

Amund Alfsen
Martin Solvik

Sammenligning av strømforbruket mellom LoRaWAN og NB-IoT

Bacheloroppgave i ingeniørfag, elektronikk og sensorsystemer
Veileder: Arild Moldsvor
Mai 2023

Amund Alfsen
Martin Solvik

Sammenligning av strømforbruket mellom LoRaWAN og NB-IoT

Bacheloroppgave i ingeniørfag, elektronikk og sensorsystemer
Veileder: Arild Moldsvor
Mai 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk
Institutt for elektroniske systemer



Kunnskap for en bedre verden



Norwegian University of
Science and Technology

Sammenligning av strømforbruket mellom LoRaWAN og NB-IoT

Forfattere
Amund Alfsen
Martin Solvik

Bacheloroppgave i ingeniørfag, elektronikk og sensorsystemer
20 ECTS

Institutt for elektroniske systemer
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet,

21.05.2023

Veileder

Arild Moldsvor

Sammendrag av Bacheloroppgaven

Tittel:	Sammenligning av strømforbruket mellom LoRaWAN og NB-IoT
Dato:	21.05.2023
Deltakere:	Amund Alfsen Martin Solvik
Veiledere:	Arild Moldsvor
Oppdragsgiver:	Telenor
Kontaktperson:	Ivar Sorknes, ivar.sorknes@telenor.no, 90941599 Roy Seland, roy.seland@telenor.no, 41660488
Nøkkelord:	IoT, FiPy, NB-IoT, LoRaWAN, Strømforbruk
Antall sider:	40
Antall vedlegg:	1
Tilgjengelighet:	Åpen

Sammendrag:	<p>Denne oppgaven har som formål å sammenligne to forskjellige trådløse kommunikasjonsteknologier, og oppgaven er gitt av Telenor. NB-IoT og LoRaWAN er en del av LPWAN kategorien innenfor trådløs kommunikasjon, og egner seg til IoT systemer. Det viktigste aspektet innenfor denne kategorien er strømforbruk. Gruppen har fått oppgave i å sammenligne hvordan ulike faktorer påvirker strømforbruket på disse teknologiene. Først blir det gitt en liten innføring i de ulike teknologiene, og egenskaper som er viktig i forhold til strømforbruk. Det er brukt en FiPy mikrokontroller til å koble opp NB-IoT og LoRaWAN, og så sende data til de to ulike IoT plattformene The Things Network og Span. Strømforbruket ved datatransmisjon blir målt ved å bruke power profiler kit 2 fra Nordic Semiconductor. Uti fra resultatene kan man trekke konklusjoner på hvordan strømforbruket påvirkes av ulike faktorer. Disse resultatene diskuteres for å kunne trekke en konklusjon. Ut ifra våre resultater kunne vi se at strømforbruket var forskjellig avhengig av dekning, støy og forstyrrelser. Det ble konkludert med at valg av teknologi for lavest mulig strømforbruk kan variere for ulike IoT systemer.</p>
-------------	---

Summary of Graduate Project

Title:	Comparison of power consumption between LoRaWAN and NB-IoT
Date:	21.05.2023
Authors:	Amund Alfsen Martin Solvik
Supervisor:	Arild Moldsvor
Employer:	Telenor
Contact Person:	Ivar Sorknes, ivar.sorknes@telenor.no, 90941599 Roy Seland, roy.seland@telenor.no, 41660488
Keywords:	IoT, FiPy, NB-IoT, LoRaWAN, power consumption
Pages:	40
Attachments:	1
Availability:	Open

Abstract:	<p>This task aims to compare two different wireless communication technologies, and the assignment was given by Telenor. NB-IoT and LoRaWAN are part of the LPWAN category within wireless communication and are suitable for IoT systems. The most critical aspect within this category is power consumption. In this task, the group has been assigned to compare how different factors influence the power consumption of these technologies. Initially, a brief introduction to the different technologies and their important characteristics related to power consumption will be given. A FiPy, which is a microcontroller, has been used to connect NB-IoT and LoRaWAN, and it then sends data to the two different IoT platforms The Things Network and Span. The power consumption during data transmission is measured using the power profiler kit 2 from Nordic Semiconductor. The results illustrate curves of how power consumption is influenced by various factors. These results are discussed in order to draw a conclusion. From our results, we could see that power consumption differed depending on coverage, noise, and interference. It was concluded that the choice of technology for the lowest possible power consumption can vary for different IoT systems.</p>
-----------	---

Forord

Etter tre spennende år med skolegang markerer denne rapporten slutten for oss her på NTNU i Gjøvik. Vi er utrolig glad for og stolte av at vi har fått lære så utrolig mye de siste årene og nå også under bachelor prosessen. Oppgaven har foregått over hele vårsemesteret og ble ferdigstilt nå i mai 2023. Vi fikk oppgaven av Telenor, og formålet med den var å teste og sammenligne to av de mest frampregende IoT teknologiene på markedet.

Vi vil takke alle som har gitt oss veiledning og hjelp under prosessen, med en ekstra takk til kontaktpersonene våre fra Telenor, Ivar og Roy, som har vært veldig hjelpsomme i alt fra regelmessige oppfølginger til forståelse av signaler. Takk til Bjørn Borud fra Lab5e for gjennomgang og opplæring Span. Og til slutt takk til Arild for god hjelp og oppfølging av de mer skrive tekniske delene av bacheloroppgaven.

NTNU i Gjøvik, 21. mai 2023

Amund Alfsen

Amund Alfsen

Martin Solvik

Martin Solvik

Innhold

Forord	iii
Innhold	iv
Figurer	vi
Kodeliste	vii
Terminologi	viii
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling	1
1.3 Rapportinnhold	1
2 Teori	2
2.1 Internet of Things	2
2.1.1 LPWAN	3
2.2 NB IOT	4
2.2.1 Transmisjonskvalitet	4
2.2.2 Dekning	5
2.2.3 Strømforbruk	6
2.3 LoRaWAN	7
2.3.1 Transmisjonskvalitet	8
2.3.2 Dekning	10
2.3.3 Strømforbruk	11
2.4 Forstyrrelse av radiosignaler	12
3 Metode	13
3.1 FiPy	13
3.1.1 Expansion board 3	13
3.2 Power Profiler Kit 2	14
3.2.1 nRF connect for desktop	14
3.3 Lab5e	15
3.3.1 Span	15
3.4 The Things Network	16
3.4.1 TTN Console	16
3.5 Oppkobling av NB-IoT	17
3.6 Oppkobling av LoRaWAN	19
3.7 Test oppsett	20
4 Resultater	23
4.1 Referansemåling	23

4.1.1	Fipy referansemåling	24
4.1.2	Lora koblet til gateway, uten data transmisjon	24
4.1.3	NB-IoT koblet til basestasjon, uten data transmisjon	25
4.2	Test 1 - Elektrolab	26
4.3	Test 2 - Kjeller	29
4.4	Test 3 - Parkeringsplass	31
5	Diskusjon	33
5.1	Referansemåling	33
5.2	Test 1	34
5.2.1	LoRaWAN	34
5.2.2	NB-IoT	34
5.2.3	Sammenligning	34
5.3	Test 2	35
5.3.1	LoRaWAN	35
5.3.2	NB-IoT	35
5.3.3	Sammenligning	35
5.4	Test 3	36
5.4.1	LoRaWAN	36
5.4.2	NB-IoT	36
5.4.3	Sammenligning	36
5.5	Erfaring, feilkilder og videre arbeid	37
6	Konklusjon	38
	Bibliografi	39
A	Github repository	41

Figurer

1	IOT[1]	2
2	Bilde viser forskjellen i hastighet og distanse på ulike trådløse teknologier[2] .	3
3	Dette bilde viser hvor det finnes dekning for NB-IoT[3]	5
4	Strømforbruk ved trådløse kommunikasjonsteknologier[4]	6
5	Eksempel på RSSI og støynivå [5]	9
6	Båndbredde vs avstand [6]	10
7	Slotted ALOHA [7]	11
8	Hvordan materialer påvirker signaler[8]	12
9	FiPy montert på expansion board 3	13
10	Strømmåler	14
11	Span IoT Plattform, med inspeksjon av en datapakke	15
12	TTN IoT Plattform	16
13	Test oppsett NB-IoT med LTE antenne	21
14	Test oppsett LoRaWAN med ISM antenne	22
15	Referansemåling posisjoner, Google Maps	23
16	FiPy referansemåling	24
17	LoRa tilkoblet gateway	24
18	NB-IoT tilkoblet basestasjon	25
19	Test 1 posisjoner er samme som i figur 15, Google Maps	26
20	NB-IoT test 1	27
21	LoRaWA test 1, SF7/125kHz - 5.47 kbps	27
22	LoRaWA test1, SF12/125kHz - 250 bps	28
23	Test 2 posisjoner, Google Maps	29
24	NB IoT kjeller, her ser vi hvordan NB-IoT bruker mer strøm i starten av sendingene	30
25	LoRaWA kjeller	30
26	Test 3 posisjoner, Google Maps	31
27	LoRaWA Test 3	32
28	NB-IoT Test 3	32

Kodeliste

3.1	Sjekker om FiPy har riktig firmware	17
3.2	AT kommando for å finne IMSI og IMEI nummer	17
3.3	Kode for oppkobling av NB-IoT	18
3.4	Kode for oppkobling av LoRaWAN	20

Terminologi

- ALOHA - Additive Link On-demand Adaptive
- ADC - Analog-digital-omformer
- CSS - Chirp Spread Spectrum
- DR - Data rate
- DAC - Digital to Analog Converter
- dB - Desibel
- dBm Desibel-milliwatts
- EU - Europa(Europeiske standarder)
- FSK - Frequency Shift Keying
- GPS - Global Positioning System
- GHz - Gigahertz
- GPIO - General-purpose input/output
- IOT - Internet of things
- IMEI - International Mobile Equipment Identity
- IMSI - International mobile subscriber identity
- ISM - lisensfrie radiobånd
- ISA - Society of Automation
- I2C - Inter-Integrated Circuit
- IDE - Integrated Development Environment
- IoT - Internet of Things
- kbit/s - kilo bit per sekund
- LPWAN - LOW Power Wide Area Network
- LoraWAN - Long range Wide Area Network
- LTE - Long-Term Evolution
- LoRa - teknologi (kommer fra long range)
- MAC - Media Access Control
- NB-IOT - Narrowband Internet of things
- PSM - Power saving mode
- PPK2 - Power profiler kit 2
- UDP - User Datagram Protocol
- UART - Universal asynchronous receiver-transmitter
- RSSI - Received Signal Strength Indicator
- SD - Secure Digital
- SPI - Serial Peripheral Interface
- SF - Sprednings faktor
- SNR - Signal-to-Noise Ratio
- WAN - Wide Area Network

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

IoT er en teknologi som gjør det mulig å koble enheter opp mot internett. I dag blir det sett på mulighetene for å benytte slik teknologi i industri for å forenkle og redusere kostnader ved utbygging og drift. Disse komponentene må kunne vare i over ti år før de går tom for strøm, så batteriforbruk er et viktig aspekt. Her har man forskjellige typer IoT teknologier som benytter seg av forskjellige protokoller og metoder. Dette har innvirkning på ytelse og aspekter som batteriforbruk, støy og pålitelighet.

1.2 Problemstilling

Etter møtet med oppdragsgiver har det blitt klart at vår oppgave er å sammenligne to ulike typer IoT-teknologier, Narrow Band-IoT (NB-IoT) og Long Range WAN (LoRaWAN). Målet er å finne ut hvilken teknologi som har lavest strømforbruk og å undersøke hvordan ulike faktorer som støy, forsinkelser og pakkestørrelser påvirker strømforbruket.

1.3 Rapportinnhold

Rapporten består av ulike kapitler som viser planleggingen og utførelsen av de forskjellige testene, samt grunnleggende teori. Rapporten er inndelt kapittelvis på følgende vis:

Kapittel 2 - Teori: Teorikapittelet inneholder det teoretiske grunnlaget for å kunne forstå det som bli lagt frem i de andre kapitlene.

Kapittel 3 - Metode: Kapittelet beskriver hvordan oppkoblingen av testutstyret ble gjort. Kapittelet skal også gå gjennom de ulike programmene og plattformene sine bruksområder og hvordan de er blitt brukt i prosjektet.

Kapittel 4 - Resultater: I resultatskapittelet blir det gått gjennom de ulike testene som er utført og resultatene disse testene ga.

Kapittel 5 - Diskusjon: Diskusjons kapittelet ser på resultatene som er oppnådd fra de ulike testene og de skal sammenlignes om hverandre. Det skal også diskuteres hvordan resultatene kunne blitt forbedret gjennom erfaringene vi har fått, og det skal komme frem hva som ville blitt gjort annerledes i fremtidige tester.

Kapittel 6 - Konklusjon: Kapittelet konkluderer prosjektet og det legges frem en sammenligning av problemstillingen med det oppnådde resultatet.

2 Teori

I dette kapitlet skal vi gå gjennom grunnleggende teori innenfor Internet of Things. Vi beskriver de to trådløse kommunikasjons protokollene NB-IoT og LoRaWAN. For å kunne trekke gode konklusjoner om strømforbruk i praksis er det viktig å vite det teoretiske grunnlaget som ligger bak.

