

Mathias Aakvik  
Marius Knutsen  
Nils Eirik Venås

# **Sensorteknikk i transformatorstasjoner**

## **Sensor technology in substations**

Bacheloroppgave i elektro / elkraftteknikk  
Veileder: Olav Aleksander Myrvang  
Mai 2021



Mathias Aakvik  
Marius Knutsen  
Nils Eirik Venås

# **Sensorteknikk i transformatorstasjoner**

## **Sensor technology in substations**

Bacheloroppgave i elektro / elkraftteknikk  
Veileder: Olav Aleksander Myrvang  
Mai 2021

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



Kunnskap for en bedre verden



**Institutt for elektroniske systemer**

**Institutt for elkraft**

**Institutt for teknisk kybernetikk**

## **Bacheloroppgave**

<b>Oppgavens tittel:</b> <b>Sensorteknikk i transformatorstasjoner</b>  <b>Project title:</b> <b>Sensor technology in substations</b>	<b>Gitt dato:</b> 04.01.2021
	<b>Innleavingsdato:</b> 20.05.2021
	<b>Gradering</b> <input checked="" type="checkbox"/> åpent <input type="checkbox"/> lukket <input type="checkbox"/> åpent fra _____
	<b>Antall sider/bilag:</b> 83
<b>Gruppedeltakere:</b> Aakvik, Mathias Knutsen, Marius Venås, Nils Eirik	<b>Veileder internt (navn/email/tlf.):</b>  Olav Aleksander Myrvang – olav.myrvang@ntnu.no
<b>Studieretning:</b> Elektroingeniør, Bacheloroppgave elektro	<b>Prosjektnummer:</b>  E2112
<b>Oppdragsgiver:</b> Jacobsen Elektro AS	<b>Kontaktperson hos oppdragsgiver (navn/tlf.):</b>  Erlend Mork
<b>Stikkord:</b> Sensor(s) Vedlikehold Sikkerhet IoT	<b>Keywords:</b> Sensor(s) Maintenance Security IoT

## SAMMENDRAG

Denne oppgaven omhandler bruk av sensorer rundt og i transformatorstasjoner. Formålet med oppgaven er å undersøke om et system bestående av sensorer kan forbedre sikkerheten og vedlikeholdet i transformatorstasjoner. Det undersøkes først hvilke sensorer som er aktuelle å bruke i og rundt transformatorstasjoner. Etter det blir ulike kommunikasjonsprotokoller både for kort og lang rekkevidde gjennomgått for å gi Jacobsen Elektro økt innsikt på det området og for å kvalitetssikre valget av system.

Videre undersøkes det hvilke(t) system(er) som kan brukes for å dekke problemstillingen, og det velges et system som blir bestilt og testet ut. Resultatene fra testingen viser at et system bestående av sensorer kan forbedre sikkerheten og vedlikeholdet i transformatorstasjoner.

## ABSTRACT

This thesis delves into the use of sensors in and around substations. The purpose of the thesis is to investigate whether a system consisting of sensors can improve the safety and maintenance of substations. It is first investigated which sensors are relevant to use in and around substations. After that, various communication protocols for both short and long range are reviewed to give Jacobsen Elektro increased insight into that area and to ensure the quality of the chosen system.

Furthermore, it is investigated which system(s) that can be used to solve the challenge, and a system is chosen for ordering and testing. The results from the testing show that a system consisting of sensors can improve the safety and maintenance of transformer stations.

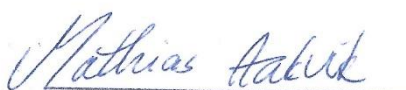
## FORORD

Denne oppgaven er skrevet av tre studenter ved fakultet for informasjonsteknologi og elektronikk ved NTNU Trondheim i 2021. Emnet, TELE3001 Bacheloroppgave elektro/TELE3021 Bacheloroppgave elkraftteknikk, er gjennomført som avsluttende oppgave i et treårs studieløp. Den er skrevet for firmaet Jacobsen Elektro i en tid hvor digitalisering av strømmettet er i fremmarsj.

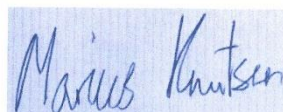
Oppgaven er skrevet fra januar til slutten av mai 2021, under pandemien Covid19 som gjorde fysiske møter internt i gruppen, med veileder og med arbeidsgiver tidvis umulig. Dette er løst med digitale hjelpemidler, men vi synes likevel det har gjort arbeidet noe distansert i forhold til hva vi hadde sett for oss.

Vi har gjennom oppgaven opparbeidet oss nyttig kunnskap for videre arbeidsliv, knyttet til trådløs kommunikasjon, sensorteknikk og transformatorstasjoner. Samtidig har vi blitt bedre kjent med flere norske IoT selskaper. Siden dette er den eneste gangen gjennom studiet vi løser en oppgave med direkte kontakt til bedrift og næringsliv gir det ekstra motivasjon for videre arbeidsliv.

Vi vil gjerne takke vår veileder Olav Aleksander Myrvang for god veiledning, Erlend Mork og Arve Angell for godt samarbeid og gode innspill.



Mathias Aakvik



Marius Knutsen



Nils Eirik Venås

Sted: TRONDHEIM

Dato: 20.05.2021



## DEFINISJONER OG FORKORTELSER

<b>Forkortelse</b>	<b>Norsk</b>	<b>Engelsk</b>
QoS	Tjenestekvalitet	Quality of Service
	Avstandssensor	Proximity sensor
PGW	Pakke datanettverksport	Packet data network gateway
SGW	Cisco tjenesteport	Cisco serving gateway
HSS	Hjemme abonnentserver	Home Subscriber Server
MME	Mobilitets ledende enhet	Mobility Management Entity
UE	Brukerutstyr	User Equipment
EPC	Utviklet pakkekjerne	Evolved packet core
EPS	Utviklet pakkesystem	Evolved Packet System
SDS		SecureDataShot
IEC	Internasjonal elektroteknisk kommisjon	International electrotechnical commission
UNB	Hinsides smal båndbredde	Ultra Narrow Band
DBPSK	Differensial binær puls-fasemodulasjon	Differential Binary Phase-shift Keying
Rx	Mottaker	Receiver
LoS	Fri siktlinje	Line of sight
IoT	Tingenes internett	Internet of Things
WSN	Trådløst sensornettverk	Wireless sensor network
CC	«Skyforbinder»	Cloud Connector
SMPS	Svitsjet strømforsyning	Switch Mode Power Supply
DGA	Oppløst gassanalyse	Dissolved gas analysis
LPWAN	Laveffekt, lang rekkevidde kommunikasjon	Low Power Wide Area Network
DT		Disruptive Technologies
NVE	Norges vassdrags- og energidirektorat	

## FIGURLISTE

Figur 1: Vedlikehold – Generell oversikt (Standard Norge, 2018).....	5
Figur 2: Transformer Fault Tree Analysis model (Aizpurua J.I., 2019) .....	8
Figur 3: Tilstandsparametere for transformatoren (Aizpurua J.I., 2019) .....	8
Figur 4: Typiske sensorer brukt i kraftlinjeovervåkning (Lin J., 2015).....	11
Figur 5: Plassering av de ulike sensorene (Lin J., 2015).....	11
Figur 6: Overordnet systemgang .....	14
Figur 7: Flere teknologier basert på samme fysiske lag, forenklet OSI-modell/ WSN Stack Model. Illustrasjon hentet fra forelesning med Stig Petersen (Stig Petersen, 2020).....	15
Figur 8: De vanligste nettverkstopologiene. ....	15
Figur 9: Forskjellige topologier i et ZigBee nettverk (Buthelezi, u.d.).....	17
Figur 10: Topologier i et Bluetooth nettverk .....	18
Figur 11: Utviklingen av Bluetooth fra V1 til V5 (JUNJIE YIN and ZHENG YANG, 2019) ..	19
Figur 12: Viser telenors NB-IoT dekning i Norge. (Telenor, u.d.) .....	22
Figur 13: Viser telenors LTE-M dekning i Norge. (Telenor, u.d.) .....	23
Figur 14: SigFox dekning i Europa (Sigfox, u.d.).....	24
Figur 15: Dekning for Telenor sine nettverk i Norge (Telenor, u.d.) .....	25
Figur 16: Radardiagram for sammenligning av kommunikasjonsløsninger med kort rekkevidde. ....	27
Figur 17: Radardiagram for sammenligning av kommunikasjonsløsninger med lang rekkevidde. ....	28
Figur 18: Arkitekturen til en typisk sensornode.....	29
Figur 19: Tabell over effektforbruk i sensornoder .....	29
Figur 20: Energitetthet blant forskjellige batterityper. Illustrasjon hentet fra (IEEE, 2016) ...	31
Figur 21: Overordnet systemgang Disruptive Technologies. (technologies, u.d.).....	33
Figur 22: Brage W. Johansen holder sensorkula (Heimdall Power, 2021) .....	35
Figur 23: Installasjon av sensorkula på linje (Heimdall Power, 2021) .....	35
Figur 24: Systemet til Heimdall Power (Heimdall Power, 2021) .....	36

Figur 25: Bestillingslisten .....	38
Figur 26: Utvalg av utstyr fra bestillingslisten.....	39
Figur 27: Startskjerm DT-Studio.....	40
Figur 28: Alle sensorer og CC.....	41
Figur 29: Identifisere med berøring sensor .....	41
Figur 30: Identifisere med berøring CC .....	42
Figur 31: Prosjekt skrivebord.....	43
Figur 32: Utklipp fra DT' "Substation Pilot" .....	44
Figur 33: Alle komponenter .....	44
Figur 34: Notifikasjoner .....	45
Figur 35: Sette triggere.....	45
Figur 36: Muligheter for videre databehandling .....	46
Figur 37: Data Connector flyt. ....	47
Figur 38: Beskrivelse av IP rating for sensorer. (IEC, u.d.).....	48
Figur 39: Batterilevetid med og uten Boost Mode. (technologies, u.d.).....	49
Figur 40: Viser krypteringen i systemet. (Tchnologies, u.d.) .....	50
Figur 41: Beskrivelse av IP rating for Cloud Connector. (IEC, u.d.).....	51
Figur 42: User Interface for Cloud Connector (technologies, u.d.) .....	52
Figur 43: LTE fra UE til Internett .....	52
Figur 44: Rekkevidde utendørs .....	54
Figur 45: Testing av signalstyrke gjennom betonggulv.....	55
Figur 46: Plassering av CC og sikringsskap.....	56
Figur 47: Sikringsskap .....	57
Figur 48: Plassering av sensor med range extender .....	58
Figur 49: Signalstyrke mellom CC og sensor med range extender.....	58
Figur 50: Målt temperatur av sensor med range extender.....	59
Figur 51: Signalstyrke mellom CC og sensor uten range extender.....	59

