til IoTHub ved hjelp av LTE.

### Utfordringer

Under testfasen opplevde vi følgende utfordringer og problemer vi måtte overkomme:

#### Problematisk oppdatering

Under den første testen hadde det kommet en ny oppdatering som gjorde at pulsleseren sendte på feil modulasjon. Dette ble ikke oppdaget før gruppen allerede var på høydebassenget og hadde satt opp basestasjonen. Problemet var at pulsleseren ikke hadde nyeste versjon av nødvendig programvare etter en oppdatering hadde blitt gjort. Ringsaker kommune videre-sendte informasjon om problemet, og fikk svar tilbake om at man måtte gjøre en manuell programvareoppdatering for å fikse problemet. Det ble derfor ingen testing denne dagen. Pulsleseren var ikke den eneste som ble berørt av den nye oppdateringen. Alle de statiske pulsleserne som kommunen hadde plassert ut hadde også det samme problemet. Kommunen

måtte derfor dra ut til alle endeenhetene og manuelt oppdatere programvare på disse også. Problemet ble heldigvis løst relativt raskt og vi kunne starte testingen på neste planlagte testdag.

Etter at dette problemet oppstod laget vi en rutine for å teste at utstyret fungerte slik det skal før testingen begynte.

### **Høydebasseng uten antennestang**

Enkelte av lokasjonene vi testet fra har ikke antennestang montert. I disse tilfellene har vi brukt alternative metoder for å få en akseptabel antenneplassering. Det har for eksempel blitt brukt spade eller kost som antennestang, men disse løsningene ville vært betraktelig vanskeligere å implementere hadde det ikke vært for snøen. Det anbefales at alle lokasjoner som blir sett på som potensielle LoRaWAN basestasjoner får en antennestang installert.

### **Knekt ledning**

Antennekabelen er veldig skjør og underveis i testeperioden knakk antennekabelen i begge endene. Den første gangen var det bare isoleringen som ble skadet, som en midlertidig løsning ble kabelen teipet fast. Den andre gangen så knakk hele kabelen og ble dermed ødelagt. Da måtte vi vente på en ny kabel før vi kunne fortsette testingen, noe som forsinket oss med en testdag.

### **Kort antennekabel**

Kabelen som kobler antennen opp til basestasjonen var kort; ca. 1.5 meter. Dette gjorde det problematisk å få antennen så høyt som vi ønsket. Gjennom vinteren har vi løst dette problemet ved å sette basestasjonen i snøen på taket slik at vi fikk en akseptabel høyde på selve antennen. Problemet med kort ledning vil bare bli større etterhvert som snøen forsvinner, for da vil det bli vanskelig å få satt basestasjonen høyt nok opp og vi vil da slite med å få en akseptabel høyde på antennen.

### **Sene LoRaWAN pakker**

Under testing av Sund HB sluttet IoT Hub å motta pakker fra den analoge pulsleseren. Vi måtte derfor bruke den digitale pulsleseren for å vite hvor bra signalet var. Vi vet ikke hvorfor pakkene ikke dukket opp, men på neste testdag var alle pakkene tilbake på nettsiden. Den mest sannsynlige årsaken er at det var noe feil med selve nettsiden den dagen.

### **Pulsleseren sendte shutdown-pakke**

Helt på slutten av testperioden sendte plutselig endeenheten vår en shutdown pakke. Vi måtte derfor igjen bruke den digitale pulsleseren til å ta testene. Det viste seg at vi trengte en magnet for å restarte den analoge pulsleseren vår. Etter å ha restartet pulsleseren med en magnet fungerte alt slik det skulle igjen.

## 4 Resultater

Her kommer alle resultatene vi har kommet frem til etter å ha utført testene. På kartene som presenteres vil det være grønne, røde, oransje og sorte markører med hver sin bestemte betydning. De grønne markørene er hvor på kartet basestasjonen er plassert, disse er også navngitt med fet skrift. De røde markørene markerer at radiosignalet ble mottatt. De oransje indikerer at flere basestasjoner mottok signalet. De sorte markørene markerer at radiosignalet ikke ble mottatt. Under testingen ble det også notert ned RSSI og SNR, men det er fjernet fra bildene siden de ble alt for uoversiktlige.

### 4.1 Sjusjøen

For å dekke hele Sjusjøens område valgte vi å sette opp basestasjonene på høydebassengene Storåsen, Heståsen, Sjusjøen, Rømåsen og Mesnali. Etter å ha testet disse fem basestasjonene kom vi frem til resultatet som er vist i figur 25. Høydebassengene på Storåsen, Sjusjøen og Mesnali har god dekning i deres respektive områder. Ellers har høydebassengene på Heståsen og Rømåsen flere områder hvor dekningen er dårlig.

Høydebassenget på Rømåsen ligger i en bakke, så terrenget nordover er vanskelig. Vi har derfor ikke dekning opp over bakken. Dette er derimot en god basestasjon for å nå sørover. Det er også relativ god dekning vestover.

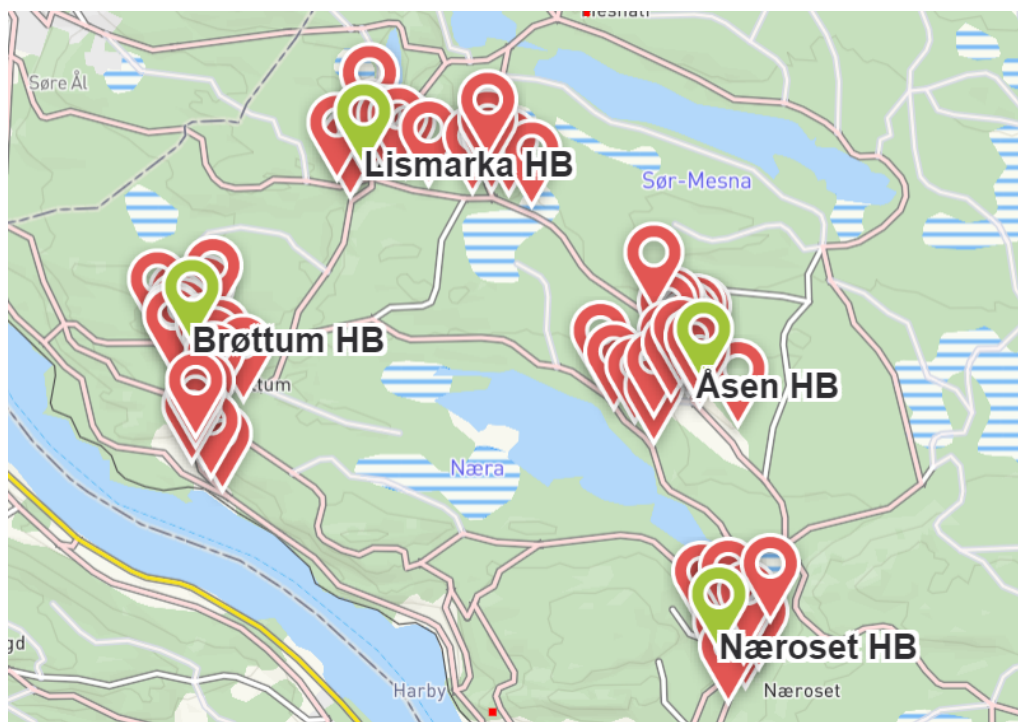
Høydebassenget på Heståsen hadde god dekning sentralt, men det ble fort dårlig grunnet tett vegetasjon og vanskelig topografi. Vann-nettet starter et lite stykke vest for bassenget, og på denne avstanden ble det dårlig dekning i flere områder.



Figur 25: Sjusjøens testresultater.

## 4.2 Lismarka, Brøttum, Åsen og Næroset

For å dekke dette området valgte vi å plassere basestasjonene ved høydebassengene på Lismarka, Brøttum, Åsen og Næroset. I dette området ligger vann-nettet sentralt rundt høydebassengene, og som vi ser på figur 26 er det god dekning sentralt i områdene. Det er ikke vann-nett i mellom de nevnte stedene, de ligger lokalt i de deres respektive områder. Næroset dekkes også godt sentralt, men sørover mot Moelv har vi en dødsone rundt Kvernstubrua.



Figur 26: Testresultater for Lismarka, Brøttum, Åsen og Næroset.

### 4.3 Moelv

For å dekke hele vann-nettet til Moelv bestemte vi oss for å teste Ringen Rehabiliteringssenter, høydebassengene Moelv øvre og Moelv nedre, i tillegg til Ringsaker Teknisk Drift sitt bygg. Vi testet også Kvernstubrua pumpestasjon. I figur 27 ser vi at resultatene er gode og at vi fikk dekket hele Moelv området godt.

Ringen Rehabiliteringssenter er godt plassert med klar sikt mot Moelv, det dekker hele vann-nettet i området, helt ned til Moelv. Så dette er en god plassering. Det er heller ikke lagt vann langs veien mot nord, fordi det er lagt ut i Mjøsa.

Høydebassengene Moelv øvre var overraskende dårlig. Sentralt rundt høydebassenget var det bra dekning, men det hadde kort rekkevidde på grunn av vanskelig terreng og hindringer. I tillegg var det lite dekning i alle retninger, untatt mot øst.

Moelv nedre har mange av de samme problemene som Moelv øvre. Det var bra dekning sentralt rundt høydebassenget, men dårlig plassering og vanskelig terreng gjør at det ikke var god dekning i noen retninger.

Ringsaker Teknisk Drift sitt bygg dekker hele vann-nettet i Moelv området. Det var overraskende hvor bra Moelv ble dekket med tanke på plasseringen til bygget. I starten var det heller ikke planer om å teste dette bygget, men da høydebassengene Moelv øvre og Moelv nedre ikke dekket som forventet, var dette en god løsning. Hele området Moelv øvre og Moelv nedre skulle dekke, ble dekket av bygget til Teknisk drift. Herifra hadde vi dekning helt ned til Slettum, hvor det fort ble for dårlig.

Det ble gjort en test på Kvernstubrua pumpestasjon. Denne pumpestasjonen lå lavt plassert og ga derfor dårlige resultater. Etter en avstand på bare 100 meter hadde vi ikke dekning. Siden pumpestasjonen ikke ga gode resultater valgte vi å se bort ifra Kvernstubrua som en potensiell basestasjon.



Figur 27: Moelv testresultater.

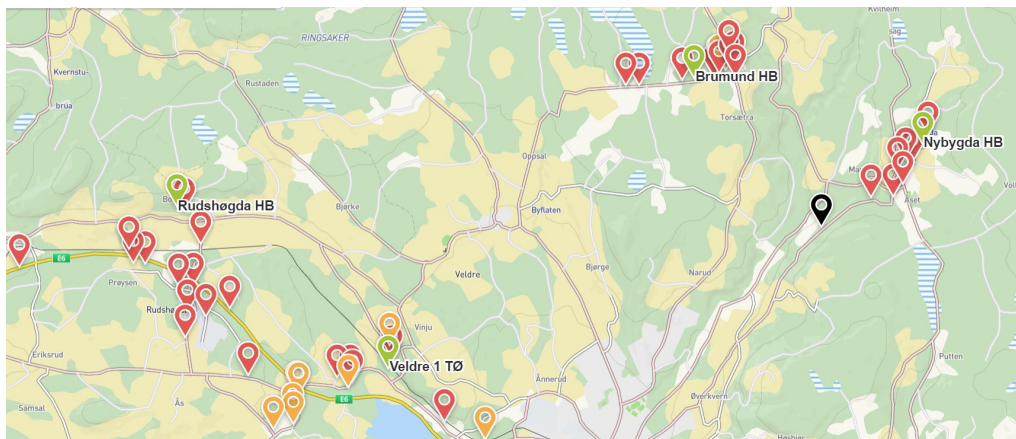
#### 4.4 Rudshøgda, Brumund, Veldre og Nybygda

Rudshøgda høydebasseng sin plassering ga fri sikt til nesten hele området som får vann av kommunen. Som vi kan se i figur 28, resulterte dette til god dekning over hele området, så da var det bare å se hvor god rekkevidde det var langs veien. Dette høydebassenget skal også dekke veldig lange avstander. Under testingen gikk iPaden tom for strøm, og vi kunne derfor ikke teste så langt som planlagt. På grunn av god sikt kan vi anta at dekningen er bedre enn det resultatene viser.

På Brumund høydebasseng, ved Nordenga, ser vi på figur 28 at det var god dekning sentralt. I tillegg ble signalet plukket opp flere ganger av antennen som var satt opp på Mjøstårnet, noe som var overraskende. Ellers var det dårlig dekning med en gang vi kjørte vestover mot Byflaten. Dette var altså et dødt område.

Veldre har to pumpestasjoner, Veldre 1 og Veldre 2. Vi testet Veldre 1 og fant ut at det var relativt god dekning sentralt. Resultatet ser vi i figur 28. Veldre 1 hadde signal helt opp til der Veldre 2 begynner, men vi har ikke testet Veldre 2. Vi ser også at det er mange oransje markører, som betyr at signalet plukkes opp av mer enn en basestasjon. Store deler av Veldre ble også plukket opp av antennen på Mjøstårnet.

Nybygda høydebasseng har god dekning sentralt rundt boligområdene. Vann-nettet går mellom vegen og elven helt ned til Brummundal by. Dessverre klarte ikke Nybygda å dekke langt nok på vegen som går mot Brummundal.

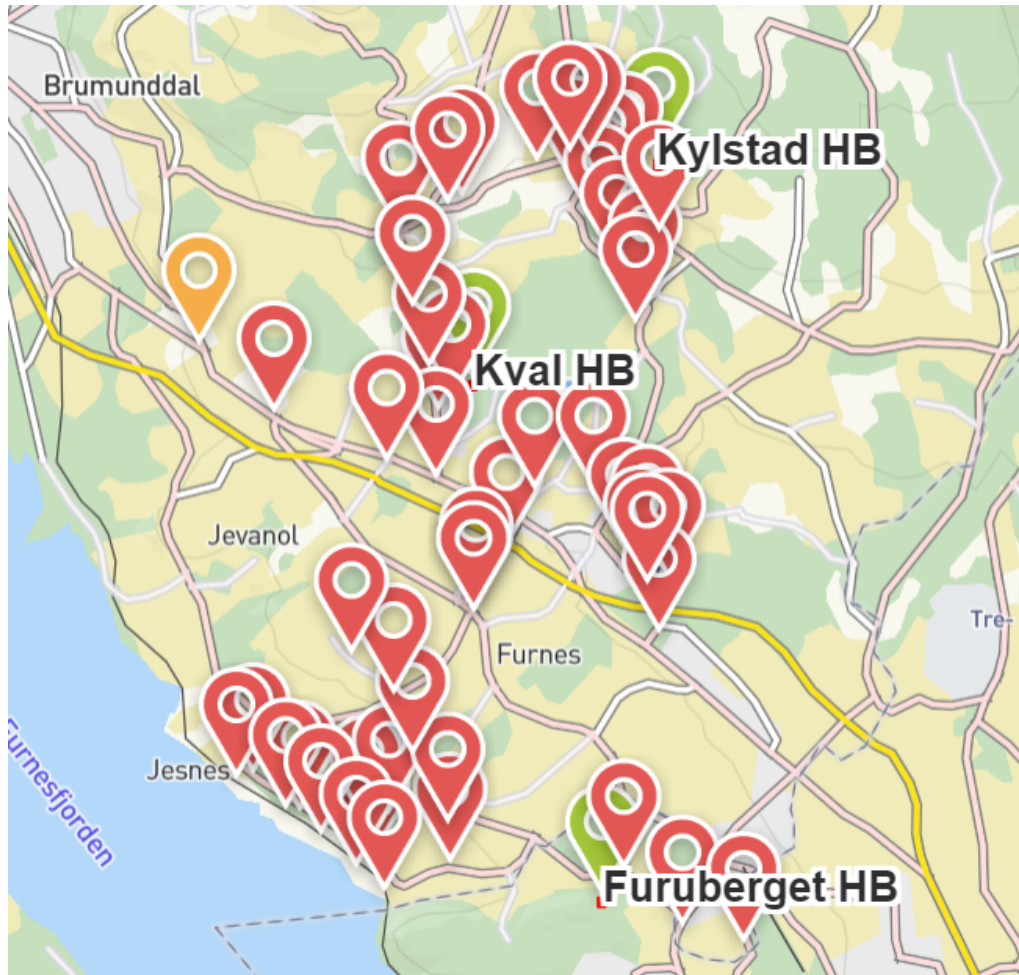


Figur 28: Testresultater for Rudshøgda, Veldre 1, Brumund og Nybygda.



#### 4.5 Kylstad, Kval og Furuberget

Høydebassengene på Kylstad, Kval og Furuberget er gode basestasjoner, og som vi ser i figur 29 dekker alle hvert sitt område med god margin. Uheldigvis har vi et problem da ingen av de tre høydebassengene klarte å dekke Nydal ved Hamar. Nydal ligger nord for Furuberget, og det er en dal som ligger i mellom og blokkerer signalene som kommer fra den retningen.



Figur 29: Testresultater for Kylstad, Kval og Furuberget.

#### 4.6 Gaupen, Jølstad, Torsberget, og Sund

Som vi kan se i figur 30 var det gode resultater fra høydebassengene på Gaupen, Torsberget og Sund, men høydebassenget på Jølstad var ikke så bra.

Gaupen lå godt plassert og dekket godt hele vann-nettet i området det skulle dekke, og nesten helt ned til Jølstad. Det førte til at det ble noen overlappende punkter mellom Gaupen og Jølstad, men det dekket ikke helt ned til Jølstad høydebasseng. Ellers var Jølstad plassert på en ugunstig lokasjon, med tett vegetasjon i området rundt. Det dekket derfor greit helt sentralt, men dekningen gikk fort tapt da vi kjørte nordover.

Torsberget og Sund ga overraskende bra resultater. Det dekket hele vann-nettet i deres respektive områder, samt at de overlapper hverandre rett under Torsbeget. De er begge gode plasseringer.



Figur 30: Testresultater for Gaupen, Jølstad, Torsberget og Sund.

## 5 Diskusjon

### 5.1 Plassering av basestasjoner

Nesten alle basestasjoner som har blitt testet bør brukes til å dekke kommunen. Disse base-stasjonene er:

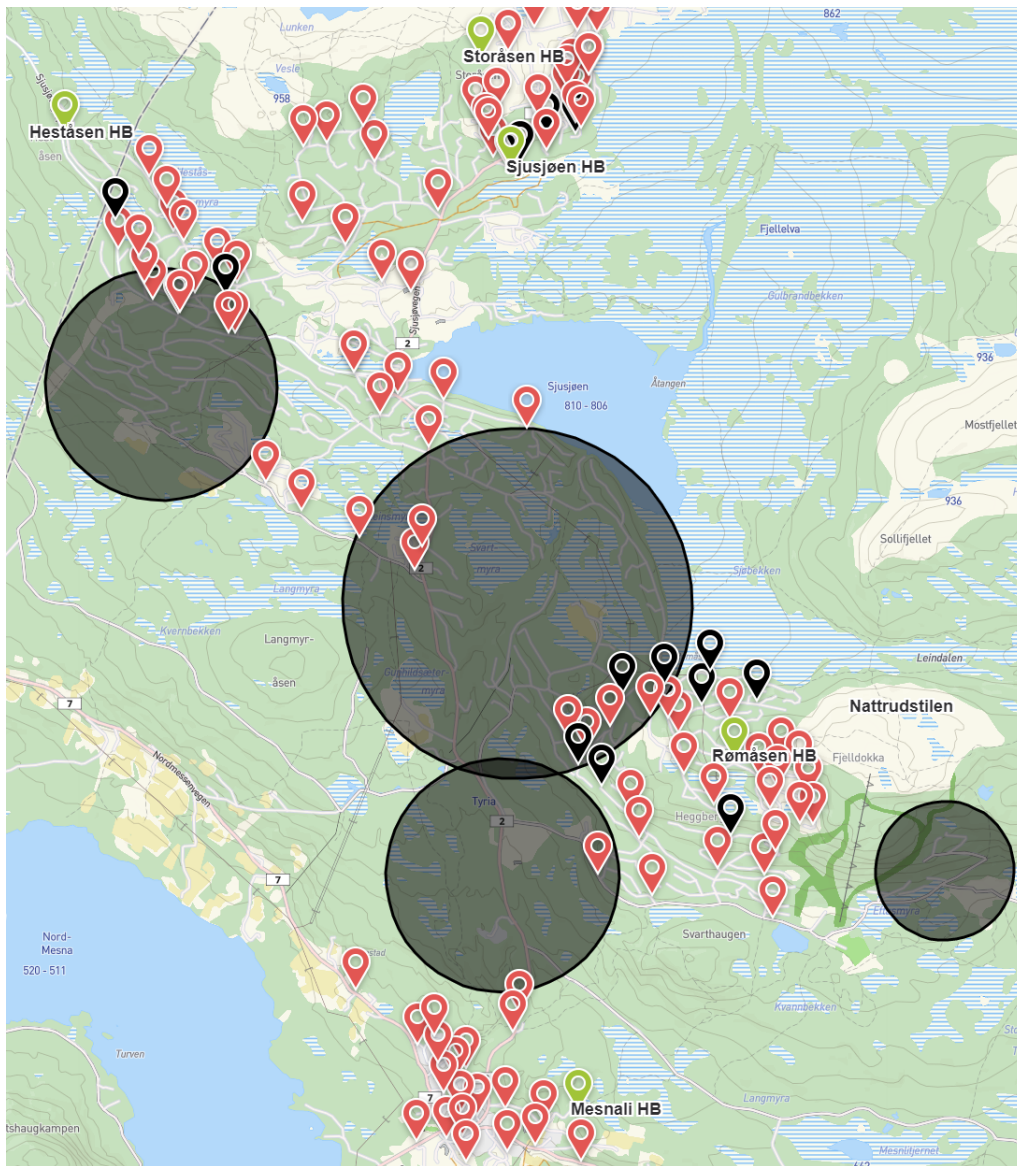
- Storåsen HB.
- Sjusjøen HB.
- Heståsen HB.
- Rømåsen HB.
- Mesnali HB.
- Lismarka HB.
- Brøttum HB.
- Åsen HB.
- Ringen Rehabiliteringssenter.
- Næroset HB.
- Moelv Teknisk Drift.
- Årengen HB.
- Sund HB.
- Torsberget HB.
- Gaupen HB.
- Jølstad HB.
- Rudshøgda HB.
- Veldre 1 TØ.
- Brumund HB.
- Nybygda HB.
- Kval HB.
- Furuberget HB.
- Kylstad HB.

Som tidligere nevnt angående Veldre 1 og Veldre 2 ble Veldre 2 ikke testet (seksjon 4.4). Ovenfor har vi valgt Veldre 1 som anbefalt basestasjon på grunn av dette, men Veldre 2 er bedre plassert i forhold til Veldre 1. Det kan derfor være aktuelt å vurdere Veldre 2 som en bedre basestasjon enn Veldre 1.

Disse basestasjonene dekker det meste av kommunen, men dette vil fortsatt ikke være nok til å dekke alle tiltenkte områder. Områdene som disse basestasjonene ikke klarer å dekke, enten fordi basestasjonene ikke rekker langt nok eller fordi lokasjonen til basestasjonen er dårlig egnet, vil bli beskrevet nærmere i seksjonene nedenfor (vist med svarte sirkler i figur 31, 32 og 34).

## 5.2 Problemområder

### Sjusjøen

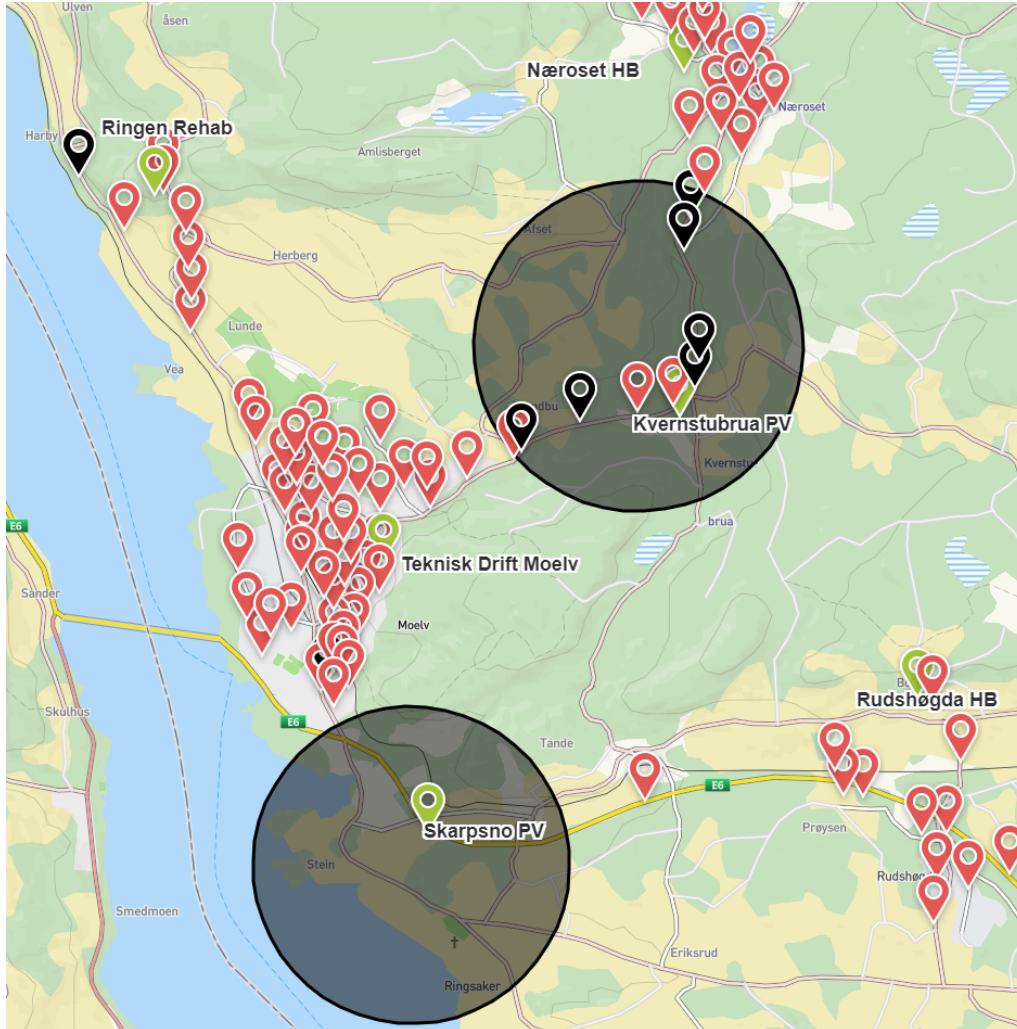


Figur 31: Problemområdene i Sjusjøen.

I området sør for Sjusjøen er det dårlig eller ingen dekning. Det samme gjelder også rundt Svartmyra, Fløyta, og vest for Steinsmyra. Kombinasjonen av basestasjoner i Heståsen, Rømåsen og Storåsen klarer ikke å dekke dette området. Løsningen vil være å legge til flere basestasjoner i dette området, eller å finne bedre lokasjoner for basestasjonene. Et eksempel er å bruke Natrudstilen i stedet for Rømåsen. Dette er fordi Natrudstilen ligger på en høydetopp, og derfor kan det være aktuelt å plassere en basestasjon der som kan dekke hele Rømåsen. Denne basestasjonen kan muligens dekke et enda større område enn det basestasjonen

på Rømåsen kan klare. Det er heller ingen garanti for at basestasjonen på Rømåsen klarer å dekke det området øst for Natrudstilen på grunn av dalen imellom dem.