2.1 Internet of Things

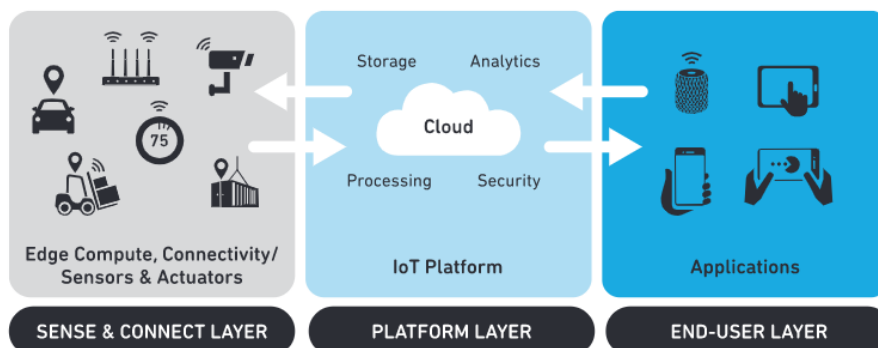
Internet of Things (IoT) er et begrep som oppsto på begynnelsen av 2000-tallet. Utviklingen innen trådløs kommunikasjon har gjort det mulig å koble objekter til internett og gjøre dem "smarte". IoT refererer til enheter som kan kobles til internett og kommunisere med hverandre, samt samle inn data uten menneskelig påvirkning.

I dag er det flere IoT-enheter tilkoblet enn antall mennesker på jorden[1], og antallet fortsetter å vokse. Denne økningen påvirker mange sektorer i samfunnet. IoT-enheter kobles til internett og dataene som samles inn, behandles gjennom en IoT-plattform. Brukere kan lage applikasjoner for å vise og analysere dataene, som gir dem kontinuerlig kontroll og overvåking av enhetene. Disse enhetene kan omfatte ulike sensorer som samler informasjon fra omgivelsene, eller de kan fjernstyres via internett.

IoT er et bredt begrep som dekker mange ulike applikasjoner og løsninger. Valg av riktig teknologi er viktig for hver enkelt brukstilfelle. Noen applikasjoner krever høy datarate og lav forsinkelse for sanntidskommunikasjon, mens andre fokuserer mer på batterilevetid og bruker en annen IoT-teknologi.

I denne oppgaven vil vi se nærmere på Low-Power Wide-Area Network (LPWAN) kommunikasjon. LPWAN-teknologien fokuserer på å sende små datapakker over lange avstander, som bidrar til å forlenge batterilevetiden på enhetene.

Ved å bruke IoT og LPWAN-teknologier kan vi effektivisere mange bruksområder, som for eksempel smart landbruk, fjernovervåking av infrastruktur, og smarte byer. Disse teknologiene bidrar til å skape en mer effektiv og sammenkoblet verden. [1]



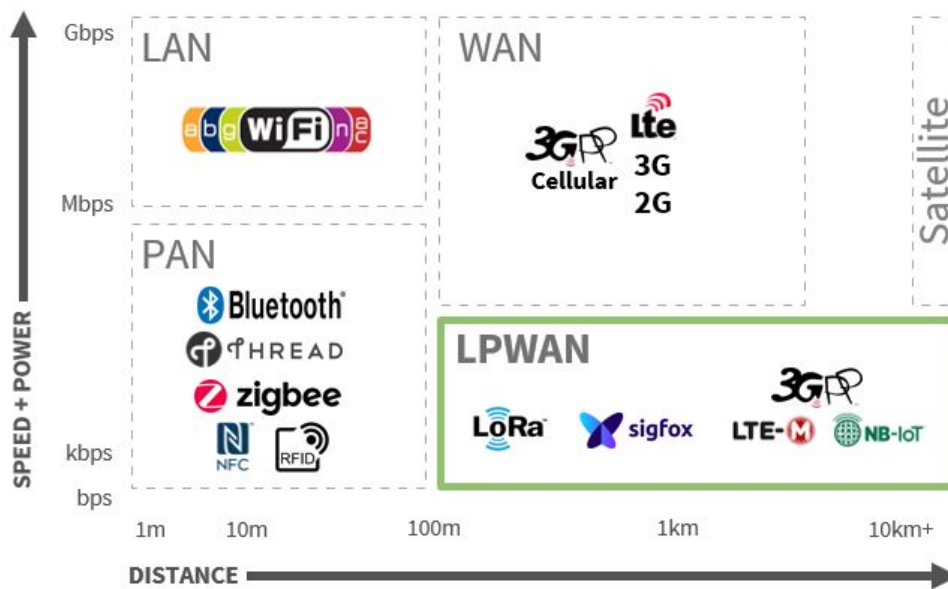
Figur 1: IOT[1]

2.1.1 LPWAN

Low Power Wide Area Network (LPWAN) er en type trådløs kommunikasjon som er mye brukt i IoT-prosjekter. Hovedforskjellen mellom LPWAN og andre trådløse kommunikasjonsteknologier, som for eksempel Wi-Fi, ligger i mengden data som sendes og avstanden dataene skal dekke. Wi-Fi er en rask kommunikasjonsprotokoll, men har begrenset rekkevidde. LPWAN fungerer over lengre avstander og sender mindre data.

LPWAN brukes hovedsakelig i prosjekter der en enhet skal sende små mengder data over store avstander for å overvåke enheten og omgivelsene. LPWAN kan operere innenfor lisensierte frekvenser eller ulisensierte frekvenser. Enheter som benytter lisensierte frekvenser kobles til internett via et mobilselskap, mens enheter som bruker ulisensierte frekvenser krever en gateway for å koble seg til internett.

En viktig faktor innen LPWAN er batteriforbruket. Det er ønskelig at enhetene har lang batterilevetid, ettersom det ofte er mer kostnadseffektivt å produsere en ny enhet enn å bytte batteri. I denne oppgaven skal vi se nærmere på strømforbruket for de to ulike LPWAN-teknologiene NB-IoT og LoRaWAN.[1]



Figur 2: Bilde viser forskjellen i hastighet og distanse på ulike trådløse teknologier[2]

2.2 NB IOT

Narrowband IoT (NB-IoT) ble lansert i 2017 og er en relativt ny teknologi innen LPWAN-kategorien. Hovedformålet med NB-IoT er å overføre data over store avstander. Den benytter seg av lisensierte frekvenser for å koble seg til internett og krever en lisens fra et mobilsekskap. NB-IoT bruker basestasjoner for å koble seg til internett, som betyr at den kan benytte den eksisterende mobilnettinfrastrukturen. Dette gir NB-IoT utmerket dekning, selv om det er en relativt ny teknologi innenfor LPWAN-segmentet. Det finnes et stort marked for denne teknologien, spesielt innen smarte byer og overvåkningssystemer.

NB-IoT retter seg mot det som kalles "massive IoT", som referer til mindre komplekse enheter med lavere kostnader og ytelse.[9]

2.2.1 Transmisjonskvalitet

NB-IoT benytter lisensierte frekvenser gjennom en mobiloperatør, som sikrer høy kvalitet på dataoverføringen. Med en maksimal datarate på 27 kbit/s og en båndbredde på 180 kHz, som kan deles inn i 12 kanaler på 15 kHz hver, tilbyr NB-IoT pålitelig kommunikasjon. I tabellen under vises mer teknisk data for både NB-IoT og LoRaWAN.

Siden det ikke er noen duty cycle i NB-IoT, oppnås en høy transmisjonskvalitet uten tap av datapakker. Det er ingen duty cycle, men det er en forsinkelse på 1.6–10 sekunder for å sørge for at datapakkene ikke blir tapt[10]. Teknologien har også en imponerende evne til å sende data under vanskelige forhold, som for eksempel i kjellere og inne i bygninger.

Tabell 1: Sammenligning datatransmisjon[9][11]

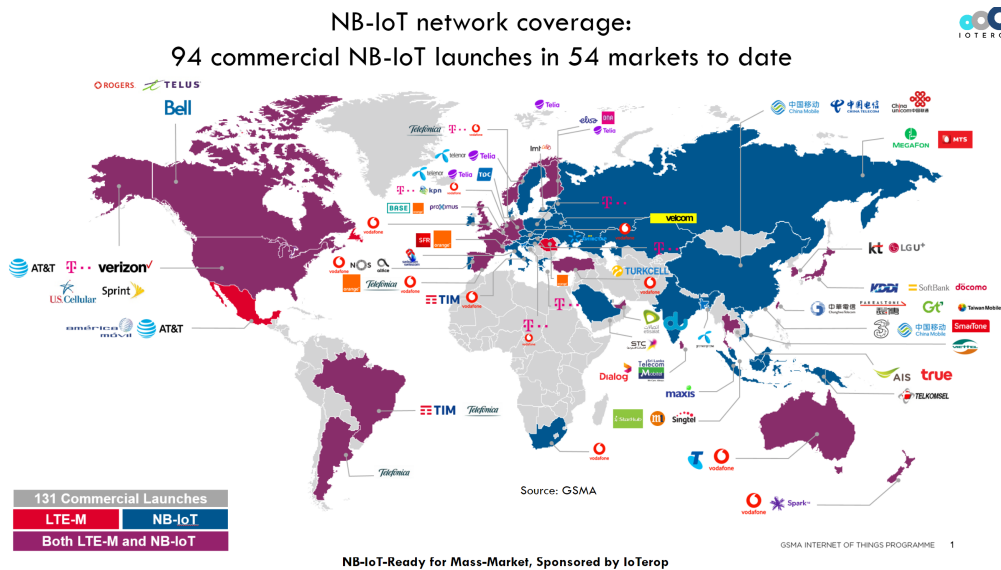
Teknisk data	NB-IoT	LoRaWAN
Maksimal data rate	27 kbit/s	5.47 kbit/s (SF7)
Maksimal datapakke størrelse	>1000 B	222 B (EU)
Koblingsbudsjett (Uplink)	164 dB	141-146 dB
Koblingsbudsjett (Downlink)	164 dB	151-156 dB
Båndbredde	180 kHz	125/250 kHz

2.2.2 Dekning

NB-IoT er basert på 3GPP LTE-standarden. 3GPP står for 3rd Generation Partnership Project og er en etablert standard innen mobiltelekommunikasjon[12]. Dette innebærer at NB-IoT kan benytte seg av den eksisterende infrastrukturen utviklet for mobilskap.

NB-IoT bruker basestasjoner for å koble seg til nettet, som betyr at enheter har dekning der det finnes basestasjoner. Mobilskaper fortsetter å utvide sin infrastruktur, som vil forbedre dekningen for NB-IoT i fremtiden.

I tillegg tilbyr NB-IoT muligheten for roaming, som innebærer at enheter kan opprettholde dekningen selv utenfor selskapets egne basestasjoner[3].

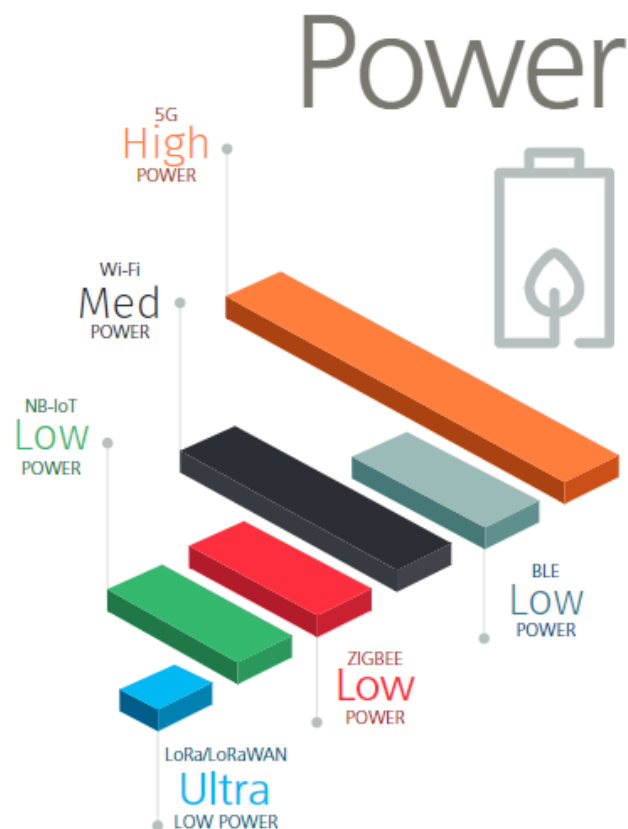


Figur 3: Dette bilde viser hvor det finnes dekning for NB-IoT[3]

2.2.3 Strømforbruk

NB-IoT er en LPWAN-teknologi, som betyr at lavt strømforbruk er svært viktig. Som alle andre LPWAN-teknologier har NB-IoT et lavt strømforbruk. Imidlertid har NB-IoT fordelen av å kunne sende større datapakker sammenlignet med andre teknologier, som er gunstig for strømforbruket. Med andre teknologier må flere sendinger brukes for å overføre samme mengde data, som resulterer i høyere strømforbruk.