Figur 52: Målt temperatur av sensor uten range extender.....	60
Figur 53: Signalstyrke gjennom sikringsskap for sensor med range extender.....	60
Figur 54: Signalstyrke gjennom sikringsskap for sensor uten range extender.....	61
Figur 55: Sikringsskap .....	61
Figur 56: Plassering av sensor i låskasse .....	62
Figur 57: Oversikt over om døra er låst eller ulåst.....	63
Figur 58: Signalstyrken mellom CC og sensor .....	63
Figur 59: Bilde av branndør i stål.....	64
Figur 60: CC lå på bordet nærmest .....	65
Figur 61: Plassering av sensor nærmest CC.....	66
Figur 62: Plassering av sensor lengst unna CC .....	67
Figur 63: Signalstyrken mellom CC og sensor .....	67
Figur 64: Signalstyrken mellom CC og skyen .....	69
Figur 65: Signalstyrken mellom sensor i låskasse og CC .....	69
Figur 66: Oversikt over når døra er låst og ulåst.....	70
Figur 67: Sensor i låskasse .....	71

## INNHOLDSFORTEGNELSE

Kapittel 1 – Innledning med problemstilling .....	1
Kapittel 2 – Informasjonshenting .....	3
2.1 Informasjonsbehandling .....	3
Kapittel 3 – Aktuelle sensorer .....	4
3.1 Vedlikeholdsmuligheter med sensorer .....	4
3.2 Sikkerhetsmuligheter med sensorer.....	11
Kapittel 4. Systemets oppbygning.....	14
4.1 Kommunikasjon .....	14
4.1.1 Kort rekkevidde .....	16
4.1.2 Lang rekkevidde .....	19
4.2 Effektforbruk og batteri.....	28
Kapittel 5. Valg av system .....	32
5.1 Utvalgskriterier.....	32
5.2 Alternativer i markedet.....	32
5.2.1 Disruptive Technologies .....	33
5.2.2 Telenor & Nordic Semiconductor .....	33
5.2.3 Heimdall Power.....	34
5.3 Valg av prosjektdemo.....	37
Kapittel 6. Prosjektdemo .....	38
6.1 Bestillinger av komponenter .....	38
6.2 Oppsett .....	39
6.2.1 Installasjon .....	39
6.2.2 Bruk av systemet .....	42
6.3 Teori og dokumentasjon.....	47
6.3.1 Sensorer .....	47
6.3.2 Secure Data Shot .....	50
6.3.3 Cloud Connector .....	50
6.3.4 4G LTE.....	52
6.3.5 Google Cloud/DT cloud .....	53
6.4 Testing .....	53
6.4.1 Rekkevidde utendørs .....	54
6.4.2 Rekkevidde gjennom betonggulv .....	54

6.4.3	Temperatursensor i sikringskap .....	55
6.4.4	Dørsensor .....	61
6.4.5	Stabilitet .....	68
6.5	Erfaringer med prosjektdemo .....	71
Kapittel 7	– Konklusjon .....	73
Referanser	.....	74
Vedlegg	.....	83
Vedlegg 1	: A3-Poster .....	83

Kraftforsyningen i Norge er listet opp som en av samfunnets kritiske funksjoner, og i Norge er elektrisitetens andel av det totale energibruket betydelig høyere enn i andre land. Denne avhengigheten av én energikilde gjør at det må stilles store krav til forsyningssikkerhet for elektrisk energi. (DSB, 2016)

Som et ledd i kraftforsyningen står det mange transformatorstasjoner rundt omkring i Norge, av ulike størrelser. Det kan være alt fra enkeltstående bygg til bygg med tilhørende utearealer for bryterfelt, hvor høye spenninger er involvert. Transformatorstasjonene er bygd etter forskrifter, slik at uvedkommende ikke skal kunne komme seg inn, og det stilles i dag strenge krav til hvem som får oppholde seg der. Allikevel forekommer det tilfeller hvor mennesker har kommet seg inn på slike områder, som igjen kan få alvorlige konsekvenser for deres liv.

Strømbrydd skjer ved jevne mellomrom. Uønskede strømbrydd er i mange tilfeller veldig vanskelig å forutse. Noen ganger er det vær og vind som er årsaken, og det kan være vanskelig å lokalisere feilen. Andre ganger er det transformatorstasjonene som av ulike årsaker, for eksempel en defekt sikring inne på stasjonen, som er grunnen til strømbrydd.

Vår oppdragsgiver, Jacobsen Elektro, er en elektroteknisk bedrift. De er leverandører innen kraftnettmarkedet og har i oppgave å forsyne kraftprodusenter, nettselskaper og annen kraftkrevende industri med løsninger i form av blant annet transformatorstasjoner, kraftverk og vern- og kontrollanlegg. Bedriften ønsker å være med på digitaliseringen av kraftnettet og være oppdatert på løsninger som kan gi besparelser på vedlikehold og bedre sikkerhet. Kraftbransjen har hatt lite utvikling på disse områdene siden strømmettet ble bygget ut og her finnes det i dag et stort forbedringspotensial. Derfor er selskapet i ferd med å bygge opp en avdeling med fokus på sensorteknikk, som skal tilby løsninger for retrofitting av transformatorstasjoner.

For, i de senere årene har det blitt gjort store framskritt innen datateknologi og kommunikasjonsteknologi. Ut fra disse fremskrittene har det oppstått begreper som IoT og WSN. Disse begrepene omhandler hvordan teknologien de senere årene har gjort det mulig å plassere ut trådløse sensorer og få sanntidsinformasjon, om for eksempel temperatur på en transformator, mens man befinner seg på en annen plass i verden.

Med utviklingen innen data- og kommunikasjonsteknologien, Jacobsen Elektros ønske om oppdaterte løsninger innenfor feltet sitt, den nye avdelingen med fokus på sensorteknikk og de uønskede hendelsene som er nevnt over, skal vi se på muligheten for å forbedre sikkerheten, forsyningssikkerheten og vedlikeholdet til transformatorstasjoner, ved hjelp av et system med forskjellige sensorer.

Vi skal i denne oppgaven se på hva som kan være grunner til at folk kommer seg inn på transformatorstasjoner. Med bakgrunn i det skal vi se på hvilke sensorer kan være hjelpelig med å få bedre oversikt over anleggene. I tillegg skal vi se på hvordan vedlikeholdsarbeid blir gjort, uten hjelp av sensorer, og hvordan det kan bli gjort med sensorer. Med bakgrunn i det

skal vi så se på hvilke sensorer kan være behjelpelig med å forbedre vedlikeholdet på komponenter i anleggene.

Når vi har funnet de aktuelle sensorene ser vi nærmere på hvordan overføringen av data til en driftssentral eller en sentralt beliggende lokasjon foregår. Dette vil bli gjennomgått, i kapittel 4.1 Kommunikasjon, om ulike kommunikasjonsprotokoller som er mest vanlig her til lands. Der vil også effektforbruket på trådløse sensorer bli gjennomgått og noen vanlige batterityper for sensorer.

Etter å ha undersøkt hvordan kommunikasjonen mellom sensor og programvare kan gjøres, skal vi se på hvilket system som kan passe, ut fra 5.1 Utvalgskriterier som vi har blitt enige med Jacobsen Elektro i forskjellige møter i løpet av perioden. Vi ser om det eksisterer et passende system ute i markedet som treffer utvalgskriteriene og velger et system for å teste ut.

Når vi har valgt systemet vi skal bruke, skal vi teste om det fungerer til formålet vårt, og så vurdere om et slikt system kan gi bedre oversikt over transformatorstasjonene med tanke på sikkerheten for folk, strømforsyningssikkerheten og for å ha bedre oversikt over komponentene i anlegget.

Problemstillingen vår ble dermed:

*Kan et system med sensorer forbedre sikkerheten og vedlikeholdet i transformatorstasjoner?*

Gruppen består av tre bachelorstudenter som studerer elektroingeniør ved NTNU Trondheim. To med fordypning innen elektronikk og én i elkraftteknikk. Miksen med fordypninger var en av hovedgrunnene for at valget falt på akkurat denne oppgaven. Gjennom studiet har gruppen opparbeidet seg en generell forståelse for temaer som omhandler elektrisitet, elektriske komponenter, trådløs og kablet kommunikasjon, programmering, sensorer, kraftnettet og gruppesamarbeid. Det er ikke nødvendig å ha disse forkunnskapene for å forstå teksten, men i gjennomførelsen av arbeidet har det bidratt til en bedre forståelse.



## KAPITTEL 2 – INFORMASJONSHENTING

I dette kapitlet går vi gjennom hvordan litteratursøkene har foregått og hvordan generell informasjon ble behandlet. Vi går gjennom hvilke databaser og ressurspersoner vi hadde tilgjengelig, samt hvilke søkeord som ble relevante.

Informasjon har siden internettets begynnelse blitt mye mer tilgjengelig for alle som har tilgang til det. De siste årene har sosiale mediers bruk fått en stadig større rolle i informasjonsflyten, hvor et fokus på klikk og visninger er sentralt. Dette gjør det spesielt vanskelig å bruke det åpne internettet for å gjøre litteratursøk. Det finnes et hav av ulike nettsider som verken blir kontrollert eller sjekket for fakta, selv når det kommer til teknologi og vitenskap. For å navigere oss gjennom dette har vi satt noen forhåndsregler i måten vi søker etter litteratur og fakta på i denne oppgaven.

### 2.1 INFORMASJONSBEHANDLING

Siden 2000-tallet har mye skjedd innenfor maskinvare og programvare. I tillegg følger vi fortsatt Moores Lov som tilsier at maskinvaren blir stadig mindre, som igjen fører til ny forskning og nye bruksområder. Derfor ønsket vi å begrense litteratursøket til å gjelde nyere tid, selv om vi ikke har satt et spesielt år hvor denne grensen går.

I litteraturstudiet er det i hovedsak brukt fagfelleverderte databaser som kilder. Vi benyttet Oria og Google Scholar som hoveddatabaser, som NTNU gir oss tilgang til. Vi har likevel vurdert kredibiliteten til hver enkelt kilde for å være sikre på informasjonen vi innhenter er så sikker som mulig. Siden campus tidvis har vært stengt under Covid19 har vi brukt VPN for å få tilgang til disse databasene. I tillegg er det brukt grå litteratur, som fagbøker, rapporter fra ideelle organisasjoner, og erfaringer fra bransjen. Dette innebærer organisasjoner som 3GPP, IEEE, ETSI, ITU, LoRa Alliance, ZigBee Alliance (oppdatert CSA), Norges vassdrags- og energidirektorat og Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. Standarder, sertifiseringer og annen informasjon innhentes fra oppdragsgiver Jacobsen Elektro eller organisasjon hvor gjeldende er produsert.