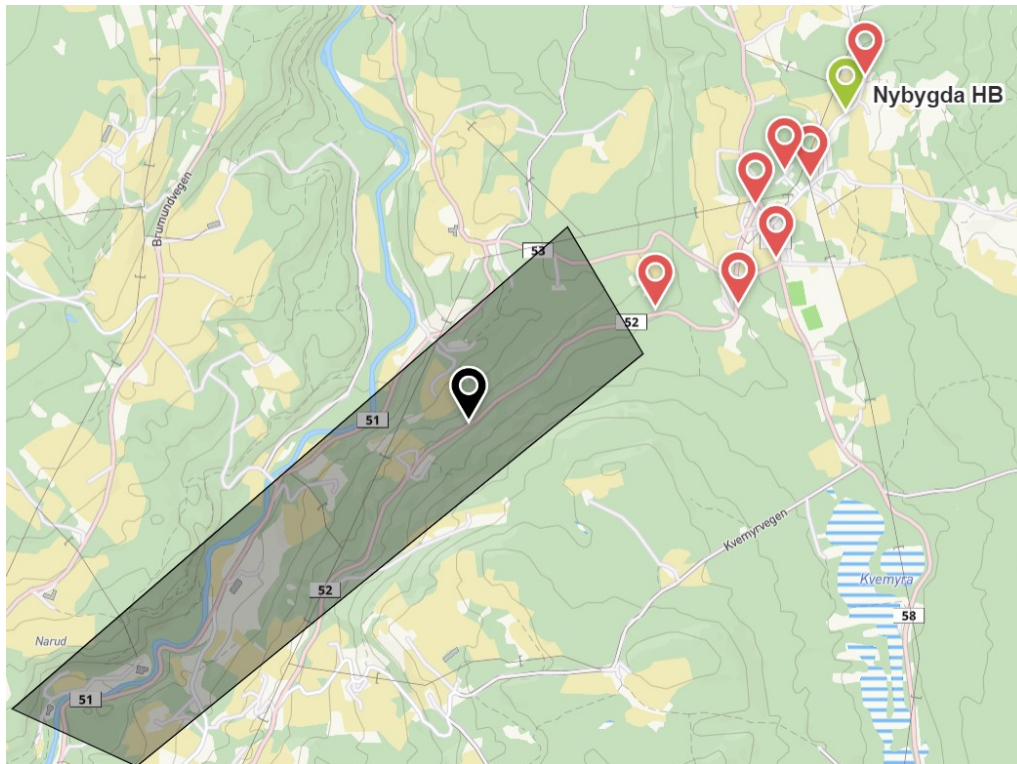
## Moelv



Figur 32: Problemområdene rundt Moelv.

Moelv har et par problemområder sør og øst for selve byen. Problemområdet øst for Moelv er veien mellom Moelv og Næroset. I Kvernstubrua ligger en pumpestasjon her som har blitt testet, men som ikke ga et tilfredstillende resultat og er derfor ikke egnet som en potensiell plassering av en basestasjon. Problemområdet sør for Moelv ligger rundt Skarpsno. Også her ligger det en pumpestasjon, men denne er ikke blitt testet på grunn av veiarbeid i området og det er derfor ikke sikkert hvorvidt denne pumpestasjonen kan dekke dette området.

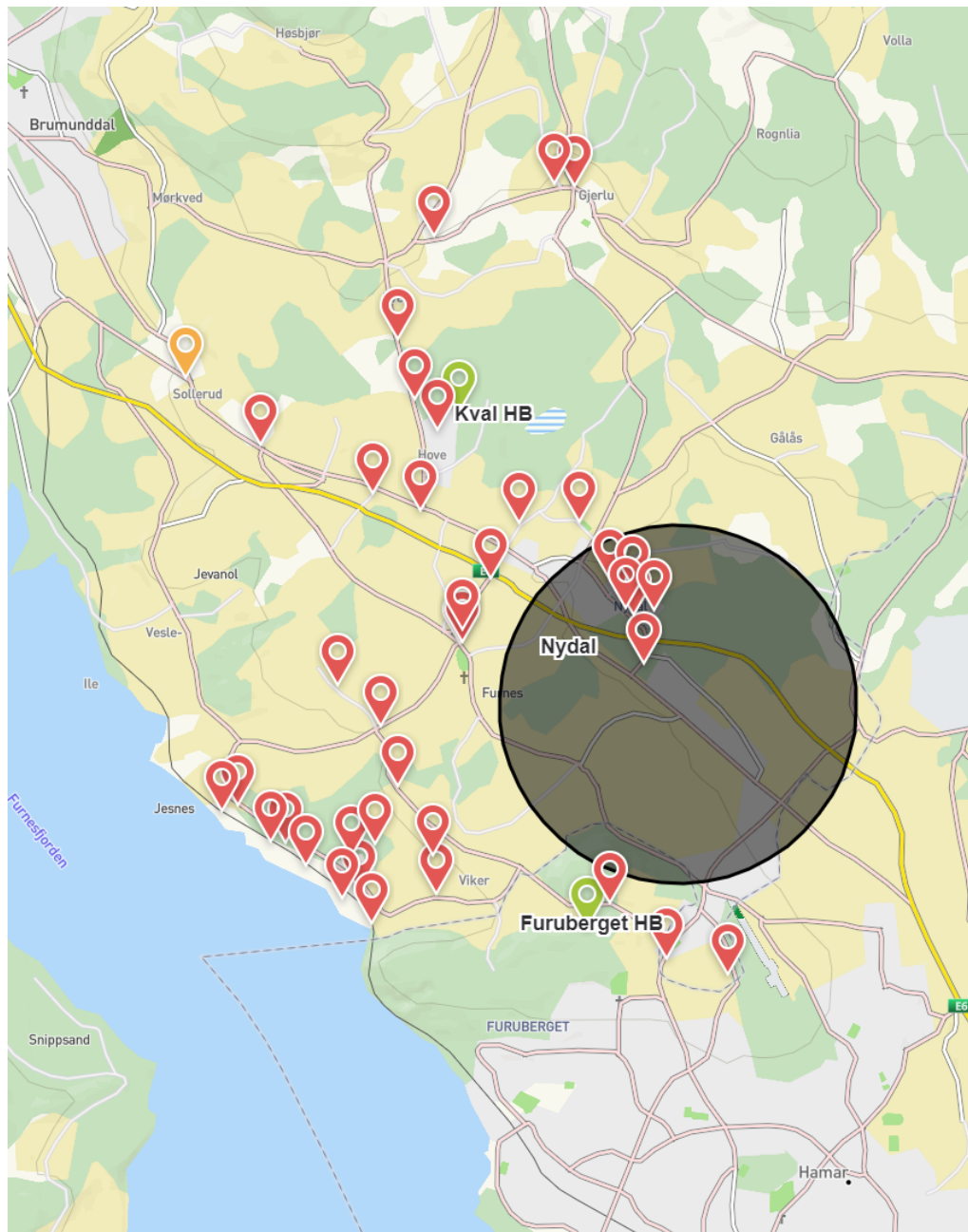
## Nybygda



Figur 33: Problemområdet i Nybygda.

Problemområdet i Nybygda ligger langs vegen og elven som går mot Brummundal by. Det er usikkert hvor mange husstander det er langs denne strekningen, så om det er nødvendig å dekke den med basestasjoner er en vurdering kommunen må ta.

## Nydal



Figur 34: Problemområdet i Nydal.

Nydal, nord for Hamar, er et problemområde. Det var meningen at basestasjonene på Kylstad, Kval og Furuberget skulle kunne dekke hele området mellom Brumunddal og Hamar, men det viser seg at Nydal er et område som ingen av disse basestasjonene klarer å dekke godt nok. Den beste løsningen vil være, om mulig, å sette opp en egen basestasjon i Nydal slik at dette området blir dekket ordentlig. Eventuelt kan et samarbeid med Hamar kommune være aktuelt.

### 5.3 Usikkerhet

Det vi er mest usikker på angående testresultatene våre er hvordan testene våre ville vært dersom de hadde blitt utført inne i husstandene. Vi kan kun bruke teori til å finne ut hvor mye av signalet som blir absorbert gjennom vegger. Grenseområdene vi har funnet i våre tester kan dermed være områder som ikke har dekning når endeenhetene er montert inne i husstandene.

For testingen så må vi ta forhold til at det er usikkerhet på hvor nøyaktig målingene er. Dette kan forekomme av pulsleserne, værforhold, støy og andre uforutsette situasjoner. Vi opplevde ulike verdier på RSSI når vi testet samme lokasjon flere ganger, ofte så høyt som  $\pm 10dB$ .

#### Signalet gjennom vegger

Som vi så i figur 11 i seksjon 2.10 har materialtypen signalet må igjennom mye å si. I figuren er det verdt å legge merke til at treverk og glass gir et mye mindre tap på signalet enn betong og grunnmur. Det vil derfor være viktig under installasjon av endeenheten å vurdere hvor enheten bør plasseres slik at signalet må gå igjennom færrest mulig materialer. Den personen som installerer enheten bør også vite hvor nærmeste basestasjon er. Disse to faktorene bør bli vurdert når enheten plasseres, for det kan være forskjellen på om signalet klarer å bli detektert av basestasjonen eller ikke.

### 5.4 Påvirkning av vær og temperatur

Som vi ser på dataene vist i seksjon 2.11 figur 12 og 13, er det klart at det er ønskelig å bruke SF 7 i de tilfeller det er mulig. Dette gir mindre korrupsjon og mindre tap av data enn ved bruk av SF 12. Det er også usannsynlig at det blir mer enn 40 grader i Norge, da gjennomsnittstemperaturen i Moelv i den varmeste måneden, juli, var 20.1 grader. I samme måned da var også makstemperaturen på 32.5 grader [64]. Det er også nødvendig å nevne at basestasjonen burde bli stående innendørs, hvor det er lettere å kontrollere temperaturen for å unngå at den blir for høy.

Det kan være viktig å tenke på snø i områder som Sjusjøen, hvor det ofte kan komme store mengder. Av den grunn er det også viktig å vite at dekningen om sommeren kan være bedre enn dekningen om vinteren.

### 5.5 Andre aktører

Hvis andre aktører velger å sette opp sitt eget LoRaWAN nettverk kan dette skape problemer [65]. LoRa er robust mot andre radiosignaler på samme frekvens, men har problemer med andre LoRa signaler. I praksis vil dette si at rekkevidden på basestasjonene ikke vil nå like langt med flere aktører enn uten. En mulig løsning ville være å legge til flere basestasjoner for å øke sjansene og rekkevidden for basestasjonene slik at de lettere kan fange opp signalene de skal motta.



## 5.6 Fysisk sikkerhet

Basestasjonen bør være innendørs selv om den er laget for å tåle utendørs bruk på grunn av sikkerhetsmessige årsaker. Grunnen til dette er fordi hvis man fester basestasjonen utendørs (for eksempel på veggen) kan man bruke en minnepenn og hente ut sensitiv informasjon fra basestasjonen. Det er derfor anbefalt å ha basestasjonen innendørs i et låst bygg og ha en lenger ledning til antennen som festes på masten utendørs. Det er verdt å merke at dette skaper et større tap av signalstyrke på grunn av lenger antennekabel.

## 5.7 Potensielle angrep

### Jamming angrep

Som nevnt tidligere i seksjon 5.5 kan andre LoRaWAN nettverk skape problemer for hverandre. En kriminell aktør kan utnytte dette ved å jamme signalene fra endeenheten til basestasjonens antenne. Den mest økonomiske måten å jamme et LoRaWAN nettverk på er å bruke en Arduino mikrocomputer med en LoRa radio modul [17]. Hvis noen prøver å jamme et LoRaWAN signal på en spesifikk frekvens kan man unngå dette ved å bytte til en annen frekvens, men man kan ikke bytte frekvenser utenfor de 8 frekvensene basestasjonen har. Som tidligere nevnt i seksjon 2.9 bruker LoRa frekvenshopping for å unngå jamming. Det gjør det enda vanskeligere for en kriminell aktør å jamme LoRa nettverket.

### Replay angrep

Dette angrepet går ut på at en kriminell aktør fanger opp LoRaWAN pakker fra et nettverk og deretter sender pakkene på nytt senere [17]. For å gjøre dette må den kriminelle aktøren allerede vite frekvensene enhetene i nettverket bruker. Angrepet brukes til å gjøre et Denial of Service (DoS) angrep. Et replay angrep kan bli vanskelig å få til i praksis siden hver LoRaWAN pakke har en frame counter (seksjon 2.7). Hvis man har satt opp et ordentlig system kan man velge å ignorere de ondsinnede pakkene som har en utdatert frame counter. Siden LoRaWAN har dynamiske sesjonsnøkler og en MIC (seksjon 2.7) blir det vanskelig for en kriminell aktør å endre innholdet i pakkene, som for eksempel å endre på frame counter eller endre på sensitiv informasjon.

### Wormhole angrep

Et wormhole angrep er kun et litt mer avansert replay angrep med jamming som gir denial of service. Angrepet går ut på å ta pakkene som går fra endeenhetene til basestasjonen, unngå alarmmeldingene ved å jamme dem, og sende de til en annen basestasjon. Siden det ikke er noe tidsstemplett informasjon i LoRaWAN pakkene kan dette angrepet være vanskelig å oppdage, men også vanskelig å utføre i praksis på grunn av dynamiske sesjonsnøkler [17].

## 5.8 Risikovurdering

Gjennom prosjektet har vi funnet følgende verdier, trusselaktører og sårbarheter som til sammen gir oss ulike risikoer vi mener det er verdt å ta hensyn til. Vi har også vurdert ulike sikkerhetskontroller som kan redusere sannsynligheten og/eller redusere konsekvensene for de nevnte risikoene.

### Verdivurdering

Under kommer de verdiene vi mener trusselaktørene mest sannsynlig er ute etter

Verdi	Begrunnelse
Vanndata	Vanndata er en av de viktigste dataene som blir håndtert i systemet. Hvis pakken som kommer inn viser feil vanndata eller vanndataene blir utilgjengelige for kommunen, kan det få store økonomiske konsekvenser.
Tilgjengelighet av systemet	Kommunen er avhengig av at systemet er oppe og at brukeren deres ikke er kompromittert for å ha tilgang til systemet og dermed ha oversikt over vannet som blir brukt.
Enhetsinfo	Informasjon om en endeenhet som batteritid og lokasjon kan utnyttes av organiserte kriminelle.

### Trusselbilde

Under kommer de aktørene vi mener er de mest relevante trusselaktørene.

Trusselaktør	Beskrivelse
Aktører med destruktivt motiv	En aktør med destruktivt motiv kan få tilgang til systemet og kan for eksempel fjerne alle endeenheter og endre navn på basestasjonene.
Aktør med økonomisk motiv	En aktør kan komme seg inn i IoT Hub og hindre kommunen i å bruke det. For så å kreve løspenger for at kommunen skal få tilbake tilgang til systemet.
Organiserte kriminelle grupper	Hvis en gruppe får tilgang til enhetsinfo kan de få vite batteritiden og lokasjonen på en endeenhet. De kan så dra til huset hvor de utgir seg som kommuneansatte og later som de skal bytte enheten, istedet raner de huset.
Kriminell aktør	En aktør som er ute etter informasjon hentet ut på en ulovlig måte. Denne informasjonen brukes deretter til egen gevinst.
Systemsvikt	LoRa endeenhetene kan sende en <i>shutdown pakke</i> . Da kan det være nødvendig å restarte endeenheten med en magnet.
Jammer	En kriminell aktør som er ute etter å hindre at trafikken når frem i nettverket.

## Sårbarhetsvurdering

Under kommer de sårbarhetene vi mener trusselaktørene kan benytte seg av for å nå deres respektive mål. Alvorligheten er rangert på skalaen *Veldig lav, Lav, Middels, Høy* og *Veldig høy*.

Sårbarhet	Begrunnelse	Alvorlighet
Ikke reserverte frekvensbånd	Siden LoRa opererer på frekvensbånd som er tillat for alle er det en risiko for at signalet fra LoRa endeenhetene ikke blir mottatt på grunn av <u>interferens</u>	Lav - Middels
Svake passord	Svake passord gjør det lettere for en kriminell aktør å komme seg inn i IoT Hub og dermed få <u>tilgang til endeenheter og basestasjoner</u> .	Middels - Høy
Upålitelig endeenhet	I noen tilfeller vil endeenheten som står koblet til vannmåleren trenge å bli restartet med en magnet. Dette kan fort kreve mange arbeidstimer hvis en kommunal ansatt må dra helt til <u>husstanden</u>	Lav - Middels
Menneskelige feil	Uaktsomhet kan føre til at en bruker av systemet gjør feil som fører til skade. Dette kan for eksempel inkludere å bli lurt av phishing eller social engineering.	Lav - Høy

## Sikkerhetskontroller

Under er de sikkerhetskontrollene som kan være med på å minske sannsynlighet og/eller konsekvens til risikoene presentert nedenfor i seksjon 5.8. Effekten er rangert på skalaen *Veldig lav, Lav, Middels, Høy og Veldig høy*.

Kontroll	Beskrivelse	Effekt
Tuklingsjekk	I LoRa modulasjonen er det en sikkerhetsmekanisme som heter MIC som brukes til å forhindre forfalskning og for å autentisere endeenheten. Denne står det mer om i seksjon 2.7.	Middels - Høy
Oversikt over base-stasjonene	Ved å ha en liste med oversikt over hvilken base-stasjon som har hvilken EUI-verdi vil en navneendring på basestasjonene i IoT Hub ikke ha noen innvirkning bortsett fra litt jobb.	Middels
Legge med en magnet	Hvis enhver husstand har en magnet så vil de kunne restarte sin egen endeenhet istedet for at en ansatt må komme å gjøre det.	Middels
To-faktor autentisering	Ved å legge til to-faktor autentisering minimaliseres risikoen for at en kriminell aktør får tilgang til systemet betraktelig. To-faktor bør kobles opp mot telefonnummer.	Høy
Logg ut etter bruk	Ved å logge ut av systemet etter bruk vil det minimere risikoen for at noen får tilgang til brukeren.	Middels
Lås enheten når rommet forlates	Hvis enheten er låst blir det vanskeligere for utilsiktede å få tilgang til systemet.	Middels
Gode passordrutiner	Ha lange og gode passord, uten at de er lagret fysisk og bytt passord minst en gang i året. Dermed blir det vanskeligere for andre å få tilgang til din konto. I tillegg bør det ikke brukes samme passord på forskjellige kontoer.	Middels
Backup	Ved å ta regelmessig backup av systemet vil dataene lett kunne gjenopprettes ved korrupsjon eller destruksjon.	Middels - Høy
Ekstra utstyr	Ved å ha ekstra utstyr liggende kan nedetid minimaliseres hvis det skulle skje noe med det utplasserte utstyret.	Lav - Middels
Principle of least privilege	Brukere av systemet får kun tilgang til de funksjonene og den informasjonen som er nødvendig for at de skal få utført arbeidet sitt. Dermed kan konsekvensen av en stjålet bruker bli redusert.	Middels
Opplæring	Brukere av systemet bør få en opplæring i de mest brukte angrepsmetodene slik at de lettere kan gjenkjenne et angrep som for eksempel en "phishing" email.	Middels
Deteksjon	Ved å ha et script som detekterer om det plutselig er mange pakker som mangler kan det gjøres tiltak som å bytte frekvens for å minske trusselen fra jamming.	Lav/Middels

## Identifiserte risikoer

Med utgangspunkt i informasjonen oppgitt og vurdert tidligere i seksjon 5.8 har vi kommet frem til disse risiko-scenarioene vi mener trenger oppmerksomhet:

1. En kriminell aktør endrer innholdet i en pakke slik at enten kommunen eller husstanden går på en økonomisk smell på grunn av feil fakturering.
2. En kriminell aktør endrer innholdet i en pakke og får det til å se ut som en lekkasje, noe som fører til at lekkasjeteamet til kommunen rykker ut unødvendig.
3. En LoRa endeenheter slutter å sende pakker og må restartes med en magnet.
4. Svake passord gir en aktør med destruktivt motiv en lett vei inn i IoT Hub der aktøren kan slette alle endeenheter fra systemet og endre navnet på alle basestasjoner.
5. Svake passord gir en aktør med økonomisk motiv en lett vei inn i IoT Hub der aktøren kan endre både email og passordet og kan dermed holde systemet som "gissel" mot løspenger.
6. Vanndata når ikke frem på grunn av interferens på vegen til basestasjonen, kommunen får dermed ikke mottatt dataene fra denne husstanden.
7. En organisert kriminell gruppe får tilgang til systemet og ser hvilke endeenheter som snart skal byttes og ringer husstandene disse enhetene tilhører og utgir seg for å være kommunen for å få tilgang til husstanden.
8. En kriminell aktør får tilgang til alle lokasjonene til basestasjonene og utfører hærverk på de (klipper antennekabel osv.).
9. Kriminell aktør sender en phishing email og utnytter menneskelige feil for å få tilgang til systemet og informasjon som kan brukes til egen gevinst.
10. En jammer kan overbelaste nettverket med egne LoRaWAN-pakker slik at pakkene fra kommunen sine endeenheter ikke når frem til basestasjonen.

## Risikotiltak

Av risikoene nevnt i kap 5.8 er det spesielt tre risikoer vi mener det er lurt å gjøre tiltak mot. De spesifikke tiltakene som hver risiko trenger er beskrevet i kap 5.8. Vi vil i høyeste grad anbefale at alle disse sikkerhetskontrollene blir implementert, selv om alle ikke spesifikt blir nevnt som et spesifikt tiltak i denne seksjonen.

### En LoRa endeenhet slutter å sende pakker og må restarter med en magnet

**Trusselaktør:** Systemsvikt

**Sårbarhet:** Upålitelig endeenhet

**Verdi:** Vanndata

**Kontekst:** Gjennom testfasen var vi nødt til å resette pulsleren vår to ganger ved hjelp av en magnet. Det er derfor ikke urealistisk å anta at endeenheten som blir montert i husstandene også kan trenge en resett av og til. Etersom Ringsaker kommune er en stor kommune vil det ta lang tid for en ansatt å dra helt til en husstand kun for å holde en magnet inntil endeenheten i fem sekunder.

**Risikovurdering:** Feil i mange endeenheter vil koste kommunen i form av lønn til den ansatte, drivstoff, slitasje på bil og tid som kunne blitt brukt til noe mer produktivt.

#### Før sikkerhetskontroller

**Sannsynlighet:** Lav

**Konsekvens:** Lav

**Risiko:** Lav

#### Etter sikkerhetskontroller

**Sannsynlighet:** Lav

**Konsekvens:** Veldig lav

**Risiko:** Veldig lav

**Spesifikke tiltak:** Legge med en magnet

**Restrisiko:** Eier av husstanden kan fortsatt miste magneten eller andre feil med endeenheten kan oppstå slik at kommunen er nødt til å sende en ansatt til husstanden.

## Jamming av nettverket

**Trusselaktør:** Jammer

**Sårbarhet:** Ikke reserverte frekvensbånd

**Verdi:** Vanndata

**Kontekst:** LoRaWAN opererer på frekvenser som det ikke er lov å reservere. Det vil si at alle har lov til å sende på disse frekvensene. LoRa er robust mot interferens fra andre kilder, men sliter med interferens fra andre LoRa applikasjoner. Det vil derfor være mulig for en person å jamme ned frekvensene med egne LoRa-pakker slik at pakkene fra kommunen sine enheter ikke når frem til basestasjonen [17].

**Risikovurdering:** Hvis en aktør lykkes med å jamme ned nettverket vil kommunen ikke ha tilgang til oppdaterte vanndata og mulige lekkasjer kan gå uoppdaget.

### Før sikkerhetskontroller

**Sannsynlighet:** Veldig Lav

**Konsekvens:** Middels

**Risiko:** Lav

### Etter sikkerhetskontroller

**Sannsynlighet:** Veldig lav

**Konsekvens:** Lav/Middels

**Risiko:** Veldig Lav/Lav

**Spesifikke tiltak:** Deteksjon

**Restrisiko:** Jammingen kan fortsette på den nye frekvensen, men kommunen vil i det minste få en oppdatering på vanndatene sine.

## Phishing

**Trusselaktør:** Kriminell aktør

**Sårbarhet:** Menneskelige feil

**Verdi:** Vanndata, tilgjengelighet av systemet

**Kontekst:** I dagens IT-verden er ”phishing” den mest kosteffektive måten å få tilgang til et system på. Manglende IT-kompetanse kan føre til at en bruker med store rettigheter i IoT Hub kan gå på en ”phishing” email fra en kriminell aktør og dermed gi en kriminell aktør full tilgang til systemet.

**Risikovurdering:** Dersom den kriminelle aktøren får tilgang til systemet kan aktøren holde systemet som gissel, slette alle endeenhetene og endre navn på basestasjonene, eller selge informasjonen.

### Før sikkerhetskontroller

**Sannsynlighet:** Lav

**Konsekvens:** Middels/Høy

**Risiko:** Middels

### Etter sikkerhetskontroller

**Sannsynlighet:** Lav

**Konsekvens:** Lav/Middels

**Risiko:** Lav/Middels

**Spesifikke tiltak:** To-faktor autentisering, Backup, Opplæring, Principle of least privilege

**Restrisiko:** Det er fortsatt mulig å få tilgang, men sannsynligheten er mindre og konsekvensen kan være redusert.



## 5.9 Driftsmuligheter

En server er en datamaskin som er dedikert til å tilby en eller flere tjenester til andre datamaskiner over et nettverk [66]. Det er mye å vurdere når man skal bestemme seg for hvilken server-tjeneste som skal benyttes. Skal en egen server kjøpes og driftes selv, eller skal det leies en server fra et selskap som spesialisere seg på dette. Det er både fordeler og ulemper med begge alternativene, og det er viktig å være klar over hva de forskjellige alternativene innebærer.

### Kjøp av server

Ved kjøp av egen dedikert server får kommunen kjøpe akkurat det utstyret som passer til kommunen sitt bruk. Kommunen får selv bestemme alle komponentene som skal kjøpes og hvordan de skal brukes. Kommunen vil også ha full kontroll over hvordan det settes opp og konfigureres, og det kan modifieres nøyaktig slik som ønsket [67].

Maskinvare er dyrt, og det er en investering som gjøres ”up-front”. Det vil også være kostbart å vedlikeholde utstyret, noe som kan være både komplisert og tidskrevende. Det kan også være nødvendig å sette opp et server-rom, hvor alle servere blir stående å kjøre. Et server-rom kan ta mye plass, i tillegg til at kommunen må investere i et system for avkjøling og temperaturmonitorering. Adgangssikkerhet er også viktig å kontrollere, så utstyret kun opereres av godkjent personale. Det er også nødvendig å beskytte serveren mot brann, strømbrydd og andre uventede situasjoner [67, 68].

Etterhvert som serveren blir brukt, må kommunen vurdere å oppgradere både utdatert maskinvare og utdatert programvare. Dette er også kostbart. Videre så kan maskinvaren også bli ødelagt, og da er det viktig å ha ekstra utstyr liggende for å få systemet opp igjen så fort som mulig. Nedetid kan ha katastrofale konsekvenser, så dette må unngås [67, 69].

Ved kjøp av egen server er det også viktig med gode backup rutiner. Om noe skulle skje med serveren og data går tapt, er det viktig å ha en backup klar for å få serveren opp å kjøre igjen så fort som mulig. Det er også nødvendig å ha gode rutiner for å unngå å miste data, da konsekvensene av dette er store. Et eksempel på en rutine er å ta inkrementell backup en gang per dag, og full backup i helgen.

Det kan også være nødvendig å ha en systemadministrator. Administratoren vil blant annet sørge for å fikse alle feil som oppstår, og å oppgradere utdatert maskinvare og programvare. Ved kjøp av egen server blir det enten eier eller systemadministratoren som har ansvaret for påliteligheten til serveren. En mindre bedrift med egen server kan derfor ha lengre responstid og færre ressurser tilgjengelig. Det betyr at det vil ta lengre tid å fikse eventuelle problemer som dukker opp.

## Leie av server

En annen mulighet er å leie en server eller å benytte seg av en skytjeneste. Da er det viktig å vite om de tjenestene som blir tilbudt av de forskjellige leverandørene. Det er: Software as a Service (SaaS), Platform as a Service (PaaS), og Infrastructure as a Service (IaaS). Hovedforskjellen mellom tjenestene er hvor mye leverandøren skal administrere, og hvor mye kommunen skal administrere. Det er også viktig å ha kunnskap om offentlige og private skyer, og hva forskjellen mellom de er. Ved leie av server vil en av fordelene være at leverandør tar seg av backup.

## Software as a Service

Software as a Service (SaaS) benytter seg av internett for å levere tjenester og med SaaS er det bruken av et program som leies. Denne tjenesten er som oftest tilgjengelig gjennom en nettleser og krever ikke at det lastes ned noen programmer på brukeren sin side. Når SaaS benyttes vil leverandøren ta seg av maskinvare, programvare og alle tekniske problemer. Brukerne trenger bare tenke på å logge seg inn. Det er også automatisk skalering [70, 71].

## Platform as a Service

Platform as a Service (PaaS) er et utviklings- og distribusjonsmiljø som tilbyr et rammeverk for utviklere som kan bygges på for å lage applikasjoner. Forskjellen mellom SaaS og PaaS er at brukeren vil få fullt ansvar for administrasjonen over de applikasjonene som benyttes. Med PaaS får brukeren kun ansvar for de applikasjonene brukeren jobber med. Leverandøren vil ta seg av maskinvare, programvare og vedlikehold. PaaS gjør utviklingen og levering av applikasjoner enkelt og effektivt. PaaS er bygd på virtuell teknologi som gjør at det er enkelt å skalere etter bruk [71, 72].