LPWAN-enheter befinner seg hovedsakelig i det som kalles PSM (Power Saving Mode). Når de skal sende data, må de gå ut av denne modusen. Det er ønskelig at enhetene er i PSM så mye som mulig, ettersom det bidrar til lavere strømforbruk. Dette er en av grunnene til at NB-IoT kan være gunstig med hensyn til strømforbruk i visse tilfeller. NB-IoT er en bra teknologi med tanke på strømforbruk når avstandene er lange, og det er mye vegetasjon som kan forstyrre signalene. [13]



Figur 4: Strømforbruk ved trådløse kommunikasjonsteknologier[4]

2.3 LoRaWAN

LoRa(Long Range) er en trådløs modulasjonsteknikk som er basert på Chirp Spread Spectrum (CSS) teknologi. Den koder for informasjon om radiobølger ved hjelp av chirp pulser. Bruken av chirp-modulasjon muliggjør robust overføring som er motstandsdyktig mot forstyrrelser, kan mottas over lange avstander og fungerer godt mot Doppler effekten, selv ved lav effekt. LoRas evne til å overføre data over lange avstander gjør den til en ideell teknologi for applikasjoner som IoT-enheter og smarte byer. Den er spesielt nyttig for applikasjoner som krever overføring av små mengder data med lave bithastigheter. LoRas langdistansefunksjoner, sammenlignet med teknologier som WiFi og Bluetooth, gjør den godt egnet for sensorer og aktuatorer som opererer i lavstrømsmodus. LoRa-teknologi kan operere på sub-GHz bånd som 915 MHz, 868 MHz og 433 MHz for lisensfri drift. Alternativt kan den operere på 2,4 GHz-båndet for å oppnå høyere datahastigheter, men på bekostning av rekkevidde. Disse frekvensene faller inn under International Society of Automation (ISA)-båndene, som er reservert for industrielle, vitenskapelige og medisinske formål.

LoRaWAN er en programvare protokoll som opererer på Media Access Control (MAC)-laget og er bygget på toppen av LoRa-modulasjon. Den definerer hvordan enheter bruker LoRa-maskinvaren, for eksempel når de sender eller formaterer meldinger. Det er LoRa Alliance som har utviklet og vedlikeholder LoRaWAN-protokollen. Det er en non-profit organisasjon som har som mål å fremme innføringen av LoRaWAN-teknologi. Den første LoRaWAN-spesifikasjonen ble utgitt i januar 2015, og har siden den gang gjennomgått flere oppdateringer og revisjoner. [6]

2.3.1 Transmisjonskvalitet

Med en maksimal datarate på opptil 5,47 kbit/s og en båndbredde på 125 kHz(250 kHz under spesielle forhold)[11], kan LoRaWAN tilby pålitelig kommunikasjon selv over lange avstander, og med mulighet for å nå områder med lav dekning. LoRaWAN-teknologien bruker en spredningsspektrum-modulasjonsteknikk som gir god immunitet mot støy og interferens. I tabellen under vises mer teknisk data for både NB-IoT og LoRaWAN.

Tabell 2: Sammenligning datatransmisjon[9][11]

Teknisk data	NB-IoT	LoRaWAN
Maksimal data rate	27 kbit/s	5,47 kbit/s (SF7)
Maksimal datapakke størrelse	>1000 B	222 B (EU)
Koblingsbudsjett (Uplink)	164 dB	141-146 dB
Koblingsbudsjett (Downlink)	164 dB	151-156 dB
Båndbredde	180 kHz	125/250 kHz

LoRaWAN bruker duty cycles som begrenser tiden en ende enhet kan sende på en spesifikk kanal. Det er verdt å nevne at den har en fleksibel duty cycle som kan bli satt for å møte behov forskjellige enheter kan ha. I Europa er duty cycles regulert av avsnitt 7.2.3 i ETSI EN300.220-standarden. Denne standarden definerer følgende bånd og deres driftssykluser:

Tabell 3: Sammenligning datatransmisjon[14]

Sub bands og duty cycles		Duty cycles i prosent
g	863.0–868.0 MHz	1
g1	868.0–868.6 MHz	1
g2	868.7–869.2 MHz	0.1
g3	869.4–869.65 MHz	10
g4	869.7–870.0 MHz	1

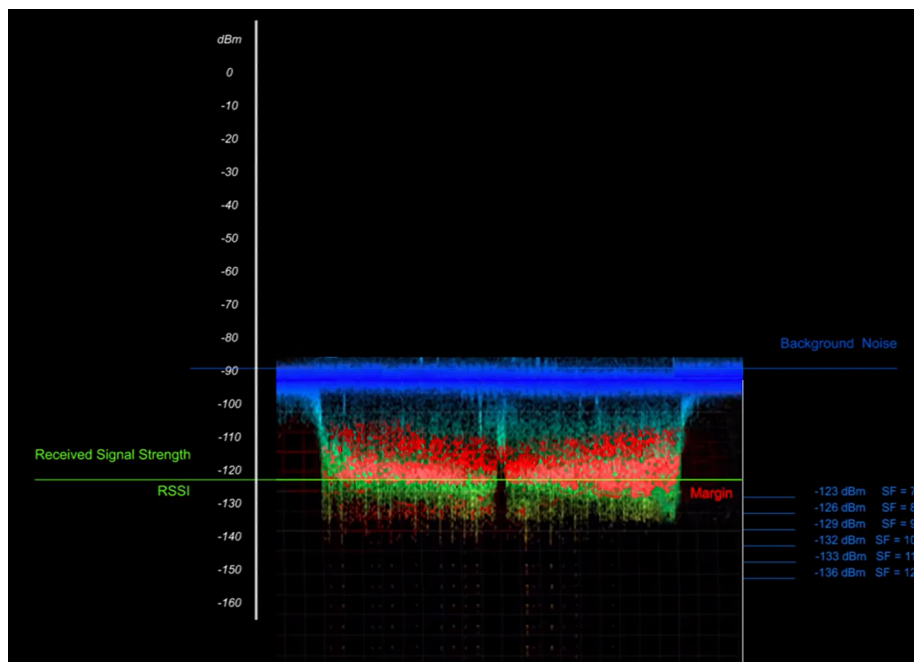
For å oppnå best mulig bit rate og avstand har LoRaWAN forskjellige spredningsfaktorer den kan bruke. Lavere spredningsfaktor gir bedre bitrate og mulighet for å sende større data-pakker. Dette skjer på bekostning av avstanden den kan sende over. For å oppnå mest mulig avstand brukes de høyeste spredningsfaktorene. De mulige innstillingene for for EU863-870 båndet er vist i figuren under.

Tabell 4: LoRaWAN data rate for EU863-870 [11]

DR	SF	Båndbredde	Bit rate	Maksimal payload
0	12	125kHz	250	51
1	11	125kHz	440	51
2	10	125kHz	980	51
3	9	125kHz	1760	115
4	8	125kHz	3125	222
5	7	125kHz	5470	222
6	7	250kHz	11000	222
7	FSK	—	50000	222

Received Signal Strength Indicator (RSSI) og Signal-to-Noise Ratio (SNR) er to indikatorer som avgjør om et LoRaWAN signal vil bli demodulert riktig. RSSI har med signalstyrken å gjøre og kan bedømme om det trådløse signalet er bra nok fra transmitteren. Den blir målt i dBm og er alltid negativ. Signalet blir sterkere jo nærmere RSSI er null.

Forholden mellom effekten av motatt signal og støynivå måles i SNR, og kan finnes ved å bruke følgende formel: $SNR(dB) = P_{Motatt_signal}(dBm) - P_{Sty}(dBm)$. Kvaliteten av signalet kan man bedømme utifra dette. En negativ SNR betyr da at signal styrken (RSSI) er mindre enn støynivået. For SF12 vil en SNR under -20 dB være grensen for hva motakeren klarer å demodulere[15].



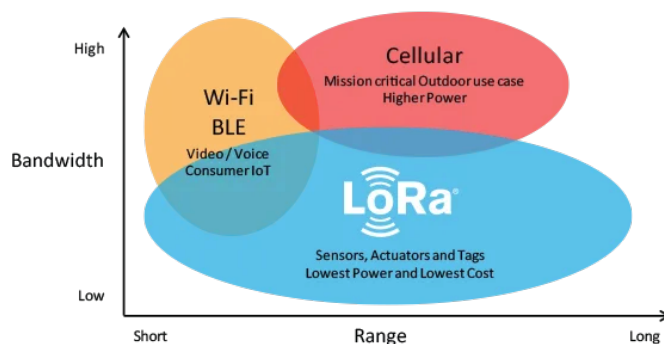
Figur 5: Eksempel på RSSI og støynivå [5]

Bildet over er hentet fra Youtube videoen til Richard Wenner og man kan tydelig se at det er over -30 dBm forskjell på RSSIen og støynivået, noe som vil gi en for lav SNR til å kunne demoduleres av motakeren.

2.3.2 Dekning

LoRaWAN er bygget på et dedikert nettverk av gatewayer. Disse gatewayene fungerer som broer mellom de tilkoblede IoT-enhetene og nettverket, og overfører data til og fra enhetene. Dette betyr at LoRaWAN ikke er avhengig av mobilnettverksoperatører og deres infrastruktur. Ettersom LoRaWAN er en åpen standard, har dette resultert i utviklingen av et økosystem av både offentlige og private nettverk, som gir en større grad av fleksibilitet og skalerbarhet for implementeringer av IoT-løsninger. I tillegg tilbyr LoRaWAN geolokaliseringstjenester, noe som gjør det mulig å spore posisjonen til de tilkoblede enhetene uten behov for ekstra GPS-moduler. LoRaWAN støtter også roaming mellom forskjellige nettverk, som betyr at IoT-enheter kan opprettholde dekning selv når de beveger seg utenfor rekkevidden av sitt opprinnelige nettverk. Dette gjør det til et attraktivt alternativ for mange IoT-applikasjoner som krever lavenergi og lang rekkevidde kommunikasjon, spesielt i smartbyer, landbruk, og industrielle miljøer.

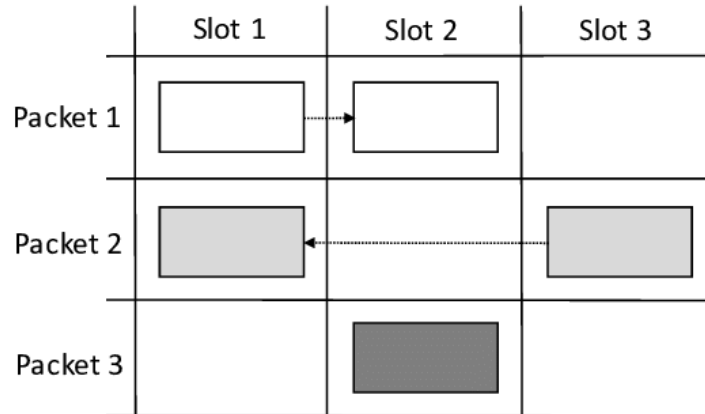
Sammenlignet med andre trådløse data overføringsteknologier gir LoRa-modulasjon en betydelig større kommunikasjons rekkevidde med lave båndbredder. Følgende figur illustrerer teknologier som kan brukes til trådløs dataoverføring og deres forventede overføringsmetoder kontra båndbredde.



Figur 6: Båndbredde vs avstand [6]

Som figuren viser, fungerer LoRaWAN bedre når det kommer til langdistanseoverføring av små mengder data. LoRa-modulering tillater dataoverføring opptil flere kilometer, som gjør den godt egnet for IoT-applikasjoner i smarte byer, landbruk og industrielle omgivelser. I tillegg, siden LoRaWAN opererer på ulisensierte frekvensbånd, er det en kostnadseffektiv løsning for selskaper som ønsker å implementere IoT-systemer uten betydelige infrastrukturinvesteringer.

ALOHA-protokollen er en nøkkelkomponent i LoRaWAN, og er ansvarlig for å administrere kommunikasjonen. ALOHA er en tilfeldig tilgangsprotokoll som lar enheter overføre data til gatewayer på en desentralisert måte. LoRaWAN bruker slotted ALOHA som halverer kollisjoner og forbedrer nettverkseffektiviteten i forhold til pure ALOHA. I slotted ALOHA er tiden delt inn i puljer med fast lengde, og enheter synkroniseres for å sende bare i begynnelsen av hver pulje. Denne synkroniseringen reduserer sannsynligheten for kollisjoner og forenkler kollisjonsdeteksjon. Under ser man en visualisering av hvordan slottet ALOHA fungerer.