Informasjon angående dagens vedlikehold og sikkerhet rundt og i transformatorstasjoner er basert på data gitt muntlig fra Jacobsen Elektro sammen med data gitt av bransjen ellers. I dette segmentet ligger det foreløpig lite data i fagfelleverderte databaser og vi så oss nødt til å hente denne type informasjon gjennom bransjens blogger og rapporter.

Søkeord som visste seg å bli relevant i litteraturstudiet var: Smartgrid, IoT, IIoT, sensor(s), WSN, Industri 4.0, substansions, maintenance, comparative, condition monitoring, transmission lines, transformer.

## KAPITTEL 3 – AKTUELLE SENSORER

I dette kapitlet skal vi se på hvordan og hvilke sensorer som kan bidra med å forbedre vedlikeholdet og sikkerheten, med tanke på å holde uvedkommende utenfor områdene og for forsyningssikkerheten i kraftmarkedet. Det vil bli gjort med å sjekke hvordan sikkerheten på transformatorstasjoner er per dags dato, sjekke ut statistikk og tidsskrift om hendelser i transformatorstasjoner, og se om noen sensorer kan bidra til å bedre sikkerheten. Vi skal også se på hva teorien sier om vedlikeholdsmetoder og hvilke muligheter sensorer kan bidra med i vedlikeholdsarbeidet, slik at man har forutsetning for å velge den beste metoden. Her skal vi også se på hvilke sensorer som er aktuelle for å overvåke de mest kritiske komponenter i en transformatorstasjon.

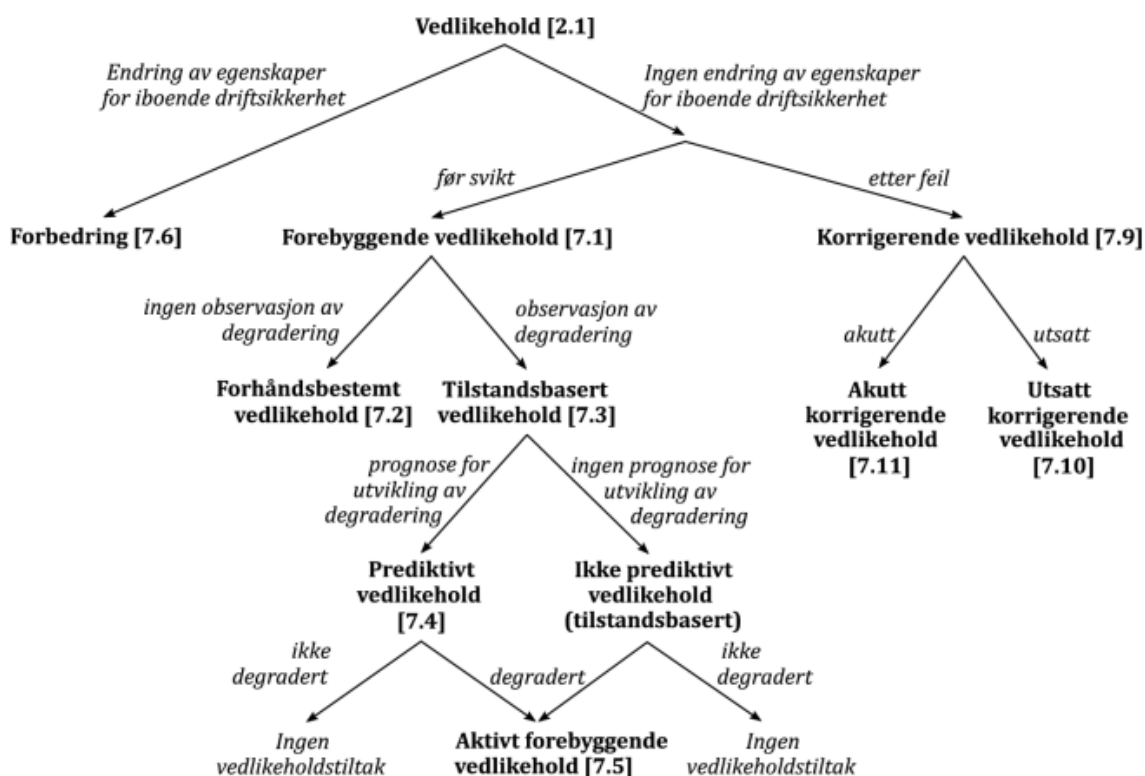
### 3.1 VEDLIKEHOLDSMULIGHETER MED SENSORER

Standard Norge definerer vedlikehold som:

«kombinasjon av alle tekniske, administrative og ledelsesrelaterte tiltak gjennom en enhets livssyklus som har til hensikt å opprettholde den i eller gjenopprette den til en tilstand der den kan oppfylle den krevde funksjonen.» (Standard Norge, 2018)

Formålet med den europeiske standarden er å definere de generiske termene som brukes for alle former for vedlikehold og vedlikeholdsledelse, uavhengig av hva slags enhet som vedlikeholdes. (Standard Norge, 2018)

## Vedlikehold – Generell oversikt



Figur 1: Vedlikehold – Generell oversikt (Standard Norge, 2018)

Man kan dele selve vedlikeholdet av en enhet inn i to hovedgrupper. **Forebyggende vedlikehold**, som blir gjort før en enhets svikt, og **korrigerende vedlikehold**, som blir gjort etter en feil på en enhet.

**Forebyggende vedlikehold** er vedlikehold som utføres for å vurdere og /eller minske degradering og redusere sannsynligheten for svikt i en enhet.

Under **Forebyggende vedlikehold** deles det inn i to kategorier, **forhåndsbestemt vedlikehold** og **tilstandsbasert vedlikehold**.

- **Forhåndsbestemt vedlikehold** er forebyggende vedlikehold som utføres i henhold til etablerte tidsintervaller eller antall bruksenheter, men uten forutgående tilstandsundersøkelser.
- **Tilstandsbasert vedlikehold** er forebyggende vedlikehold som omfatter vurdering av fysisk tilstand, analyse og mulige påfølgende vedlikeholdstiltak. Tilstandsvurderingen kan gjennomføres ved observasjon foretatt av operatør og/eller inspeksjon, prøving, overvåking av tilstanden til systemparametere osv. i

henhold til en tidsplan, på forespørsel eller kontinuerlig. Her kommer også prediktivt vedlikehold inn, som utføres etter en prognose utledet av gjentatt analyse eller kjente egenskaper og evaluering av de vesentlige parameterne for degradering av enheten

**Korrigerende vedlikehold** er vedlikehold som utføres etter at en feil er funnet, og som har som formål å gjenopprette en enhet til en tilstand der den kan oppfylle krevd funksjon.

Under **korrigerende vedlikehold** deles det inn i to kategorier, **utsatt korrigerende vedlikehold** og **akutt korrigerende vedlikehold**.

- **Utsatt korrigerende vedlikehold** er korrigerende vedlikehold som ikke utføres umiddelbart etter at en feil er funnet, men som utsettes i henhold til gitte regler.
- **Akutt korrigerende vedlikehold** er korrigerende vedlikehold som utføres uten utsettelse etter at en feil er funnet, for å unngå uakseptable konsekvenser.

Det som er nevnt over er Standard Norges definisjoner på vedlikehold. (Standard Norge, 2018)

Vedlikeholdsmuligheten som sensorer og internett tilbyr er at man kan gjøre vedlikeholdet mer tilstandsbasert. Tidligere, når man ikke hadde tilgang på sensorer og internett, har vedlikeholdet blitt gjennomført med ulike metoder som nevnt over. Da har man brukt metoder som å skifte ut deler ved faste intervaller, skifte ut deler ved observert degradering av enheten eller vedlikeholdt når feil har oppstått. Når vedlikeholdet blir gjort på denne generelle måten, ender man noen ganger opp med å bytte ut deler som ikke trengte å byttes ut eller at man får nedetid på utstyret på grunn av at vedlikehold må gjøres før enheten kan tas i bruk igjen. Man kan etter hvert få store unødvendige kostnader på at personell må gå å se etter utstyret manuelt.

I vårt tilfelle er det transformatorstasjoner som skal vedlikeholdes. Her er kontinuerlig drift viktig for å levere strøm hele tida, da kostnadene for nedetid på strømmettet er dyrt for nettselskapene. Nettselskapene må forholde seg til den økonomiske reguleringen som NVE har utformet. De har det som kalles KILE-kostnader ved ikke levert strøm til kunder.

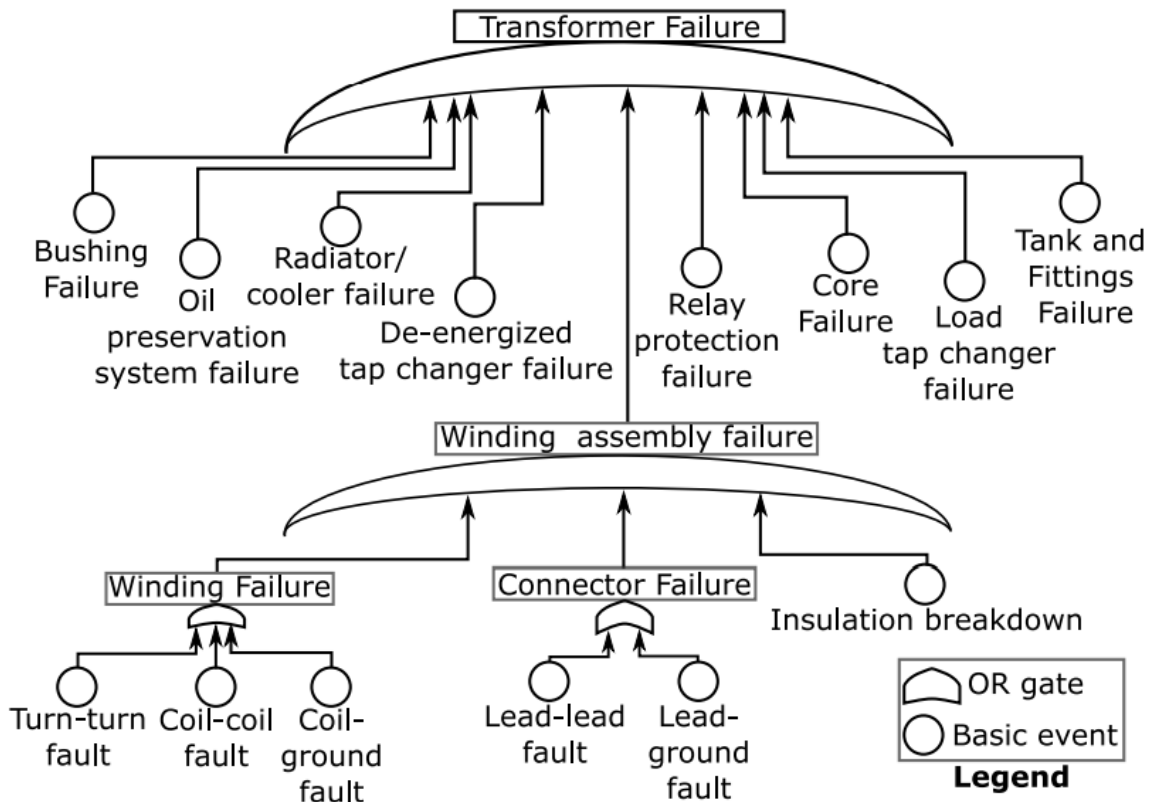
«Formålet med KILE-ordningen er å gi nettselskapene insentiv til å bygge og drive nettet med en samfunnsøkonomisk optimal leveringspålitelighet. KILE-elementet representerer kundenes kostnader ved avbrudd, og ordningen innebærer at kundenes avbruddskostnader tas med i nettselskapenes bedriftsøkonomiske vurderinger. Insentivene i KILE-ordningen blir gitt i form av en inntektsreduksjon, slik at overskuddet i nettselskapene blir redusert når det oppstår avbrudd. Hver gang det oppstår et avbrudd i strømforsyningen blir det beregnet et KILE-beløp som representerer nettkundenes ulempe ved avbruddet.» (NVE, 2019)