## Infrastructure as a Service

Infrastructure as a Service (IaaS) er rett og slett leie av en infrastruktur. Det vil si at servere, nettverket, operativsystemet og lagring er inkludert i det brukeren vil ha ansvar for å administrere. Med IaaS vil brukeren ha full tilgang og kontroll over hele infrastrukturen. Det blir likt som å ha et eget datasenter, men hvor vedlikehold av maskinvare blir tatt hånd om av leverandøren. Med IaaS er brukeren selv ansvarlig for å administrere applikasjoner, operativsystemer, kjøretid, mellomvare og all data på serveren. Leverandøren vil administrere maskinvaren. IaaS er den mest fleksible løsningen, og tillater enkel og automatisert utplassering av servere og deres prosesskraft. Maskinvare leies etter bruk og brukeren har full kontroll over egen infrastruktur [71, 73].

## Offentlig sky

Med en offentlig sky vil maskinvare, lagring og selve nettverksenheten deles med andre brukere av samme tjeneste. Kommunen vil uansett kun ha tilgang til sine egne data, da hver brukers data ligger isolert fra andre brukers data. Alle operasjoner som kjøres av alle brukere av tjenesten, blir også utført på samme maskinvare. Med en offentlig sky betaler brukeren kun for det som brukes, og brukeren trenger ikke betale for maskinvare eller programvare. All kostnad relatert til vedlikehold er også leverandøren sitt ansvar. Det er ingen grense på skalering, og det er raskt og enkelt å skalere både opp og ned. Det benyttes også flere datasentre, så det er høy pålitelighet og mange tiltak mot feil [74, 75, 76].

Med en offentlig sky deles maskinvare mellom flere brukere. Sikkerhet er derfor et stort spørsmål når det kommer til offentlige skyer. Sikkerheten blir tatt alvorlig, og det skal ikke være mulig å se andre brukers sine data, da disse ligger isolerte for seg selv. Det er også vanlig at leverandører har ansatte som spesialiserer seg på denne typen sikkerhet og som overvåker systemet etter eventuelle avvik [77].

## Privat sky

Hvis kommunen leier en privat sky, får kommunen en arkitektur som er dedikert til en bruker, og vil bli eksklusivt brukt av en organisasjon. Med en privat sky kan kommunen velge om den skal være fysisk lokalisert hos kommunen, eller om den skal være plassert i leverandørens datasenter [77].

En privat sky, i motsetning til en offentlig, er dedikert til en enkelt bestemt bruker. Det vil si at den private skyen er dedikert til å kun jobbe med oppgaver og data relatert til den enkelte brukeren [78]. Med en privat sky får kommunen full tilgang og kontroll over alt som skjer i skyen. En privat sky gjør det også lettere å tilpasse tjenester spesifikt mot organisasjonens behov. Dette fører til en optimal bruk av ressursene [75].

Om den private skyen er plassert i egne lokaler, er det veldig likt som som å kjøpe en egen dedikert server. Forskjellen blir da at den private skyen kommunen leier blir tatt hånd om av leverandøren. Dette vil si at leverandøren tar seg av vedlikehold og administrasjon over maskinvaren, men kommunen vil selv få ansvar for alt som kjører på serveren. Ved kjøp av egen server, er bruker selv ansvarlig for vedlikehold av serveren. Ved leie blir også stabiliteten høyere. Dette er fordi det er dedikerte ansatte som jobber for å opprettholde stabiliteten [74].

Den private skyen har bedre sikkerhet og deler ikke ressurser med andre brukere. Ressursene i den private skyen blir kun brukt av den som leier. Dette gjør det mulig å ta i bruk flere sikkerhetsfunksjoner. Den private skyen kan blant annet legges bak en strengere konfigurert brannmur, som vil forhindre flere angrep. Siden ressursene bare blir brukt av eier er det umulig at det lekkes informasjon til andre brukere. Det forhindrer også andre brukere på samme maskinvare fra å lete etter informasjonen. Ressursene blir også rettet spesifikt mot det organisasjonen vil bruke ressurser på, og sikkerheten kan da optimaliseres rundt dette [75, 74].

## Eierskap av data

Hvis persondata blir håndtert på serveren så er det viktig å opptre i samsvar med personvernprinsippene [79]. I skyen er det delt ansvar, det vil si at både bruker og leverandør har ansvar for sikkerheten [80]. Det er derfor viktig å sette opp en databehandleravtale. Dette er en avtale mellom databehandler og behandlingsansvarlig som sikrer at personopplysningene blir behandlet etter et bestemt regelverk [81]. Når databehandleravtalen blir skrevet, er det viktig å ha klare retningslinjer med konkret og bestemt ansvarsfordeling. Dette er for å unngå konflikt om data kommer på avveie eller ved et eventuelt avtalebrudd.

## 5.10 Applikasjoner

LoRaWAN har mange ulike applikasjoner i tillegg til vannmåling og flere av disse kan være aktuelle å implementere i fremtiden. Vi kan dele de inn i følgende kategorier [82]:

1. Smartby: LoRaWAN vil være en uunngåelig teknologi i fremtidige byapplikasjoner som:
  - Smart belysning.
  - Luftkvalitet og måling av forurensning.
  - Smart parkering og kjøretøyadministrasjon.
  - Fasiliteter og infrastrukturforvaltning som vann, strøm og gass.
  - Brannvarsling og styring.
  - Avfallshåndtering.
2. Industrielle applikasjoner: LoRaWAN er egnet for et bredt spekter av industrielle applikasjoner som:
  - Stråling og lekkasjedeteksjon.
  - Smart sensorteknologi.
  - Sporing av gjenstander.
  - Frakt og transport.
3. Smarte hjemmeapplikasjoner: I fremtiden vil tusenvis av smarte enheter og husholdningsapparater være koblet til internett og da kan LoRa hjelpe med:
  - Forbedret hjemmesikkerhet.
  - Hjemmautomatisering for IoT muliggjør smarte apparater.
4. Helse: LoRa er en av de beste løsningene for å koble sammen helserelaterte enheter som:
  - Helseovervåkingsenheter og kontroll over disse.
  - Bærbar teknologi.
5. Landbruk: LoRa-teknologi kan brukes i ulike landbruksrelaterte applikasjoner som:
  - Smart oppdrett og dyreforvaltning.
  - Temperatur- og fuktighetsovervåkning.
  - Vannnivå sensorer.

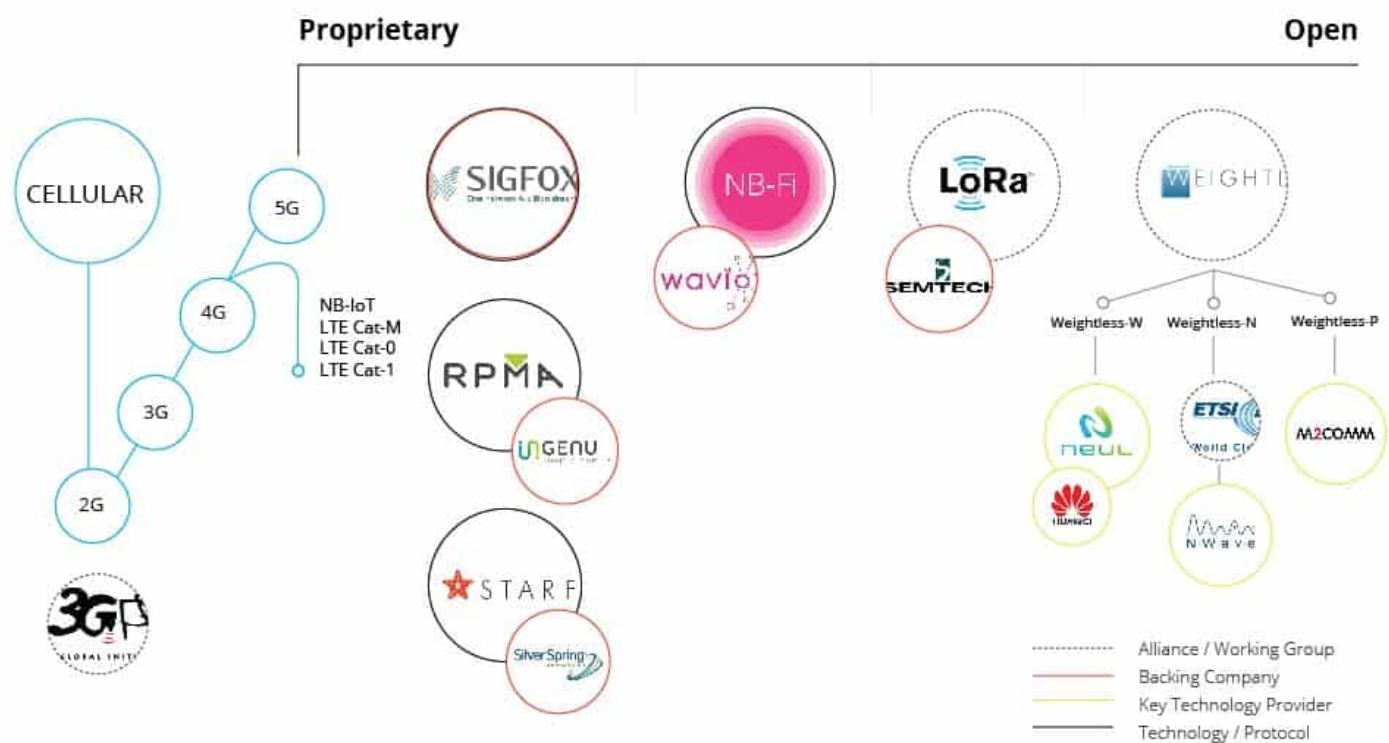
Av kategoriene som er nevnt over er det spesielt smartby kategorien som kan være mest aktuell for kommunen med unntak av lekasjedeteksjon som ligger i den industrielle kategorien. De mest relevante utvidelsene for kommunen blir lekasjedeteksjon, brannvarsling og eventuelt avfallshåndtering og måling av luftkvalitet. Men siden LoRa har så mange muligheter er det ingenting som hindrer kommunen i å utvide nettverket sitt for å ta i bruk underpunkter fra de andre kategoriene etter eget ønske.

## 5.11 Low Power Wide Area Network alternativer

LoRaWAN er ikke det eneste Low Power Wide Area Network (LPWAN) alternativet der ute. Det er andre alternativer som Sigfox, NB-IoT, Dash7, etc. På figur 35 er det vist en oversikt over alternativer. For å få en bedre forståelse over fordeler og ulemper med LoRaWAN, vil rapporten ta for seg noen andre teknologier som kunne vært aktuelle å vurdere for Ringsaker kommune.

# LPWAN IoT Market

(Low-Power Wide Area Network)



Postscapes CC Attribution License: Updated 8/2016

Figur 35: LPWAN teknologier [15].

For å kunne vurdere de forskjellige alternativene må vi først få en oversikt over hva som er viktig å ta hensyn til. EDN Network har laget en omfattende rapport som gir mye av informasjonen vi trenger for dette [18]. Enkeltvis er det overkommelige krav, men når man krever flere av de så blir det vanskelig å opprettholde. De mest essensielle egenskapene for LPWAN teknologier er kostnadseffektiv, energiforbruk, rekkevidde og skalerbarhet [83].

### **Kostnadseffektivitet**

De fleste IoT-applikasjoner vil trenge flere hundre- eller tusenvis av endeenheter. Over tid vil dette også bare øke etter at applikasjonsområdene utvider seg og de må bytte enheter som går tom for batteri. Med et så stort volum så vil enhetsprisene være viktig for å kunne ta et lønnsomt valg [18]. For Ringsaker kommune vil nok kostnad være en stor variabel. De vil sannsynligvis måtte trenge tusenvis av endeenheter og sannsynligvis 20 til 40 basestasjoner. Med slike volumer vil kostnadene øke fort.

### **Energiforbruk**

Få av applikasjonsområdene vil ha endeenheter som har tilgang på konstant strøm, de fleste vil kreve batteri og noen må ha tilgang på alternativ strømgenerering som solcellepaneler. Endeenheter med batterier vil også måtte byttes ut, noe som vil kreve mye arbeid med et stort antall enheter. Derfor vil høyere batterilevetid være lønnsomt og kreve mindre arbeid [18]. Ringsaker kommune teknisk drift vil gjerne at en endeenhet skal vare 10 til 15 år før den må byttes. Ifølge det tekniske databladet til den analoge pulsleseren vi har brukt, så er gjennomsnittlig batteritid rundt 8 år [14]. Tiden funnet her har ingen spesifiserte variabler, så det er vanskelig å si hvor lenge batteriet vil vare for Ringsaker kommune sin applikasjon. Det er vanskelig å vurdere hvor lenge batteriet til endeenhetene vil vare uten å teste, men det er mulig å øke størrelsen på batteripakken som vil løse problemet [84].

### **Rekkevidde**

For at en endeenhet skal kunne sende informasjon til en applikasjonsserver, må informasjonen sendes via internett. Endeenhetene må derfor kobles til et aksesspunkt (AP) av en eller annen type som kobles til internett, i dette tilfellet en basestasjon eller lignende. Derfor må et IoT-design vurdere både kostnaden for basestasjon og for infrastrukturen som trengs for å støtte applikasjonen. Nettverkets driftsområde, eller avstand fra endeenhet til basestasjonen, kan ha en betydelig innvirkning på infrastrukturkostnaden. Området vil diktere plassering og dermed antall basestasjoner som kreves for å dekke kravet til applikasjonen. Om teknologien da kan håndtere lengre rekkevidde uten at det går utover energiforbruket, vil det gjøre at infrastrukturen koster mindre [18]. Ringsaker kommune er utfordrende på dette aspektet ettersom det er stor variasjon i terrenget, noe som vil føre til at det trengs flere basestasjoner for å dekke mindre områder.

### Skalerbarhet

En installasjon med en type applikasjon, kan fungere godt ved bruk av et trådløst IoT-nettverk. Nettverket kan også ha god kapasitet til å håndtere ethvert forventet bruk. Men over tid er det rimelig å forvente at mange forskjellige installasjoner og applikasjoner vil bli gjort i området. Hvis disse forskjellige installasjonene deler basestasjoner, kan antallet enheter som en basestasjon støtter bli en begrensende faktor. Dette er da noe som vil komme til å kreve at infrastrukturen utbygges. Selv om endeenhetene ikke deler basestasjoner, men deler frekvensspekteret, kan en økning i installasjoner forstyrre det tilgjengelige operasjonsområdet for applikasjonen gjennom økte støynivåer. I verste fall kan den tilgjengelige kanalkapasiteten bli fylt ut, og dermed forhindre at nye installasjoner fungerer i det hele tatt [18]. Dette er noe som vil være en fordel for kommunen i fremtiden. Muligheten for å legge inn andre typer applikasjoner rett inn i den eksisterende infrastrukturen vil gjøre det lett å utvide informasjonen som kan samles inn.

Tabell 7: Sammenligning av Low Power WAN alternativer [18].

Comparison of Low-Power WAN Alternatives

Name of Standard	Weightless			SigFox	LoRaWAN	LTE-Cat M	IEEE P802.11ah (low power WiFi)	Dash7 Alliance Protocol 1.0	Ingenu RPMA	nWave
	-W	-N	-P							
Frequency Band	TV whitespace (400-800 MHz)	Sub-GHz ISM	Sub-GHz ISM	868 MHz/902 MHz ISM	433/868/780/915 MHz ISM	Cellular	License-exempt bands below 1 GHz, excluding the TV White Spaces	433, 868, 915 MHz ISM/SRD	2.4 GHz ISM	Sub-GHz ISM
Channel Width	5MHz	Ultra narrow band (200Hz)	12.5 kHz	Ultra narrow band	EU: 8x125kHz, US 64x125kHz/8x125kHz, Modulation: Chirp Spread Spectrum	1.4MHz	1/2/4/8/16 MHz	25 KHz or 200 KHz	1 MHz (40 channels available)	Ultra narrow band
Range	5km (urban)	3km (urban)	2km (urban)	30-50km (rural), 3-10km (urban), 1000km LoS	2-5k (urban), 15k (rural)	2.5- 5km	Up to 1Km (outdoor)	0 – 5 km	>500 km LoS	10km (urban), 20-30km (rural)
End Node Transmit Power	17 dBm	17 dBm	17 dBm	10µW to 100 mW	EU:<+14dBm, US:<+27dBm	100 mW	Dependent on Regional Regulations (from 1 mW to 1 W)	Depending on FCC/ETSI regulations	to 20 dBm	25-100 mW
Packet Size	10 byte min.	Up to 20 bytes	10 byte min.	12 bytes	Defined by User	~100 ~1000 bytes typical	Up to 7,991 Bytes (w/o Aggregation), up to 65,535 Bytes (with Aggregation)	256 bytes max / packet	Flexible (6 bytes to 10 kbytes)	12 byte header, 2-20 byte payload
Uplink Data Rate	1 kbps to 10 Mbps	100bps	200 bps to 100 kbps	100 bps to 140 messages/day	EU: 300 bps to 50 kbps, US:900-100kbps	~200kbps	150 Kbps ~ 346.666 Mbps	9.6 kb/s, 55.55 kbps or 166.667 kb/s	AP aggregates to 624 kbps per Sector (Assumes 8 channel Access Point)	100 bps
Downlink Data Rate	1 kbps to 10 Mbps	No downlink	200 bps to 100 kbps	Max 4 messages of 8 bytes/day	EU: 300 bps to 50 kbps, US:900-100kbps	~200kbps	150 Kbps ~ 346.666 Mbps	9.6 kb/s, 55.55 kbps or 166.667 kb/s	AP aggregates to 156 kbps per Sector (Assumes 8 channel Access Point)	--
Devices per Access Point	Unlimited	Unlimited	Unlimited	1M	Uplink:>1M, Downlink:<100k	20k+	8191	NA (connectionless communication)	Up to 384,000 per sector	1M
Topology	Star	Star	Star	Star	Star on Star	Star	Star, Tree	Node-to-node, Star, Tree	Typically Star. Tree supported with an RPMA extender	Star
End node roaming allowed	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Allowed by other IEEE 802.11 amendments (e.g., IEEE 802.11r)	Yes	Yes	Yes
Governing Body	<a href="#">Weightless SIG</a>			<a href="#">Sigfox</a>	<a href="#">LoRa Alliance</a>	<a href="#">3GPP</a>	IEEE 802.11 working group	<a href="#">Dash7 Alliance</a>	<a href="#">Ingenu (formerly OnRamp)</a>	<a href="#">Weightless SIG</a>
Status	Limited deployment awaiting spectrum availability	Deployment beginning	Standard in development. Scheduled release 4Q 2015	In deployment	Spec released June 2015, in deployment	Release 13 expected 2016	Targeting 2016 release	Released May 2015	In Deployment	In Deployment

Source: EDN.com - Copyright 2015 UBM Americas

Rev. 9/15/15



Tabell 7 gir en oversikt over de tekniske egenskapene til forskjellige teknologier. Ut ifra denne kan man fort fjerne flere av dem fra vurdering, fordi de ikke ville dekke de nødvendige områdene.

Før vi går gjennom vurdering er det noen flere egenskaper som bør nevnes. Disse er ikke nødvendigvis like viktige som egenskapene nevnt tidligere, men det må fortsatt bli tatt med i vurderingen.

### **Roaming**

Mange applikasjoner krever at endeenhetene ikke er låst til en bestemt posisjon og at de må kunne bevege seg på tvers av sektorer og basestasjoner. Mange Internet of Things Wide Area Network (IoT WAN) har mulighet for bevegelse av endeenheter fra en sektor til en annen, men det kan ofte variere i hvor raskt nettverket tilpasser seg de endrede forholdene [18]. Dette er ikke en funksjon som er nødvendig for kommunen i første omgang. Det kan være applikasjoner i fremtiden som kan ta bruk av dette, men ikke noe som er en umiddelbar fordel.

### **Penetrering**

Noen applikasjoner vil kreve at endeenheten skal være plassert inne i en bygning eller under bakken. I disse applikasjonene kan rekkevidden til endeenhetene reduseres betydelig. Slik absorpsjon er frekvensavhengig. Lavere frekvenser gir generelt bedre penetrasjon enn høyere frekvenser [18]. Dette er noe som er aktuelt for kommunen allerede nå, siden det er mange endeenheter som må plasseres i kjellere eller bak vegger, dette kan påvirke signalstyrken kraftig.

### **Håndtering av korte meldinger**

Noen IoT-applikasjoner må sende store mengder data ofte, mens andre bare trenger å sende korte meldinger en gang iblant. Det trådløse nettverkets evne til å håndtere korte meldinger effektivt, kan ha en gunstig effekt på nettets skalerbarhet og endeenhetens energiforbruk. Slike handlinger tar også for seg tilkoblingsoppsett for nettverket, bekreftelse av pakker eller lignende [18]. Dette er nok ikke noe som vil spille stor rolle for kommunens oppsett, men god effektivitet vil alltid være positivt.

### **Toveiskommunikasjon**

Enkelte applikasjoner trenger bare at endeenheter rapporterer data regelmessig og vil ikke trenge å endre hvordan endeenhetene skal operere. I disse tilfellene er en enveistilkobling tilstrekkelig. En toveistilkobling tillater funksjoner som handshaking for å forbedre påliteligheten til dataoverføringer og toveisautentisering for større sikkerhet. Tilstrekkelig båndbredde kan også tillate eksterne programvareoppdateringer og ekstern styring av endeenheter [18]. Dette vil være nødvendig for at kommunen skal kunne ha tilstrekkelig kontroll over hvor ofte de vil ha data om vannforbruk. Dette må justeres over tid til de har et godt kompromiss så batteriet ikke går tomt for fort og de får nok data. Det å kunne sende programvareoppdateringer er også nødvendig for å rette opp feil i programvaren til enhetene, som sannsynligvis vil dukke opp i en nyere teknologi.

### Sikker kommunikasjon

Sensitive data trenger en sikker kommunikasjonsforbindelse mellom endeenhet og basestasjon. Men selv om dataene ikke er sensitive, kan sikkerheten fortsatt være et problem. Uten en sikker kobling er en IoT-applikasjon mer sårbar for angrep som forfalskning, der en kriminell aktør sender falske data i nettverket eller setter opp en falsk basestasjon som kaprer data [18]. Dette er nødvendig for offentlig data og kommunen, selv om dataene ikke ville vært sensitive så skal ingen andre enn de som har krav på det ha mulighet til å se det.

### Avanserte tjenester

Noen IoT-nettverks alternativer kan definere hvilke nivåer i OSI-modellen som skal benyttes. I noen tilfeller kan tjenesteleverandører drive IoT-nettverket. Leverandøren leier så ut tid på nettverket til brukere, som kan bruke nettverket til sine formål og så få tilgang til dataene over en skytjeneste. Andre alternativer definerer bare de nedre lagene i OSI-modellen og har basestasjonen deres tilkoblet Internett eller et privat nettverk, som så sender data til bruker [18]. Ringsaker kommune har tjenesteleverandører som kan ta imot data som bearbejdes og vises på nødvendige sider så de administrative ansatte kan benytte seg av dem. Tjenester i høyere lag av OSI-modellen er muligvis en fordel i fremtiden, men ikke noe som er nødvendig for øyeblikket.

### Utelukking av alternativer

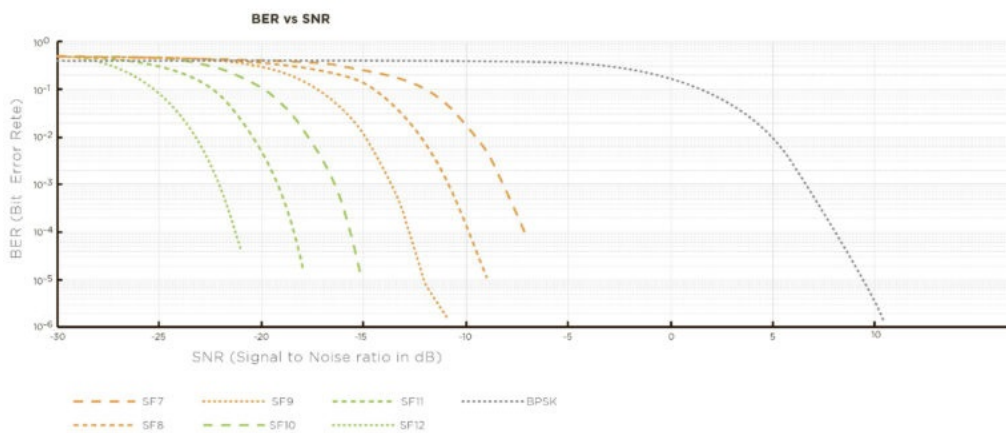
For Ringsaker kommune vil de mest aktuelle punktene fra listen i seksjon 5.11 først og fremst være rekkevidde, energiforbruk, kostnadseffektivitet og skalerbarhet i den rekkfølgen. Bedre rekkevidde og penetreringsevne vil effektivt gi bedre energiforbruk, kostnadseffektivitet og stabilitet. Dette er viktig i krevende terreng. Skalerbarhet er positivt for fremtiden og vil være med i valget av LPWAN teknologi og de fleste LPWAN teknologier har gode muligheter for dette. Etter disse er sikkerhet helt nødvendig og teknologien må være oppdatert mot trusler. Toveiskommunikasjon vil også være nødvendig om fjernavlesningen skal bli så effektivt som mulig.

Rekkevidde er det viktigste aspektet for å begynne å velge hvilke teknologier som kan være relevante. Dette gjør at vi allerede kan utelukke Weightless -N og Weightless -P og IEEE P802.11ah (low power WiFi). Vi tar da for oss noen av de vi ser på som mest relevant for å diskutere dem som alternativer til LoRaWAN.

### Sigfox

Sigfox har mange av de samme styrkene som LoRaWAN med tanke på batteritid, kompleksitet og mobilitet. Fra *Emcu* sin nettside [85] får vi en oversikt over fordeler og ulemper med Sigfox. Sigfox har bedre rekkevidde enn LoRaWAN og dette kan være en fordel for kommunen. Modulasjonen Sigfox bruker er Binary Phase-Shift Keying (BPSK) med "Ultra-narrowband" teknologi [86]. Ultra-narrowband er også bedre enn LoRaWAN til å ignorere støy som er utenfor båndbredden. På grunn av ultra-narrowband teknologien er det veldig liten båndbredde. Om det derimot er støy på samme frekvensbånd, er det meget høy feilrate [16]. Dette ser vi i figur 36.

Figuren viser hvor mange bits som blir feil når det er mye støy. BPSK er Sigfox sin modulasjon og SF7 til SF12 er spredningsfaktorene til LoRaWAN sin modulasjon. Langs X-aksen i figuren vises SNR fra -30 til 10, i de fleste tilfeller må SNR være større enn null for å dekode signalet effektivt. Dette er en stor fordel for LoRaWAN. Y-aksen viser hvor mange bit som blir feil fra  $10^{-6}$  til  $10^0$ . For BPSK med en SNR som er større enn 10 vil antall bit som er feil nærme seg  $10^{-6}$ , noe som er ekstremt lavt. Når SNR er lavere enn 0 vil antall bits som er feil gå mot  $10^0$  som tilsvarer 100% feil. Til sammenlikning kan man se LoRaWAN i samme figur 36. Sigfox er laget for å sende meldinger sjeldent og bruke så lite energi som mulig. Dette resulterer i lang sendetid. Teknologien er ikke åpen, så for å jobbe med den må man enten leie fra Sigfox selskapet eller kjøpe et modem fra en sertifisert forhandler. Det koster også fra 1 euro opp til 14 euro per enhet i året [87], noe som fort kan være kostbart når det blir mange enheter.



Figur 36: Bit Error Rate for LoRaWAN og Sigfox [16].

## Weightless

Weightless er på mange vis lik Sigfox, men det er en åpen teknologi. Den har tre forskjellige versjoner: Weightless -N, Weightless -P og Weightless -W. De forskjellige versjonene har litt forskjellige spesifikasjoner. Fra tabell 7 ser vi de tekniske spesifikasjonene. Weightless -W er litt spesiell ved at den bruker det ulisensierte TV white space (TVWS) båndet, noe som er veldig attraktivt i teorien men er vanskelig å implementere [88]. TVWS er det ubrukte båndet mellom TV-kanaler som ligger rundt 400-800MHz [89]. I Norge har "Norges televisjon AS" konsesjon på 470-790MHz for bruk til kringkasting [90], så problemer med bruk av dette frekvensområdet blir å ikke forstyrre bånd som allerede er i bruk. Batteritiden for Weightless -W er også dårligere enn de andre versjonene. Weightless -N mangler mulighet for nedlasting, noe som gjør det vanskelig å styre hvor ofte en måler skal sende data. Weightless -P ofrer noe rekkevidde men får toveis dataoverføring og muligheter for å overvåke servicekvalitet [88]. Weightless -P kan være et godt alternativ, men rekkevidden burde testes i kommunen. Weightless -W kan også være et alternativ om batteritiden er god nok og om utfordringene med bruk av TVWS båndet har blitt løst. Kostnaden til Weightless ligger på rundt samme nivå som LoRaWAN.