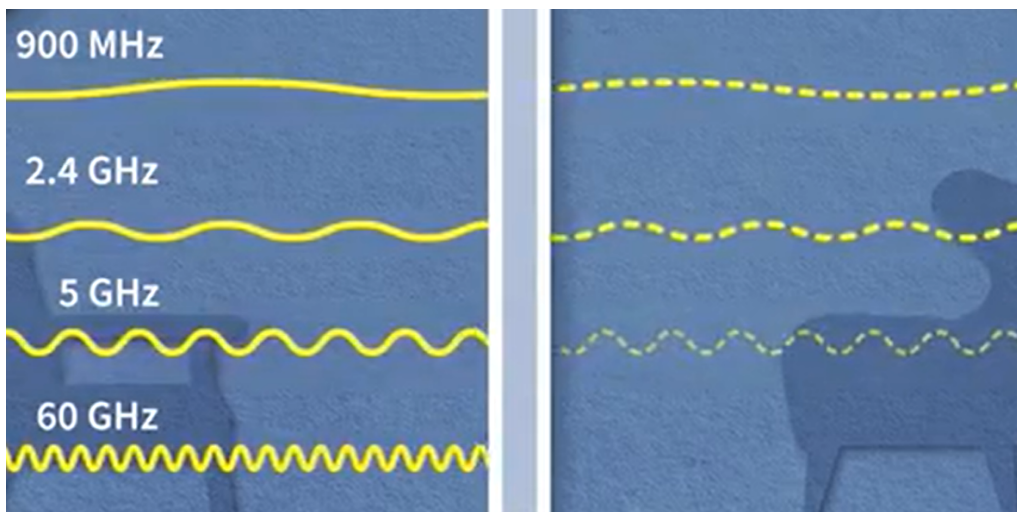
Figur 7: Slotted ALOHA [7]

2.3.3 Strømforbruk

I lavstrømsmodus kan enhetene vare i opptil 10 år på ett enkelt knappebatteri. Det er flere faktorer som gir LoRAWAN så lavt strømforbruk. Den opererer med lave datahastigheter, fra 0,3 kbit/s til 50 kbit/s. Dette reduserer tiden det tar for dataoverføring, og reduserer det totale energiforbruket til de tilkoblede enhetene. Nettverket kan automatisk justere datahastigheten basert på enhetens nærhet til gatewayen og nivået av interferens i miljøet. Dette gjør at enheter bruker mindre strøm når de er nærmere gatewayen, og optimaliserer energibruken ytterligere. IoT-enheter koblet til et LoRaWAN-nettverk kan gå inn i hvilemodus når de ikke overfører data, som reduserer strømforbruket betydelig. Dette er spesielt viktig for enheter som bare trenger å overføre data periodisk, for eksempel miljøsensorer. CSS-modulasjonen tillater robust kommunikasjon ved lave signal-til-støy-forhold, som reduserer overføringseffekten som kreves for pålitelig kommunikasjon. [9]

2.4 Forstyrrelse av radiosignaler

Både LoRaWAN og NB-IoT opererer på sub-GHz båndet. Denne frekvensen har fordeler når det kommer til å sende signal gjennom bygninger og andre forstyrrelser. I forhold til andre trådløse teknologier har NB-IoT og LoRaWAN en lavere datarate, og sender mindre datapakker. Bildet under viser hvor godt signaler klarer å ta seg gjennom en vegg. Vi ser at de høye frekvensene blir veldig påvirket, også ser vi at de laveste frekvensene ikke blir påvirket i like stor grad. Det er derfor disse frekvensene egner seg godt til IoT systemer. Når signalet treffer veggen blir deler eller hele signalet absorbert i materialet og omdannes til varme i materialet. Det er tykkelsen på materialet og frekvensen på radio signalet som bestemmer hvor bra evne signalet har til å gå gjennom veggen[8].



Figur 8: Hvordan materialer påvirker signaler[8]

3 Metode

I dette prosjektet er hovedoppgaven å studere hvordan de ulike kommunikasjonsprotokollene påvirker strømforbruket. Så oppsett av de to enhetene er viktig for å få pålitelige resultater. I dette kapittelet beskriver vi oppsettet av enhetene, hvilke software vi bruker og hvilke enhet som blir brukt til å måle strømforbruk.

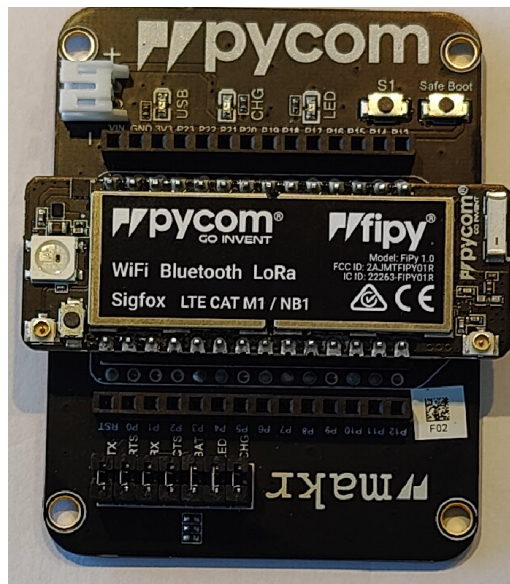
3.1 FiPy

Pycom FiPy er et utviklingskort for IoT som inneholder fem forskjellige nettverksteknologier. Den er designet for å lage Iot applikasjoner ved tilby ulike tilkoblingsmuligheter som for eksempel LoRa og NB-IoT.

Selve FiPy kortet er basert på mikrokontrolleren esp32, og inkluderer separate lora og NB-iot moduler, som gjør at den passer til vårt prosjekt. Enheten programmeres med micropython som er et programmeringsspråk, og det er mulig å laste opp python programmer på enheten. Dette gjør at vi kan programmere enheten slik vi ønsker. I tillegg inkluderer FiPy-kortet også GPIO-pinner, ADC- og DAC-kanaler, I2C-, SPI- og UART-grensesnitt for å koble til forskjellige sensorer, aktuatorer og andre periferienheter, som muliggjør opprettelsen av et bredt spekter av IoT-applikasjoner[16].

3.1.1 Expansion board 3

Dette er tilleggsmodulen til FiPy. Denne modulen trengs for å laste opp firmwaren og programmere FiPy til å sende NB-IoT eller LoRaWAN.

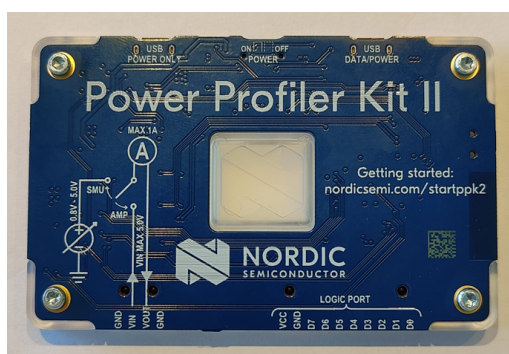


Figur 9: FiPy montert på expansion board 3

3.2 Power Profiler Kit 2

Power Profiler Kit 2 (PPK2) er et verktøy for måling av strømforbruk, og deretter analysere strømforbruket. Strømmåleren er utviklet av Nordic Semiconductor, som er et norsk selskap som spesialiserer seg innenfor systembrikker, trådløs kommunikasjon og IoT. PPK2 er designet for å hjelpe utviklere til å optimalisere strømforbruket på sin trådløse enhet og forlenge batteritiden. For å få tilgang til enhetens fulle potensiale må den brukes sammen med en av nordic sine systembrikker, men kan også måle strømforbruket på andre enheter.

PPK2 gir relativt nøyaktige målinger i sanntid ved mange ulike strømnivåer som nano ampere, mikro ampere og ampere. Dette gir en god innsikt i enhetens strømforbruk i forskjellige driftsforhold, som for eksempel når enheten sender data, hvilemodus og dyp søvn. PPK2 er koblet til PCen for å vise og analysere strømforbruket. Dette gjør PPK2 til et verdifult verktøy for å forstå hva som påvirker strømforbruket til en IoT enhet[17].



Figur 10: Strømmåler

3.2.1 nRF connect for desktop

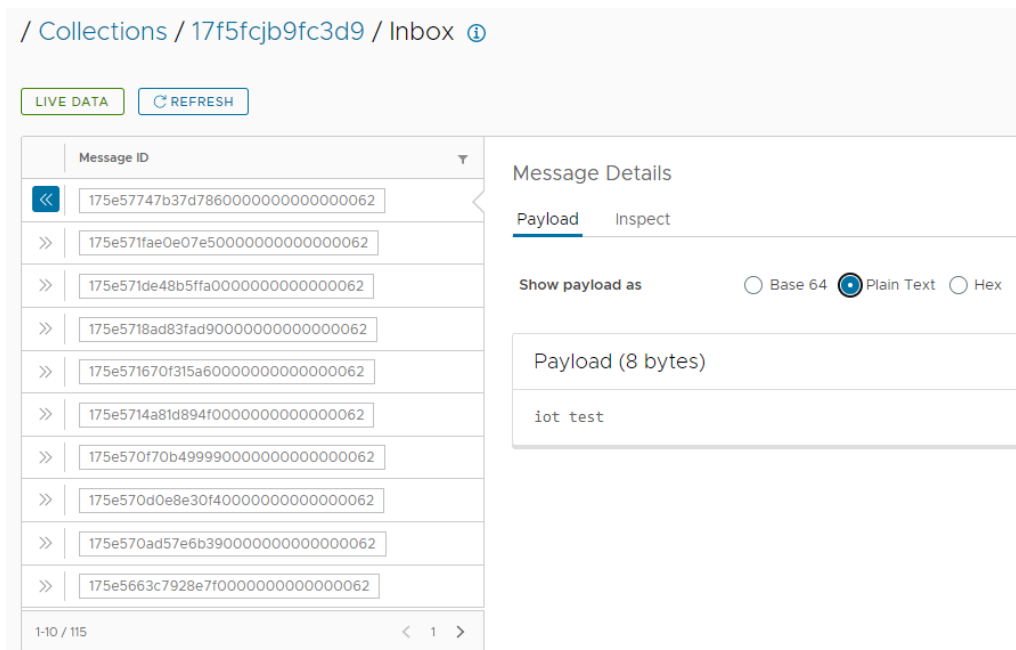
For å vise og analysere strømforbruket trenger vi en programvare. Nordic Semiconductor har laget en samling av programvareverktøy, som skal hjelpe utviklere til å jobbe med deres enheter. I denne programvaren bruker vi Power Profiler, som gjør det mulig å se strømforbruket i sanntid. Det er mulig å bruke PPK2 som strømforsyning i denne programvaren, og velge hvor høy punktprøve frekvens som skal brukes. I denne oppgaven bruker vi en punktprøve frekvens på 1000 punkt per sekund, dette gav tydelige kurver. Etter måling av strømforbruket på enheten kan resultatet lastes ned og analyseres.

3.3 Lab5e

I dette prosjektet trenger vi å sende data til en IoT plattform, for NB-IoT bruker vi Lab5e. Lab5e og telenor har et samarbeid, som gjør at oppkoplingen gjøres enkelt med APN, IMEI og IMSI nummer. APN er navnet på gateway mellom enheten og internett, IMEI nummeret er enhetens ID nummer og IMSI er et identifiserende nummer som lagres i sim kortet. I dokumentasjonen til Lab5e fant vi APN, adressen og port for å sende data med med UDP [18].

3.3.1 Span

Span er et brukergrensesnitt, som gjør det mulig å se data som blir sendt til IoT plattformen i sanntid. Det er mulig å analysere datapakke som sendes fra NB-IoT enheten.



Figur 11: Span IoT Plattform, med inspeksjon av en datapakke

3.4 The Things Network

Å koble opp The Things Network (TTN) med en FiPy er en relativt enkel prosess. For å kunne bruke FiPy-kortet med The Things Network må FiPyen ha riktig firmware og konfigurasjon. FiPy-kortet kom med støtte for LoRaWAN, som er den trådløse kommunikasjonsteknologien som brukes av TTN. For å koble FiPy-kortet til The Things Network, må vi først laste ned og installere den nødvendige bibliotekspakken for LoRaWAN fra Pycoms nettsider. Etter å ha installert LoRaWAN-pakken, må vi konfigurere FiPy-kortet med riktig nettverksinnstillinger og autentiseringsnøkler for å koble til TTN.

Vi brukte Visual Studio Code for å programmere enheten og konfigurere LoRaWAN-innstillingene. Ved å bruke Python og TTNs biblioteker, lagde vi et enkelt skript for å koble FiPy-kortet til TTN og sende data over LoRaWAN-nettverket. For å overvåke data som sendes til The Things Network, måtte vi registrere enheten på TTNs konsoll. Dette innebærer å legge inn enhetens unike identifikator (EUI) og autentiseringsnøkler som vi tidligere konfigurerte i FiPy-kortet.

3.4.1 TTN Console

Når enheten er registrert og koblet til The Things Network, brukte vi TTN Console og APIer for å motta og behandle data som sendes fra FiPy-enheten. TTN Console er web interfacen til TTN, som kan brukes til blant annet enhets registrering, applikasjons håndtering, dataintegrasjon og feilsøking. Det er et bruker grensesnitt som gjør at man kan overvåke og håndtere IoT enheter. Med dette oppsettet kunne vi koble vår FiPy-enhet til The Things Network og begynne å utveksle data over LoRaWAN-nettverket.

The screenshot displays the TTN IoT Platform console for a gateway with EUI `eui-58a0cbfffe8048e0`. The interface is divided into several sections:

- General information:** Shows gateway ID, EUI, description (None), creation date (May 15, 2023 15:58:30), last update date (May 17, 2023 11:03:08), and gateway server address (`ntnu-loxawan.eu1.cloud.thethings.industries`).
- LoRaWAN information:** Shows the frequency plan as `EU_863_870_TTN` and a button to download the global configuration file.
- Live data:** A log of recent events, including uplink messages and a console message at 18:45:24 stating "Stream reconnected. The stream connection has been reconnected." The log shows timestamps, event types, and DevAddr values.
- Location:** A world map showing the current location of the gateway, with a note indicating "No location information available".