I transformatorstasjoner er transformatoren en av de viktigste komponentene, om ikke den viktigste. Det er viktig å opprettholde driften av transformatoren da den er et bindeledd i

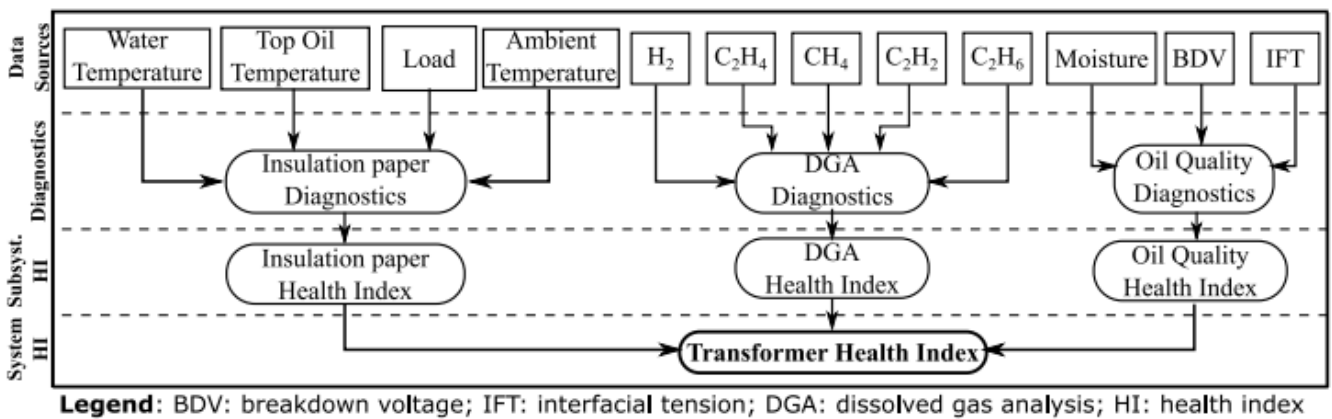
strømforsyninga, nedetid kan bety strømbrudd for mange kunder og da påløper KILE-kostnadene. Derfor er vedlikeholdet av selve transformatoren veldig viktig, men vedlikeholdet av transformatoren er komplekst. Det kommer frem i en rekke artikler som er gjennomgått. (Aizpurua J.I., 2019) (Xie B., 2020) (Yang H., 2017) (Zhang C., 2020) Artiklene kommer med ulike forslag for hvordan man kan gjøre vedlikeholdet i praksis på en best mulig måte og hvilke parametere som er viktig å overvåke. Artiklene belyser hvordan man kan bruke en kombinasjon av tidligere erfaringer med transformatorer sammen med sanntidsdata som en god indikator når vedlikeholdsarbeidet skal utføres. Det sensorene kan bidra med er å gi en indikasjon på om noe er i ferd med å gå galt, slik at man kan ha muligheten til å rette opp feil før et eventuelt havari. Dette vil være nyttig for forsyningssikkerheten, at vedlikeholdet blir gjort før havariet.

Figur 2 viser kompleksiteten, hvor mange deler som hører til og hvor mange feil som kan oppstå i en transformator. Av Figur 2: Transformer Fault Tree Analysis model ser man blant annet at bushing failure, som på norsk er ventilavledere, og radiator/cooler failure, som på norsk er radiatoren/kjølefeil, er to av feilkildene. Disse to komponentene er av eksperter i termografi i Statnett, forventet å være nyttig og verdifullt å måle temperaturen på. (Statnett, 2020)

Figur 3 viser noen av parameterne som kan bli målt for å finne ut hvordan tilstanden til transformatoren er. Her ser man at temperatur- og gass-sensor og vil være en av flere indikatorer for tilstanden til transformatoren. Ved høye spenninger har transformatorene ofte innebygd temperatursensor for oljen og i de nye transformatorene har de også det, men også gjerne innebygd temperatursensor for å måle viklingstemperatur og «hot spot»-temperaturen. (Statnett, 2020) «Hotspot»-temperaturen i en transformator er det varmeste punktet i transformatoren.



Figur 2: Transformer Fault Tree Analysis model (Aizpurua J.I., 2019)



Figur 3: Tilstandsparametere for transformatoren (Aizpurua J.I., 2019)

Av Figur 3 ser man at man bruker temperatursensor for å kunne måle ulike temperaturer for å avgjøre hvordan tilstanden på isolasjonspapiret i transformatoren er. Dette er på grunn av at kvaliteten på papiret avhenger av hvordan temperaturen er i transformatoren. Dette gjelder over tid, hvis en transformator er ti grader varmere i snitt enn gjennomsnittet, vil den ha slitt

ut isolasjonspapiret raskere enn ved gjennomsnittstemperatur. Med hjelp av ulike modeller kan man med temperaturmålingene fra sensorene lage et overslag over hvor lang levetid transformatoren har igjen. (Aizpurua J.I., 2019)

Man ser også av Figur 3 at man bruker gass-sensor for å kunne måle mengden av ulike gasser for å avgjøre om det er feil i transformatoren. DGA står for dissolved gas analysis og er en standard metode for å studere de ulike gassene i slike miljøer. I en transformator vil det avgis gasser når den operer vanlig og ved eventuelle feil. Ved hjelp av maskinlæring kan man få et bilde av mengden av gass som er avgitt ved feil, for å identifisere feilsituasjoner ved andre anledninger. (Aizpurua J.I., 2019)

Sintef har hatt et prosjekt for noen år siden som het «DeVID». Dette prosjektet skulle bidra til verdiskaping ved hjelp av kostnadseffektive løsninger og økt produktivitet for nettkunder, nettselskap og leverandørindustri. Som et ledd i dette testet de ut å måle temperaturen i transformatoren. Dette er noe av det de fant i rapporten:

«Transformortemperatur kan overvåkes for å unngå overbelastning av transformator som kan medføre redusert levetid og i verste fall feil på transformator.

Fjernavlesning av temperatur i transformator er interessant fordi:

1. Transformortemperaturen gir informasjon om hvor hardt transformatoren kan belastes.
2. Historikk på temperaturen gir ved bruk av en modell, en risikofaktor for transformatorhavari. (Den deriverte av temperaturen er her også interessant fordi denne sier noe om effekt tilførsel og/eller effekt tap (les kjølingseffekt). (Da kombinert med en termisk modell av transformatoren)
3. Effektdifferanse mellom tilført og avgitt effekt er interessant, men spørsmålet er om feilen allerede har inntruffet og transformatoren har havarert når denne blir signifikant. Konklusjon er at overvåking av temperatur i transformator er interessant.» (Sintef, 2015)

Dette viser igjen at temperaturovervåking av transformator bør være av prioritet når det gjelder hvilke sensorer som skal brukes på transformator.

I tillegg har Statnett, som er ansvarlig for å bygge, drifte og vedlikeholde det norske kraftsystemet, satt i gang to ulike prosjekter. Det ene prosjektet går på å lære mer om de termiske forholdene i eksisterende transformatorer, slik at man kan estimere restlevetiden bedre enn i dag. (Statnett, 2020) Det andre prosjektet går på å overvåke utviklingen av gass fra oljen i transformatoren, for å kunne predikere og identifisere feil på et tidlig tidspunkt. (Statnett, 2020) Dette eksisterer også i dag, men er mye dyrere. Det viser vertfall at gass- og temperaturovervåking av transformator er viktig.

Flere ting som er verdt å overvåke tilstanden på i forbindelse med transformatorstasjoner er selve bygget der transformatoren står. Byggene må også vedlikeholdes. Mange nettstasjoner er ubemannet og har kun en årlig befarings for å få sjekket tilstanden. Det skjer mye i løpet av et år. Noen stasjoner kan stå i flomutsatte strøk. Fra møter med Jacobsen Elektro har det blitt

fortalt hvordan de måtte reparere en transformator på grunn av vannskader i bygget. Det ble en utfordrende affære, slik at informasjon om lekkasjen på et tidligere tidspunkt kunne ha forhindret hendelsen. Sintef har også adressert problemet med flomutsatte transformatorstasjoner i sin presentasjon av vedlikehold i nettstasjoner. (Istad, 2013)

Her vil vann- og/eller fuktighetssensorer være nyttig for å ha kontinuerlig kontroll på om transformatorstasjonen er utsatt for vannlekkasje.

Andre aktuelle sensorer som Jacobsen har nevnt i møter er å ha sensorer på sikringer. For å detektere feil i elektroniske komponenter som sikringer, er temperaturovervåkning vanlig, på grunn av at feil ofte fører til økt temperatur i elektriske komponenter. (Bogue, 2013) Statnett har hatt flere prosjekter med måling av temperatur på sikringer i sine anlegg. Der fikk de et tilfelle av unormale høye temperaturverdier på ei sikring og ved nøyere inspeksjon fant de ut at det var en mulig feil med sikringen. Dette gjorde at de fikk byttet sikringen før den havarerte. (Statnett, 2020)

Temperatur må ses i sammenheng da en temperaturøkning i sikring kan også bare være økt belastning og ikke nødvendigvis en feil.