## Narrow Band IoT

Narrow Band IoT (NB-IoT) er en mobil standard utviklet av 3GPP. NB-IoT kan implementeres frittstående eller i båndspektrumet og krever ikke en basestasjon. Dette kan påvirke kostaden [19]. NB-IoT enheter trenger ikke en basestasjon siden de bruker 4G-dekning, enten ved å bruke LTE-spekteret, GSM-spekteret eller "frittstående", som betyr ubrukte frekvenser innenfor LTE-båndet. Når teknologien brukes frittstående må man oftere tenke på rekkevidden enn ellers, fordi mange land har god 4G-dekning som NB-IoT kan bruke. Dette betyr at enheter med NB-IoT brikkesett fungerer bedre for innendørs bruk og tette byområder. NB-IoT bruker også GPS-teknologi for geolokalisering. Både LoRa og NB-IoT standarden ble utviklet for å forbedre sikkerhet, effektivitet og interoperabilitet for IoT-enheter. Hver teknologi har toveiskommunikasjon, og begge er utformet for å kunne skalere godt, fra noen få enheter til millioner av enheter [19]. Tabell 8 gir en oversikt over forskjellene mellom LoRa og NB-IoT.

Tabell 8: Forskjeller mellom LoRa og NB-IoT [19].

LoRa	NB-IoT
Older (2015)	Newer (2017)
Unlicensed spectrum	Licensed frequency bands
Lower cost per device (but gateway needed)	Higher cost per device (but no gateway needed)
Longer battery life	Shorter battery life
High latency / less frequent data transfer	Low latency / more frequent data transfer
7 to 10 mile range	11 to 13 mile range
Better rural/remote performance	Better urban/dense performance
Lower data rates	Higher data rates (10x LoRa's rates)

LoRaWAN vil i de fleste tilfeller være et bedre alternativ for fjernavlesning på grunn av bedre batteritid, bruk av ulisensierte frekvenser, lavere kostnad per endeenhet og fordi høy overføringshastighet ikke er nødvendig. Måledata er en liten mengde bytes. I våre testdata lå payload størrelsen på mellom 7 og 12 bytes [35]. I Ringsaker kommune kan det være vanskelig å dekke flere områder godt med LoRaWAN basestasjoner. I noen tilfeller er det kanskje ingen lokasjoner å plassere en basestasjon som gir ønsket dekning. Om det blir mange slike tilfeller vil NB-IoT kanskje være et bedre alternativ.

### **Batterikapasitet og direkte strøm**

I noen situasjoner kommer endeenheter til å måtte sende på maksimum sendestyrke til enhver tid. I disse tilfellene vil batteriet gå tomt fortere enn ønsket. Det er mulig å få endeenheter med forskjellig batteristørrelse eller enheter som kan kobles på strøm direkte [84]. I flere tilfeller vil det å ha større batterikapasitet gi enhetene den levetiden kommunen ønsker. Det vil også være en god ide å se på muligheten for å bruke strøm direkte til endeenheten i husstander. Det er vanskelig å finne konkret informasjon på batterilevetid når teknologien er såpass ny og batteriet kan vare 10 til 15 år. Derfor, om kommunen ikke er sikre på om batteritiden er tilfredsstillende, er det en mulighet å undersøke om bruk av direkte strøm til endeenhetene i husstander er akseptabelt.

## 6 Konklusjon

Vi har i denne bachelorperioden sett nærmere på LoRaWAN-teknologien for Ringsaker kommune, for å se om LoRaWAN kan brukes til fjernavlesning av vannmålere. Siden teknologien er relativt ny har oppgaven vært teoretisk krevende samtidig som det har vært mye praktisk testing.

### 6.1 Konklusjon

Vi konkluderer med at LoRaWAN har store muligheter til å dekke vann-nettet til Ringsaker kommune, men det vil kreve flere basestasjoner enn det vi fikk testet fra. Vi fikk avdekket store problemområder og uttrykt usikkerheten med tanke på absorpsjon av signaler gjennom vegger. Disse faktorene er de vi er mest usikker på siden vi ikke fikk gjennomført tester inne i husstandene. Vi har også sett at flere av høydebassengene vi testet fra manglet antennestang.

Gjennom testperioden vår hadde vi aldri dårlig vær så vi kan ikke konkludere hvordan ulike værforhold kan påvirke signalene fra endeenhetene. Vi kan derfor ikke gjøre annet enn å vise til hva teorien forteller oss, men med unntak av kraftig nedbør og store mengder snø skal det være minimal påvirkning.

Siden LoRaWAN-teknologien er relativt ny finnes det ingen eksisterende LoRaWAN nettverk i kommunen per dags dato. Flere LoRaWAN nettverk kan senere bli en trussel for hverandre med tanke på interferens. Dermed blir også de ulike angrepene som jamming, replay og wormhole mer relevant. I tillegg vil da risikovurderingen også bli mer aktuell. Her vil det være viktig å være klar over hvem de ulike aktørene er, hvilke sårbarheter de kan utnytte og hvilke tiltak kommunen kan ta i bruk for å motvirke angrepene.

Angående valget mellom kjøp eller leie av server må kommunen vurdere sine driftsmuligheter. Leie av server kan være bedre for sikkerheten og økonomien i det lange løp. Det er lagt frem fordeler ved alle mulighetene når det gjelder leie, så det burde være mulig for kommunen å ta det beste valget for deres behov.

Når det gjelder andre alternativer til LoRaWAN så var det få som skilte seg ut. Alle hadde sine styrker og svakheter. Det blir derfor umulig å konkludere hvilken teknologi som vil være den beste for kommunen uten å teste de først, men LoRaWAN kan virke som det beste alternativet per dags dato. Det alternativet som skilte seg mest ut er NB-IoT. Siden den bruker allerede eksisterende 4G dekning kan det være at det vil være lettere å implementere denne for Ringsaker kommune. Det kan være lurt å teste ut denne teknologien.

## 6.2 Videre arbeid

For videre arbeid anbefaler vi å få en oversikt over hvor god dekning alle de potensielle basestasjonene gir. Etterfulgt av å se på de problemområdene vi fant og gjøre nye tester på om løsningen vi foreslo vil være en god løsning.

Det er også flere høydebasseng hvor det ikke er antennestenger montert på bygningene. Dette bør monteres på alle byggene som skal bli brukt som basestasjon. Disse stengene bør være høye for å kunne gi en best mulig antenneplassering. Da dette generelt fører til bedre dekning.

Hvis en full implementering blir vellykket i Ringsaker kommune er det store muligheter for å utvide funksjonaliteten. Vi anbefaler derfor å se på hvordan disse applikasjonene kan bli implementert i LoRaWAN nettverket. Det er lekkasjedeteksjon, brann og gass som kan være de mest aktuelle. Ved en full implementering bør også alle risikotiltakene gjennomføres.

## Bibliografi

- [1] Robert Lie. Lora/lorawan tutorial 10: Rssi and snr. <https://www.youtube.com/watch?v=RpTw1fGhI68>, 2019. (Besøkt mars 2019).
- [2] Eric B. Lora documentation. <https://buildmedia.readthedocs.org/media/pdf/lora/latest/lora.pdf>, 2018. [Besøkt 8 Mai 2019].
- [3] JORDANDEE. Pulse width modulation. <https://learn.sparkfun.com/tutorials/pulse-width-modulation/duty-cycle>, 2019. Besøkt 15 mai 2019.
- [4] Daniel Balle Kristensen. Lorawan topology. Lagd forfor å forklare Narrowband og spread spectrum.
- [5] Nanotron Technology. Chirp spread spectrum (css). [https://nanotron.com/EN/co\\_techn-css-php/](https://nanotron.com/EN/co_techn-css-php/), 2019. Besøkt 15 Mai 2019.
- [6] Robert Lie. Lora/lorawan tutorial 12: Modulation types and chirp spread spectrum. <https://www.youtube.com/watch?v=lgOeZWZFKiE>, 2019. (Besøkt mai 2019).
- [7] Daniel Balle Kristensen. Lorawan topology. Lagd forfor å forklare ”stjerne-av-stjerne” topologi.
- [8] Techplayon. Lora- (long range) network and protocol architecture with its frame structure. <http://www.techplayon.com/lora-long-range-network-architecture-protocol-architecture-and-frame-formats/>, 2018. (Besøkt april 2019).
- [9] Aloÿs Augustin, Jiazi Yi, Thomas Heide Clausen, and William Townsley. A study of lora: Long range & low power networks for the internet of things. [https://www.researchgate.net/publication/307965130\\_A\\_Study\\_of\\_LoRa\\_Long-Range\\_Low\\_Power\\_Networks\\_for\\_the\\_Internet\\_of\\_Things/references](https://www.researchgate.net/publication/307965130_A_Study_of_LoRa_Long-Range_Low_Power_Networks_for_the_Internet_of_Things/references), 2016. Besøkt April 2019.
- [10] Margaret Rouse. Advanced encryption standard. <https://searchsecurity.techtarget.com/definition/Advanced-Encryption-Standard>, 2019. Besøkt 16 mai 2019.
- [11] The Things Network. Lora crash course by thomas telkamp. [https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=1143&v=T3dGLqZrjIQ](https://www.youtube.com/watch?time_continue=1143&v=T3dGLqZrjIQ), 2016. [Besøkt 6 Mai 2019].
- [12] Marco Cattani Carlo Alberto Boano and Kay Romer. Impact of temperature variations on the reliability of lora. <http://www.carloalbertoboano.com/documents/boano18lora.pdf>, 2019. (Besøkt mars 2019).



- [13] Multitech. Multiconnect<sup>®</sup> conduit<sup>™</sup> ip67 base station. <https://www.multitech.com/documents/publications/data-sheets/86002197.pdf>, 2018. [Besøkt april 2019].
- [14] Nasys. Lorawan<sup>™</sup> ip68 pulse reader um3080. [https://www.nasys.no/wp-content/uploads/Pulse-Reader\\_UM3080\\_2.pdf](https://www.nasys.no/wp-content/uploads/Pulse-Reader_UM3080_2.pdf), 2019. [Besøkt 26 April 2019].
- [15] Postscapes. Lora network protocol and long range wireless iot. <https://www.postscapes.com/long-range-wireless-iot-protocol-lora/>, 2019. [Besøkt 1 Mai 2019].
- [16] Sirin software. 3 ways way to deploy your own iot network. <https://sirinsoftware.com/blog/3-ways-way-deploy-iot-network/>, 2018. [Besøkt 7 Mai 2019].
- [17] Emekcan Aras, Gowri Sankar Ramachandran, Piers Lawrence and Danny Hughes. Exploring the security vulnerabilities of lora. [https://www.researchgate.net/publication/318575428\\_Exploring\\_the\\_Security\\_Vulnerabilities\\_of\\_LoRa](https://www.researchgate.net/publication/318575428_Exploring_the_Security_Vulnerabilities_of_LoRa), 2017. [Besøkt 7 Mai 2019].
- [18] Richard Quinnell, EDN Networks. Low power wide-area networking alternatives for the iot. <https://www.edn.com/design/systems-design/4440343/1/Low-power-wide-area-networking-alternatives-for-the-IoT>, September 15, 2015. [Besøkt 1 Mai 2019].
- [19] Art Reed. Nb-iot vs. lora: It's an ecosystem, not a race. <https://www.linkedin.com/pulse/nb-iot-vs-lora-its-ecosystem-race-art-reed>, 2017. [Besøkt 8 Mai 2019].
- [20] economicetimes. Definition of ciphertext | what is ciphertext ? ciphertext meaning - the economic times. <https://economictimes.indiatimes.com/definition/ciphertext>. Besøkt 19 mai 2019.
- [21] IEEE. Guidelines for use of extended unique identifier (eui), organizationally unique identifier (oui), and company id (cid). <https://standards.ieee.org/content/dam/ieee-standards/standards/web/documents/tutorials/eui.pdf>, 2017. Besøkt 18 mai 2019.
- [22] Techopedia. What is handshaking? - definition from techopedia. <https://www.techopedia.com/definition/7517/handshaking>. Besøkt 19 mai 2019.
- [23] Computer Hope. What is plain text? <https://www.computerhope.com/jargon/p/plainex.htm>, 2017. Besøkt 19 mai 2019.
- [24] Margaret Rouse. What is mesh network topology (mesh network)? <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/mesh-network-topology-mesh-network>. Besøkt 18 mai 2019.
- [25] Neso Academy. Orthogonal signals. <https://www.youtube.com/watch?v=3sGKZdVF58U&app=desktop>, 2016. Besøkt 18 mai 2019.

- [26] Keith Shaw. The osi model explained: How to understand (and remember) the 7 layer network model | network world. <https://www.networkworld.com/article/3239677/the-osi-model-explained-how-to-understand-and-remember-the-7-layer-network-model.html>, Oktober 2018. Besøkt 19 mai 2019.
- [27] Webroot. What is social engineering? examples and prevention tips | webroot. <https://www.webroot.com/ie/en/resources/tips-articles/what-is-social-engineering>. Besøkt 19 mai 2019.
- [28] Transpose | definition of transpose by merriam-webster. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/transpose>, 2019. Besøkt 19 mai 2019.
- [29] Eric Marske. Industrial wireless networks & unlicensed frequencies. <http://www.esteem.com/2019/01/unlicensed-frequencies-for-industrial-wireless-networks/>, Januar 2019. Besøkt 19 mai 2019.
- [30] Portal Planning. Dcan 14: Siting and design of radio telecommunication equipment annex c - factors affecting radio signals. [https://www.planningni.gov.uk/dcan14\\_annex\\_c](https://www.planningni.gov.uk/dcan14_annex_c), 2019. (Besøkt april 2019).
- [31] Inc. LoRa Alliance. What is lora? LoRaWAN™ 1.1 Specification [PDF fil], 2019. (Besøkt februar 2019).
- [32] Semtech. What is lora? <https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>, 2019. (Besøkt februar 2019).
- [33] antenna-theory.com. Antenna basics. <http://www.antenna-theory.com/basics/main.php>, 2015. [Besøkt 8 Mai 2019].
- [34] Store Norske Leksikon. Båndbredde. <https://snl.no/b%C3%A5ndbredde>, 2017. [Besøkt 10 Mai 2019].
- [35] Unknown. Iothub. <https://iothub.nasys.no/>, 2019. Besøkt 13 februar 2019.
- [36] Wikipedia. dbm. <https://en.wikipedia.org/wiki/DBm>, 2019. Besøkt 13 Mai 2019.
- [37] Wikipedia. Signal-to-noise ratio. [https://en.wikipedia.org/wiki/Signal-to-noise\\_ratio#Decibels](https://en.wikipedia.org/wiki/Signal-to-noise_ratio#Decibels), 2019. Besøkt 13 Mai 2019.
- [38] ETSI. Etsi en 300 220-2 v3.2.1. [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/300200\\_300299/30022002/03.02.01\\_30/en\\_30022002v030201v.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300200_300299/30022002/03.02.01_30/en_30022002v030201v.pdf), 2018. [Besøkt 6 Mai 2019].
- [39] domenix uhoh, Sylvain. Understanding the relationship between lora chips, chirps, symbols and bits. <https://electronics.stackexchange.com/questions/278192/understanding-the-relationship-between-lora-chips-chirps-symbols-and-bits>, 2019. Besøkt 16 mai 2019.

- [40] The Things Network. Lorawan adaptive data rate. <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/adr.html>, 2019. (Besøkt mars 2019).
- [41] The Things Network. Duty cycle for lorawan devices. <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/duty-cycle.html>, 2019. (Besøkt mars 2019).
- [42] Louis E.Frenzel Jr. Handbook of serial communications interfaces. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128006290000620>, 2015. [Besøkt 8 Mai 2019].
- [43] Dr. Jan Noordhof. Basic radio awareness. <https://www.taitradioacademy.com/topic/how-does-modulation-work-1-1/>, 2019. [Besøkt 8 Mai 2019].
- [44] Semtech Corporation. Lora™ modulation basics. <https://www.semtech.com/uploads/documents/an1200.22.pdf>, 2015. [Besøkt 8 Mai 2019].
- [45] National Instruments. Understanding spread spectrum for communications. <http://www.ni.com/en-us/innovations/white-papers/06/understanding-spread-spectrum-for-communications.html>, 2019. Besøkt 14 Mai 2019.
- [46] Robert Lie. Lora/lorawan tutorial 14: Forward error correction and coding rate - youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=1zwCYYx1i2I>, Oktober 2018. [Besøkt 8 Mai 2019].
- [47] Margaret Rouse. Cyclic redundancy check (crc). <https://www.techopedia.com/definition/1793/cyclic-redundancy-check-crc>. [Besøkt 9 Mai 2019].
- [48] Geek Dictionary. What is message integrity check or mic? <https://www.wlanpros.com/resources/geek-dictionary-message-integrity-check-mic/>. [Besøkt 9 Mai 2019].
- [49] Wikipedia contributors. Lora — Wikipedia, the free encyclopedia. <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=LoRa&oldid=893421861>, 2019. [Besøkt 24 April 2019].
- [50] LoRa Alliance Technical Committee. Lorawan™ 1.1 specification. [https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-04/lorawantm\\_specification\\_v1.1.pdf](https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-04/lorawantm_specification_v1.1.pdf), 2017. [Besøkt 27 April 2019].
- [51] Semtech. What is lora? <https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>, 2019. [Besøkt 27 April 2019].
- [52] Inc. LoRa Alliance. Lora alliance security whitepaper. lora alliance security whitepaper [PDF fil], 2019. (Besøkt mars 2019).
- [53] Semtech. Lorawan security faq. [http://www.kerlink.com/wp-content/uploads/2018/01/LoRa-Alliance\\_LoRaWAN-Security-FAQ\\_V1.0.2\\_July-2016.pdf](http://www.kerlink.com/wp-content/uploads/2018/01/LoRa-Alliance_LoRaWAN-Security-FAQ_V1.0.2_July-2016.pdf), 2019. (Besøkt mars 2019).

- [54] National Institute of Standards and Technology (NIST). Advanced encryption standard (aes). <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/FIPS/NIST.FIPS.197.pdf>, 2019. (Besøkt mars 2019).
- [55] Norsk Datatilsyn. Anbefalt kryptering. <https://www.datatilsynet.no/rettigheter-og-plikter/virksomhetenes-plikter/informasjonsikkerhet/kryptering/>, 2019. (Besøkt mars 2019).
- [56] Wikipedia. Frequency agility. [https://en.wikipedia.org/wiki/Frequency\\_agility](https://en.wikipedia.org/wiki/Frequency_agility), 2018. (Besøkt mars 2019).
- [57] Semtech. Interference. <https://www.semtech.com/uploads/documents/an1200.22.pdf>, 2015. (Besøkt mars 2019).
- [58] Wikipedia. Pseudo-tilfeldig tallgenerator. [https://da.wikipedia.org/wiki/Pseudo-tilf%C3%A6ldige\\_tal](https://da.wikipedia.org/wiki/Pseudo-tilf%C3%A6ldige_tal), 2013. (Besøkt mars 2019).
- [59] Raymond L. Johnson. Does weather affect your wifi. <https://the-weather-station.com/does-weather-affect-your-wifi/>, 2018. [Besøkt 7 Mai 2019].
- [60] Ken Burnside. Can weather affect wi-fi? <https://www.techwalla.com/articles/can-weather-affect-wi-fi>, 2019. [Besøkt Mai 2019].
- [61] He Z. Roedig U. Voigt T. Boano C.A., Brown J. *Low-Power Radio Communication in Industrial Outdoor Deployments: The Impact of Weather Conditions and ATEX-Compliance*. In: *Komninos N. (eds) Sensor Applications, Experimentation, and Logistics*. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, vol 29. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010.
- [62] Fleeman Anderson & Bird Corp. Understanding radio line of sight. <http://www.fab-corp.com/pages.php?pageid=2>. [Besøkt 7 Mai 2019].
- [63] Adeunis. Field test device. <https://www.adeunis.com/en/produit/ftd-868-915-2/>, 2019. [Besøkt 26 April 2019].
- [64] Yr. Været som var moelv, ringsaker (hedmark). <https://www.yr.no/sted/Norge/Hedmark/Ringsaker/Moelv/statistikk.html>, 2019. (Besøkt mars 2019).
- [65] Utz Roedig Juan Alonso Thiemo Voigt, Martin Bor. Mitigating inter-network interference in lora networks. <https://arxiv.org/pdf/1611.00688.pdf>. [Besøkt april 2019].
- [66] Wikipedia. Server. <https://no.wikipedia.org/wiki/Server>, 2019. [Besøkt 8 Mai 2019].
- [67] Coherent. Servers: buying hardware vs renting hardware vs cloud. <https://coherent.net/blog/servers-buying-hardware-vs-renting-hardware-vs-cloud/>, 2017. [Besøkt 7 Mai 2019].
- [68] Uninett. Krav til ventilasjon og kjøling av ikt-rom. <https://www.uninett.no/sites/default/files/webfm/UFS%20108.pdf>, 2013. [Besøkt 12 Mai 2019].

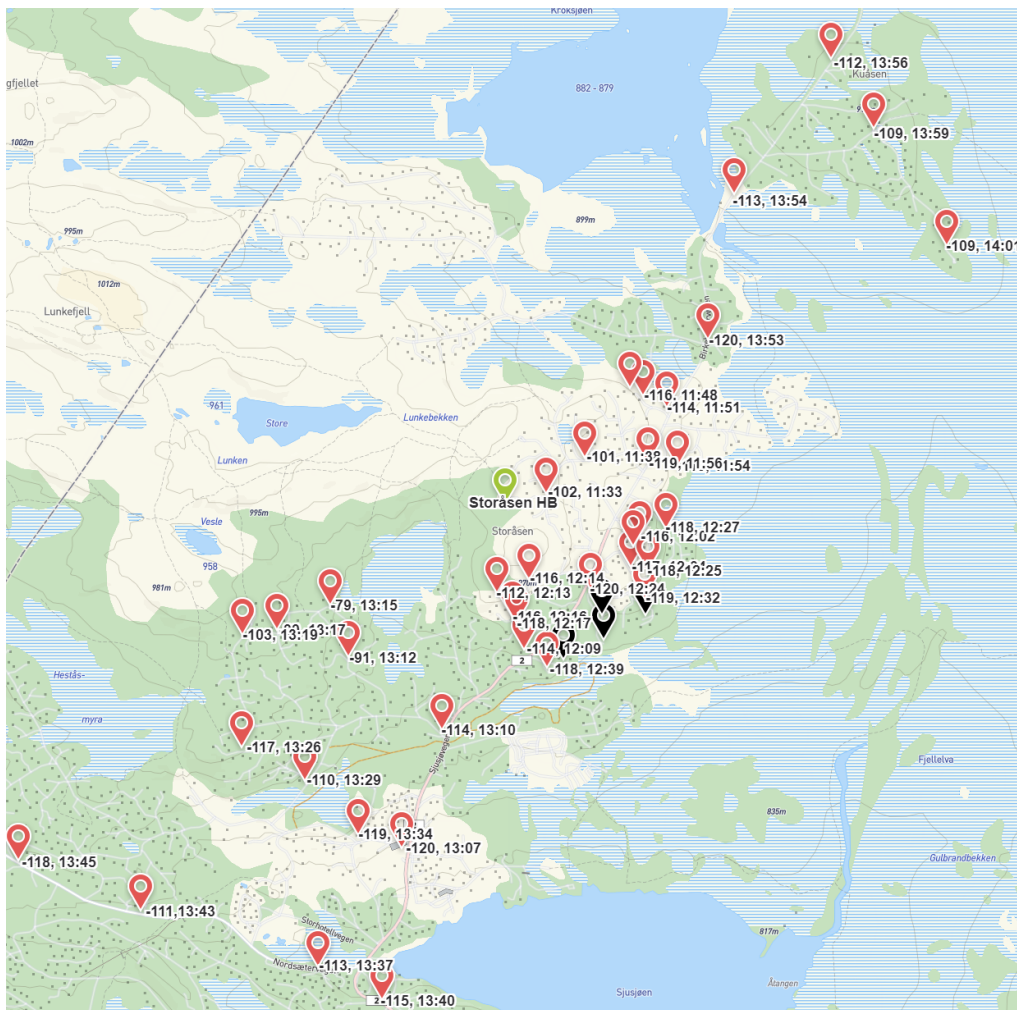
- [69] Riyaz Ahmed. Which is better to do these days, rent a dedicated server or buy a server? <https://www.quora.com/Which-is-better-to-do-these-days-rent-a-dedicated-server-or-buy-a-server>, 2017. [Besøkt 7 Mai 2019].
- [70] Microsoft. What is saas? <https://azure.microsoft.com/en-us/overview/what-is-saas/>, 2019. [Besøkt 9 Mai 2019].
- [71] Stephen Watts. Saas vs paas vs iaas: What's the difference and how to choose. <https://www.bmc.com/blogs/saas-vs-paas-vs-iaas-whats-the-difference-and-how-to-choose/>, 2017. [Besøkt 9 Mai 2019].
- [72] Microsoft. What is paas? <https://azure.microsoft.com/en-us/overview/what-is-paas/>, 2019. [Besøkt 9 Mai 2019].
- [73] Microsoft. What is iaas? <https://azure.microsoft.com/en-us/overview/what-is-iaas/>, 2019. [Besøkt 9 Mai 2019].
- [74] Microsoft. What are public, private, and hybrid clouds? <https://azure.microsoft.com/en-us/overview/what-are-private-public-hybrid-clouds/>, 2019. [Besøkt 9 Mai 2019].
- [75] John White. Private vs. public cloud: What's the difference? <https://www.expedient.com/blog/private-vs-public-cloud-whats-difference/>. [Besøkt 9 Mai 2019].
- [76] Margaret Rouse. Public cloud. <https://searchcloudcomputing.techtarget.com/definition/public-cloud>. [Besøkt 9 Mai 2019].
- [77] Citrix. What is public cloud? <https://www.citrix.no/glossary/what-is-public-cloud.html>. [Besøkt 9 Mai 2019].
- [78] Margaret Rouse. Private paas offerings: Benefits, challenges, best practices and more. <https://searchcloudcomputing.techtarget.com/definition/private-cloud>. [Besøkt 9 Mai 2019].
- [79] Datatilsynet. Personvernprinsippene. <https://www.datatilsynet.no/rettigheter-og-plikter/personvernprinsippene/>, 2018. [Besøkt 10 Mai 2019].
- [80] Sigbjørn Sørensen. Hvem er ansvarlig for din informasjonssikkerhet i skyen? <https://www.netsecurity.no/fagblogg/hvem-er-ansvarlig-for-din-informasjonsikkerhet-i-skyen>, 2018. [Besøkt 13 Mai 2019].
- [81] Datatilsynet. Hvordan lage en databehandleravtale. <https://www.datatilsynet.no/regelverk-og-verktoy/veiledere/databehandleravtale/>, 2018. [Besøkt 13 Mai 2019].
- [82] RF Page. Applications and future of lora wan technology. <https://www.rfpage.com/applications-future-lora-wan-technology/>, 2017. [Besøkt 27 April 2019].

- 
- [83] P. Kocovic, R. Behringer, M. Ramachandran, and R. Mihajlovic. *Emerging Trends and Applications of the Internet of Things*. Advances in Wireless Technologies and Telecommunication. IGI Global, 2017.
- [84] Marius Marents Last Mile Communicaton. Enheter med spesifikasjon, 2019. Spørsmål om forskjellig batteristørelse på endeenheter: Ja det kan bestilles noen modeller på spec, vi har også enheter som kan kobles på strøm direkte.
- [85] EMCU. Sigfox vs. lora. <http://www.emcu.eu/sigfox-vs-lora/>. [Besøkt 6 Mai 2019].
- [86] Multiple authors. Sigfox - signal identification wiki. <https://www.sigidwiki.com/wiki/SIGFOX>, 2019. Besøkt 13 Mai 2019.
- [87] Radiocraft. How much does it cost to use sigfox? <https://radiocrafts.com/kb/much-cost-use-sigfox/>, 2017. [Besøkt 7 Mai 2019].
- [88] GLENN SCHATZ. Wireless iot network protocols. <https://www.link-labs.com/blog/complete-list-iot-network-protocols>, 2016. [Besøkt 8 Mai 2019].
- [89] Carlson Wireless. Tv white space fact page - carlson wireless technologies. <https://www.carlsonwireless.com/tv-white-space/>. Besøkt 13 Mai 2019.
- [90] Statministerens kontor. Konesjon for opprettelse og drift av et digitalt trådløst bakkebasert senderannlegg for kringkasting og tillatelse til bruk av frekvenser i 470-790 mhz båndet for etablering av et elektronisk kommunikasjonsnett basert på dtt teknologi. <https://www.rikstv.no/globalassets/innholdsblokker/10-om-rikstv/presse/konesjonen.pdf>. Besøkt 13 Mai 2019.