Figur 12: TTN IoT Plattform

3.5 Oppkobling av NB-IoT

Å koble opp en FiPy med NB-IoT er relativt enkelt, men for å kunne bruke FiPyen til å sende data med NB-IoT, må FiPyen ha riktig firmware. FiPy-kortet kommer med LTE-M firmware som standard. Så for å kunne bruke NB-IoT måtte vi endre firmwaret. Vi lastet ned NB-IoT firmwaret fra Pycom sin nettside[19], og la det over på et SD-kort. Det ble brukt et SD-kort fordi det er den raskeste måten å installere firmwaret. Deretter kobla vi SD-kortet i tilleggs modulen expansion board 3, og flashet firmwaret over på FiPy-kortet. Vi brukte at kommandoer i terminalen til FiPyen for å sjekke om firmwaret var oppdatert. Enheten ble programert i Visual Studio Code, og lastet ned et verktøy som heter PyMakr. Denne utvidelsen i visual studio code gjør det mulig å laste opp phyton skript til mikrokontrolleren. For å få opp dataen i IoT plattformen Span brukte vi at kommandoer i terminalen til å finne IMSI og IMEI nummer.

Til slutt lagde vi et enkelt phyton skript som sender en datapakke til Span.

Listing 3.1: Sjekker om FiPy har riktig firmware

```
>>> sqnsupgrade.info()
<<< Welcome to the SQN3330 firmware updater [1.2.6] >>>
>>> FiPy with firmware version 1.20.2.rc9
# LR5.xx er for CAT-M1 LR6.xx er for NB-IoT
Your modem is in application mode. Here is the current version:
UE6.0.0.0
LR6.0.0.0-41019
```

Listing 3.2: AT kommando for å finne IMSI og IMEI nummer

```
# Finner IMSI nummer
>>> lte.send_at_cmd('AT+CIMI')
'\r\n242016001373955\r\n\r\nOK\r\n'
# Finner IMEI nummer
>>> lte.send_at_cmd('AT+CGSN=1')
'\r\n+CGSN: "354346096659288"\r\n\r\nOK\r\n'
```

Listing 3.3: Kode for oppkobling av NB-IoT

```
from network import LTE
import time
import usocket as socket
import machine
from machine import Pin

lte = LTE()
# Attach til mobilnettverket med APN
lte.attach(band=20, apn='mda.lab5e')

# Venter p at nettverket attacher
while not lte.isattached():
    time.sleep(1)
    print('Attaching...')

print('Attached to the network')

# Koble til nettverket
lte.connect()

# Venter p at nettverket kobles opp
while not lte.isconnected():
    time.sleep(1)
    print('Connecting...')

print('Connected to the LTE network')

# Lager ny socket
s = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_DGRAM)
# Kobler til spesifisert host og port
s.connect(('172.16.15.14', 1234))

for _ in range(100):
    # Sender melding til endpoint
    s.sendall('iot_test'.encode())

    time.sleep(50)
```

3.6 Oppkobling av LoRaWAN

Oppkoblingen av en FiPy som skal sende over LoRaWAN er lignende som NB-IoT. Vi koblet en antenne til FiPyen som var egnet for LoRaWAN-båndet vårt. Så satt vi opp en kablet forbindelse til FiPy via en seriell til USB-omformer. For programvare brukte vi en IDE som støtter MicroPython for å programmere FiPyen. Her brukte vi Visual Studio Code med PyMakr, som er Pycom sin utvidelse og er nødvendig for å få programert mikrokontrolleren riktig. Så lastet vi opp riktig firmware for LoRaWAN på mikrokontrolleren. Denne fant vi på Pycom sin nettside, og overførte via et SD-kort. Firmwaret ble flashet over på mikrokontrolleren ved hjelp av tilleggsmodulen expansion board 3 fra Pycom [20].

FiPyen ble konfigurert for å bruke LoRaWAN-protokollen. Dette gjøres ved å programmere FiPy med Python-kode. Koden under gjør dette ved å sette FiPyen til å bruke riktig frekvensbånd og aktiveringsmetode for EU863. Det skjer inne i `LoRa()` funksjonen, som er en funksjon inne i `LoRa` biblioteket. `Dev_addr` er FiPyen sin adresse som vi genererte på TTN Console, som er deres stack. `Nwk_swkey` og `app_swkey` er nøkler som trengs for at henholdsvis TTN og gatewayen skal lage en avtale handshake avtale om å overføre pakker med FiPyen. Da vi satt opp The Things Network sin innendørs gateway fulgte vi TTNs dokumentasjon og veiledning for gatewaykonfigurasjon. Etter vi hadde konfigurert og registrert gatewayen på TTN Console, la vi til FiPy-enheten som en enhet tilknyttet gatewayen. Dette gjør at FiPyen kan kommunisere med gatewayen og sende data til TTN-nettverket. Da dette var gjort hadde vi opprettet en pålitelig og sikker forbindelse mellom FiPy-enheten og TTN-nettverket [21].

Listing 3.4: Kode for oppkobling av LoRaWAN

```

from network import LoRa
import socket
import ubinascii
import struct
import time

# Setter opp LoRa i LoRaWAN modus
lora = LoRa(mode=LoRa.LoRaWAN, region=LoRa.EU868)

# Lager ABP (Activation By personalisation) autentikasjons parametere
dev_addr = struct.unpack(">1", ubinascii.unhexlify('2608F7C8'))[0]
nwk_swkey = ubinascii.unhexlify('DD12EEE0602594C795271E14BC087036')
app_swkey = ubinascii.unhexlify('DD504266EFEE920772DB594226B10B81')

# Kobler til nettverk med ABP
lora.join(activation=LoRa.ABP, auth=(dev_addr, nwk_swkey, app_swkey))

# Lager en LoRa socket
s = socket.socket(socket.AF_LORA, socket.SOCK_RAW)

# Setter LoRaWAN data raten
s.setsockopt(socket.SOL_LORA, socket.SO_DR, 0)

# Lager socket blocking
s.setblocking(True)

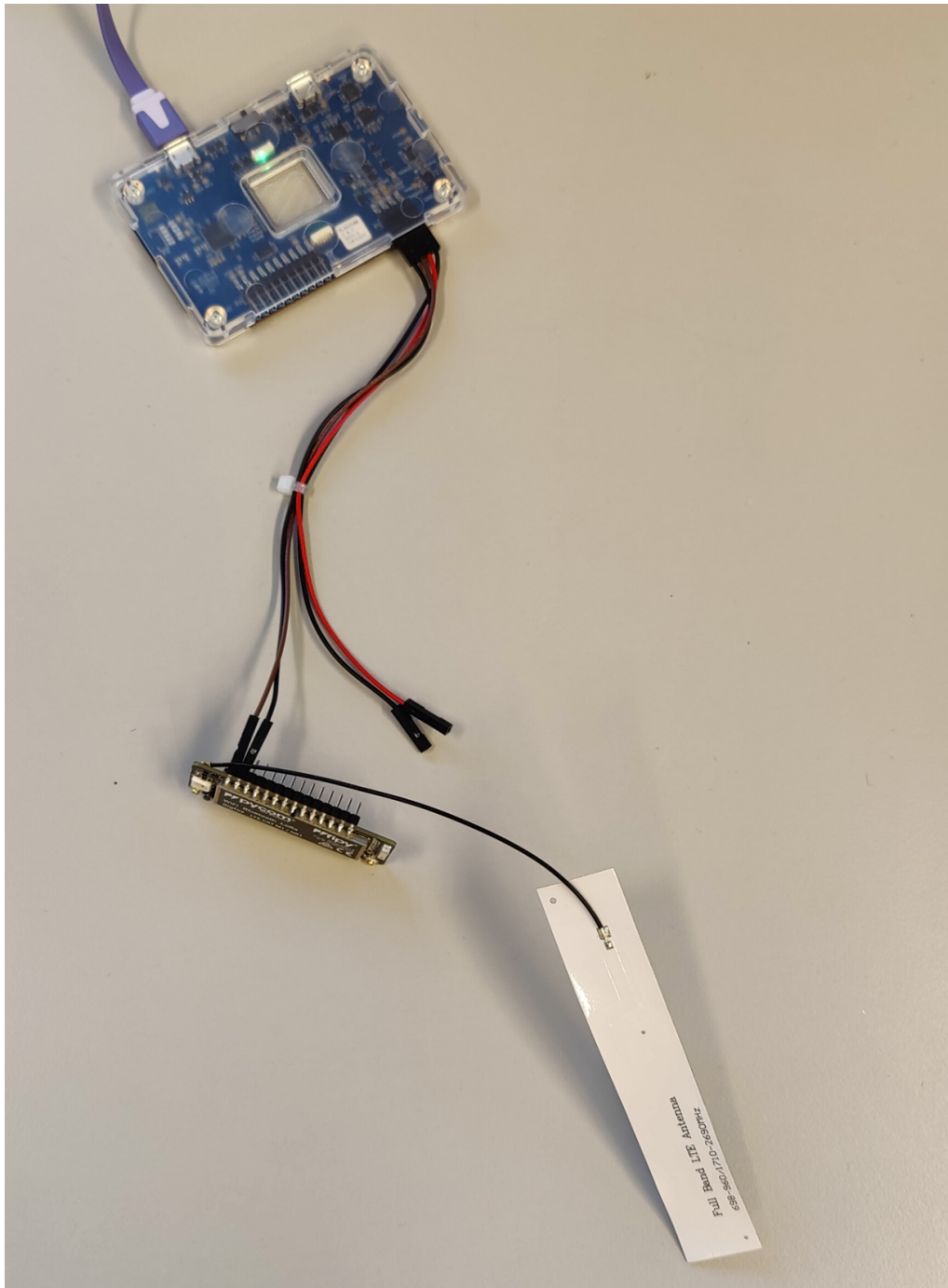
for _ in range(100):
    # Sender melding til endepunkt
    s.send('iot_test')

    time.sleep(50)

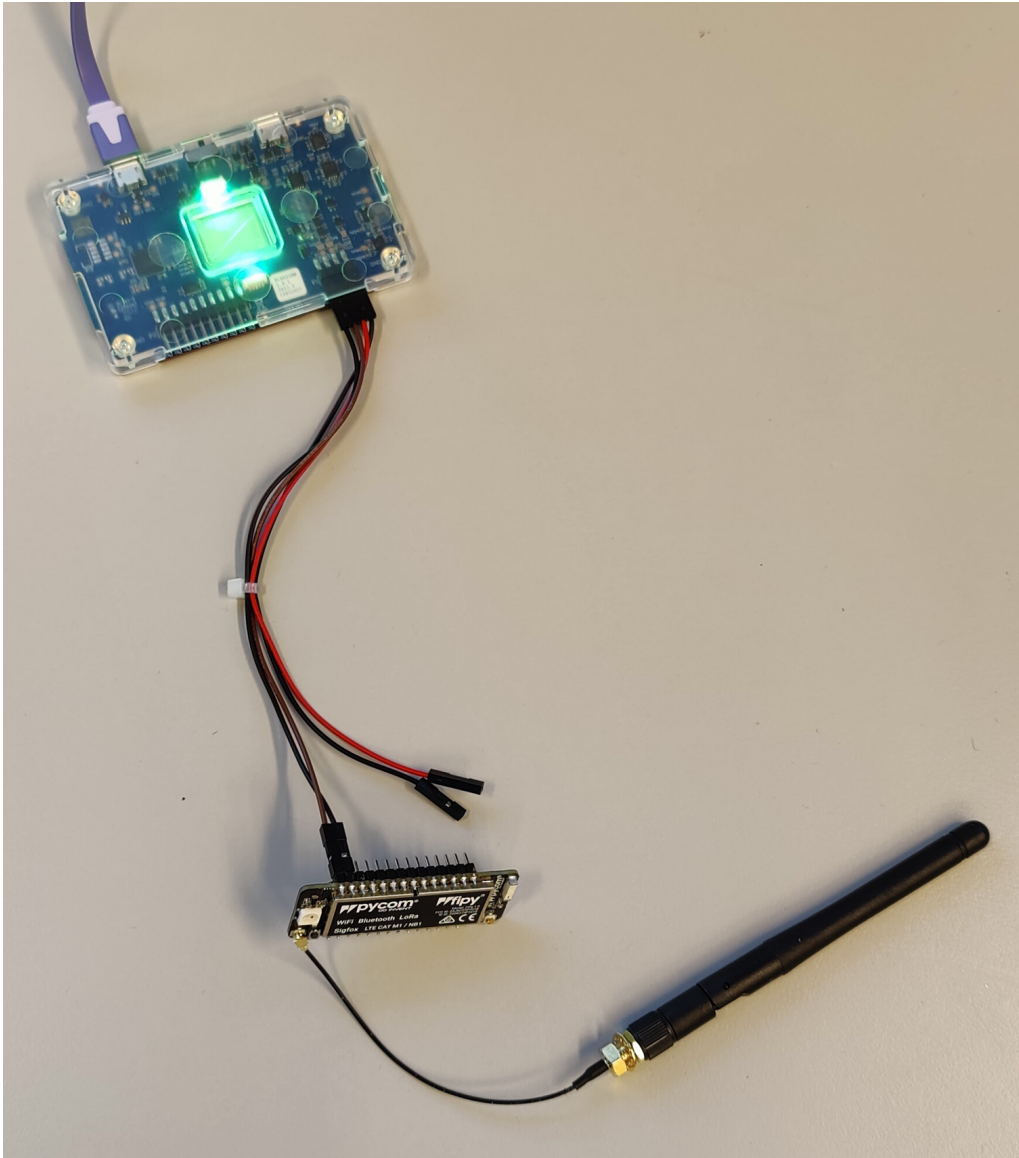
```

3.7 Test oppsett

For å kunne oppnå pålitelige resultater er det viktig at oppsettet for begge protokollene er like. Først hadde vi tenkt til å bruke expansion board 3 og måle strømmen fra den, men den har LED lys som trekker strøm. Vi valgte derfor å koble PPK2 direkte til mikrokontrolleren, for å unngå så mange feilkilder som mulig. Opprinnelig hadde vi tenkt til å bruke to PPK2 enheter til å måle strømforbruket. Det valgte vi å ikke gjøre, fordi de to PPK2 enhetene viste veldig forskjellig strømforbruk ved lave strømmer. Dette hadde ikke vært et stort problem hvis vi hadde målt høye strømmer, men ved lave strømmer blir det for store forskjeller. Vi kontaktet Nordic Semiconductor for å spørre om disse forskjellene, og fant ut at enhetene kommer med litt forskjellig nøyaktighet.^[17] Derfor ble det benyttet samme PPK2 for begge protokollene. Den eneste forskjellen i oppsettet er antennene som blir brukt. NB-IoT bruker en LTE antenne, mens LoRaWAN bruker en ISM antenne. LTE antenne kobles til under FiPyen og ISM antenne kobles til oppå antenne. Det vil også være litt forskjell i kodene, men vi sender samme størrelse på datapakken for begge protokollene.