Flere ting som Jacobsen Elektro har listet opp som er viktig å overvåke tilstanden på, i forbindelse med transformatorstasjoner, er linjer og master på grunn av at nettselskapene også har ansvar for det området. Linjene og mastene er delt opp i tre kategorier i Norge, transmisjonsnettet, regionalnettet og distribusjonsnettet. (Energifakta Norge, 2019)

Nettselskapene har ansvaret for både regionalnettet og distribusjonsnettet. Regionalnettet utgjør om lag 19 000 km, mens hele distribusjonsnettet utgjør om lag 300 000 km. (Tensio, 2021)

Nettselskaper har altså over 300 000 km med kraftlinjer som skal vedlikeholdes, noe som er veldig omfattende. Det er mange faktorer som truer forsyningssikkerheten på de over 300 000 km med kraftlinjer. Dårlig vær, mye snø og is, trær som faller over linjer, steinras og snøras, og overoppheting er noen faktorer. Overvåkning av kraftlinjene kan hjelpe med å avdekke slike tilfeller på tidlig stadiet ved for eksempel snø som hopper seg opp. Det kan også hjelpe med å avdekke feilstedet på et tidligere stadium slik at man får strømforsyningen tilbake raskere. I tillegg kan man maksimere kapasiteten i nettet. Uten overvåkning av linjene må man gå ut fra forhåndsberegnet kapasitet, med overvåkning kan man se hva de faktiske verdiene er.

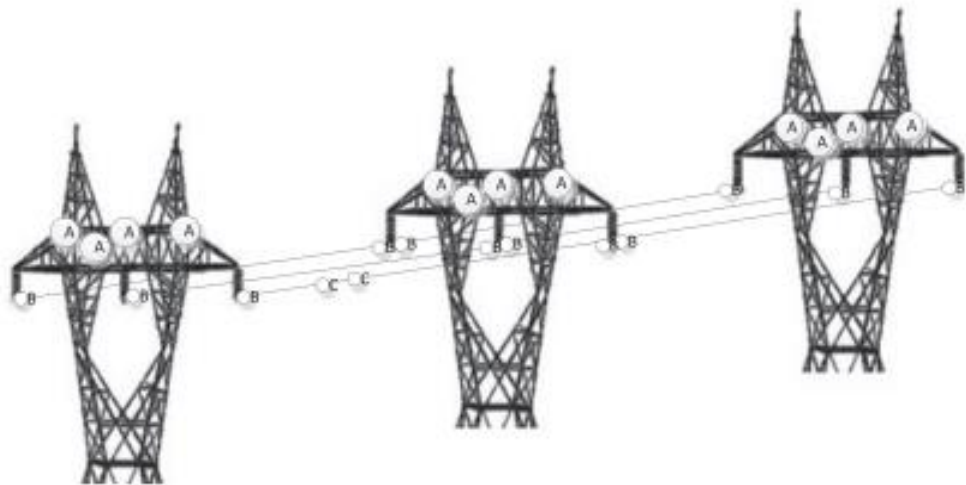
Av Figur 4: Typiske sensorer brukt i kraftlinjeovervåkning  
Figur 4 ser man hvilke sensorer som kan være aktuelle i overvåkning av linjene og mastene. Videre kan man se av Figur 5 hvor de ulike sensorene kan plasseres på linjene og mastene for hensiktsmessig bruk. Av Figur 4 ser man at de fem øverste sensorene på lista er for å få oversikt over været i området. Basert på disse målingene kan man se hvordan forbruket endrer seg med været. Disse sensorene plasseres på mastene, slik som vist i Figur 5. For å lokalisere feilstedet ved feil, plasserer man vippesensorer og vibrasjonssensorer på alle master. Sensorene som skal måle linja er temperatursensor, vippesensorer, strekksensorer og vibrasjonssensorer og de plasseres på hver ende av linja ved mastene. Med å bruke disse sensorene kan man for eksempel få



oppdaget om det er snø og is på linja eller linjesig. Et akselerometer plasseres på linja midt mellom to master for å måle bevegelsene i linja. (Lin J., 2015)

Sensor	Total size in data collection per monitoring cycle	Installation position
Wind direction sensor	4	A
Temperature sensor	4	A
Wind speed sensor	4	A
Humidity sensor	4	A
Rain sensor	4	A
Strain sensor	8	A/B
Accelerometer for tilting	8	A/B
Conductor temperate sensor	4	B
Accelerometer for vibration	4	A/B
Magnetic field sensor for current	4	B
Accelerometer for line galloping monitoring	5120	C
Magnetic field sensor for power quality graph	4000	B

Figur 4: Typiske sensorer brukt i kraftlinjeovervåkning (Lin J., 2015)



Figur 5: Plassering av de ulike sensorene (Lin J., 2015)

### 3.2 SIKKERHETSMULIGHETER MED SENSORER

Sikkerheten på en transformatorstasjon er veldig viktig for å opprettholde drift og for å holde uvedkommende utenfor områdene. Stasjonene er bygd slik at det i utgangspunktet ikke skal komme folk inn på området, men likevel skjer det fra tid til annen. I 2019 døde en person og to andre ble alvorlig skadd etter strømgjennomgang i en jernbanetunnel i Oslo. (DSB, 2020) Det viser at det er viktig å holde uvedkommende utenfor høyspenningsanlegg. Vi skal i dette

delkapittelet se hvilke sikkerhetsforskrifter som gjelder for transformatorstasjonene, og hvilke sensorer som kan gjøre sikkerheten bedre.

Forskrift om elektriske forsyningsanlegg ble fastsatt av Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) 20. desember 2005 og trådte i kraft 1. januar 2006 med hjemmel i lov 24. mai 1929 nr. 4 om tilsyn med elektriske anlegg og elektrisk utstyr. Formålet med forskriften er at elektriske forsyningsanlegg skal prosjekteres, utføres, driftes og vedlikeholdes slik at de ikke frembyr fare for liv, helse og materielle verdier og samtidig ivaretar den funksjonen de er tiltenkt. (DSB, 2005)

Transformatorstasjoner kommer inn under kapittel fire i forskriften som omhandler høyspenningsinstallasjoner.

#### § 4-5 Installasjoner

«Installasjoner skal være slik at de er sikre for personell, allmennhet og omgivelser. Installasjoner skal være slik at pålitelig drift sikres. Nødvendig dokumentasjon skal foreligge slik at betjening og vedlikehold kan foregå på en betryggende måte. Installasjoner skal plasseres eller inngjerdes slik at adgang og inngrep fra uvedkommende unngås. Gjerder, vegger og porter skal øverst ha en utførelse med piggråd eller lignende som gjør det vanskelig å klatre. Gjerder skal være av solid utførelse. Selve gjerdet skal ikke ha åpninger større enn IP1X. Gjerder, vegger og porter skal ha en slik utførelse og så kort avstand ned til bakken at det hindrer inntrengning.» (DSB, 2005)

Av dette ser man at en transformatorstasjon er godt sikret i utgangspunktet etter forskriftene.

En nyhetssak fra NVE viser at i 2018 var det innrapportert sju tilfeller av innbrudd og sabotasje innen energiforsyningen. Tre av tilfellene var sabotasje av gjerdet, men ingen sabotasje inne på stasjonen. I et tilfelle var det innbrudd på en transformatorstasjon. Der fikk tyvene med seg litt av hvert og blant annet nøkler som kunne ha passet andre stasjoner. (NVE, 2019) Hvordan innbruddstyvene har kommet seg inn, blir bare spekulasjoner. Med tanke på forskriftene for transformatoranlegg skal det være godt sikret i utgangspunktet, men vi skal se på noe nedenfor som kan være med å forklare hvordan de kom seg inn, men det må ikke ha sammenheng.

Etter å ha undersøkt hos nettselskaper og blitt fortalt i flere møter med Jacobsen Elektro, har det blitt identifisert et problem som går igjen i høyspentanlegg, og det er ulåste dører. Elvia, som er Norges største nettselskap, har gjentatte ganger tatt opp problematikken i Driftsleders instruksjoner. Driftsleders instruksjoner (DI) er rutinebeskrivelser i tidligere Hafslund Nett (nå Elvia område sør) som skal sikre at Forskrift om Sikkerhet ved arbeid i og drift av Elektriske anlegg (FSE) overholdes og at elektriske ulykker unngås. (Elvia, 2020) Det kommer ut hvert år, og i både 2018-, 2019- og 2020-utgaven tas problematikken opp. Her er noen utdrag fra Driftsleders instruksjoner:

«Ulåste dører i våre elektriske anlegg er fremdeles et stort problem. For å forhindre at uoppmerksomhet og misforståelser fører til åpne dører, innførte vi i fjor et krav om sidemannskontroll ved låsing. Er det flere til stede, skal låsing alltid fysisk kontrolleres av en person i tillegg til den som låser anlegget. Vi har erfart at dette allikevel ikke blir gjennomført, og vi vil med dette presisere at Hafslund Nett forventer at dette blir utført og etterlevd.» (Elvia, 2018)

«Det har i 2018 vært en gledelig nedgang i antall ulåste dører inn til våre elektriske anlegg. Dette er en klar indikasjon på at de iverksatte tiltakene har hatt en positiv effekt. Kravet om sidemannskontroll og oppfølgingen av de alvorligste tilfellene av ulåste dører har trolig bidratt til forbedringen. Antallet ulåste dører i 2018 er imidlertid fremdeles for høyt. Vi vil derfor fremdeles ha stort fokus på dette området.» (Elvia, 2019)

«Antallet ulåste dører i 2019 er fremdeles for høyt. Minner derfor om kravet til sidemannskontroll og at dere må forsikre dere om at døren er forsvarlig låst før dere forlater et høyspenningsanlegg. Røske Rive Sjekke.» (Elvia, 2020)

Dette problemet viser at sikkerheten på transformatorstasjoner vil bli bedre hvis man bare starter med å ha en oversikt over om dørene er låst eller ulåst. Låste eller ulåste dører kan man få en oversikt over med hjelp av sensorer. Det kan gjøres på forskjellige måter, og det finnes flere sensorer som kan si om døra er låst eller ikke. Blant annet kan man bruke «limit switch»-sensor eller avstandssensor. Hvordan vi har løst dette i praksis, vises i 6.4.4 Dørsensor.