## A Kart

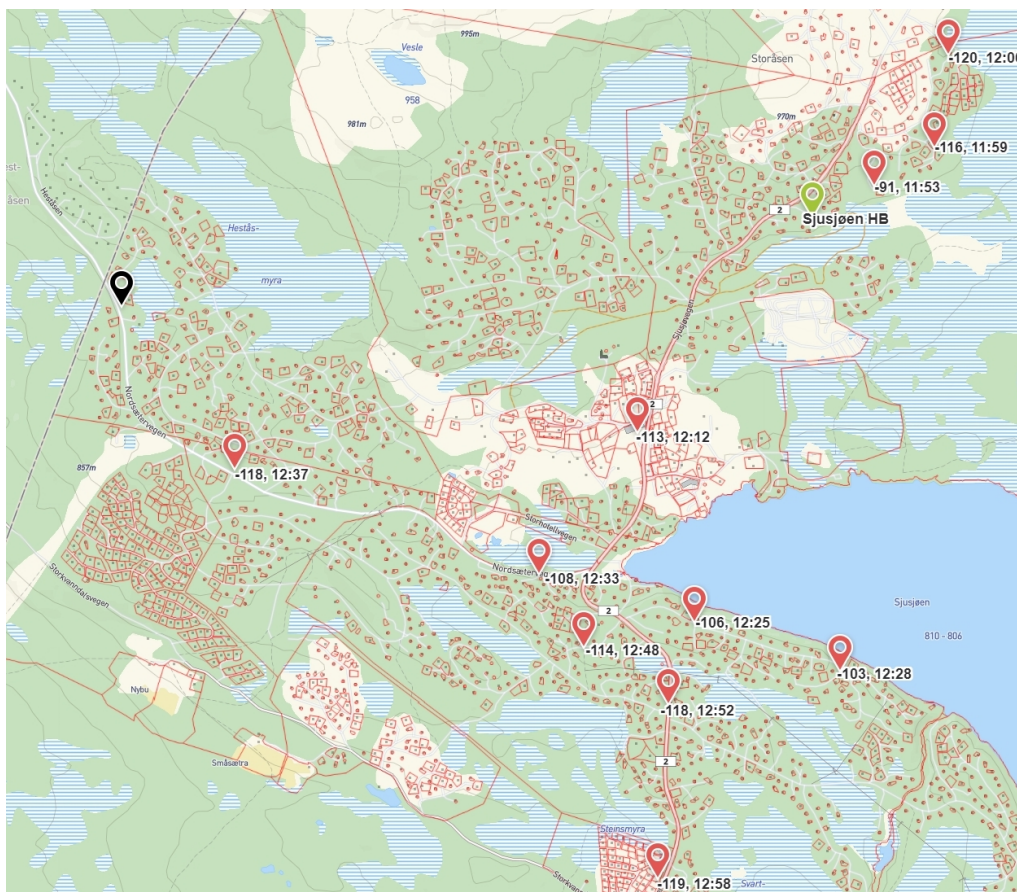
Sjusjøen

Storåsen HB



Figur 37: Testene i Storåsen HB.

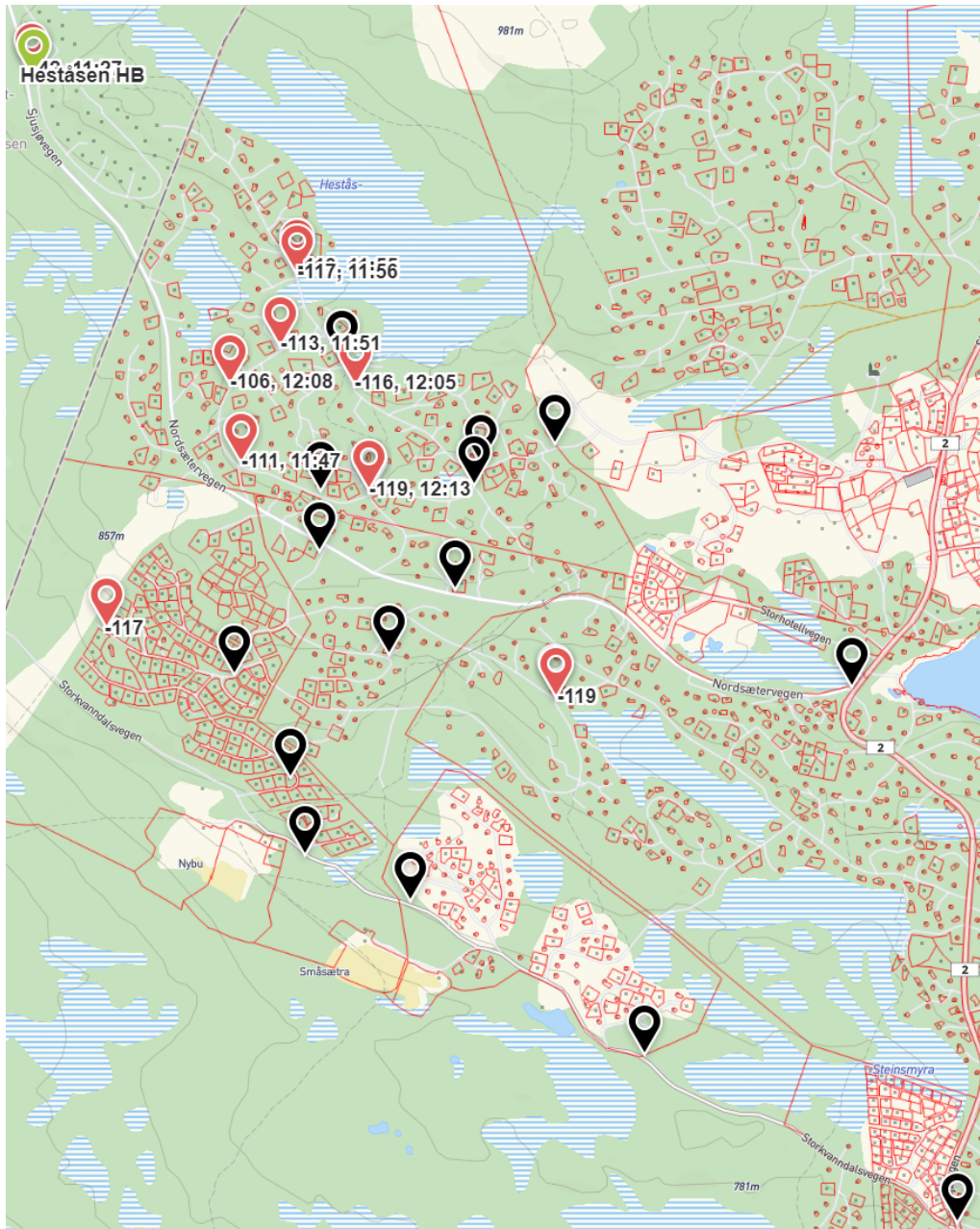
Sjusjøen HB



Figur 38: Testene i Sjusjøen HB.

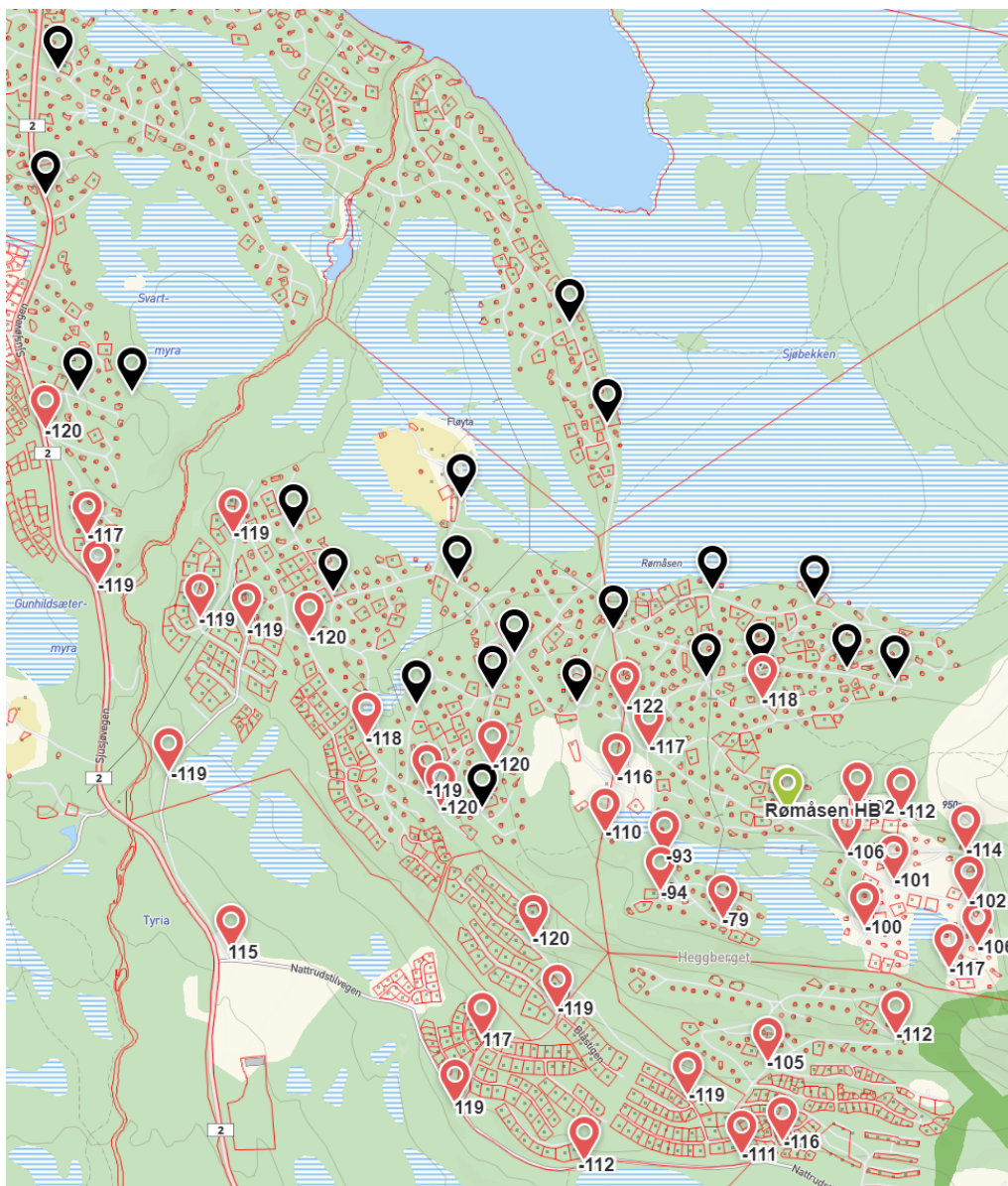
### Heståsen HB





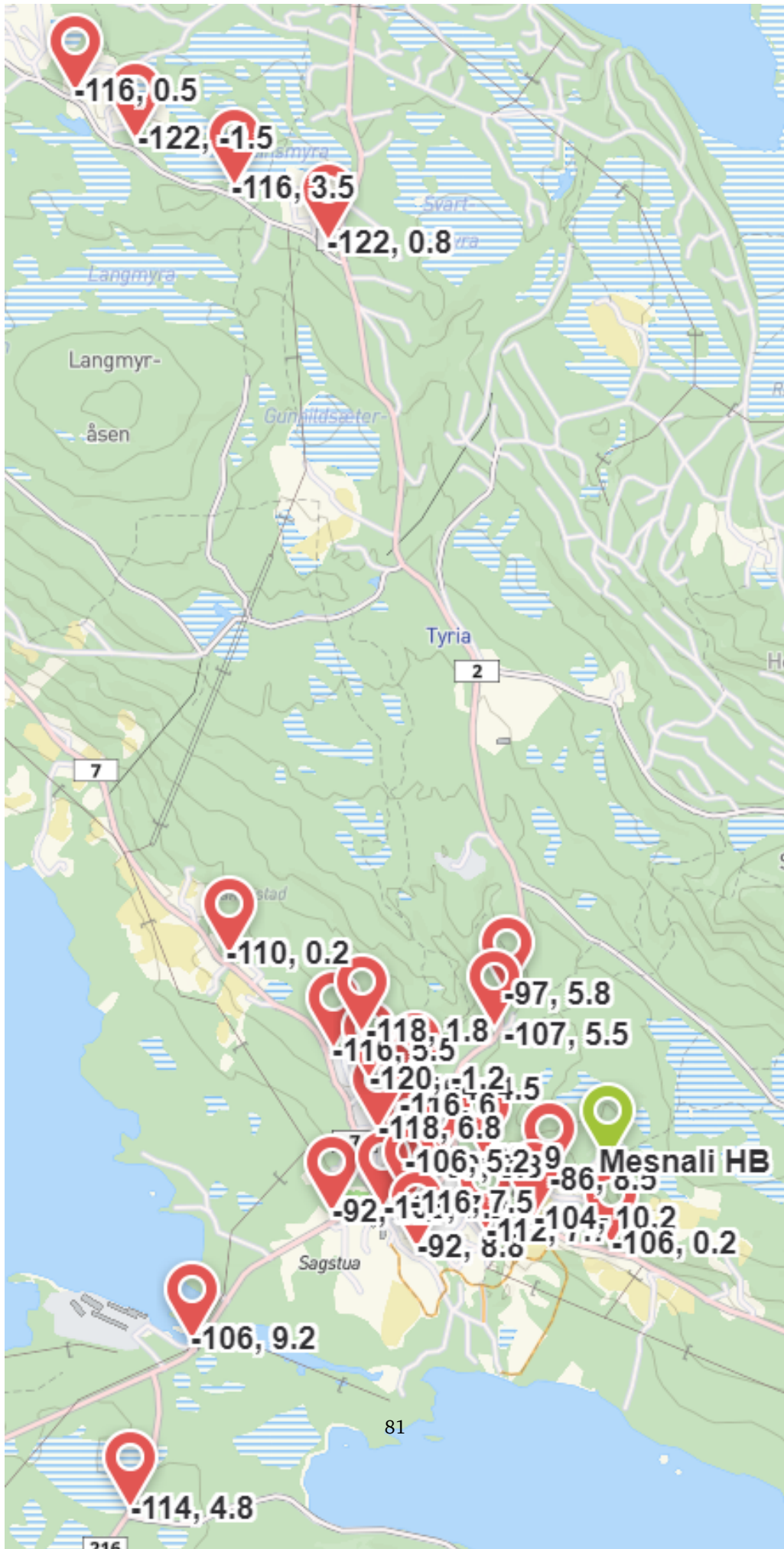
Figur 39: Testene i Heståsen HB.

## Rømåsen HB

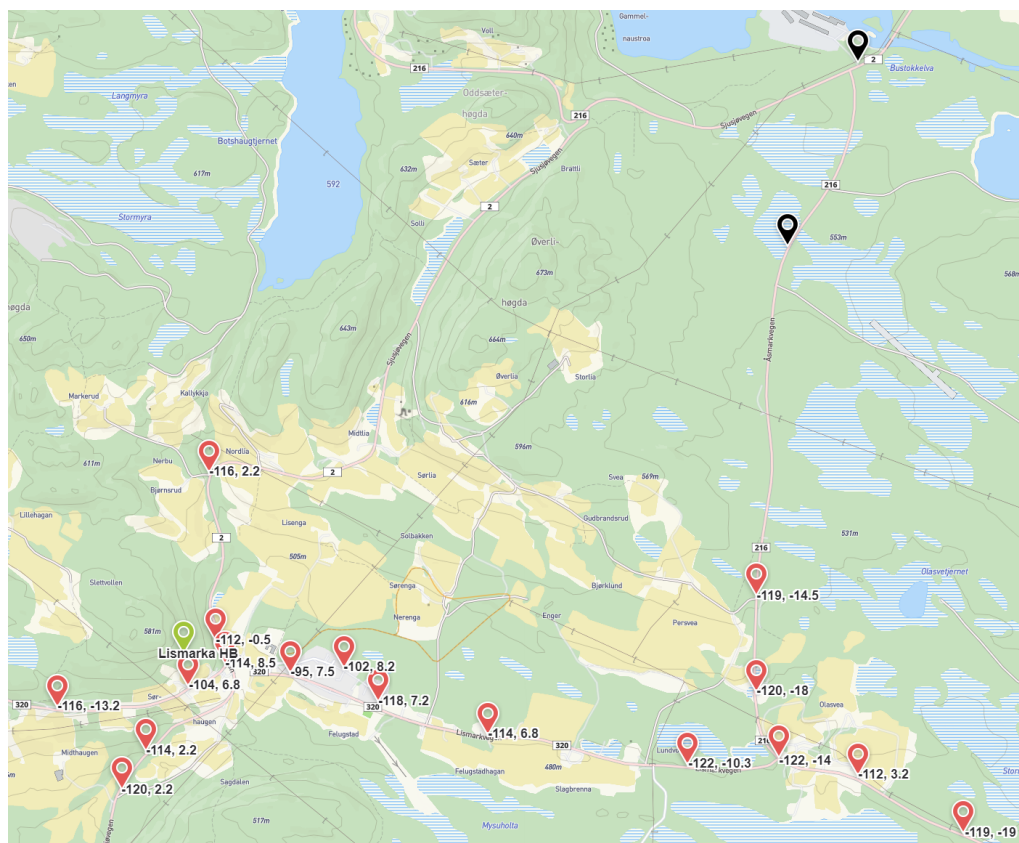


Figur 40: Testene i Rømåsen HB.

Mesnali HB

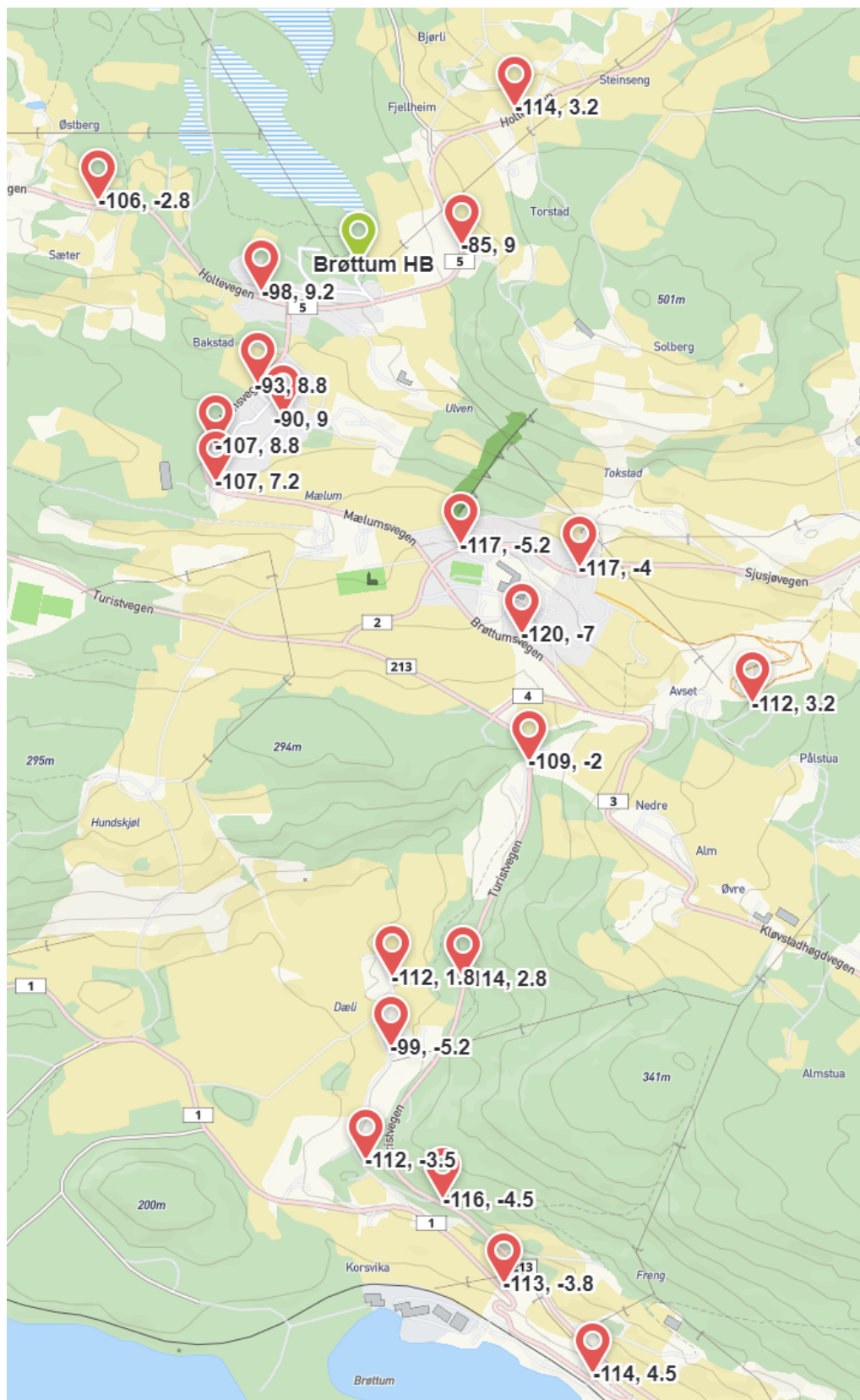


## Lismarka HB



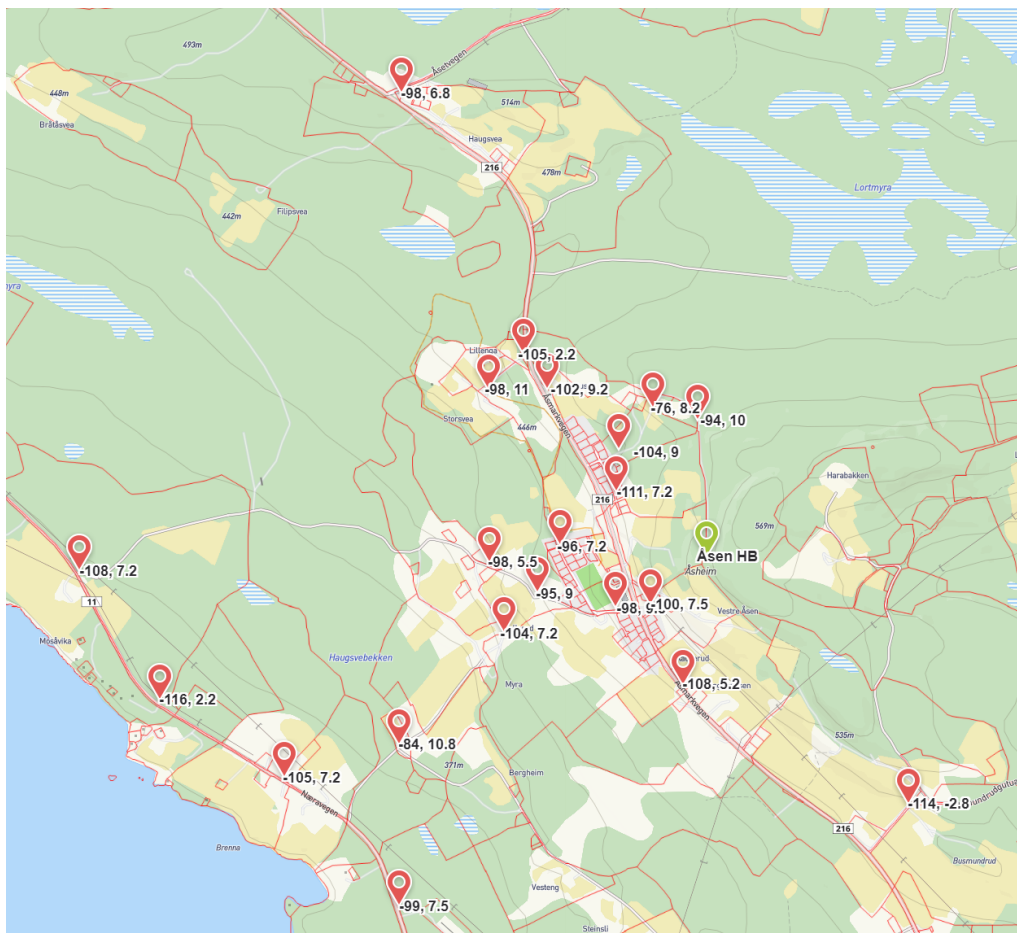
Figur 42: Testene i Lismarka HB.

## Brøttum HB



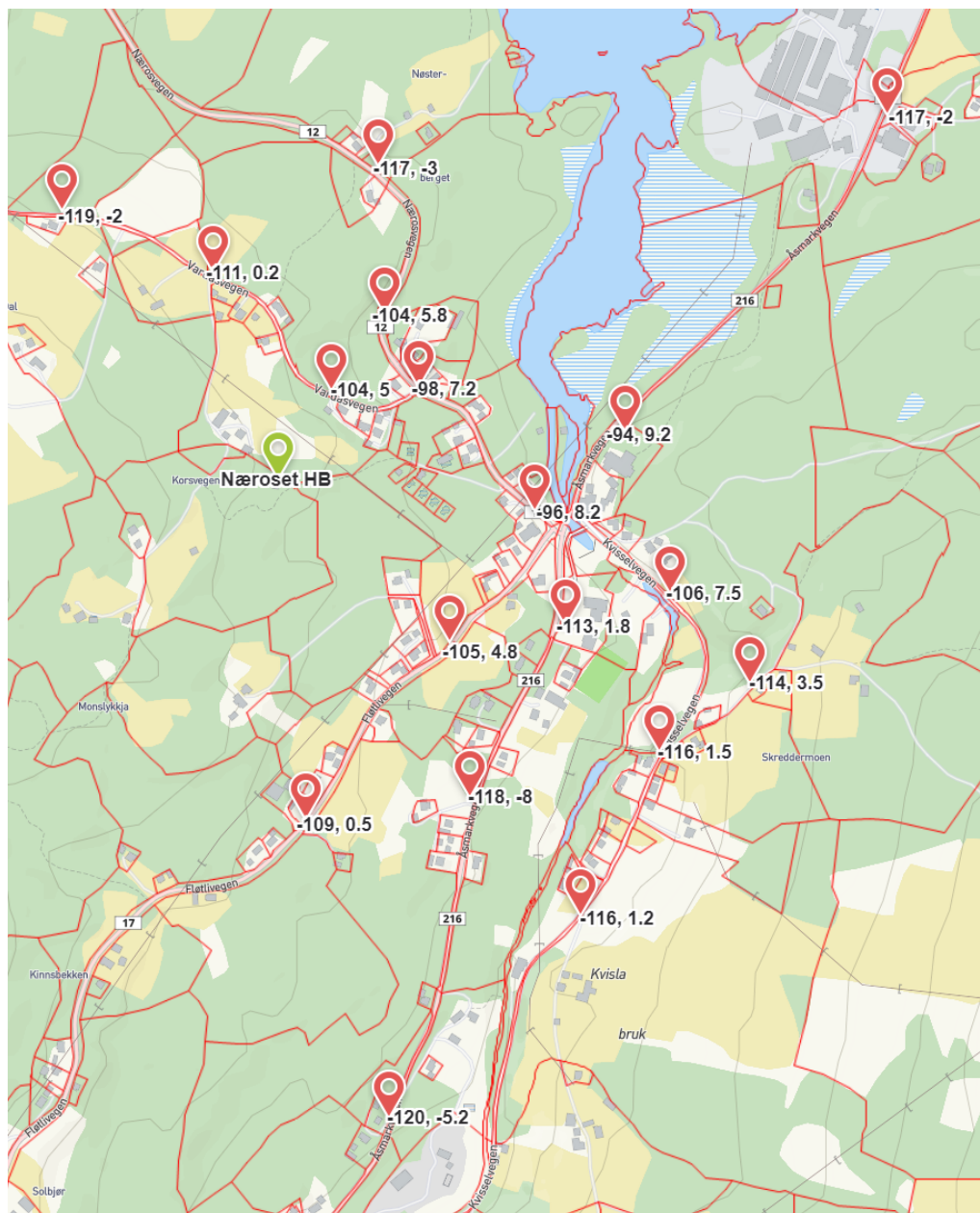
Figur 43: Testene i Brøttum HB.