Figur 13: Test oppsett NB-IoT med LTE antenne



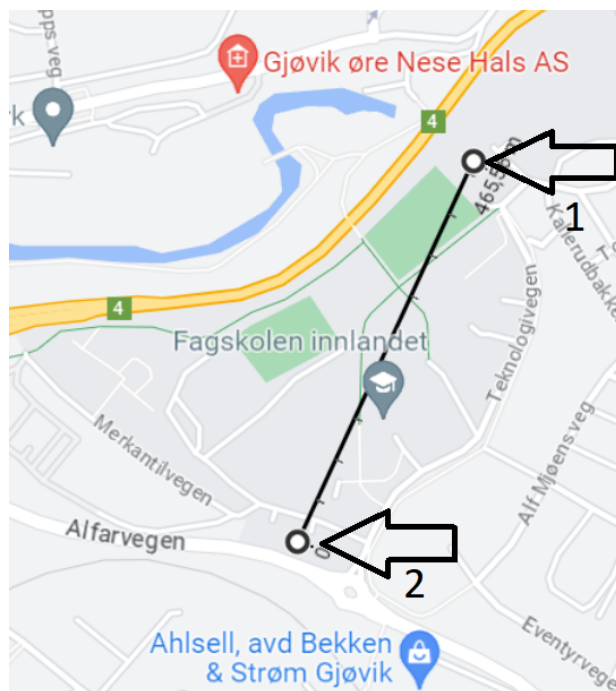
Figur 14: Test oppsett LoRaWAN med ISM antenne

4 Resultater

Dette kapitlet beskriver resultatene av testene vi gjorde. Vi startet med å lage referansemålinger, som vil gjøre det lettere å trekke konklusjoner basert på testene våre. Det ble gjort 3 tester som skal vise hvordan ulike faktorer som støy, forstyrrelser og avstand påvirker strømforbruket.

4.1 Referansemåling

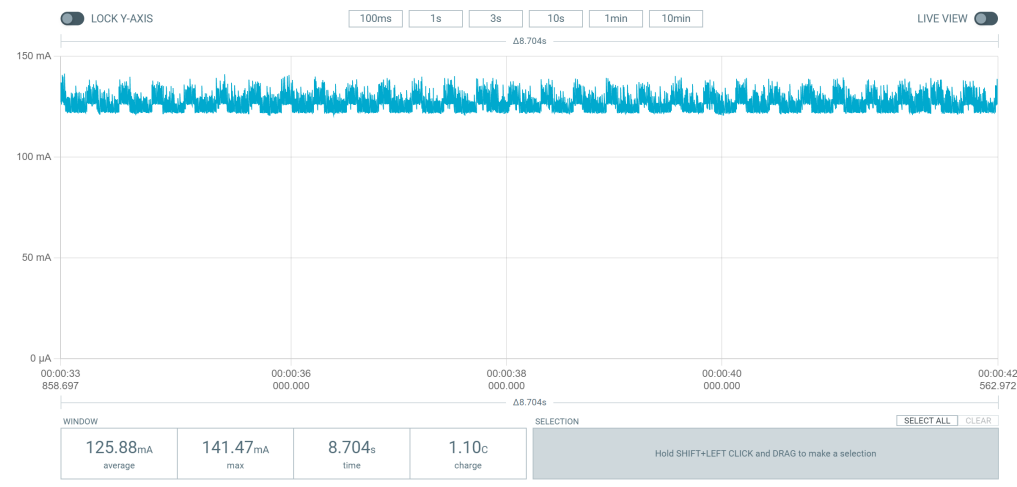
Dette er tre ulike strømmålinger for Fipy, LoRaWA og NB-IoT. Denne testen ble utført på elektronikkklubben på NTNU i Gjøvik.



Figur 15: Referansemåling posisjoner, Google Maps

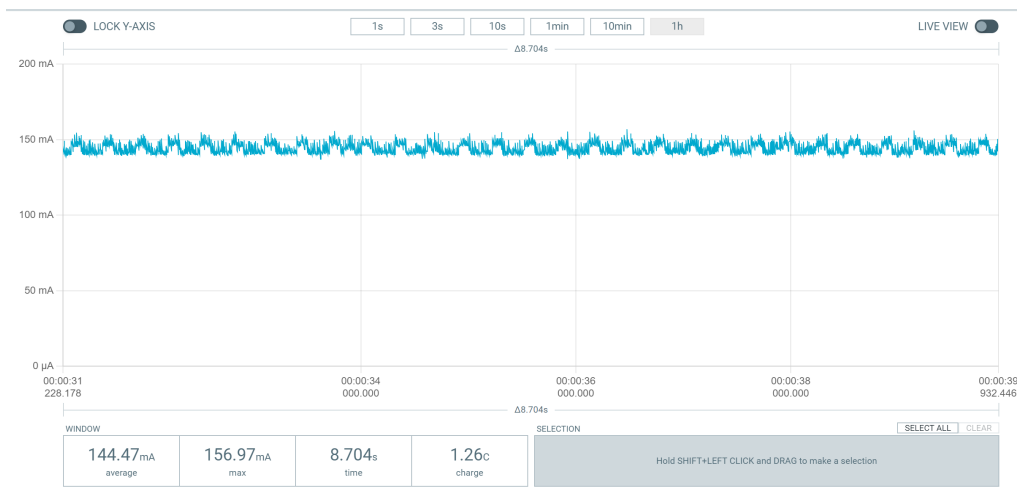
Kartet viser posisjonene i referansetesten. Her er både Fipyen og LoRaWAN gatewayen på lokasjon 1, mens NB-IoT antennen er på lokasjon 2. Avstanden til antennen er 465 meter, og avstanden til gatewayen er 3 meter.

4.1.1 Fipy referansemåling



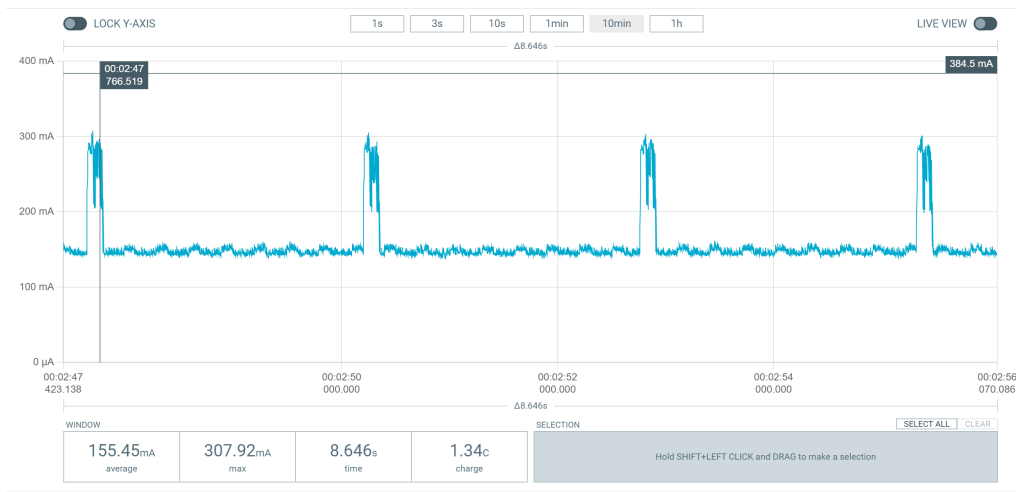
Figur 16: Fipy referansemåling

4.1.2 Lora koblet til gateway, uten data transmisjon



Figur 17: LoRa tilkoblet gateway

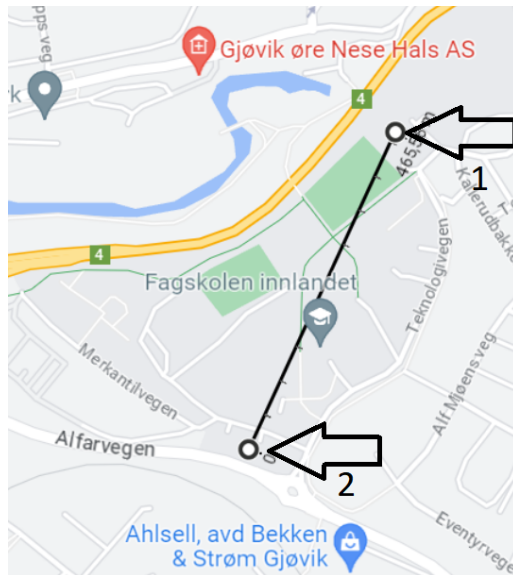
4.1.3 NB-IoT koblet til basestasjon, uten data transmisjon



Figur 18: NB-IoT tilkoblet basestasjon

4.2 Test 1 - Elektrolab

Denne testen viser strømforbruk når enheten sender data. Den er satt opp slik at begge teknologiene har god signalstyrke og lite hindringer.

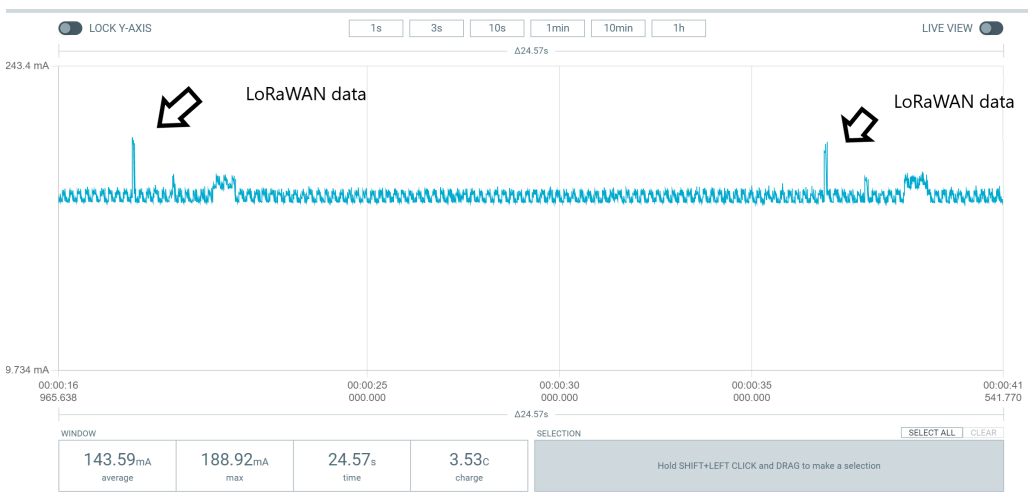


Figur 19: Test 1 posisjoner er samme som i figur 15, Google Maps

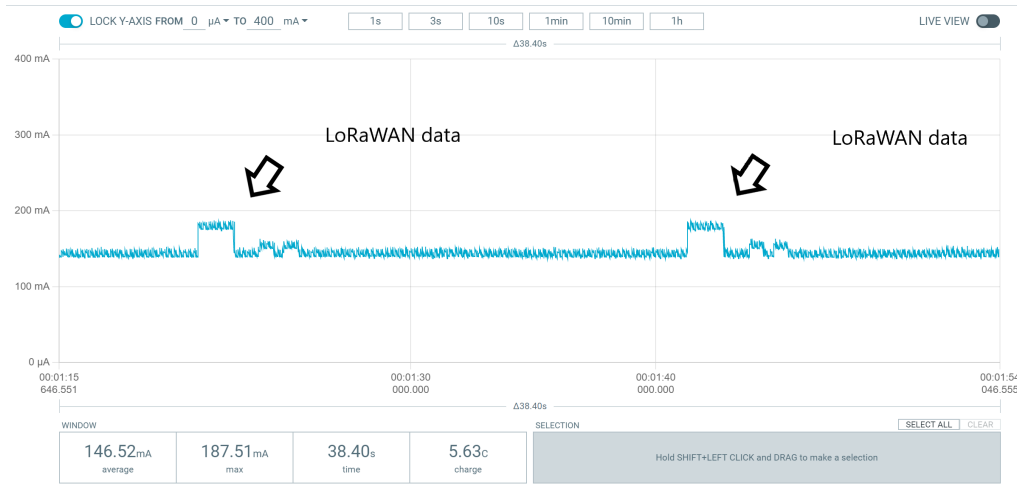
Kartet viser posisjonen til de enhetene. Her er både Fippen og LoRaWAN gatewayen på lokasjon 1, mens NB-IoT antennen er på lokasjon 2. Avstanden til antennen er 465 meter, og avstanden til gatewayen er 3 meter.