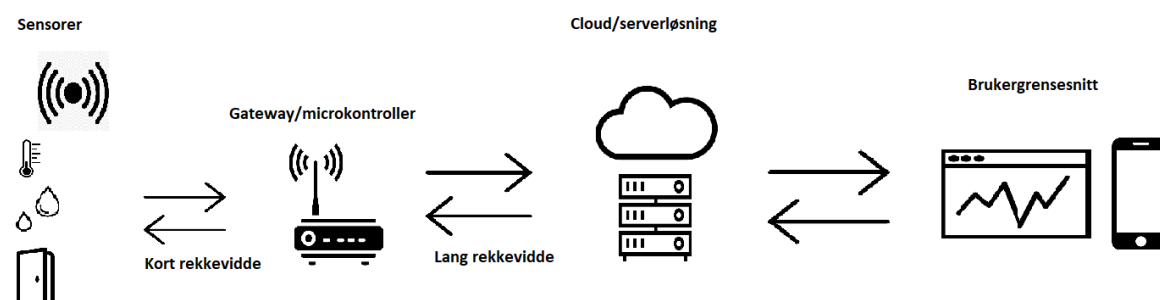
## KAPITTEL 4. SYSTEMETS OPPBYGNING

De aktuelle sensorene har i oppgave å fange opp de fysiske dataene og videreformidle de gjennom et kommunikasjonssystem til en bruker for observering og analyse.

I dette kapitlet ser vi nærmere på hvilke deler som må til for å sette opp et slikt kommunikasjonssystem og hvilke egenskaper de forskjellige kommunikasjonsprotokollene har. Vi sammenligner protokollene og gir en oversikt over deres viktigste egenskaper. Videre ser vi nærmere på hva som påvirker effektforbruket i et slikt system og forskjellige batteriteknologier knyttet til sensorer og IoT-produkter.

### 4.1 KOMMUNIKASJON

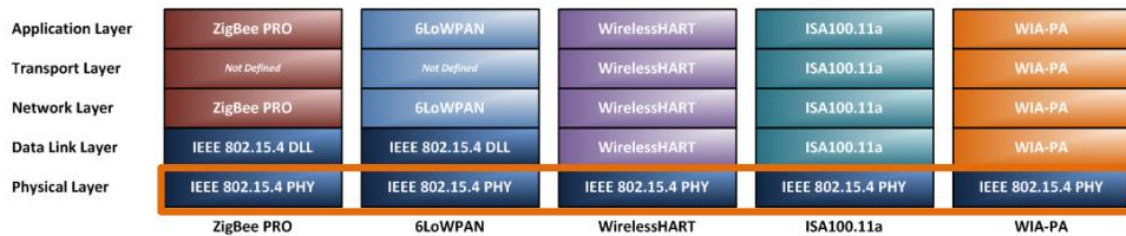
I dette delkapitlet viser vi en oversikt over hvordan systemet kan være bygd opp, samt forklarer de forskjellige lagene som inngår. Vi har tatt for oss de vanligste trådløse kommunikasjonsprotokollene her til lands, for både kort og lang rekkevidde. Vi har valgt å ekskludere kablet forbindelse mellom leddene, som forklares nærmere i delkapittel 4.4 utvalgsriterier. 5G er også ekskludert, da det per dags dato ikke er utbygd dekning i særlig stor skala annet enn i sentrum av større norske byer. Målet med delkapitlet er å informere Jacobsen Elektro hvilke kommunikasjonsprotokoller som finnes og kan brukes i et tilsvarende prosjekt.



**Figur 6: Overordnet systemgang**

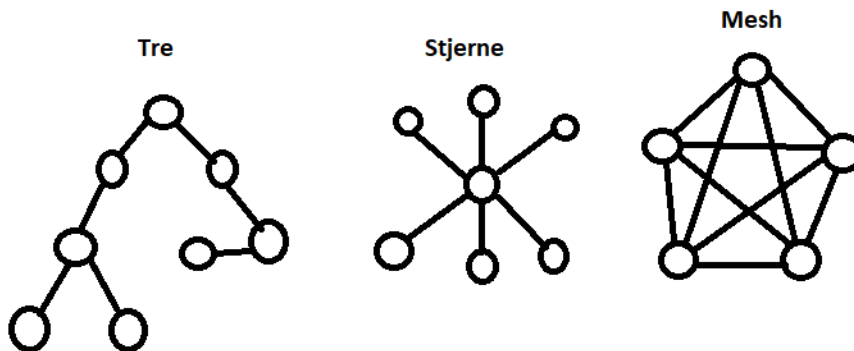
Figur 6: Overordnet systemgang viser en overordnet systemgang fra sensorer til visning av data. Dette er en forenklet visning av dataens flyt. Det finnes også måter å omgå denne systemgangen på ved enten å hoppe over mellomledet kort rekkevidde. I alle ledd finnes det forskjellige løsninger for hvordan man behandler og videresender dataene. Det som er viktig å tenke på er hva man ønsker ut av systemet. Typiske ting å tenke på ved et slikt valg er da systemets levetid, hastighet, sikkerhet, rekkevidde, nøyaktighet, stabilitet, skalerbarhet og brukervennlighet. Man bør på forhånd ha tenkt ut disse kriteriene før man går til innkjøp av noe. Man bør også ta hensyn til hvilke lag i OSI-modellen (International Organisation for

Standardization, 2021) protokollene dekker. Ikke alle protokoller definerer strukturer for hvert lag, og flere teknologier er basert på samme fysiske lag i form av samme frekvens, kanalkonfigurasjoner, datarate og andre egenskaper. Et eksempel på dette er Figur 7: Flere teknologier basert på samme fysiske lag, forenklet OSI-modell/ WSN Stack Model. Illustrasjon hentet fra forelesning med Stig Petersen



**Figur 7: Flere teknologier basert på samme fysiske lag, forenklet OSI-modell/ WSN Stack Model. Illustrasjon hentet fra forelesning med Stig Petersen (Stig Petersen, 2020)**

En annet viktig aspekt finner vi i de forskjellige nettverkstopologiene som tilfører særegne egenskaper ved et system. I Figur 8: De vanligste nettverkstopologiene. har vi gjengitt de vanligste nettverkstopologiene innen sensorteknikk og hvilke ulemper og fordeler de forskjellige har. Ende-til-ende er ikke tatt med da det er snakk om nettverk av sensorer.



**Figur 8: De vanligste nettverkstopologiene.**

I tretopologi er sensorene arrangert i en gren-lignende struktur hvor hoved sensornoder samler data før det sendes videre. Den har mange likheter med stjernetopologi, men er avgrenset med hierarkisk og har flere ledd.

I stjernetopologi er hver sensor koblet til en sentral enhet, sensorer kan ikke kommunisere seg imellom. Dette betyr om sentralenheten går ned, går dataen fra resten av sensorene tapt med mindre de har noe form for lokal lagring. Skulle en sensor gå ned vil det derimot ikke påvirke resten av systemet og den vil være enkel å spore. Sensorene skal kun avgi informasjon til et

punkt og trenger derfor ikke systemer som fanger opp andre signaler og prosesserer disse slik som i mesh-systemer. Dette er den mest brukte topologien og er derfor en av de rimeligste.

I meshtopologi har hver sensor tilkobling til enhver annen sensor i nettverket, gjennom en ende-til-ende-tilkobling. Dette gir høy sikkerhet for at data leveres og om noen sensorer skulle gå ned påvirker ikke dette trafikken i nevneverdig grad. Sensorene bør ikke plasseres i en lang kjede med mindre man vet rekkevidden er lang nok for å opprettholde nettverket. Skalerbarheten har lenge vært et kjent problem til denne type topologi, blant annet fordi den har større krav til effektbruk, men brukes mer og mer i IoT løsninger.

I denne artikkelen konkluderes med at stjernetopologi har en mer robust struktur med tanke på levering av dataen. Den har ofte kortere vei og slipper å gå innom andre sensorer eller noder for videre ruting. Mesh og tretopologi kan derimot ha større rekkevidde. (Sojioyo & Ashari, 2017)

Topologier fører med seg forskjellige egenskaper og er et valg man må ta stilling til før eller siden i et slikt prosjekt.

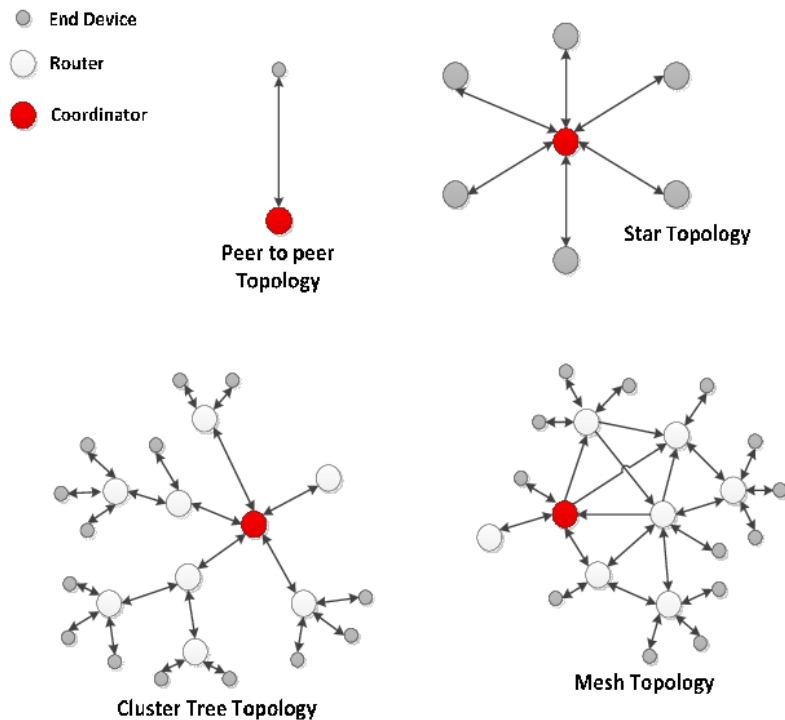
Om man ser på dagens situasjon av eksisterende nettverk på en transformatorstasjon har de fleste et kontrollanlegg hvor det er internett tilgjengelig gjennom diverse protokoller, som f.eks. MODBUS. Dette er da kritisk infrastruktur i transformatorstasjoner som helst bør ha så lite forstyrrelser som mulig. Derfor skal kommunikasjonen i systemet vi velger være utenforliggende og ikke har innvirkning på de allerede eksisterende systemene. Vi blir derfor nødt til å ta en nærmere kikk på de forskjellige kort og lang rekkevidde kommunikasjonsprotokollene som brukes her til lands.