## Åsen HB



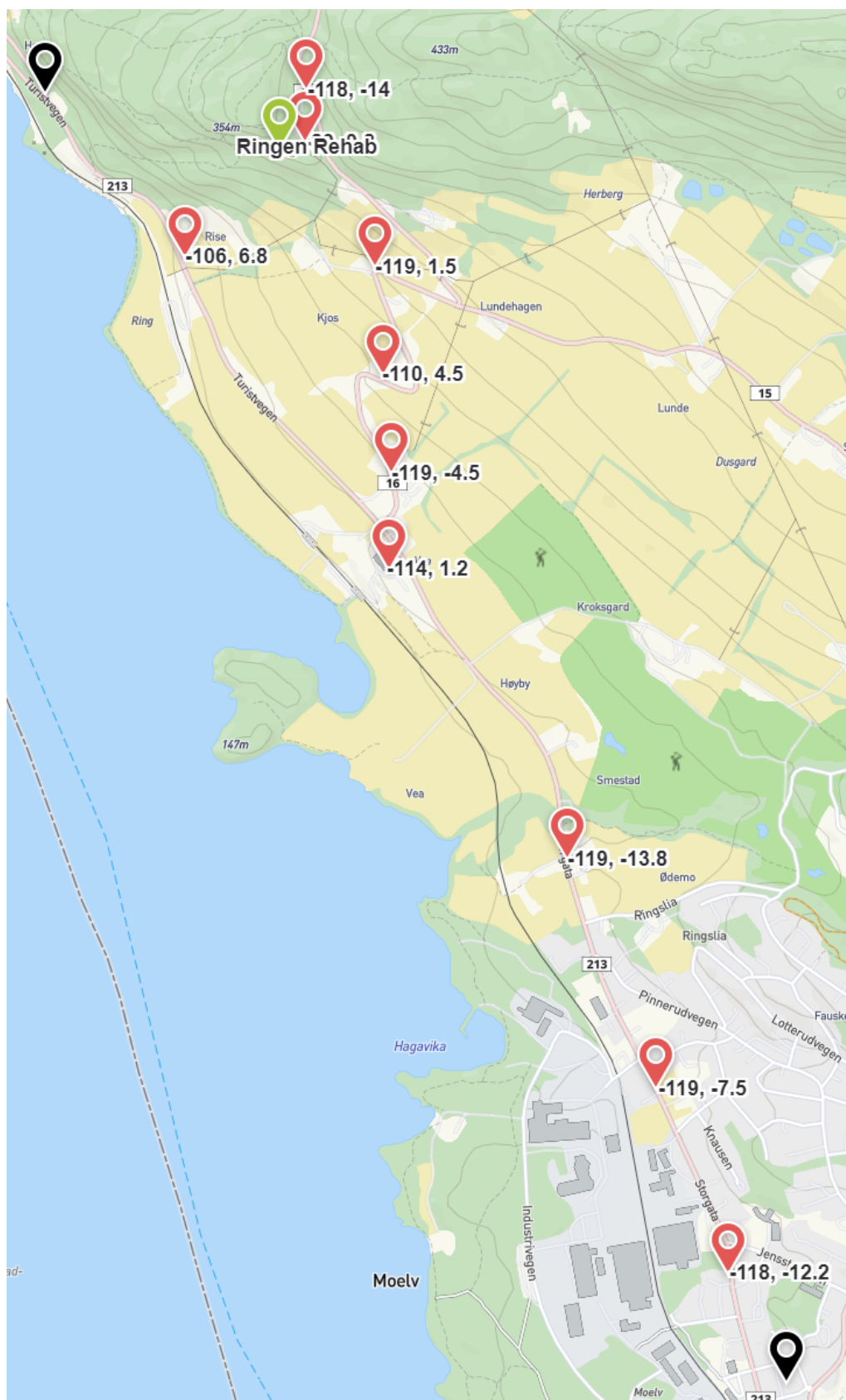
Figur 44: Testene i Åsen HB.

## Næroset HB



Figur 45: Testene i Næroset HB.

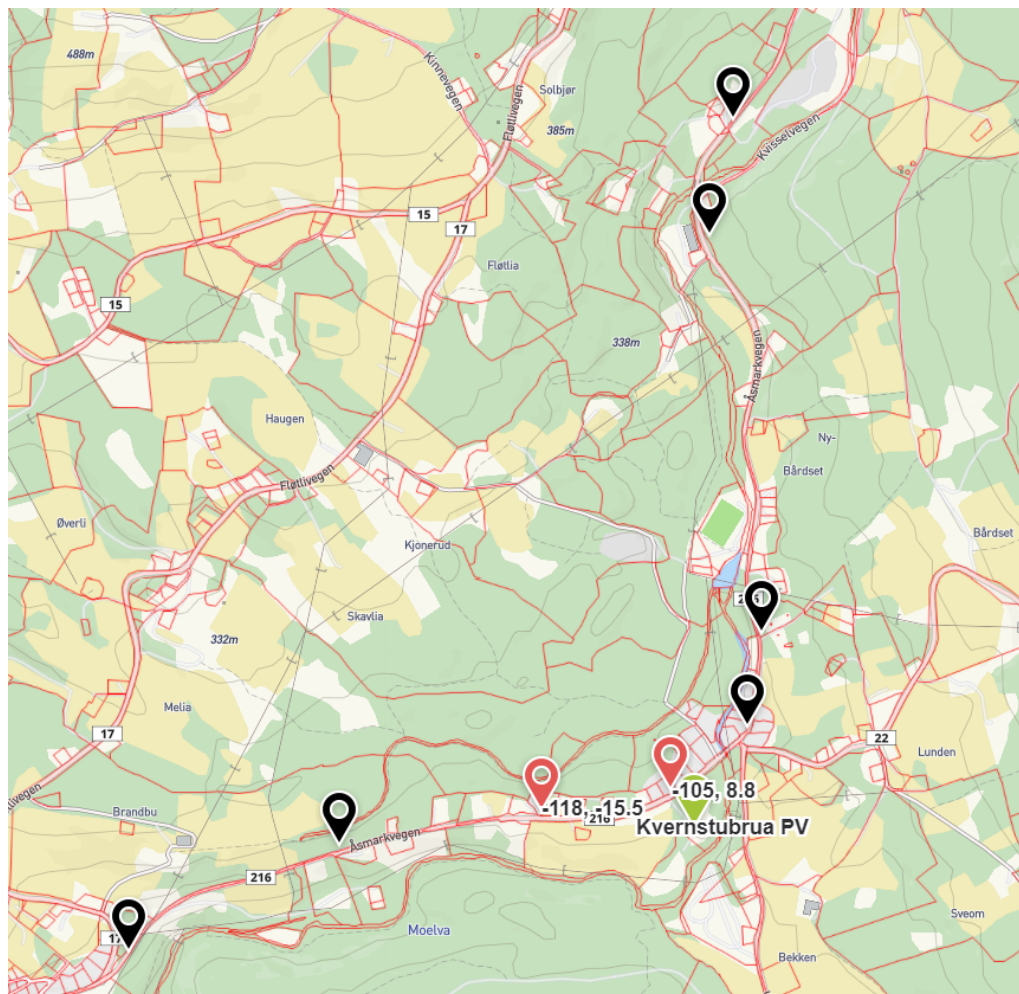
## Ringens Rehabiliteringscenter



Figur 46: Testene i Ringen Rehabiliteringssenter.

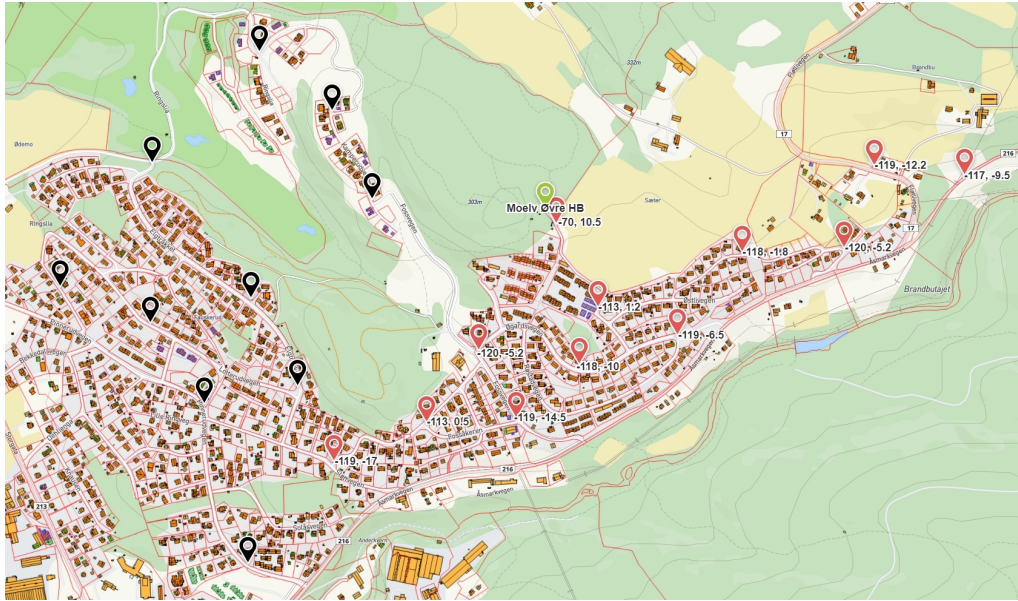


## Kvernstubrua PV



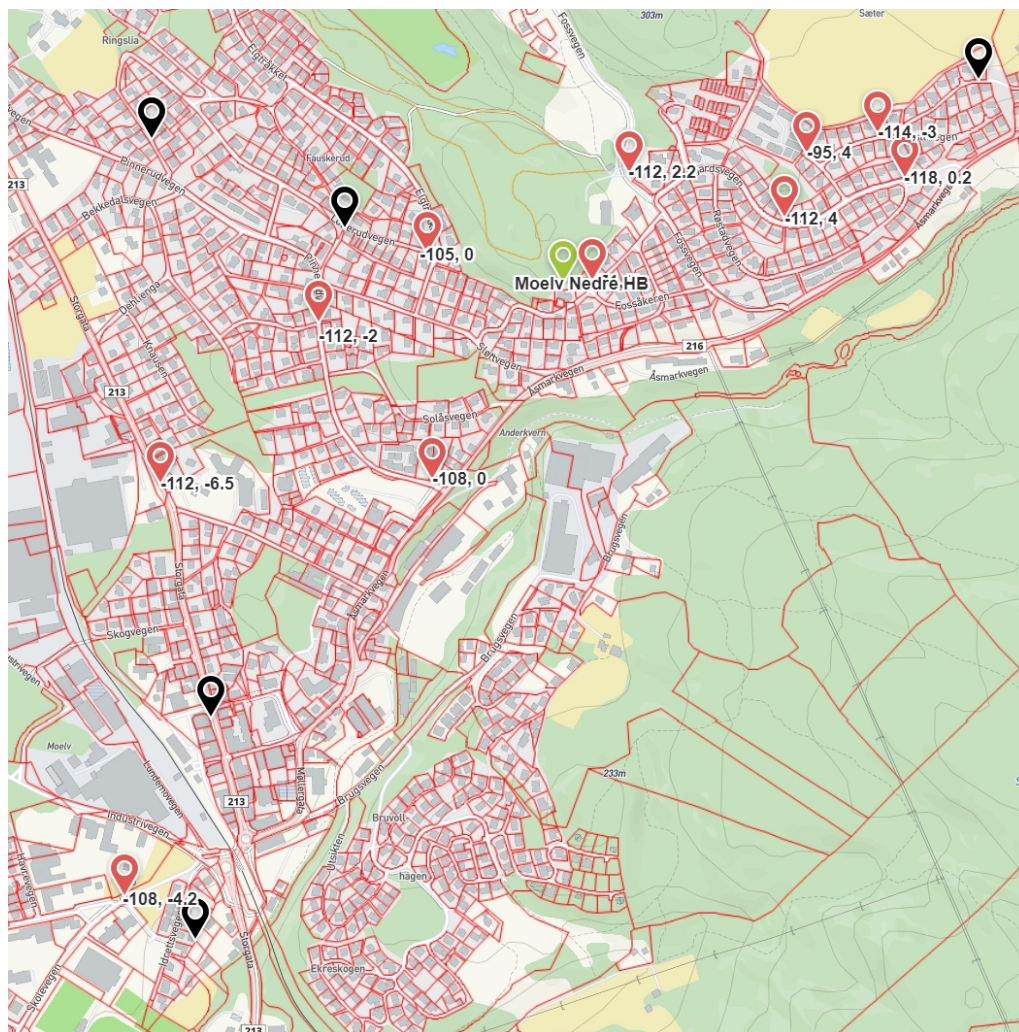
Figur 47: Testene i Kvernstubrua PV.

## Moelv Øvre HB



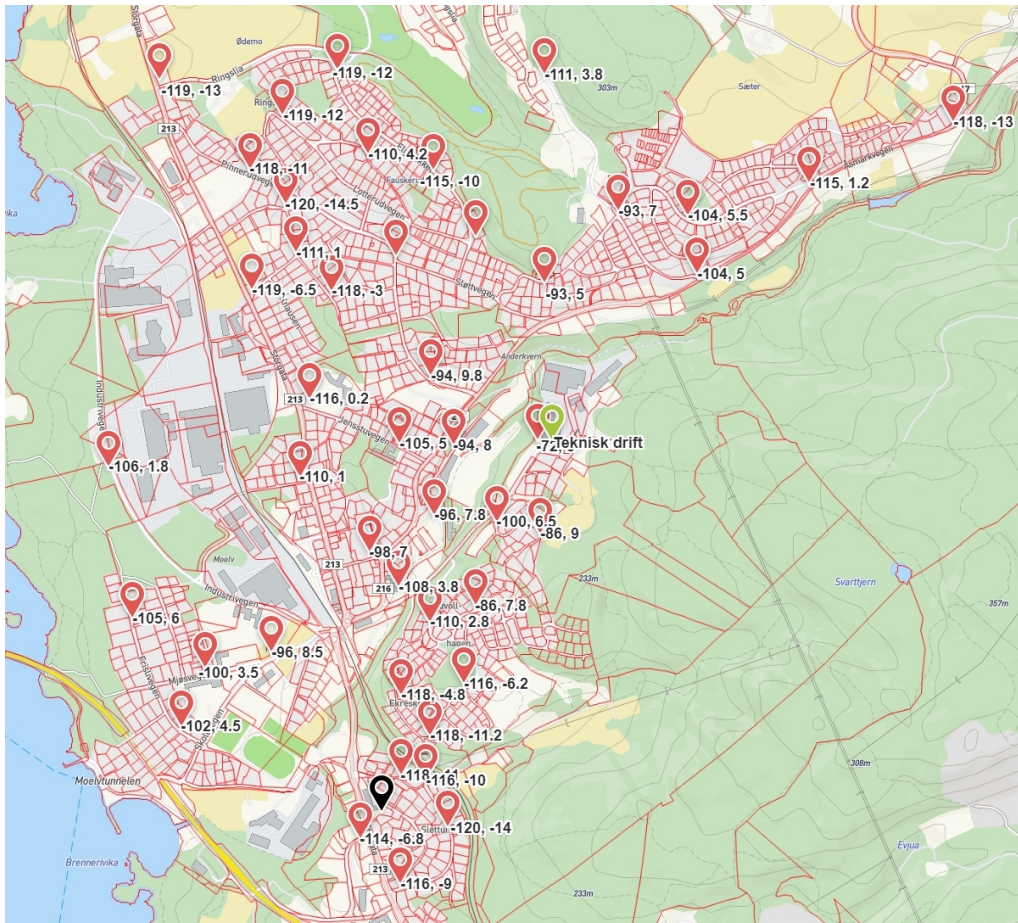
Figur 48: Testene i Moelv Øvre HB.

### Moelv Nedre HB



Figur 49: Testene i Moelv Nedre HB.

## Teknisk drift



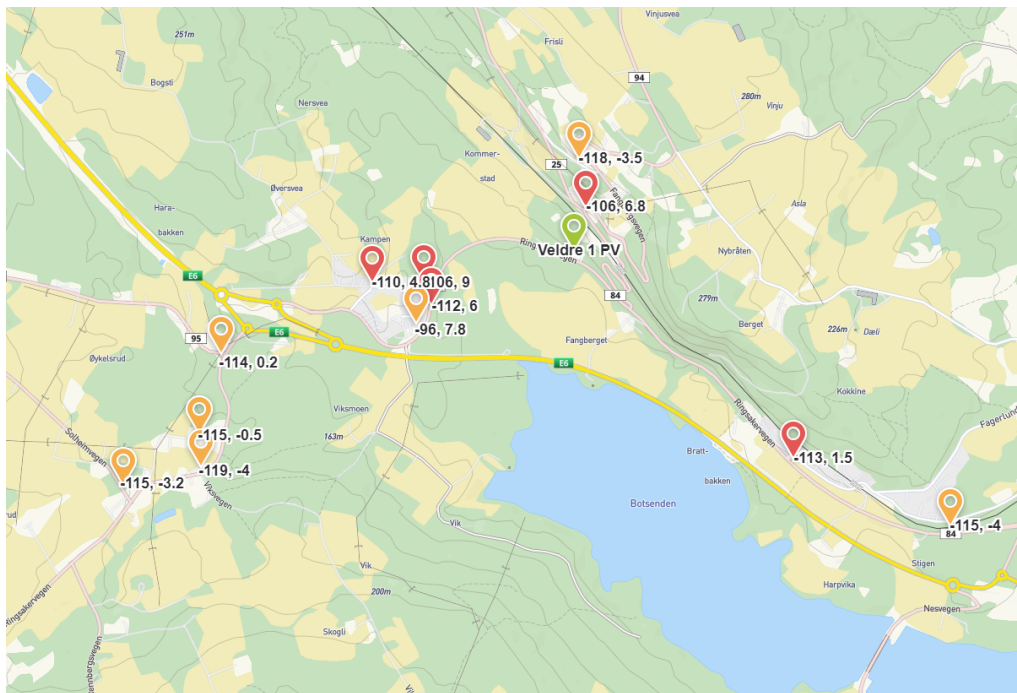
Figur 50: Testene i Teknisk drift.

## Rudshøgda HB



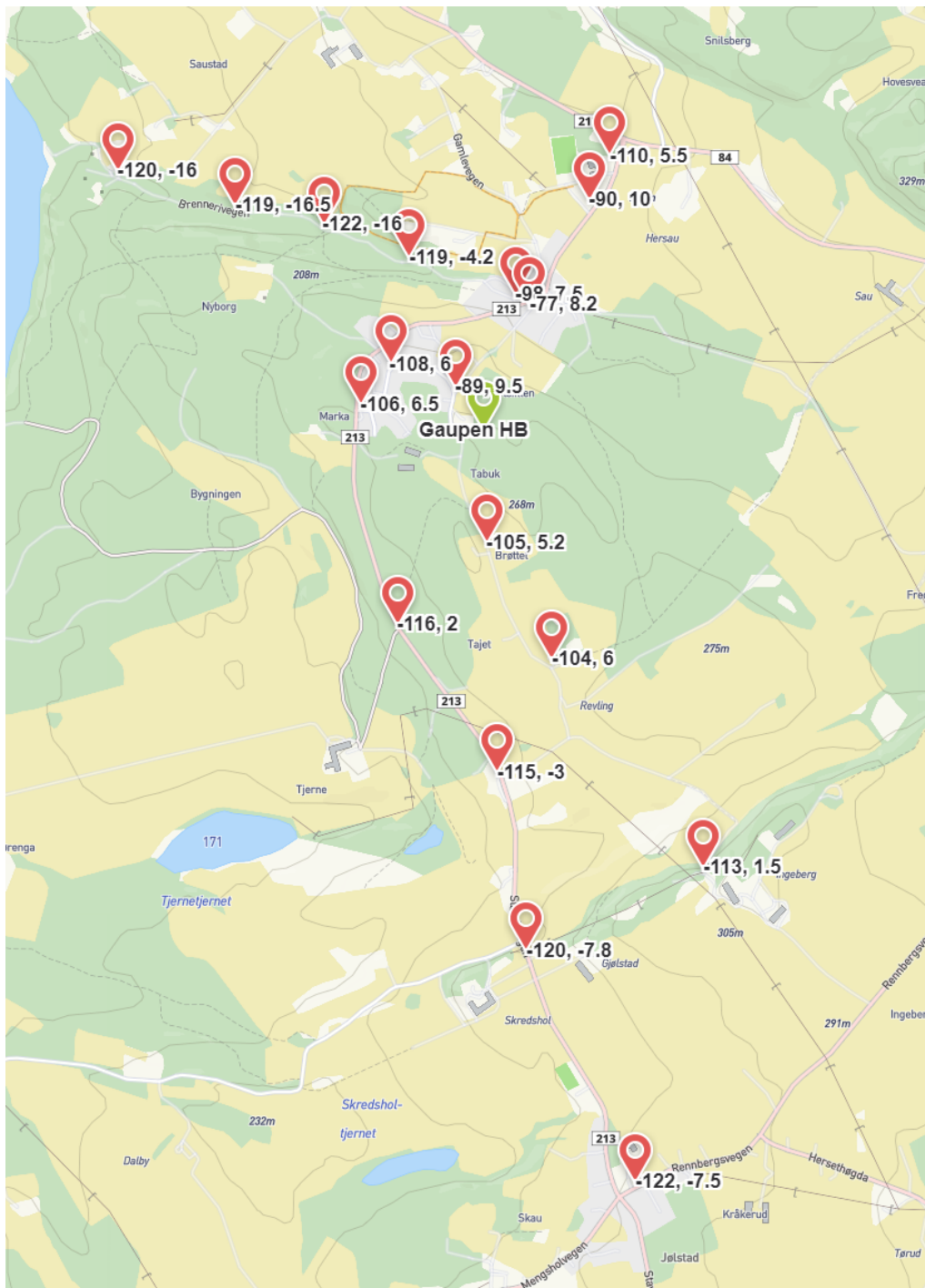
Figur 51: Testene i Rudshøgda HB.

Veldre 1 TØ



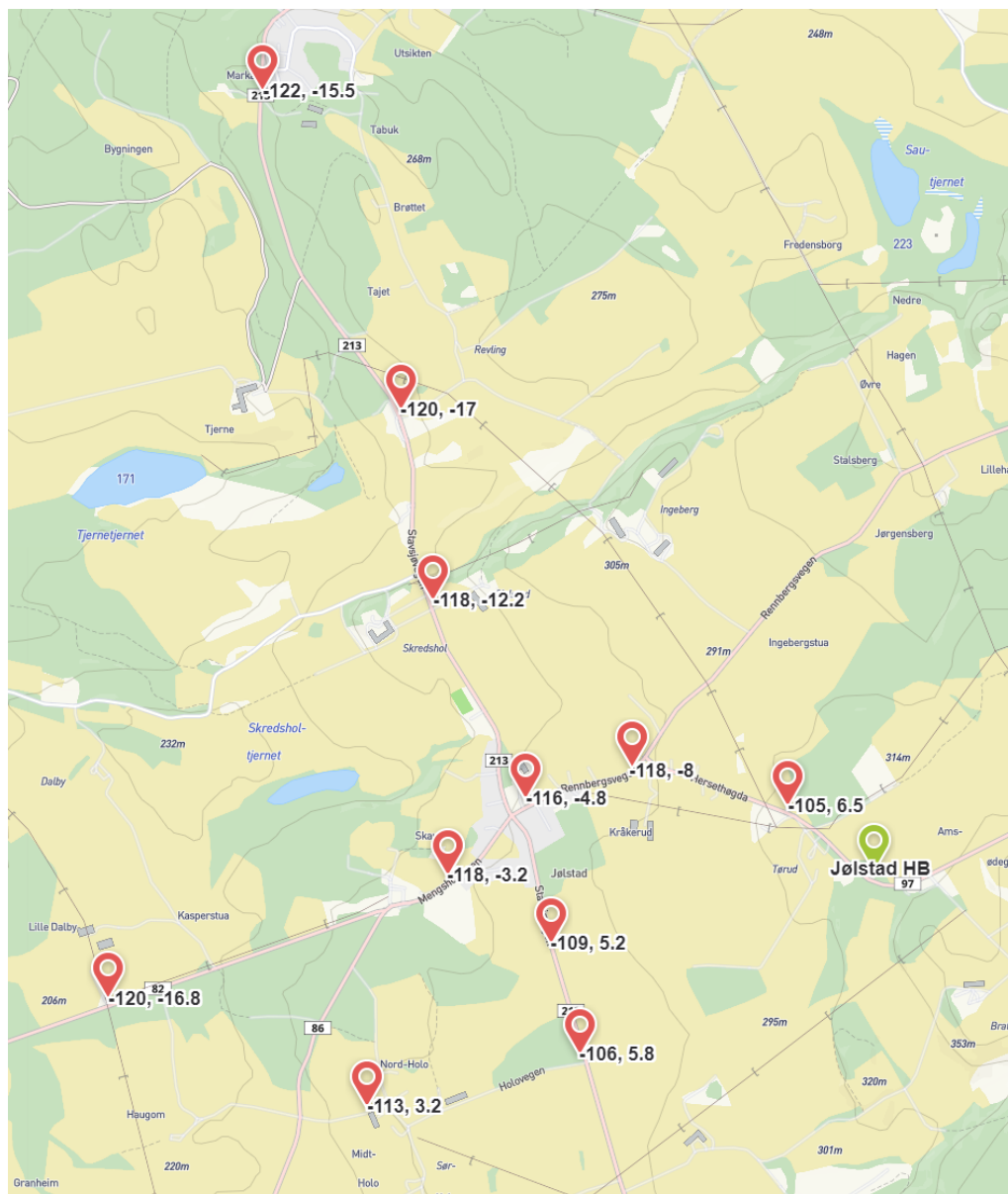
Figur 52: Testene i Veldre 1 PV.

## Gaupen HB



Figur 53: Testene i Gaupen HB.

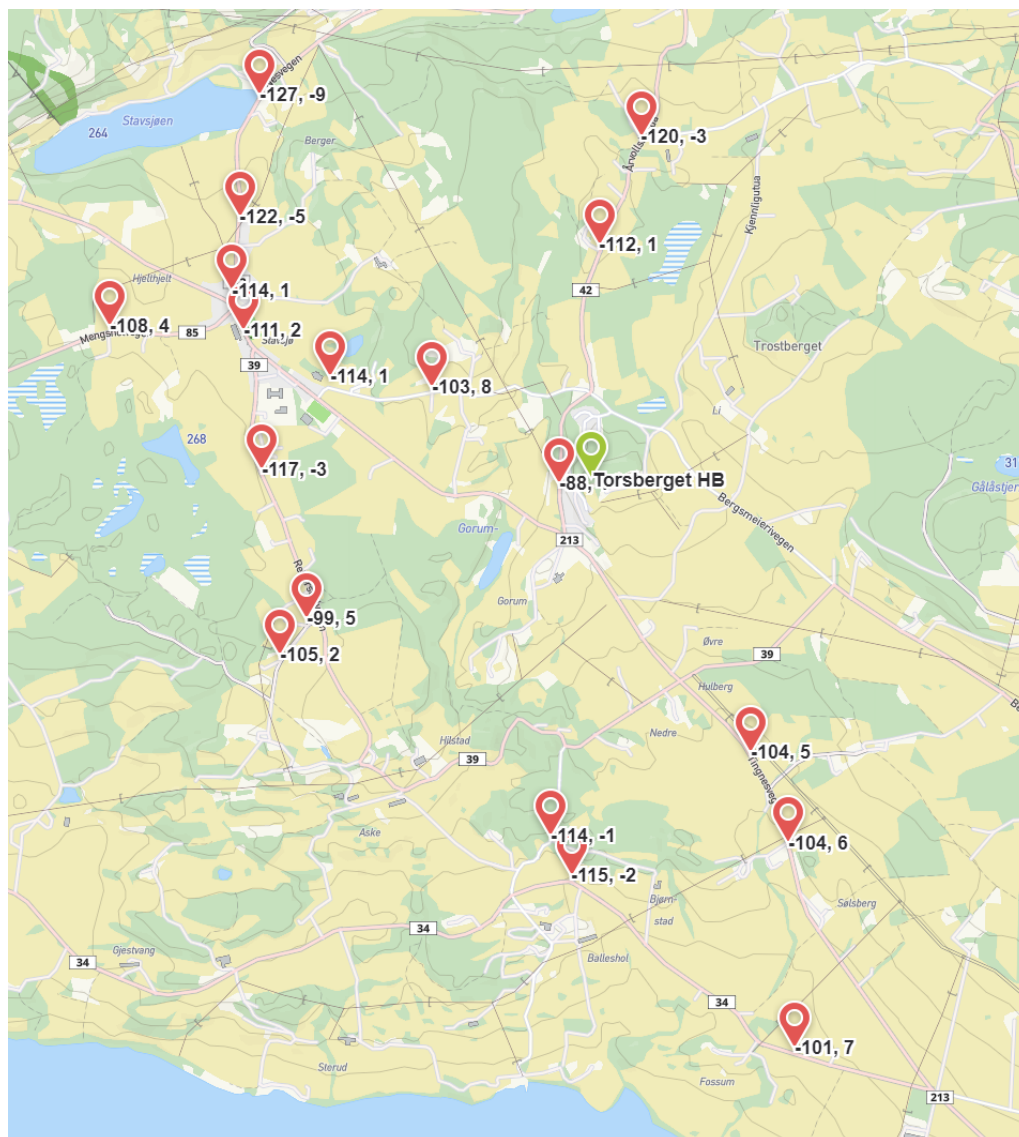
**Jølstad HB**



Figur 54: Testene i Jølstad HB.