Figur 20: NB-IoT test 1



Figur 21: LoRaWA test 1, SF7/125kHz - 5.47 kbps



Figur 22: LoRaWA test1, SF12/125kHz - 250 bps

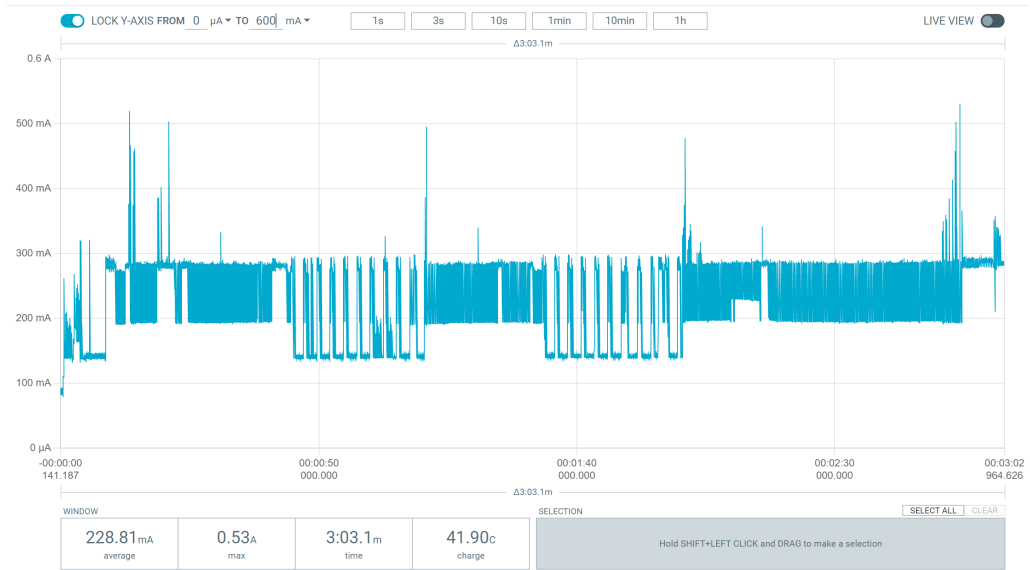
4.3 Test 2 - Kjeller

Denne testen viser strømforbruk i en kjeller med litt avstand fra gateway og basestasjon. Dette gjør det også vanskeligere for data-signalene å nå frem til endepunktet.

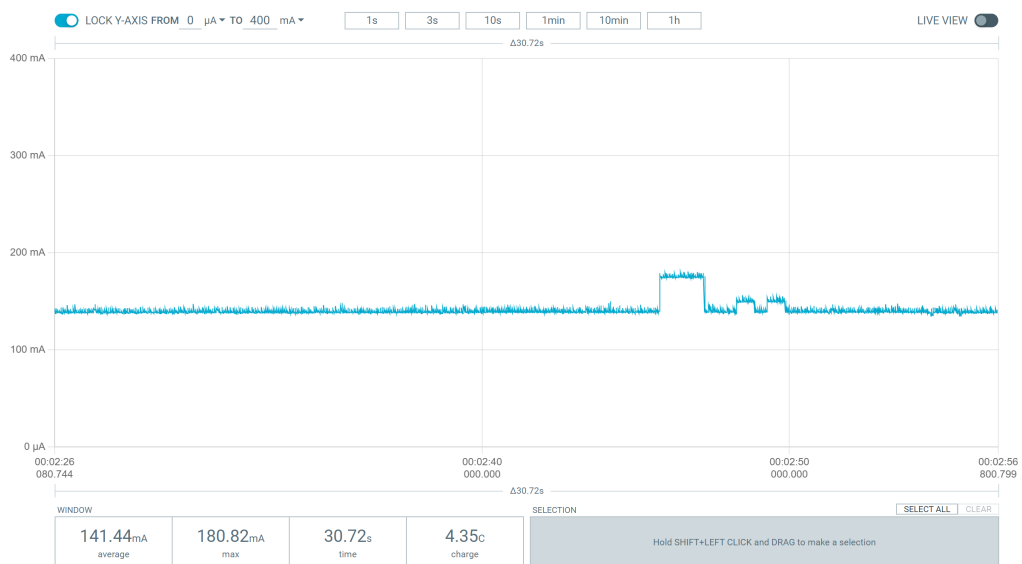


Figur 23: Test 2 posisjoner, Google Maps

På kartet ser vi enheten og endepunkenes lokasjon i test 2. Her er LoRaWAN gatewayen på lokasjon 1, og FiPyen på lokasjon 2 nede i en kjeller. NB-IoT antennen er på lokasjon 3. Avstanden til basestasjonen er 500 meter, og avstanden til gatewayen er på 161 meter. Avstanden som vises på kartet er samlet avstand og ikke mellom de forskjellige enhetene.



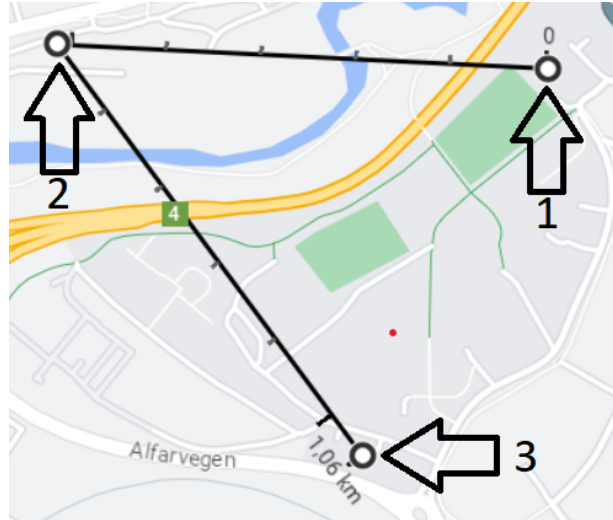
Figur 24: NB IoT kjeller, her ser vi hvordan NB-IoT bruker mer strøm i starten av sendingene



Figur 25: LoRaWA kjeller

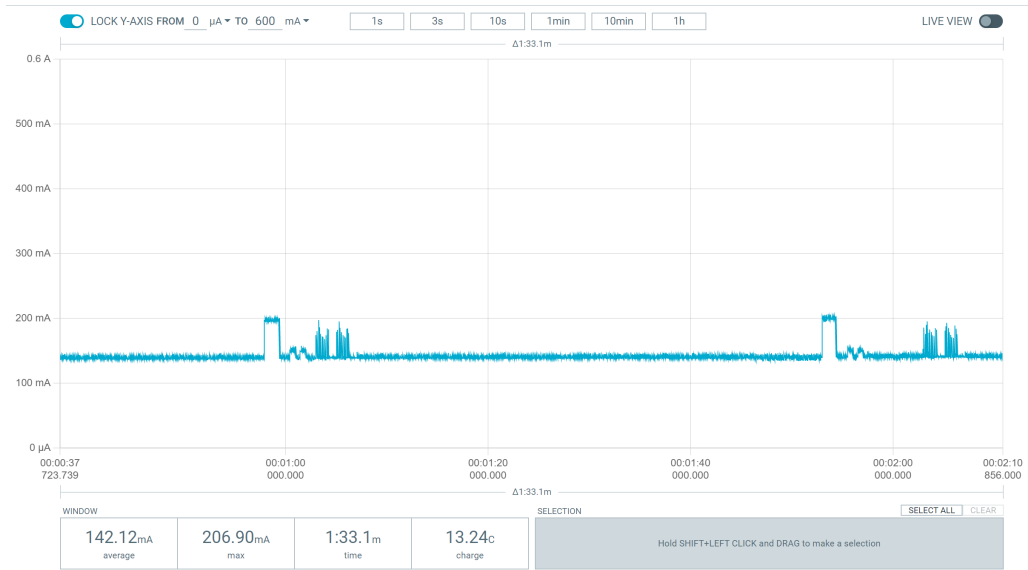
4.4 Test 3 - Parkeringsplass

Testen ble utført på en parkeringsplass med relativt lite vegetasjon og bygg mellom FiPyen og endepunktene.

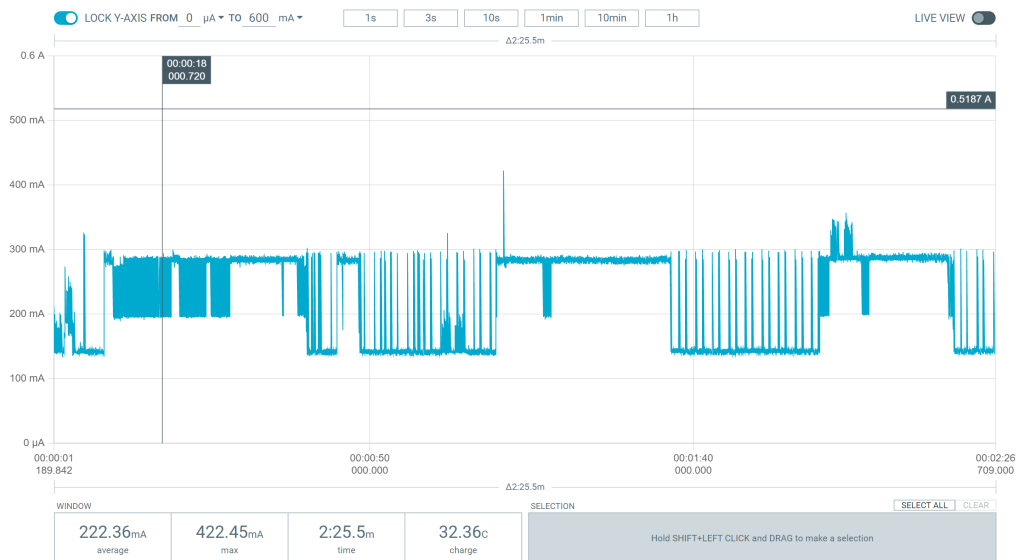


Figur 26: Test 3 posisjoner, Google Maps

Kartet viser FiPy-enheten og endepunkenes lokasjon i test 3. Her er LoRaWA gatewayen på lokasjon 1, FiPyen på lokasjon 2, og NB-IoT antennen på lokasjon 3. Avstanden til basestasjonen er 1,06 kilometer, og avstanden til gatewayen er 625 meter.



Figur 27: LoRaWA Test 3



Figur 28: NB-IoT Test 3

5 Diskusjon

I dette kapitlet skal vi sammenligne strømforbruket til LoRaWAN og NB-IoT i praksis. Vi skal finne ut av hvilken teknologi som er best i ulike situasjoner. Ut ifra de testene vi har gjort skal vi trekke en konklusjon om hvilken teknologi som er best basert på våre resultater. Disse to LPWAN teknologiene har ulike styrker og svakheter, og testene er satt opp slik at begge får vist disse frem. Det vil si at det ikke nødvendigvis vil være en protokoll som er best i alle tilfeller. Vi har sett på forskjellige faktorer som påvirker strømforbruket i praksis.

5.1 Referansemåling

Det første vi startet med var å se på 3 referansemålinger. Den første målingen var bare FiPy uten python skript lastet opp. Den andre målingen var LoRaWAN oppkoblet til gateway. Den tredje målingen var NB-IoT koblet opp mot mobilnettet. Ved å ha disse tre målingene som referanser vil det gjøre det lettere å tolke grafene i testene. Vi ser tydelig at LoRaWAN er den protokollen som bruker minst strøm i disse målingene. LoRaWAN ligger på 18 mA høyere enn FiPy sin referansemåling, fordi den er koblet opp mot gatewayen. NB-IoT har det høyeste strømforbruket med 30mA høyere strømforbruk enn FiPy sin referansemåling. Dette er også da et forventet resultat, fordi denne protokollen må opprettholde tilkoblingen til basestasjonene med jevne mellomrom. Hver gang FiPy kobler seg mot basestasjonen går strømmen opp til 175mA høyere enn referansemålingen. Med disse tre målingene kan vi lettere forstå de ulike testene.

5.2 Test 1

Den første testen vi gjennomførte hadde som mål å studere strømforbruket i ideelle forhold. Enhetene ble programmert til å sende en datapakke på 8 byte. Dette er en datapakke som begge protokollene klarer å sende. Testen ble utført på elektrolabben ved NTNU i gjøvik.