---

#### 4.1.1 KORT REKKEVIDDE

##### **ZigBee**

ZigBee er utviklet av ZigBee Alliance, som per 11.mai 2021 er kjent som Connectivity Standard Alliance (CSA), og består av flere hundre selskaper. ZigBee har de siste årene vært en av de mest populære nettverksprotokollene for å koble til smarte enheter i smarthus. ZigBee bruker IEEE 802.15.4. protokollen og sender på 868 MHz båndet i Europa. Dataraten for ZigBee er på 20 Kbps. ZigBee er svært godt egnet for forskjellige typer sensornettverk takket være de mange topologiløsningene og støtte for flere noder. Topologier ZigBee støtter er stjerne-, mesh- og cluster topologi. En topologi består en eller flere end End devices og en Coordinator. Et nettverk kan også ha en eller flere rutere som fungerer som mellomstasjoner mellom nodene. (Ray, 2015) (Gollu Appala Naidu, 2019)



Figur 9: Forskjellige topologier i et ZigBee nettverk (Buthelezi, u.d.)

## Wi-Fi

I dag benyttes Wi-Fi over alt. Det er derfor også et populært valg i smarthjem og lignende hvis man allerede har en ruter hjemme. Den største fordelen i et sensornettverk sammenlignet med mange andre nettverksprotokoller er den høye hastigheten, og Wi-Fi er derfor et godt alternativ for trådløse nettverk med overvåkningskameraer og lignende som krever rask dataoverføring. Siden Wi-Fi har en høy data rate, er derfor Wi-Fi svært energikrevende. Wi-Fi er derfor ikke førstevalget hvis man ønsker små kompakte batteripakker med lang levetid.

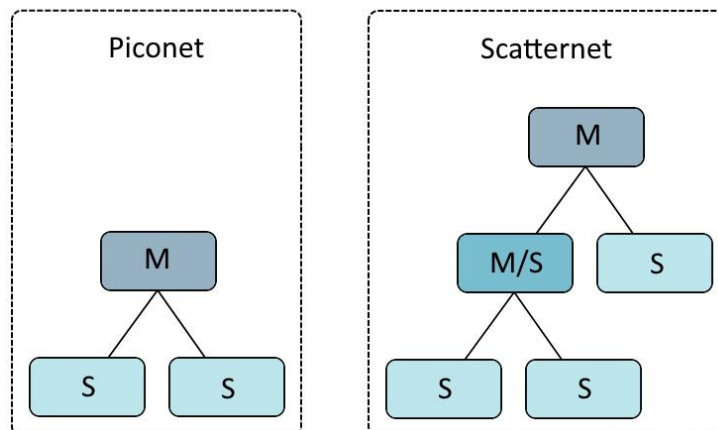
## Z-Wave

Z-wave eies av Sigma Designs og er i motsetning til ZigBee, Wi-Fi og Bluetooth lisensiert. Dette fører til noe høye priser på sensorer med Z-wave. Skal man sette opp et sensornettverk er det derimot da lett å få sensorene til å kommunisere siden Z-wave har strenge regler for interoperabilitet. Z-wave benytter seg av en mesh-topologi og støtter opp til 6000 noder på nettverket. Z-wave er også veldig energivennlig med bare 1mW i gjennomsnittlig energiforbruk. Ser man vekk i fra prisen er dermed Z-wave en av de beste løsningene for små eller mellomstore sensornettverk. (Salim Jibrin Danbatta, u.d.) (Phan minh Linh An, 2018)

## Bluetooth

Bluetooth ble utviklet av Ericsson på 90-tallet under IEEE 802.15.1 standarden. Ericsson hadde som formål å utvikle trådløs kommunikasjon mellom enheter i et PC-nettverk, som

f.eks. hodetelefoner, datamaskiner, printere osv. Navnet Bluetooth kommer fra den danske kongen Harald Blåtann.



**Figur 10: Topologier i et Bluetooth nettverk**

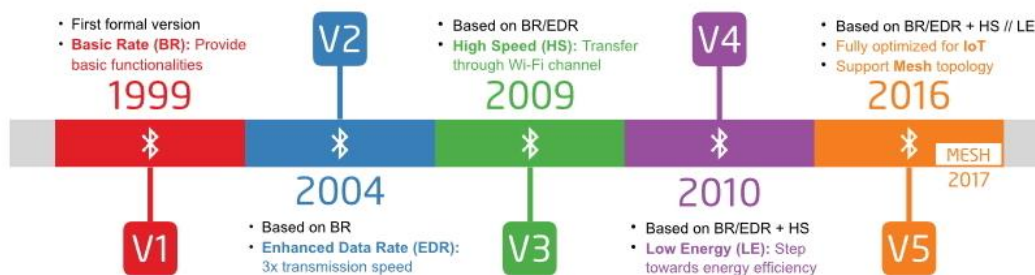
Bluetooth enheter kan kobles opp i to forskjellige topologier, piconet og scatternet. I et piconet topologi kan en enhet være både master og slave. En enhet i nettverket fungerer som master som kommuniserer med alle «slave» enhetene som en stjernetopologi. I en scatternet topologi kan vær enhet fungere som både master, slave og master/slave. Et scatternet nettverk består av flere sammenslåtte piconet der en master kan ha en annen master enhet som slave eller at to master enheter har en eller flere felles slave enheter. Siden et Piconet kun kan ha maksimum 8 noder, er rekkevidden på nettverket lite. Scatternet derimot støtter flere enn 8 noder og har dermed større rekkevidde.

Bluetooth eller IEEE 802.15.1 har en bitrate på opptil 1Mbps og har sendes på ISM båndet fra 2,4 til 2,4835 GHz. LoS rekkevidden er kun 10 m og blir derfor lett utkonkurrert av de andre trådløse protokollene med tanke på rekkevidde som blant annet Z-wave og Wi-Fi. (Gollu Appala Naidu, 2019) (Hemraj Sharma, 2014)

### **Bluetooth 5**

Bluetooth 5, hvor siste versjon er Bluetooth 5.2, har 4 forskjellige hastigheter; 27 kbps, 158 kbps, 251 kbps og 2 Mbps. Den 5. har en rekkevidde på 40 til 400 meter og er også veldig lite energikrevende. Bluetooth 5 støtter også for første gang mesh topologi og kan derfor brukes i større sammensatte nettverk med opptil 32 000 sensorer. Ny teknologi gjør også signalet mindre utsatt for interferens fra andre nettverk. Bluetooth har eksistert lenge på markedet og har derfor også utviklet seg mye over lengre tid. Bluetooth er derfor i dag en av de mest brukte standardene for trådløs overføring i verden. (JUNJIE YIN and ZHENG YANG, 2019) (Semiconductor, u.d.)





Figur 11: Utviklingen av Bluetooth fra V1 til V5 (JUNJIE YIN and ZHENG YANG, 2019)

#### 4.1.2 LANG REKKEVIDDE

Lang rekkevidde overføringskommunikasjon spiller en sentral rolle i IoT. Dataen skal overføres fra sensor eller en sentral enhet på transformatorstasjonen og videre til internett. Avstanden mellom disse leddene kan være svært varierende, alt fra noen titalls meter oppimot flere kilometer. Dette gjør at signalet må benytte seg av en lang rekkevidde kommunikasjon, med mindre internettilkobling blir installert på transformatorstasjon. Tommelfingerregelen tilsier jo høyere frekvens på signalet, jo kortere kan signalet gå. Dette ser vi ofte går igjen på flere av LPWAN teknologiene.

LPWAN er en fellesbetegnelse på overføringsteknologi som er laget spesielt for enheter som krever lang rekkevidde, lav datarate og lavt strømforbruk, som IoT enheter.

#### LoRa

LoRa er det fysiske laget i OSI-modellen og er patentert av Semtech, det bruker spredt spektrum-teknikk modulasjon (CSS). LoRaWAN er nettverkslaget utviklet av den ideelle organisasjonen LoRa Alliance. Sammen utgjør de LoRa teknologien (LoRa Alliance, 2021).

LoRa er en global ulisensiert LPWAN teknologi som benytter seg av ISM-båndet 868 MHz i Europa. Det betyr i praksis at man ikke trenger å betale for å bruke frekvensbåndet når man først har kjøpt inn utstyr. Teknologien bruker forskjellige frekvensbånd til forskjellige verdensdeler fordi de ulisensierte frekvensbåndene er noe varierende. Dette bør tenkes på om man skal flytte lokaler og sensorene på et senere tidspunkt til utlandet. Teknologien har hovedfokus på lang rekkevidde, lav bitrate og lav effekt i kommunikasjonen som gjør den godt egnet for IoT. Topologien er formet som stjerne i stjerne, som er en variant av stjernetopologi visst i Figur 8: De vanligste nettverkstopologiene.. Det betyr at sensorene ikke snakker seg imellom, men kan snakke med flere gateways samtidig. Dette bedrer stabiliteten om én gateway skulle få problemer. For å føre dataene videre fra gateway og til et brukergrensesnitt trenger gatewayen en IP-tilkobling, enten i form av ethernet, mobilt bredbånd eller Wi-Fi.

Rekkevidden til LoRa er lang i forhold til mange andre trådløse standarder og i denne artikkelen fra European Alliance for Innovation (European Alliance for Innovation, 2015) konkluderer de med at en praktisk verdi er omtrent 22 km i luftlinje. Nærmere praktiske målinger, beskrevet i artikkel (Sanchez-Iborra, et al., 2018), er 6,5 km i by og opptil 18,5 km i desentralisert strøk. Disse praktiske tallene viser også at signalene er robust i forhold til interferens og andre hindringer som en by kan inneha.

Nettverkene, for LoRa, i Norge er delt opp i offentlige og private nettverk, hvor det er helt frivillig å registrere seg. Dette gjør det noe vanskelig å få oversikt over hvor utbredt LoRa er i Norge, da ikke alle nødvendigvis ønsker å registrere seg. Kartet på nettsiden «The Things Network» (The Things Network, 2021) viser en oversikt over offentlige registrerte nettverk og viser en klar tendens at LoRa nettverk er samlet i større byer. Når det kommer til bruk av LoRa i industri er det høyst ønskelig å sette opp et privat nettverk for å garantere stabilitet og sikkerhet. Det betyr at man blir nødt til å sette opp egne gatewayer. Det er likevel rimelig utstyr og har ofte lang levetid, oppimot 10 år på det aller lengste. Levetiden er helt avhengig av bruk av klasser.

LoRaWAN har tre forskjellige klasser (A, B og C), alt ettersom ønsket bruk. Klasse A, ALOHA protokoll, som finnes i alle LoRaWAN enheter bruker minst energi og er asynkron. Den kan trigges av hendelser eller på programmerte tidspunkter. Klasse B bruker programmerte intervaller og bruker mer energi. Klasse C opprettholder koblingen til enhver tid og er ikke spesielt godt egnet for batteridrevne enheter. (LoRa Alliance, 2021)

Sikkerheten er godt ivaretatt i form av AES kryptering i både applikasjonslaget og nettverkslaget.