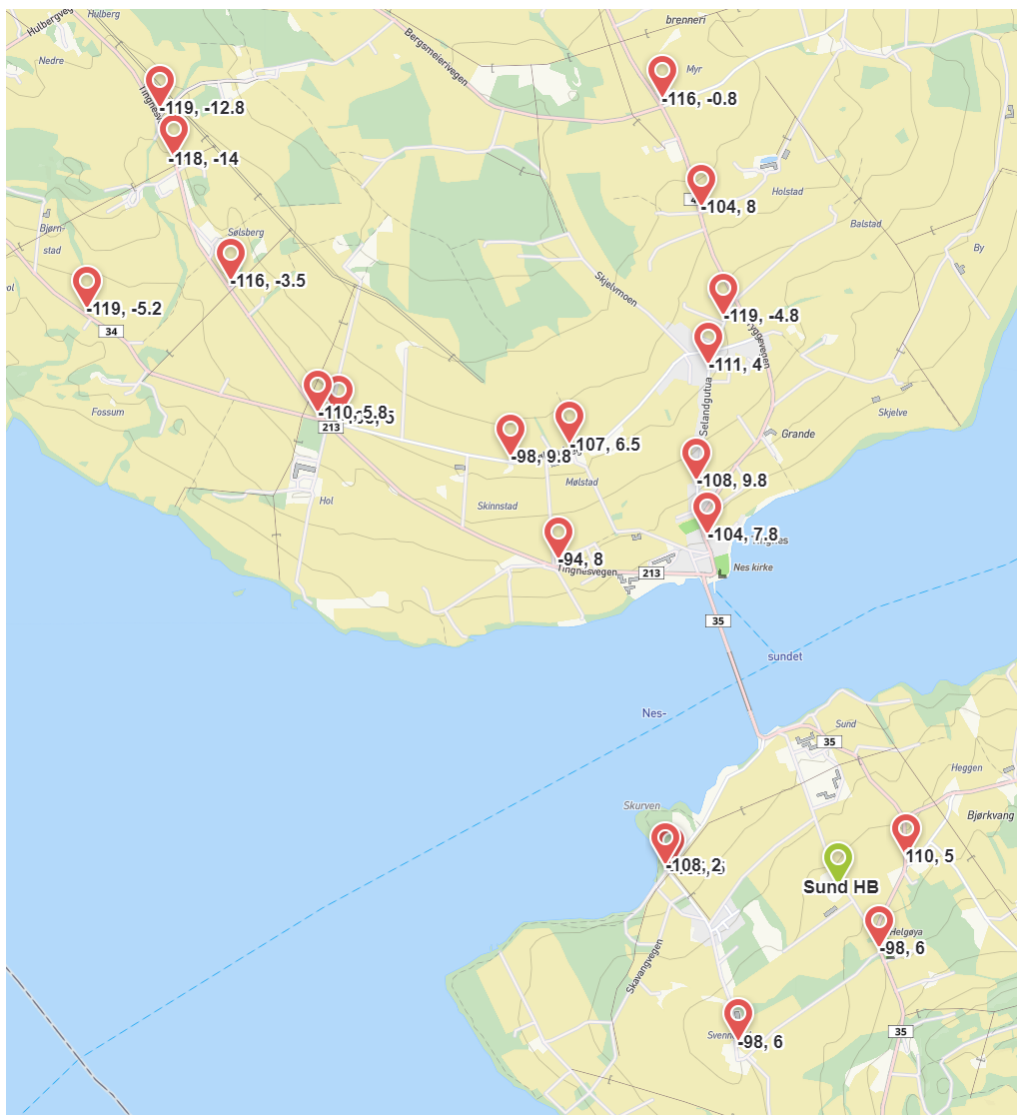
## Torsberget HB





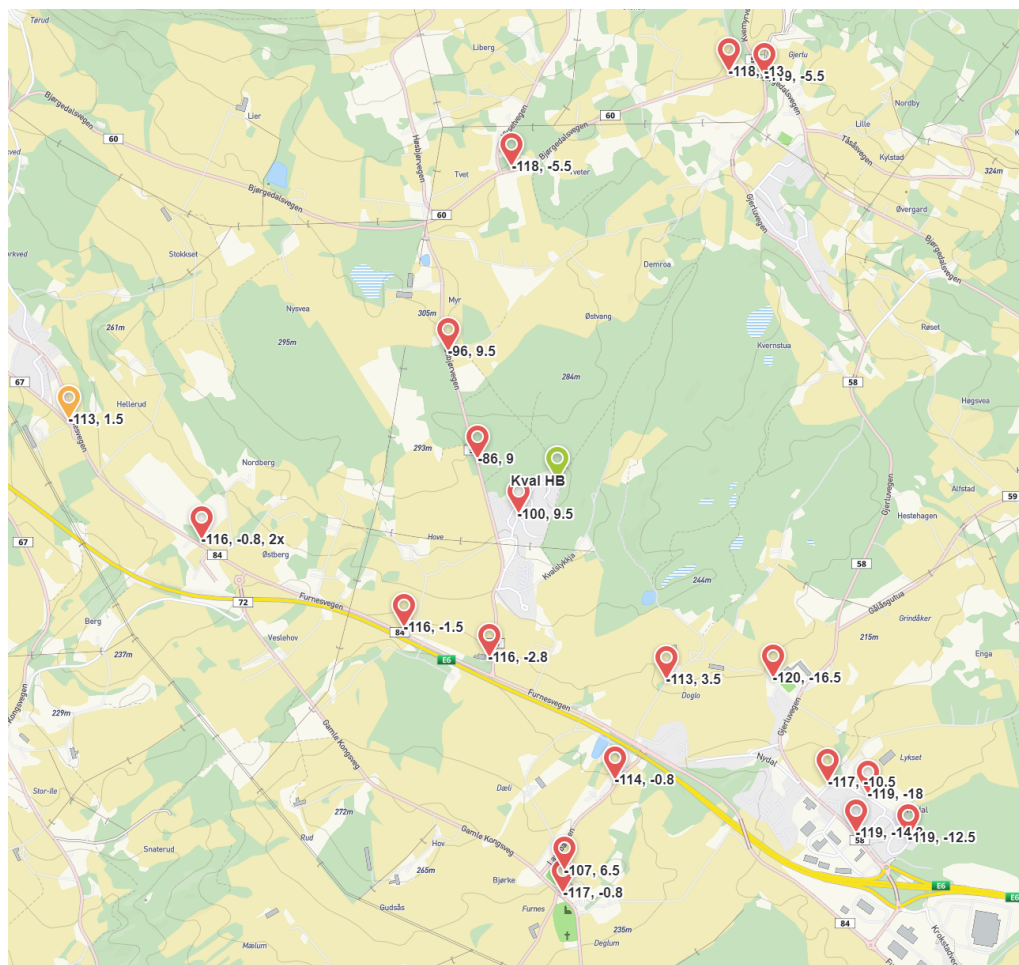
Figur 55: Testene i Torsberget HB.

## Sund HB



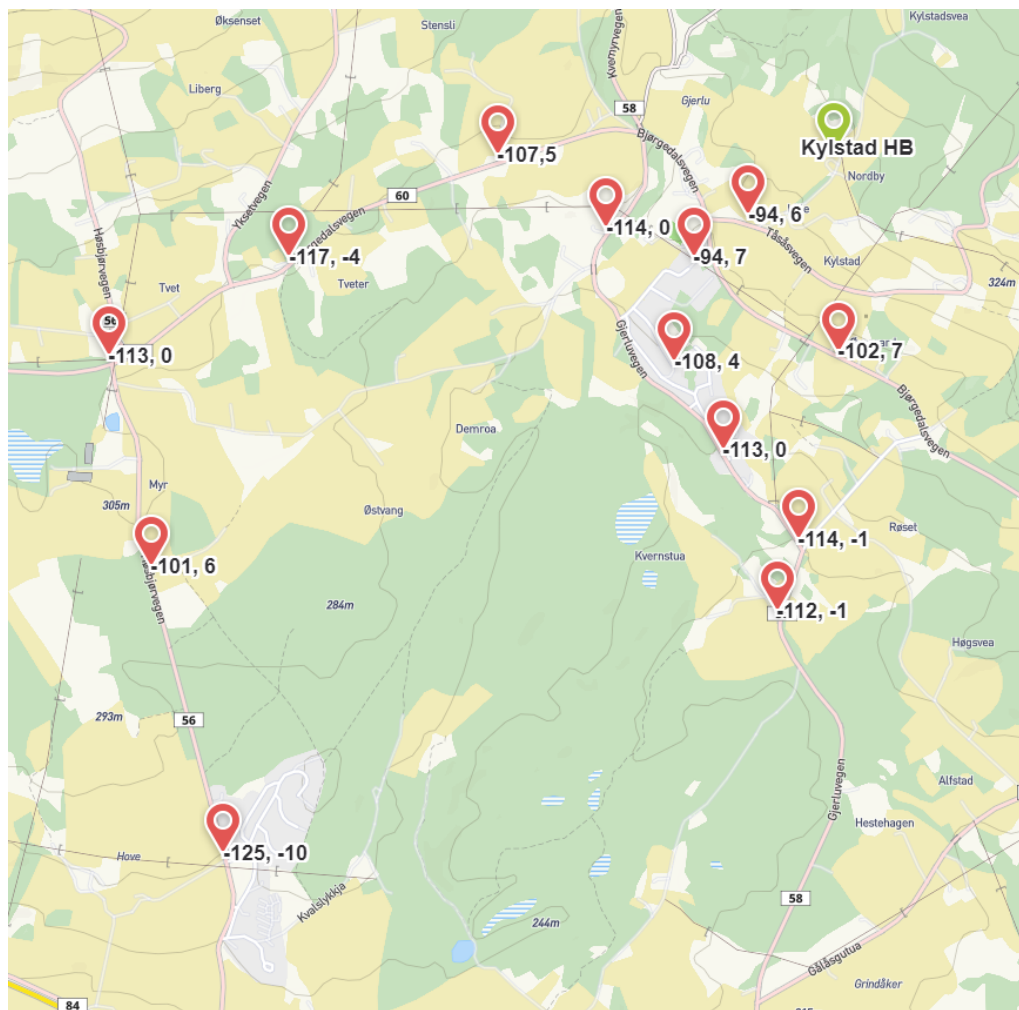
Figur 56: Testene i Sund HB.

**Kval HB**



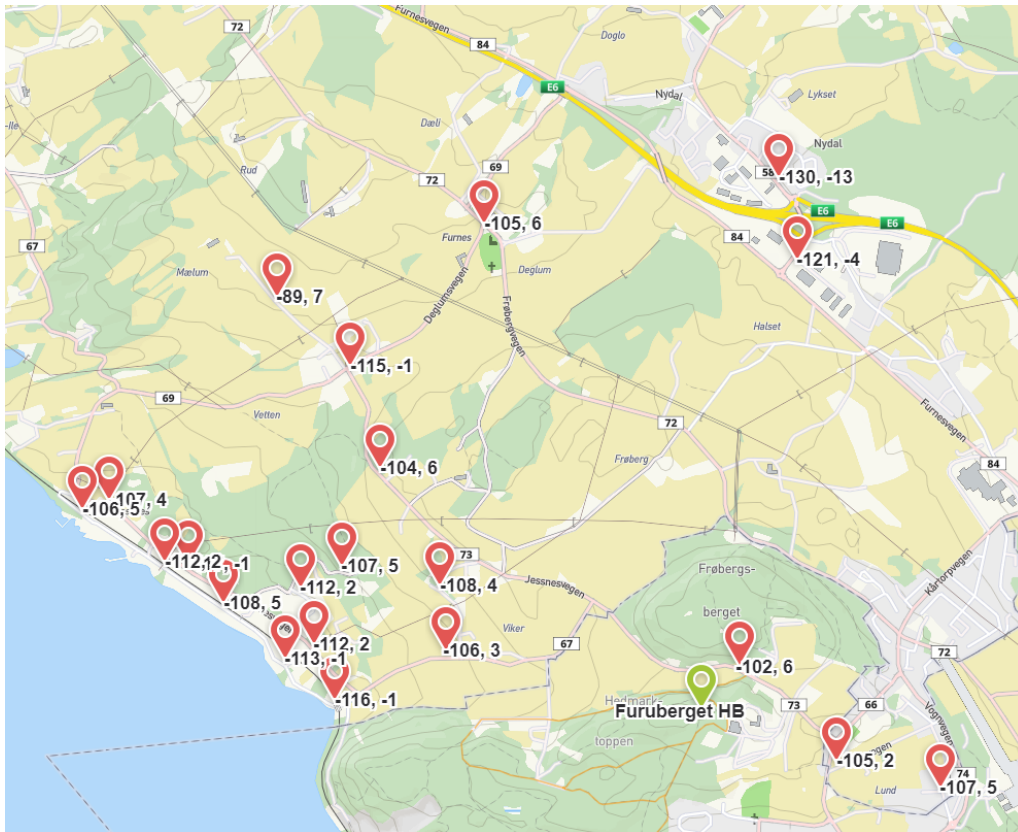
Figur 57: Testene i Kval HB.

### Kylstad HB



Figur 58: Testene i Kylstad HB.

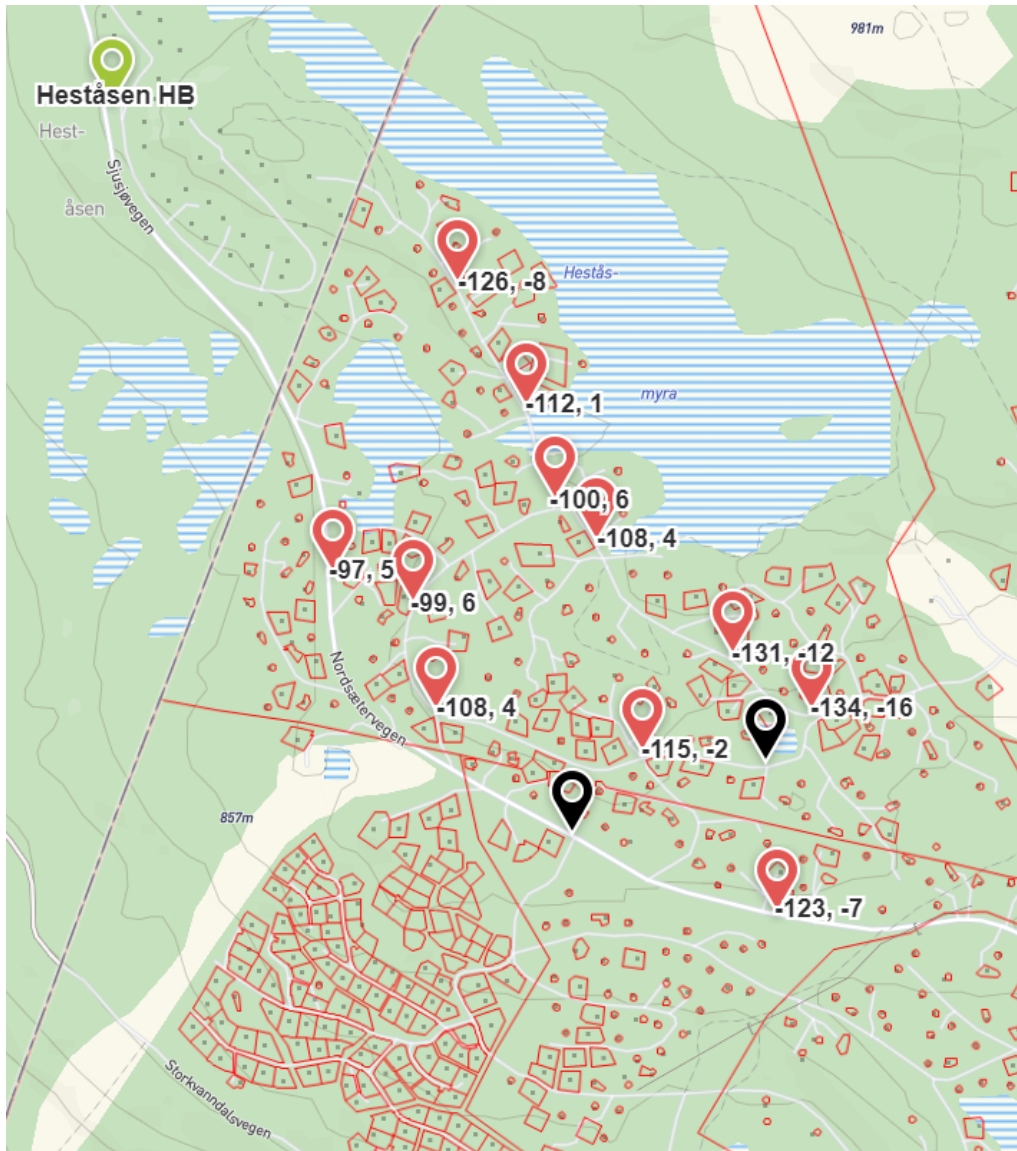
### Furuberget HB



Figur 59: Testene i Furuberg HB.

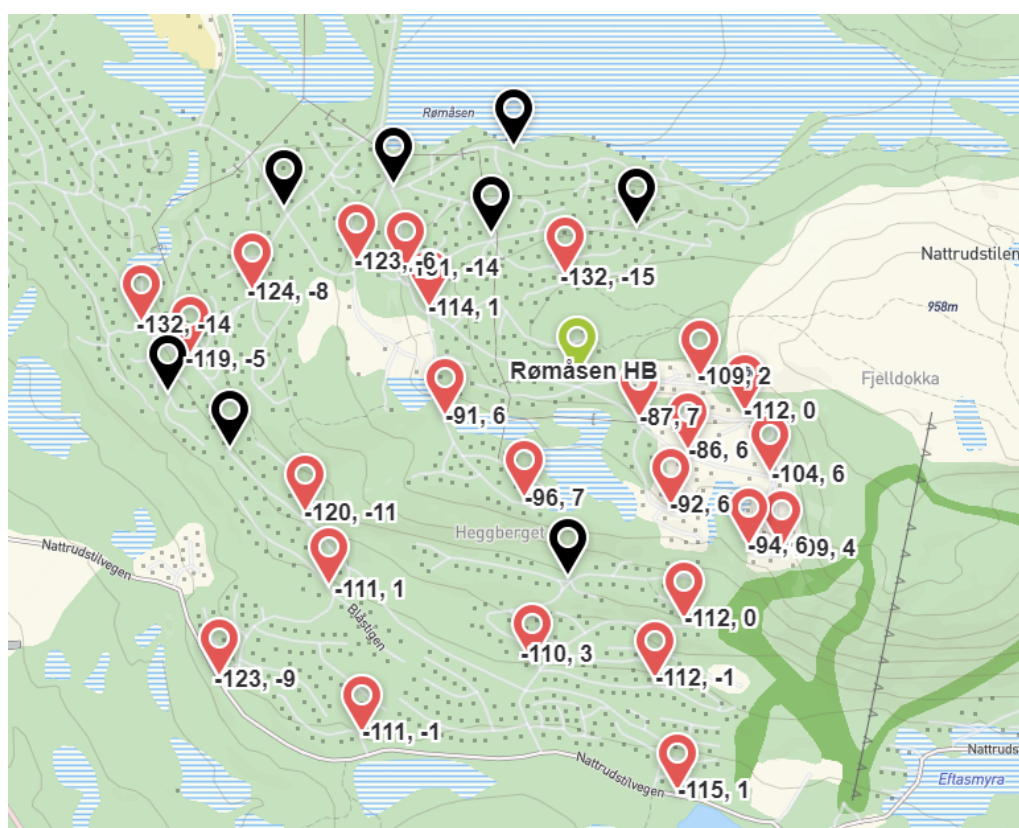
## 2. runde med testing

### Test 2 Heståsen HB



Figur 60: Test 2 i Heståsen HB.

### Test 2 Rømåsen HB



Figur 61: Test 2 i Rømåsen HB.

## B Resultatlogg

### Sjusjøen

#### Storåsen HB

Storåsen ligger på ett av de høyeste punktene i Sjusjøen og egner seg godt som plassering for basestasjon. Selve høydebassenget ligger ca. 16 meter lavere enn toppen av Storåsen. Mye av hytteområdene ligger mellom denne toppen og plasseringen til basestasjonen, noe som kan svekke signalene kraftig. Det var noe overskyet vær, men ellers klart. Det er mange bra resultater fra Storåsen til hytteområdene, men det er et relativt stort område som ligger gjemt bak toppen av storåsen. I dette området var det enten veldig dårlig signal eller helt dødt. Utenom disse områdene har det vært meget positive resultater.

#### Sjusjøen HB

Sjusjøen ligger ned fjellet fra Storåsen og nærmere sjøen. Selv om dette området ligger lengre ned fjellet, så er posisjonen veldig god til å dekke området Storåsen ikke nådde og over til andre siden av vannet. Da testene ble gjennomført var været overskyet med tykk tåke. Sjusjøen vil mest sannsynlig være et supplement til Storåsen (og evt. andre HB) for å dekke de områdene Storåsen ikke klarer å dekke.

#### Heståsen HB

Ikke av de beste basestasjonene ettersom de aller fleste av resultatene er i grenseland, med svakt signal. Kan være lurt å vurdere å plassere basestasjonen ved et annet område. Det var klart vær og sol da vi testet. Det virket også varierende om signalet traff godt over distansen, da det var signal noen steder, mens ingen signal andre steder.

#### Rømåsen HB

Rømåsen HB er godt egnet som en basestasjon for alt som ligger sør for høydebassenget. Men det har dårlig rekkevidde nordover på grunn av vanskelig terreng. Da testene ble utført var det fint vær; klar himmel, sol og god sikt. Signalet var sterkt så langt det skulle rekke sørover helt til siste sørlige boligfelt. Vi fikk ikke testet et hytteområdet øst for basestasjonen på grunn av dårlig tid. Signalet var også sterkt vestover og dekket alle hyttene i denne retningen. Nordover var det problematisk, og signalet rakk ikke veldig langt. Det er vanskelig terreng da det er en bratt oppoverbakke hvor hytter ligger gjemt bak. Her har vi et problemområde. Dette kan kanskje løses om det plasseres en basestasjon på toppen av Natrudstilen.



## **Mesnali HB**

Mesnali HB vil fungere utmerket som en basestasjon. Dette høydebassenget hadde veldig god sikt mot sør og vest. Nordover er terrenget mer kupert. Testene ga veldig gode signaler i alle boligfelt som får vann av kommunen. Signalene hadde høy RSSI og høy SNR. Selv med vanskelig terreng fikk vi også signal lenger nord, disse da med lavere RSSI og SNR. Da vi testet hadde vi klar himmel og sol.

## **Lismarka, Brøttum, Åsen og Næroset**

### **Lismarka HB**

Bra plassert basestasjonen, dekket hele området som skulle dekkes, og enda litt til. Det var overskyet og litt vind da vi testet.

### **Brøttum HB**

En god basestasjon for det nærliggende området. Basestasjonen dekker alt som må dekkes, i de retninger det gjelder. Det var overskyet da vi testet.

### **Åsen HB**

Åsen HB lå godt plassert på en høyde med god sikt utover hele området som får vann av kommunen. Plasseringen av høydebassenget gjorde at vi fikk veldig gode signaler i hele området og gjør at Åsen HB er godt egnet som plassering for en basestasjon. Været var sol med litt skyer. Ellers var det ingen tåke og god sikt.

### **Næroset HB**

Næroset lå ikke på en typisk topp men hadde likevel relativ god sikt. Testene rangerte fra gode til akseptable i dette området. Her er det ytterkantene av vannettet som kan være problematisk, men det var fortsatt en SNR som var større enn -5 på alle testene. Næroset hadde ikke antennestang, dette gjorde at vi ikke fikk festet antenna så høyt som vi opprinnelig ville. Mulig resultatene hadde vært bedre med en høyere antenne. Været var sol med litt skyer. Ellers var det ingen tåke og god sikt.

## **Moelv**

### **Ringen Rehab**

Ringen Rehab er en god plassering siden bygningen ligger høyt oppe i forhold til vannettet som skulle dekkes. Siden taket på bygningen var utilgjengelig ble basestasjonen plassert på loftet innendørs som nest beste plassering. Selv om basestasjonen ble plassert innendørs var det likevel gode signaler. Hvis den hadde vært plassert på taket ville signalene blitt enda bedre, og dekket et enda større område. Været var overskyet.

### **Moelv Øvre HB**

Moelv Øvre HB er ikke en ideell plassering for en basestasjon fordi den er omringet av mye skog, og fordi deler av vannettet ligger på samme høyde eller høyere enn selve HB-et. Resultatene var veldig ustabile, og det var flere områder hvor det ikke var noe signal. Moelv Øvre virker derfor ikke som et godt egnet sted for en basestasjon. Været var overskyet.

### **Moelv Nedre HB**

På Moelv nedre ble antenna plassert enkelt på taket. Det var ikke så bra sikt som antatt, og resultatene dekket heller ikke så stort område som ønsket. Signalet var sterkt i området nærme basestasjonen, men ble fort for svakt. Det er verdt å nevne at området dekket av denne basestasjonen dekkes også veldig godt av basestasjonen som kan plasseres på Ringsaker Teknisk Drift".

### **Kvernstubrua PV**

Denne pumpestasjonen lå dårlig plassert siden lokasjonen lå lavere en store deler av vannettet. Det var bratt opp til vannettet som gikk langs vegen i tillegg til mye skog. Dette gjorde at vi fikk veldig dårlige signaler selv om det var oppholdsvær og fine værforhold. Vi vil derfor ikke anbefale Kvernstubrua som en basestasjon.

### **Ringsaker Teknisk Drift**

Antenna ble plassert på taket til Ringsaker Teknisk Drift. Fra taket hadde vi veldig god sikt over hele Moelv. Ut i fra sikten antok vi at vi kom til å få gode signaler, noe som ble bekreftet av testene vi gjorde. Dette bygget står frem som den beste plasseringen for dekning av Moelv, da den dekker store deler av område alene.

### **Rudshøgda, Skarpsno og Veldre**

#### **Rudshøgda HB**

Rudshøgda høydebasseng lå på andre siden av dalen, noe som ga fri sikt til nesten hele område som får vann av kommunen. Dette resulterte i svært gode signaler over hele område. Eneste som da gjensto var å teste hvor langt signalet rakk langs vegen. Disse testene ga en relativt bra lengde fra høydebassenget.

#### **Veldre 1 TØ**

Veldre har to pumpestasjoner, Veldre 1 og Veldre 2. Vi testet Veldre 1 og fant ut at det var relativt god dekning sentralt. Veldre 1 hadde signal helt opp til der Veldre 2 begynner, men vi har ikke testet Veldre 2. Vi ser også at det er mange oransje markører, som betyr at signalet plukkes opp av mer enn en basestasjon. Store deler av Veldre ble også plukket opp av antennen på Mjøstårnet.

## **Brumunddal**

### **Brumund HB**

God dekning sentralt. I tillegg ble signalet plukket opp flere ganger av antennen som var satt opp på Mjøstårnet, noe som var overraskende. Ellers var det dårlig dekning med en gang vi kjørte vestover mot Byflaten. Dette var altså et dødt område.

### **Nybygda HB**

Nybygda høydebasseng har god dekning sentralt rundt boligområdene. Vann-nettet går mellom vegen og elven helt ned til Brumunddal by. Dessverre klarte ikke Nybygda å dekke langt nok på vegen som går mot Brumunddal.

## **Kylstad, Kval og Furuberget**

### **Kylstad HB**

Høydebassenget ligger litt i høyden i et nabolag. Området i Kylstad var ganske bra. Kylstad dekker hele vannettet fram til Kval basestasjon uten spesielle problemer.

### **Kval HB**

Høydebassenget ligger greit til i forhold til høyde ved et nabolag. Dessverre klarte den ikke å dekke så langt som vi trodde, men fikk allikevel god dekning ellers. Overskyet vær.

### **Furuberget HB**

Under normale omstendigheter ville Furuberget vært et optimalt sted å ha en basestasjon siden den ligger høyt oppe på en dal, men Furuberget blokkerer utsikten mot Nydalen (som er et problemområde). Utenom dette så er Furuberget et bra sted. Den dekker også vannettet bra i og ovenfor Jessnes.

## **Gaupen, Jøstad, Torsberget, Årengen og Sund**

### **Gaupen HB**

Gaupen lå godt plassert oppe i høyden med god sikt og lite terreng i vegen. Signalene fra dette høydebassenget dekket hele vannettet i området og vi fikk også en overlapp mot Jølstad HB.

### **Jølstad HB**

Jølstad HB lå litt ugunstig til med tung vegetasjon rundt seg. Til tross for vegetasjonen fikk vi en akseptabel rekkevidde på signalet. Men området kan bli vanskelig når det blir montert ende-enheter i kjellerne på husstandene, da er det ikke lenger sikkert at området blir dekket av dette høydebassenget.