5.2.1 LoRaWAN

LoRaWAN gatewayen er plassert på samme sted som denne testen ble utført. Det vil si at det er ingen forstyrrelser for signalet, og vi kan sende data med den høyeste dataraten. Vi har valgt å sende data med to forskjellige datarater for å se hvordan ulike spredningsfaktor påvirker strømforbruket. I en ideell situasjon bruker vi spredningsfaktor 7, som gjør at dataraten blir på 5 kbit/s vist på figur 21. På grunn av forstyrrelser som bygninger, luft og interferens fra andre signaler er det ikke alltid mulig å bruke den dataraten. Når spredningsfaktoren blir høyere går dataraten ned, men signalet blir mer robust for forstyrrelser. I figur 21 bruker vi en spredningsfaktor på 12 og dataraten faller til 205 bit/s. Når dataraten blir mindre må enheten bruke lengre tid på å sende samme mengde data. Videre i de neste testene vi skal gjøre over lengre avstand bruker vi spredningsfaktor 12, fordi spredningsfaktoren på 7 ikke klarer å sende over den avstanden.

5.2.2 NB-IoT

NB-IoT har et høyt strømforbruk i data transmisjonen. Dette kommer hovedsaklig av at NB-IoT har en høy datarate på 27 kbit/s i beste tilfelle. NB-IoT har også forsinkelse, for å sørge for at datapakkene kommer frem. Kombinasjonen av disse faktorene gjør at FiPyen bruker mer strøm ved datatransmisjon.

5.2.3 Sammenligning

I denne første testen har vi testet begge protokollene i ideelle forhold. LoRaWAN gatewayen ligger rett ved siden av enheten, som betyr at det ikke er tap av datapakker. NB-IoT har få bygninger mellom enheten og basestasjonen. Ideelt sett skulle vi hatt gatewayen koblet til på samme plass som basestasjonen, men gatewayen må være koblet til internett som gjorde at det ikke var mulig. Denne testen viser at LoRaWAN vil være et veldig bra alternativ i en situasjon der det er garantert at det ikke er tap av datapakker. LoRaWAN bruker mindre strøm på selve sendingen av datapakken, og gjennomsnittlig over lengre tid med mange sendinger. Testen viser at det er mulig å sende data med 5kbs, som betyr at det er mulig å sende datapakker opp til 222 byte. Hvis det sendes mer data enn det, vil NB-IoT være det beste alternative, fordi LoRaWAN ikke har mulighet til å sende så store datapakker.

5.3 Test 2

Den andre testen vi gjorde hadde som formål å teste hvordan NB-IoT og LoRaWAN håndterer forstyrrelser i signalet. Vi testet å sende signal fra en kjeller i et annet bygg på campus. Dette gjør at det er mange vegger mellom enheten og gateway/basestasjon. Datarate og datapakke er likt som i test 1.

5.3.1 LoRaWAN

LoRaWAN klarte ikke å sende data til gateway, dette er på grunn av alle veggene og forstyrrelsene mellom enheten og gatewayen. Selv om vi hadde den høyeste spredningsfaktoren fikk vi ikke opp datapakker i IoT plattformen. Dette var en mistanke vi hadde før testen ble gjort. Strømforbruket er fortsatt det samme som i test 1, på grunn av protokollen LoRaWAN bruker til å sende. Dette er et av problemet med LoRaWAN, nemlig dekning. Avstanden er bare 161 meter, men på grunn av alle veggene blir all data tapt. Tap av datapakker kan ha en stor påvirkning på strømforbruket. Hvis store deler eller alle datapakke som blir sendt går tapt må enheten bruke mange flere sendinger for å sende datapakke. Dette vil akkumuleres opp over tid og resultere i et høyt strømforbruk.

5.3.2 NB-IoT

NB-IoT sørger for at det blir ingen tap av datapakker. Dette kunne vi også se i våre resultater når vi koblet opp. Selv om det ikke ble tap av datapakker kunne vi se at NB-IoT brukte vesentlig mye mer strøm i starten av sendingene sine. Dette er på grunn av alle veggene og forstyrrelsene. NB-IoT bruker mye strøm når den sender datapakker, men det er garantert at datapakken kommer frem. Dette er på grunn av forsinkelsen, som sørger for at datapakke kommer frem.

5.3.3 Sammenligning

I dette tilfellet var LoRaWAN ikke et bra alternativ, siden alle datapakke ble tapt. I forhold til NB-IoT som ikke hadde tap av datapakker vil LoRaWAN slite i slike situasjoner med dårlig dekning og mye forstyrrelser.

5.4 Test 3

I denne testen skal vi sjekke hvordan strømforbruket blir påvirket når enhetene er lengre unna gateway og basestasjon uten mye forstyrrelser. Datarate og pakkestørrelse er det samme som i de forrige testene.

5.4.1 LoRaWAN

I denne testen er LoRaWAN sin avstand til gateway 625 meter. Vi prøvde å sette opp en forbindelse med spredningsfaktor 7, men dette fungerte ikke når enheten var så langt unna gatewayen. Derfor programerte vi enheten til å ha en spredningsfaktor på 12. Dette var et forventet resultat ut ifra teorien. Når vi testet registrerte vi ingen tap av datapakker. Men vi fikk en RSSI verdi på -115dbm og en SNR verdi på -2,25. Sammenlignet med testen vi gjorde på labben var RSSI verdien på -46dbm og SNR verdien på 10. Så signalstyrken er mye svakere når vi sendte over lang avstand. Vi gjorde ikke så lang test, men viss testen hadde gått over lang tid kunne dette resultert i tap av datapakker.

5.4.2 NB-IoT

NB-IoT hadde ingen store problemer med avstanden fra basestasjonen. Vi så ingen tegn til tap av datapakker. NB-IoT resultatene var ganske like som testen vi gjorde på elektrolabben. Dette stemmer bra med det vi hadde trodd på forhånd, siden begge lokasjonene har god dekning til basestasjonen.

5.4.3 Sammenligning

LoRaWAN kan operere på lengre avstander hvis enheten har en spredningsfaktor på 12, som betyr at enheten bruker hele båndbredden. Dette går på bekostning av dataraten og strømforbruket. Når enheten er lengre unna gatewayen øker sannsynligheten for tap av datapakker. I denne testen hadde LoRaWAN ingen tap av datapakker sammenlignet med NB-IoT, men signalet var svakere. LoRaWAN kan fungere bra, så lenge det ikke blir mye tap av datapakker.

5.5 Erfaring, feilkilder og videre arbeid

I dette prosjektet har vi erfart hvordan det er å koble opp to ulike typer trådløs kommunikasjon. Vi har brukt verktøy til å måle strømforbruket og sammenlignet resultatet. Grunnet problemer med frakt av gatewayen fikk vi den veldig sent. Gatewayen var opprinnelig bestilt av Telenor, men leverandøren hadde for lang leveringstid. Dette gjorde at vi måtte ta en nødløsning og bestille gatewayen fra en annen side, som kunne levere i løpet av få dager. Dette gjorde at vi måtte ta færre tester enn det vi hadde planlagt. I testene sender vi datapakker hvert 50 sekund i en kort periode. Hvis vi hadde hatt mer tid til testing, hadde vi testet NB-IoT og LoRaWAN over en lengre periode. Dette ville gitt oss mer nøyaktige resultater i forhold til hvordan disse teknologiene brukes i industrien. Dette prosjektet ble utført med relativt billig utstyr, hvis det hadde vært muligheter til å teste med bedre utstyr kan resultatene sett litt annerledes ut. Vi bruke en gateway og koblet opp et eget lokalt nettverk. Dette nettverket har ingen annen trafikk og også dårligere rekkevidde enn det som blir brukt i industrien. Vi hadde egentlig tenkt til å bruke Eidsiva sitt LoRa nettverk i Gjøvik, men grunnet vedlikeholdsarbeid på plattformen var ikke dette mulig. Resultatene hadde kanskje blitt annerledes hvis vi hadde brukt et offentlig LoRa nettverk. Det ville blitt bedre dekning og større mulighet for pakkekollisjon med andre tilkoblede enheter på nettverket. Alle disse faktorene gjorde at det er vanskelig å dra en sikker konklusjon. Vi har allikevel konkludert basert på de målingene vi gjorde.

6 Konklusjon

Denne rapporten hadde som hensikt å beskrive bakgrunnen og metodikken for testing og sammenligning av strømforbruket til NB-IoT og LoRaWAN. Dette er gitt ut av problemstillingen:

"Sammenligne to ulike typer IoT-teknologier, Narrow Band-IoT (NB-IoT) og Long Range WAN (LoRaWAN). Målet er å finne ut hvilken teknologi som har lavest strømforbruk og å undersøke hvordan ulike faktorer som forstyrrelser, forsinkelser og pakkestørrelser påvirker strømforbruket."

Ut ifra våre resultater kan vi ikke si hvilke protokoll som er den beste i forhold til lavt strømforbruk. Det er mange faktorer som spiller inn på strømforbruket til NB-IoT og LoRaWAN. I en ideell situasjon for både NB-IoT og LoRaWAN vil LoRaWAN være den som bruker minst strøm, fordi LoRaWAN bruker mindre strøm enn NB-IoT når det sendes datapakker. Grunnen til at LoRaWAN ikke er den beste i alle tilfeller er på grunn av dekning. NB-IoT sørger for sikker overføring av data, også i vanskelige forhold. LoRaWAN har mye tap av datapakker i vanskelige forhold. Dette kan bidra til et høyt strømforbruk i forhold til NB-IoT. Det er derfor viktig å se på strømforbruk til det spesifikke IoT systemet, for å finne den IoT teknologien som er best.

Bibliografi

- [1] Cees Links. Tony Testa. John Anderton. Wilco Van Hoogstraeten. David Schnaufe. and Cindy Warschauer. Internet of things for dummies®, qorvo 2nd special edition. 2021.
- [2] Allion Labs. Lpwan. <https://www.allion.com/iot-lpwan/>, 2018. (Visited mai. 2023).
- [3] Jamie Moss. Welcome to nb-iot: Ready for mass-market.
- [4] Semtech. Ultimate network comparison-master-v3-web. 2021.
- [5] Richard Wenner. Rssi, snr, noise floor and margin. <https://www.youtube.com/watch?v=QFapH4oADnU>, 2017. (Visited mai. 2023).
- [6] AGUSTINUS W. TENGOURTIUS. JANSEN C. LIANDO. AMALINDA GAMAGE and MO LI. Known and unknown facts of lora: Experiences from a large-scale measurement study. 2019.
- [7] Francisco Lazaro. Fig 1. https://www.researchgate.net/figure/Example-of-SIC-enabled-slotted-ALOHA-Packet-2-is-received-in-singleton-slot-3-enabled-fig3_309551186, 2017. (Visited mai. 2023).
- [8] Ndla. Hvordan radiosignal forstyrres. <https://ndla.no/nb/subject:1:81b3892a-78e7-4e43-bc31-fd5f8a5090e7/topic:1:c7717a05-61ae-4d57-a470-8105eac4afad/resource:85a68629-bde9-4331-a6b1-64ed6bd73ed7>, 2020. (Visited mai. 2023).
- [9] Deutsche Telekom AG. Nb-iot, lorawan, sigfox: An up-to-date comparison. 2021.
- [10] Wikipedia. Narrowband iot. https://en.wikipedia.org/wiki/Narrowband_IoT, 2023. (Visited mai. 2023).
- [11] Stephen Brown Joseph Finnegan. An analysis of the energy consumption of lpwa-based iot devices. 2018.
- [12] Wikipedia. Narrowband iot. <https://en.wikipedia.org/wiki/3GPP>, 2023. (Visited mai. 2023).
- [13] Keysight Technologies. 4 tips to optimize iot device battery life. 2019.
- [14] European Telecommunications Standards Institute. Final draft etsi en 300 220-1 v2.4.1 (2012-01). 2012.
- [15] The Things Network. Rssi and snr. <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/rssi-and-snr/>, 2023. (Visited mai. 2023).

- [16] Pycom. Fipy datablad. https://pycom.io/wp-content/uploads/2018/03/Pycom_002_Specsheets_FiPy_v2.pdf, 2023. (Visited mai. 2023).
- [17] Nordic Semiconductor. Power profiler kit ii. <https://infocenter.nordicsemi.com>, 2023. (Visited mai. 2023).
- [18] Lab5e. Lab5e dokumentasjon. <https://lab5e.com/docs/>, 2023. (Visited mai. 2023).
- [19] Pycom. Pycom dokumentasjon. <https://development.pycom.io/index.html>, 2023. (Visited mai. 2023).
- [20] Pycom. Fipy specsheat. https://docs.pycom.io/gitbook/assets/specsheets/Pycom_002_Specsheets_FiPy_v2.pdf, 2022. (Visited mai. 2023).
- [21] Pycom. Lesson 4: Getting connected with lora. <https://pycom.io/wp-content/uploads/2020/04/Lesson-4-Getting-Connected-with-LoRa.pdf>, 2020. (Visited mai. 2023).

A Github repository

Her er linken til github repositorien, som inneholder filene til testene som ble utført. <https://github.com/MartinSolvik/Bacheloroppgave2023>