### **Torsberget HB**

Torsberget HB er en god lokasjon for en basestasjon. Signalene klarte å dekke hele Ringsaker kommunes vannett i dette området. Bra vær med klar himmel, sol, og varmegrader.

### **Sund HB**

Lokasjonen av Sund HB er veldig bra. Sund ligger halvveis på toppen av Helgøya og har god og fri sikt mot fastlandet. Signalene var så gode at de nådde helt opp til Årengen HB. Bra vær med klar himmel, sol og varmegrader.

## C Dagslogg

**08.01.2019**

Bli kjent møte og diskutert rundt oppgaven. Sendt mail til oppdragsgiver, og sett gjennom prosjektavtale. (Alle)

**10.01.2019**

Begynte med research om LoRa og LoRaWAN teknologi gitt av oppdragsgiver som bør gjennomgås før møte. Påbegynt skriving av prosjektplan. Sendte mail til veileder. Bilde ide på rapport. (Alle)

**14.01.2019**

Første møte med veileder. Bestemte oss for å studere videre om temaet før første møte med oppdragsgiver 18. januar. (Alle)

**18.01.2019**

Drar sammen til første møte med oppdragsgiver til Moelven. Fikk vite mye rundt oppgaven som målene osv. (Alle)

**21.01.2019**

Begynt å jobbe for fullt på prosjektplanen, hovedsakelig mål og rammer (Daniel/Kristian/Kevin).

**22.01.2019**

Fortsatt jobbing med prosjektplan (mål/rammer/bakgrunn) (Daniel/Kevin).

**23.01.2019**

Jobbing med prosjektplan (omfang/prosjektorganisering) (Daniel/Kevin).

**24.01.2019**

Jobbing med prosjektplan (omfang/kvalitetssikring) (Daniel/Kevin).

**25.01.2019**

Jobbing med prosjektplan (SU-modell/rammer) (Daniel/Kristian/Kevin).

**28.01.2019**

Jobbing med prosjektplan (Omfang/SU-modell/Gjennomføring) (Alle).

**29.01.2019**

Møte med oppdragsgiver og LMC (alle).

**30.01.2019**

Jobbing med rammeverk (Kevin). Jobbing med Gantt-diagram (Daniel). Møte med veileder (alle).

**31.01.2019**

Lagt inn Gantt diagram i planen (Daniel)

**04.02.2019**

Dro til Moelven for generell informasjon om lokasjoner av høydebasseng osv. Dro til et potensielt høydebasseng i Moelv med Andreas Walle for å ta en kikk.

**08.02.2019**

Dro til Moelv for å begynne planlegging av første test samt oppsett av fremtidige tester. Satte alle høydebasseng på kommunekartet.

**11.02.2019**

Testing i Moelv, Storåsen høydebasseng (Hans Kristian/Kristian). Rapportskriving (Om LoRa/LoRaWAN) (Daniel/Kevin). Fikk problemer med oppdatering på målere (spreadingfaktor 5 osv). Ble ikke noe testing allikevel.

**15.02.2019**

Testing på Storåsen høydebasseng (HB) (Hans Kristian/Daniel/Kevin).

**18.02.2019**

Testing på Sjusjøen HB (Daniel/Kevin). Rapportskriving (Hans Kristian/Kristian).

**22.02.2019**

Testing på Heståsen HB (Daniel/Kristian). LoRa research (Kevin).

**25.02.2019**

Testing på Rømåsen HB (Kristian/Kevin). Rapportskriving (Hans Kristian/Daniel).

**01.03.2019**

Testing på Mesnali HB (Hans Kristian/Daniel). Rapportskrivning (Resultater) (Kristian/Kevin).  
Kombinert Sjusjøen i kommunekart

**04.03.2019**

Testing på Lismarka HB (Kristian/Kevin). Rapportskrivning (Hans Kristian/Daniel).

**08.03.2019**

Testing på Brøttum HB (Kristian/Daniel/Kevin).

**11.03.2019**

Testing på Åsen HB og Næroset HB (Hans Kristian/Daniel). Rapportskrivning (Kristian/Kevin).  
Brukermanual av ny LoRa range tester (Kristian/Kevin).

**15.03.2019**

Testing på Moelv Øvre HB og Ringen Rehab (Kristian/Kevin). Rapportskrivning (Hans Kristian/Daniel).

**18.03.2019**

Testing på Kvernstubrua (Hans Kristian/Kevin). Rapportskrivning (Hans Kristian/Daniel/Kevin).  
Testing avbrutt tidlig på grunn av knekt kabel.

**22.03.2019**

Testing (Furuberget), Kval (Daniel/Kevin). Rapportskrivning (Hans Kristian/Kristian).  
Testing på Furuberget avbrutt siden nøkkel ikke passet i døra. Fikk dermed ikke tilgang på strøm.

**25.03.2019**

Testing av Ringsaker Teknisk Drift, Moelv nedre og rudshøgda (Hans Kristian/Kristian).  
Rapportskrivning (Daniel/Kevin).

**29.03.2019**

Testing av Sund HB og Torsberget HB (Daniel/Kevin). Rapportskrivning (Hans Kristian/Kristian).

**01.04.2019**

Testing av Gaupen HB og Jølstad HB (Hans Kristian/Kristian). Rapportskrivning (Daniel/Kevin).  
Statusmøte med Ringsaker kommune.

**03.04.2019**

Møte med veileder.

**05.04.2019**

Testing av Veldre TØ, Brummund HB og Nybygda HB (Daniel/Kevin). Rappportskriving (Hans Kristian/Kristian).

**08.04.2019**

Testing av Furuberget HB og Kylstad HB (Daniel/Kevin). Rappportskriving (Hans Kristian/-Kristian).

**12.04.2019**

Testing på nytt av Heståsen HB og Rømåsen HB (Hans Kristian/Kristian). Ferdig med testing. Rappportskriving (Daniel/Kevin).

**24.04.2019**

Fordeling av arbeidsoppgaver for rappportskriving.

**26.04.2019**

Rappportskriving (Hans Kristian/Kristian).

**29.04.2019**

Rappportskriving (Alle).

**30.04.2019**

Rappportskriving (Alle).

**01.05.2019**

Rappportskriving (Alle).

**02.05.2019**

Rappportskriving (Hans Kristian).

**03.05.2019**

Rappportskriving (Alle).



**04.05.2019**

Rapportskriving (Hans Kristian).

**05.05.2019**

Rapportskriving (Hans Kristian/Kristian).

**06.05.2019**

Rapportskriving (Alle).

**07.05.2019**

Rapportskriving (Alle).

**08.05.2019**

Rapportskriving (Alle).

**09.05.2019**

Rapportskriving (Alle).

**10.05.2019**

Rapportskriving (Alle).

**12.05.2019**

Rapportskriving (Alle). Gjennomgang av diskusjonsdel (Alle).

**13.05.2019**

Rapportskriving (Alle). Gjennomgang av diskusjonsdel (Alle).

**14.05.2019**

Møte med veileder. (Alle) Gikk igjennom feil og mangler fra veileder.

**15.05.2019**

Rapportskriving (Alle).

**16.05.2019**

Rapportskriving (Alle). Gikk igjennom hele oppgaven for feil og mangler (Alle).

**18.05.2019**

Sammendrag og konklusjon (Daniel/Kristian). Korrekturlesing (Kevin). Lagt til vedlegg (Kevin).

**19.05.2019**

Sammendrag og konklusjon (Daniel/Hans Kristian/Kristian). Vedlegg (Kevin).

## D Møtereferater

**14.01.2019**

Første møte med veileder.

Ikke så mye å gå igjennom før første møte med oppdragsgiver, men veileder ga oss to pdf-er om temaet som kan være relevant.

**18.01.2019**

Møte med Ringsaker kommune.

Introduksjonsmøte.

Fikk utstyr.

**29.01.2019**

Møte med oppdragsgiver og LMC. Informasjonsmøte om LoRa og LoRaWAN teknologien.

LoRa Operatør: drifter LoRa nettverk selv.

LoRaWAN er en åpen ikke proprietær teknologi. Kunden blir ikke låst til leverandør.

LoRa kan brukes til mye annet.

Sensor: SaaS eller egen sensor kjøpt. Må være godkjent av LoRa alliance

Base: åpent eller privat nett. Mye verdi for investeringer. Kommuniserer med en tjenesteplattform

Tjenesteplattform: I dette tilfellet: helnorsk datasenter. Fullt overvåket. Sikkerhetsperspektiv: må vite hvor dataene er. Fokus på ingen manipulering av data og sikkerhet.

Tjenesteplattform kan kommunisere. Kommunen burde eie dataen 100Overvåkning med ID-PS. Ser på pakkestørrelse, tidspunkt, . . . .

Byttet ut Wireless M-Bus til LoRa.

Notis: se på Wireless M-bus

Kan splitte oppe hvor de vil sende data etter kommunens ønsker.

Hva er den største utfordringen dere har med LoRa?

God rekkevidde. Båndbredde. Samle inn periodisk p

Sikkerhet mellom Sensor og Base og Tjeneste plattform?

Sender data med MQTT

Åpent / privat nettverk.

Kan bruke infrastruktur og trenger ikke bygge infrastrukturer til hverandre

Kan ha egen stack og egen data.

Hvorfor LoRa:

Protkoll: AES128 – ende til ende kryptering fra transport til applikasjonslaget.

Åpen ikke prop protokoll MQTT kan gå på andre kjente protokoller Rekkevidde: 30-40km.  
En base opp til en mill sensorerer. Større tetthet enn 30-40km for å unngå skyggeområder.  
Alle baser som hører sensor tar den inn.  
Tips? Det beste: klatre opp på øverste toppen. Hvor andre steder kan du komme.  
Narrowband IoT: diskuter Strømforbruk: Asynkron teknologi: 3-5 ganger mindre enn LoRa-  
WAN: Vurder hvor ofte måling trengs.  
Følsomhet: 20-30 dB bedre enn kommersiell radio (veldig robust).  
Kostnad: Volumgain: rimelige sensorer.  
Månedlig kostnad per sensor.  
Bedre basestruktur: bedre kommunikasjon, kapasitet  
Større basekonstentrasjon er fordel i stor mengde husstander.  
Valg av sensor for batterikapasitet og strøm.  
Basestasjon med solcellepanel  
Mulighet for å endre hvor ofte data blir sendt?  
Leverandør: hvor vel implemetert dette er i sensoren.  
Sensoren lytter ikke hele tiden.  
Bruksmønster om vannforbruk blir kraftig endret.  
Endringer tar ikke effekt før neste gang sensoren våkner.  
Lora vs LTE. Trenger da mobildekning. Går på ett nett frekvensbånd.  
800->

### **30.01.2019**

Veiledermøte.  
Diskusjon angående prosjektplanen  
Måling av electric field measurement  
Tenke båndbredde  
Distributed Snort architecture

### **04.02.2019**

Møte med Ringsaker kommune.  
Se på teorien bak signalstyrke i radiobølger, 120 er maks  
Det kommer 2 målere på Rømåsen  
Brannhytta på natrudstilen.  
Bruk terrengprofil til å finne svake punkter.  
Ringgen rehab  
Skal kun dekke områder som har kommunalt vann, Blå ledning

### **1.04.2019**

Statusmøte med Ringsaker kommune.  
Viser målingene fra tester i kommunekart.  
Dekke Tingvang (Kjos HB/Rudshøgda/Teknisk drift).

**03.04.2019**

Møte med veileder.  
Diskusjon av rapporten.

**14.05.2019**

Møte med veileder.  
Gjennomgang av utkast av rapport som ble sendt til veileder uka før.  
Spørsmål til veileder angående antenne-teori.  
Pass på at ord og uttrykk blir forklart før det brukes.  
Frekvenshopping for å forhindre jamming. code rate for å unngå interferens.  
Feilmargin for testerne som ble brukt (kanskje i manualene).

## **E Prosjektplan**

# Prosjektplan

Bachelor 2019

Hans Kristian Solstad, 48073373

Daniel B. Kristensen, 95204882

Kevin A. Barhaugen, 41405133

Kristian A. Skaue, 91144416

January 2019

# Contents

<b>1</b>	<b>Mål og rammer</b>	<b>1</b>
1.1	Bakgrunn . . . . .	1
1.2	Prosjekt mål . . . . .	1
1.2.1	Resultatmål . . . . .	1
1.2.2	Effekt mål . . . . .	1
1.2.3	Læringsmål . . . . .	2
1.3	Rammer . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Omfang</b>	<b>2</b>
2.1	Problemområde . . . . .	2
2.2	Problemavgrensing . . . . .	2
2.3	Problemstilling . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Prosjektorganisering</b>	<b>3</b>
3.1	Ansvarsforhold og roller . . . . .	3
3.2	Rutiner og regler i gruppa . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Planlegging, oppfølging og rapportering</b>	<b>4</b>
4.1	Hovedinndeling av prosjekt . . . . .	4
4.1.1	Prosessmodell . . . . .	4
4.1.2	Metodebruk . . . . .	5
4.2	Statusmøter og beslutningspunkter . . . . .	5
<b>5</b>	<b>Organisering og kvalitetssikring</b>	<b>5</b>
5.1	Dokumentasjon, standardbruk og utstyr . . . . .	5
<b>6</b>	<b>Plan for gjennomføring</b>	<b>6</b>
6.1	Gantt-Skjema . . . . .	6



# 1 Mål og rammer

## 1.1 Bakgrunn

Inntil nå har all vannmåling for husstander i kommunen blitt gjort manuelt av forbrukerne, for så å sende inn informasjonen til kommunen. Dette kan i tilfeller føre til problemer, som unøyaktighet, usikkerhet rundt integriteten til dataene og andre brukerfeil som kan være kostbare for kommune og forbruker.

For å løse disse problemene ønsker Ringsaker kommune selv å ta seg av lesing av vannmålere, derfor har de begynt med testing av en nyere teknologi for fjernavlesning av dem, denne teknologien er kalt LoRaWAN. LoRaWAN kort for Long Range Wide Area Network har styrkene, som navnet tilsier lang rekkevidde, og lavt batteriforbruk. Dette er optimalt i en stor kommune der det ofte er lengre avstander mellom husstander og det er varierende terreng.

Med denne teknologien vil dataene bli samlet inn automatisk, noe som reduserer brukerfeil, og hindrer brukere i å sende inn falske data. Dette vil også effektivisere fakturering og vil gjøre det mulig å se om der er lekkasjer i vann-nettet for hver husstand. I tillegg så kan LoRa gi mulighet for innsamling av data fra andre typer målere, så det er muligheter til å utvide i fremtiden. Nå er spørsmålet, hva slags utfordringer vil innføringen av denne teknologien føre med seg, og er det riktig valg for Ringsaker kommune?

## 1.2 Prosjektmål

### 1.2.1 Resultatmål

- Måle maksimum rekkevidde mellom basestasjon og sensorer, og hva som kan hindre rekkevidden mellom disse.
- Foreslå plassering av basestasjoner og eventuelt hvor mange som trengs for å dekke hele kommunen.
- Vurdere LoRa og LoRaWAN teknologien for å se om denne løsningen kan fungere bra, samt. fremtidsutsikter for denne teknologien.
- Sikkerheten rundt LoRaWAN.
- Interferens fra andre radiosignaler/nettverk i nærheten.
- Serverplassering i Norge eller et annet EU land. Hvorfor/hvorfor ikke.
- Andre typer målere som kan brukes i tillegg til vannmålere (f.eks. temperatur eller luftkvalitet).

### 1.2.2 Effektmål

- Med denne teknologien vil Ringsaker kommune kunne motta bedre data om vannforbruket hos sine abonnenter.

- Enklere få hentet inn fakturagrunnlag for vann og avløp.
- Fjernavlesning vil kunne effektivisere lekkasjesøk i ledningsnett.
- Flere bruksområder enn vann og avløp kan utnyttes med et LoRaWAN.

### 1.2.3 Læringsmål

- Få en mer "hands on" tilnærming og mer praktisk erfaring.
- Bli sikrere på å planlegge og implementere et større prosjekt over lengre tid.
- Bli mer kjent med radiosignaler, og hvordan de fungerer i praksis.
- Få innsikt og bedre forståelse for fremgangsmetoder av utbygging med ny og mindre utprøvd teknologi.

## 1.3 Rammer

Oppgaven går hovedsakelig ut på at alle LoRa sensorer hos abonnentene får dekning i kommunen. Derfor kommer vi ikke i dette prosjektet til å fokusere på de fysiske eller elektriske delene av LoRa.

Gruppen kommer ikke til å forholde seg til, eller involvere seg i, programvareoppdateringer for LoRa og eventuelle problemer disse oppdateringene kan medføre.

Gruppen kommer nok ikke til å teste basestasjonplasseringer for alle tettsteder, men fokuserer mest på en generell tilnærming. Likevel vil gruppen plassere basestasjonene så godt som mulig slik at basestasjonene vil dekke alle abonnenter.

## 2 Omfang

### 2.1 Problemområde

Et av de største problemområde blir topografien til Ringsaker kommune, da kommunen er veldig kupert og har varierende terreng som vil skape ulike problemer for LoRa sender/mottaker.

Videre må det bli tatt hensyn til plassering av basestasjoner, batterilevetid på vannmålere, software/driver, spredning av husstander og rekkevidde på signalet.

Hvor i verden en server for mottak av informasjonen skal plasseres med tanke på sikkerhetsaspekter og kostnad må også ses på. Samtidig blir eierskap av dataene også et viktig grunnlag for hvilke valg som må tas.

### 2.2 Problemavgrensing

Vi kommer først og fremst til å fokusere på hvor basestasjonene burde plasseres for å få best mulig dekning av hele kommunen. Deretter vil vi se på interferens i signalene og sikkerheten rundt bruken av LoRa teknologien.

Til slutt vil vi komme med en vurdering om dette er en teknologi det er verdt å satse på etter hva som ble funnet ut, og om det er noe som kan implementeres i flere kommuner.

## 2.3 Problemstilling

Tidlig i prosjektperioden vil mye av tiden gå til å bli kjent med utstyret, og utføre tester som sjekker utstyrets rekkevidde og hvilke faktorer som spiller inn mot ønsket resultat. Siden kommunen allerede har gjort noen tidligere tester med annen type utstyr, vil gruppen gjøre liknende tester med det nyere utstyret, for å se om resultatene blir like. Utstyret gruppen får tildelt for testing er liknende det som vil bli brukt i praksis, basestasjon er samme type, senderen brukes for testing og sender alltid på full kraft. Dette regner gruppen med vil gi mer korrekte resultater enn tidligere tester, der det var noe annet utstyr.

I de aller fleste tilfeller kommer nok eksisterende høydedrag der høydebassengene ligger, til å være den mest aktuelle plasseringen for basestasjonene. Siden Ringsaker kommune allerede har ledningsnett der. De ligger sentralt plassert til en mengde husstander og de er lokalisert høyt. Testingen vil da for det meste bli fra disse høydebassengene og ned til husstander. Målet blir da å se om man kan nå alle husstandene i området med godt nok signal.

Videre kommer gruppen til å undersøke fordeler og ulemper med LoRaWAN teknologien, som tar for seg grunner både for og imot, og eventuelle andre utfordringer med å bruke teknologien til dette formålet. Gruppen vil også vurdere sikkerheten rundt teknologien, både fysisk og teoretisk og analysere potensielle trusler som kan utøve en risiko. Samtidig vil gruppen også se på eventuelle muligheter for å utvide systemet til andre deler.

# 3 Prosjektorganisering

## 3.1 Ansvarsforhold og roller

**Leder:** Daniel B. Kristensen

**Loggfører:** Kevin A. Barhaugen

**Medlem:** Kristian A. Skaue

**Medlem:** Hans Kristian Solstad

**Veileder:** Slobodan Petrovic

**Kontaktperson:** Andreas Walle

Lederen er kontaktperson for både veileder og oppdragsgiver med tanke på møter, informasjon og lignende over mail. Loggføreren har som ansvar å skrive logger for hver gang alle gruppemedlemmer møtes for å jobbe, i tillegg til å skrive møtereferater for alle møter med veileder og oppdragsgiver. Hvis gruppemedlemmene skal jobbe individuelt har hvert gruppemedlem et eget ansvar for å loggføre sitt arbeid.

## 3.2 Rutiner og regler i gruppa

Alle medlemmer er pliktige til å si ifra hvis de ikke rekker avtalt møte, eller av andre grunner ikke kan møte opp. Har du påtatt deg en oppgave, forventes det at det skal gjøres et ærlig forsøk på å gjøre oppgaven ferdig eller si ifra hvis problemer oppstår. Om uenigheter oppstår er det gruppeleder som tar den endelige avgjørelsen. Kommunikasjonsmedier er Discord, Telefon, mail og Facebook.

# 4 Planlegging, oppfølging og rapportering

## 4.1 Hovedinndeling av prosjekt

Til å begynne med vil fokus være på Rekkeviddemåling og basestasjons plassering. Dette vil være den største delen av prosjektet. Videre har vi flere mål som skal oppnås, og disse vil ha fokus i slutten av prosjektperioden, etter at hovedmål blir fullført.

Oppgaven er stabil og det vil være få endringer, og lite som kan dukke opp som fører til drastiske endringer. Det er mulig å forandre delmålene, men meningen med delmål vil forbli det samme. Det er også gode muligheter for å legge inn flere delmål senere i prosjektperioden.

### 4.1.1 Prosessmodell

Siden hovedmålet med oppgaven er å måle rekkevidden mellom basestasjon og sender/sensor for å bestemme aktuelle plasseringer for basestasjoner, har gruppen bestemt seg for å ha selve modellen som en PDCA (Plan, Do, Check, Act) inspirert prosess. Utenom prosessen som er beskrevet under, vil også teorien bak undersøkes parallelt med prosessen. Måten dette gjøres på er at gruppen blir delt i to (to på hver gruppe), den ene gruppen går gjennom test-prosessen mens den andre gruppen utforsker teori.

PDCA inspirert prosess som skal utføres:

- Planlegging
- Testing
- Gjennomgang
- Vurdering

#### **Planlegging**

I planleggingsfasen skal det planlegges hvilken del av kommunen man vil teste rekkevidden i, og sette opp en kjørerute som dekker denne delen. Det vil også bli diskutert senere i perioden om man skal teste mer enn bare rekkevidde.

#### **Testing**

Her testes det som ble planlagt i planleggingsfasen. Testingen går hovedsakelig ut på å måle rekkevidden mellom sender og basestasjon, og dokumentere funnene på et kart. Kun to personer om gangen vil utføre testen siden bilen som skal brukes under testing har bare to seter.

## **Gjennomgang**

Etter testingen er ferdig blir resultatene gjennomgått og dokumentert. Alle punktene på kartet blir kategorisert og dokumentert på et separat dokument som senere kan bli brukt som informasjon til rapporten.

## **Vurdering**

Når resultatene er gjennomgått og dokumentert vil det bli gjort en vurdering på hvorfor resultatene er slik de er. Vurderingen vil inkludere værforhold, topografi, mulig interferens med mer. Når vurderingen er ferdig gjøres det utforskning på mulige uklarheter som skulle dukke opp for å finne mulige svar på disse.

Disse fire fasene representerer en testprosess. Når neste test skal utføres repeteres de fire fasene ovenfor.

Grunnen til at vi har valgt denne typen modell er fordi det ikke er noe som skal utvikles. I tillegg er det mye som skal undersøkes i forhold til teknologien som er involvert, og det vil derfor ikke passe med en standard utviklingsmodell. Denne modellen gjør at vi kan gjøre tester samtidig som å utforske den relevante teorien bak teknologien.

### **4.1.2 Metodebruk**

Metodene vi skal bruke for å nå ønsket resultat kommer først og fremst til å være praktisk testing ute i Ringsaker kommune, der vi vil reise rundt med en basestasjon og måler og teste forskjellige forhold.

Ellers vil det være informasjonsanking for kunne vurdere teknologien. Vi kommer til å finne mye av informasjonen på internett og vil også spørre fagkjente.

## **4.2 Statusmøter og beslutningspunkter**

Prosjektplan må leveres innen 1. Februar.

Jevnlige statusmøter med veileder, 2 ganger i måneden.

Jevnlige statusmøter med oppdragsgiver.

Bachelor må leveres innen 15. Mai.

Presentasjon av bachelor vil skje i uke 23 eller 24

# **5 Organisering og kvalitetssikring**

## **5.1 Dokumentasjon, standardbruk og utstyr**

Dokumentasjon vil hovedsakelig gjøres i Google Drive som alle gruppemedlemmene har tilgang til. Dokumentasjonen vil være dagslogger, møtereferater og nettkilder. I tillegg skal det også dokumenteres på et kart over kommunen når testing av LoRaWAN teknologien utføres for å avdekke hvor man eventuelt mottar signal eller ikke fra senderen.

Som tidligere nevnt vil gruppen bruke Google Drive og Google Docs for å skrive og dele dokumenter og figurer seg imellom. Selve prosjektplanen og rapporten vil bli skrevet i LaTeX.

Ringsaker kommune har pr. dagsdato to aktive basestasjoner som kan brukes til testing for oppgaven. Kommunen har også en sender som skal brukes for å teste rekkevidden på signalene som skal til basestasjonen.

## 6 Plan for gjennomføring



### 6.1 Gantt-Skjema

Planen viser hvordan vi tenker å kjøre 2 prosesser samtidig, som nevnt tidligere. Prosjektplanleggingsfasen blir med dette dokumentet sett på som ferdig utført. I testfasen vil vi med hver test planlegge hva som skal gjøres den dagen. Første dagen vi skal ut og teste skal vi først gå gjennom hvordan vi bruker utstyret og lage en oversikt over hva vi må undersøke nærmere. Testene er satt til å gå over 2 måneder i første omgang, dette er noe som kan endres om vi føler vi trenger mer eller mindre.

Før noen begynner på et tema skal de gjøre det klart hva de skal arbeide med, for at ikke flere skal skrive unødig om det samme emnet. Ellers vil prosessen der bestå av å sanke informasjon, gjøre vurderinger og rapportskrivning

Første skjemaet viser en oversikt med tidsplan, andre skjemaet viser litt mer detaljer på noen hendelser.



ID		Aktivitetsnavn	Varighet	Start	Slutt	Foregående aktiviteter
1		<b>Ringsaker kommune, Fjernvanmåling med LoRaWAN</b>	<b>93 dager</b>	<b>ma 07.01.19</b>	<b>on 15.05.19</b>	
2		<b>Prosjektplanlegging</b>	<b>19 dager</b>	<b>ma 07.01.19</b>	<b>to 31.01.19</b>	
3		Hurtig gjennomgang for prosjektplannlegging	1 dag	on 09.01.19	on 09.01.19	
4		Sette opp mal for prosjektplan	2 dager	to 10.01.19	fr 11.01.19	
5		Veileder møte	1 dag	ma 14.01.19	ma 14.01.19	
6		Møte med oppdragsgiver	1 dag	fr 18.01.19	fr 18.01.19	
7		Informasjonsmøte i Moelv, LORAWAN	1 dag	ti 29.01.19	ti 29.01.19	
8		Prosjektplan arbeid	9 dager	ma 21.01.19	to 31.01.19	
9		<b>Testfase</b>	<b>44 dager</b>	<b>ma 04.02.19</b>	<b>to 04.04.19</b>	<b>2</b>
10		Planlegge tester og nødvendige aktiviteter	1 dag	ma 04.02.19	ma 04.02.19	
11		<b>Planlegging, måling og testing</b>	<b>41 dager</b>	<b>ma 04.02.19</b>	<b>ma 01.04.19</b>	
12		Planlegging, måling og testing 1	1 dag	ma 04.02.19	ma 04.02.19	
13		Planlegging, måling og testing 2	1 dag	ma 11.02.19	ma 11.02.19	
14		Planlegging, måling og testing 3	1 dag	ma 18.02.19	ma 18.02.19	
15		Planlegging, måling og testing 4	1 dag	ma 25.02.19	ma 25.02.19	
16		Planlegging, måling og testing 5	1 dag	ma 04.03.19	ma 04.03.19	
17		Planlegging, måling og testing 6	1 dag	ma 11.03.19	ma 11.03.19	
18		Planlegging, måling og testing 7	1 dag	ma 18.03.19	ma 18.03.19	
19		Planlegging, måling og testing 8	1 dag	ma 25.03.19	ma 25.03.19	
20		Planlegging, måling og testing 9	1 dag	ma 01.04.19	ma 01.04.19	
21		Bearbeiding av informasjon				
22		<b>Andre tema</b>	<b>73 dager</b>	<b>ma 04.02.19</b>	<b>on 15.05.19</b>	
23		Dele opp tema				
24		Informasjonssanking				
25		Rapportskriving				
26		Konklusjon og ferdig rapport	0 dager	fr 10.05.19	fr 10.05.19	
27		Siste finpuss	4 dager	lø 11.05.19	on 15.05.19	