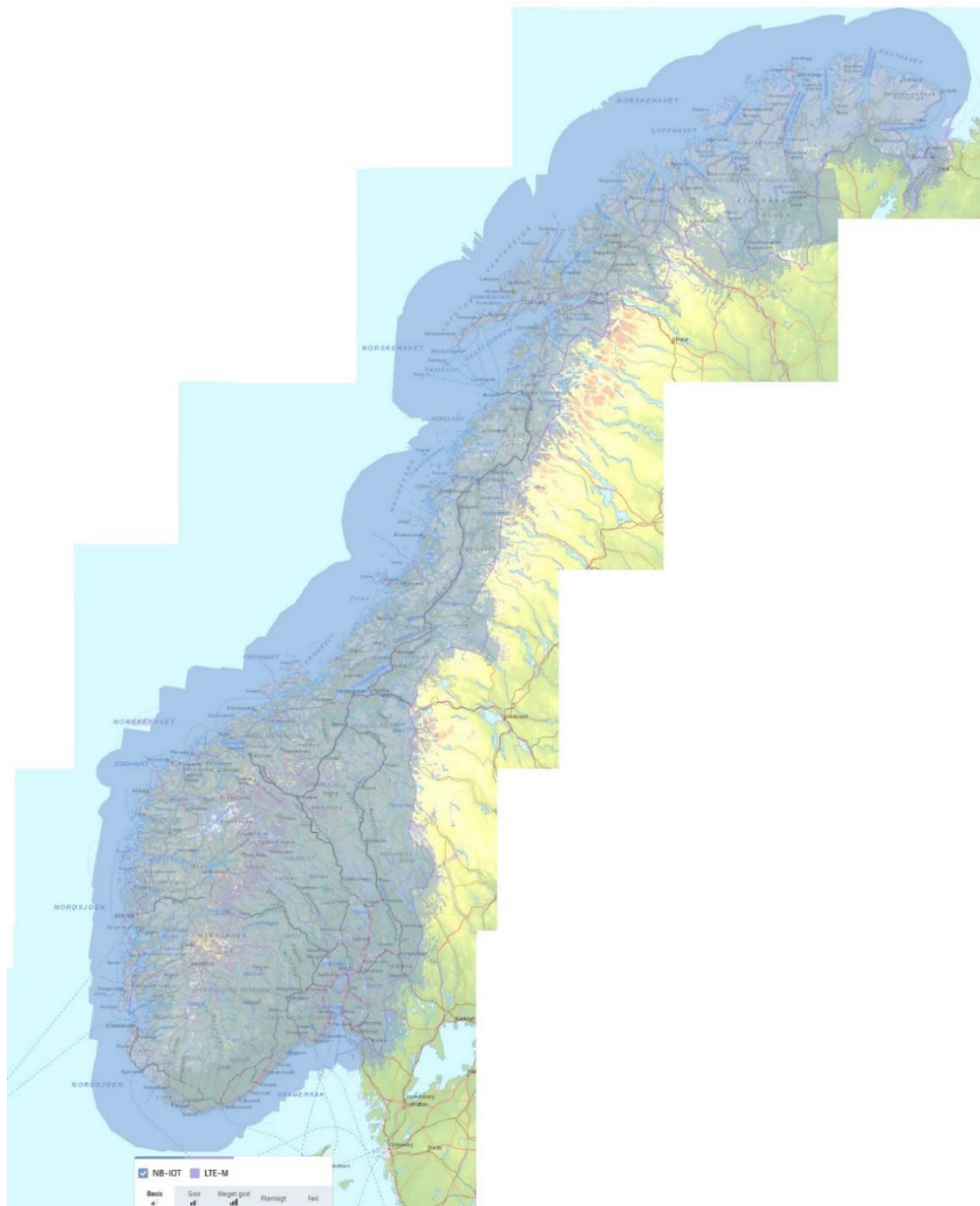
I denne artikkelen (Queralta, et al., 2019) konkluderes det med at LoRaWAN er mest passende i småskala eller offentlige prosjekt. Ifølge artikkelen (Haxhibeqiri, et al., 2017) er skalerbarheten til LoRa spesielt dårlig ved prosesser som krever større datamengde, men kan skalere godt ved små datamengder og da oppimot flere hundre enheter per gateway. LoRa kan dermed brukes som både kort og lang rekkevidde, men er ofte bare brukt i ett av leddene grunnet den lange rekkevidden. Det vanligste oppsettet er med LoRa på kort rekkevidde med enten 3G/4G eller direkte med ethernet for tilkobling mot skyløsning.

## **NB-IoT**

NB-IoT, eller også kalt LTE Cat NB1, er en lisensiert LPWAN teknologi som er basert på LTE. Standarden ble publisert i 2016 av 3GPP. I Norge ligger NB-IoT i 800 MHz båndet, og har en Rx-båndbredde på 200 kHz. NB-IoT har en hastighet på bare 127 Kbps men har derimot en lang batterilevetid.

NB-IoT har en betydelig høy energieffektivitet med en toppstrøm på 120 til 300 mA og en tomgangsstrøm på 5  $\mu$ A. På grunn av en egenskap som heter «power saving mode (PSM)» kan enhetene ligge i dvale (deep sleep mode) og våkne opp når enheten skal sende data. For å oppnå minst mulig strømforbruk kan komponentene også bruke kommunikasjonsprotokollen CoAP over UDP. Siden CoAP protokollen ikke bruker SSL-kryptering og heller ikke kjører over TCP, vil protokollen derfor kreve mindre strøm. Selv om strømforbruket er høyere enn hos flere av de andre LPWAN nettverkene, vil dette fortsatt kunne gi komponentene en batterilevetid på over 10 år.

Selv om denne kommunikasjonsstandarden er relativt ny, er NB-IoT allerede godt utbredt i Norge siden det er basert på det allerede utbredte LTE nettverket. Flere store norske teleselskaper som Telenor og Telia tilbyr rimelige NB-IoT løsninger for bedrifter. Ifølge Telenor har deres NB-IoT løsning en befolkningsdekning på 100 % i Norge. Signalstyrken i områder med dårlig dekning vil være opp til +20dB bedre enn signalet fra LTE. Rekkevidden mellom basestasjon og IoT node har blitt målt til å være opp i 100 kilometer. (Telenor, u.d.) (Telia, u.d.) (Telenor, u.d.) (Lalle, et al., 2019)



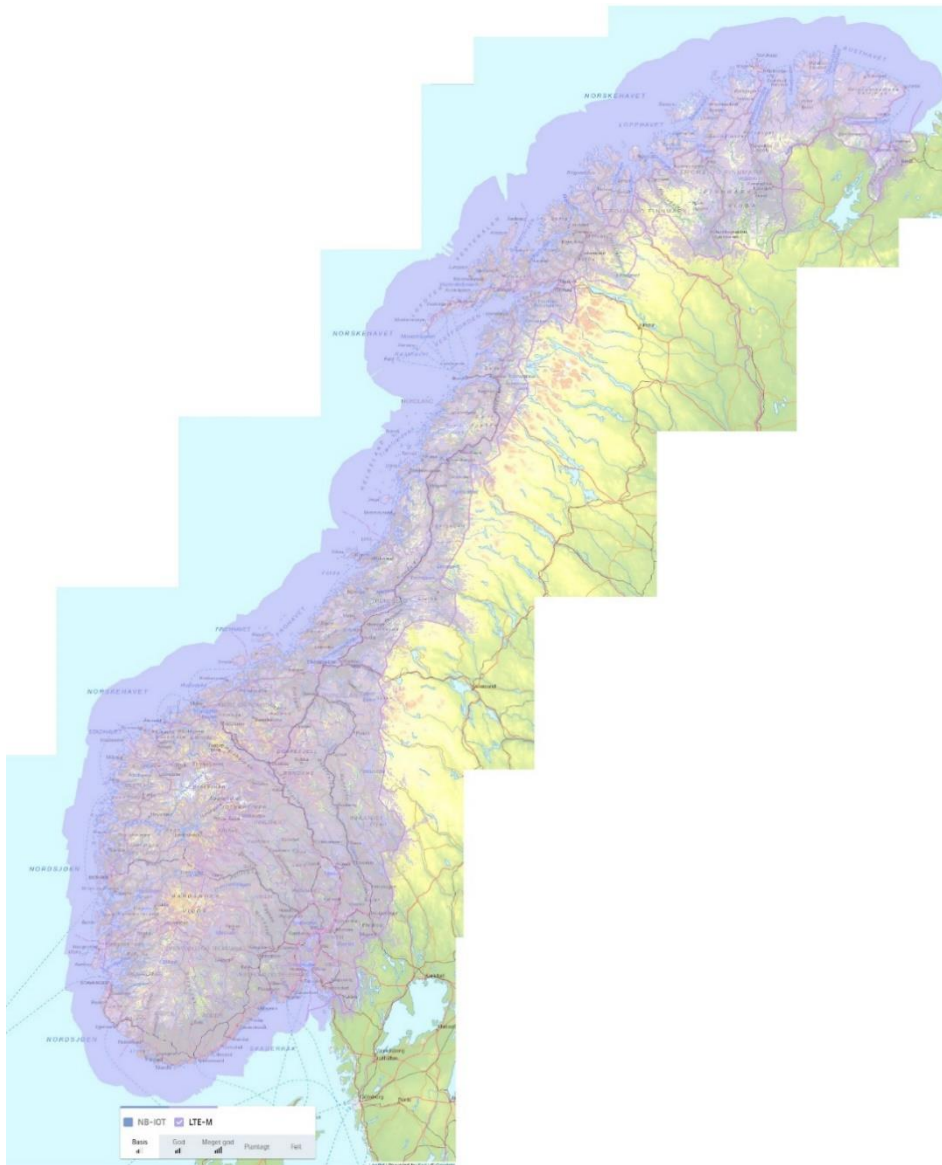
**Figur 12: Viser telenors NB-IoT dekning i Norge. (Telenor, u.d.)**

## **LTE-M**

LTE-M (også kalt LTE Cat M) er i likhet med NB-IoT, basert på LTE, og det er derfor ikke uvanlig at disse to standardene benyttes sammen i IoT løsninger der de utfyller hverandre. 3GPP utga LTE-M standarden i 2016.

LTE-M har noe mindre rekkevidde en NB-IoT og derfor også noe mindre dekning i Norge. I gjengjeld har LTE-M en hastighet på opp til 4 Mbps som er betydelig høyere enn bitraten i NB-IoT nettverket. Med en så høy hastighet kan det overføres alt fra tale til bilder. LTE-M egner seg også bra til noder i bevegelse siden nettverket støtter «hand-over» mellom basestasjoner i liket med LTE 4G. Også video med lav oppløsning kan overføres. Derfor

dekker LTE-M et bruksområde som i noen tilfeller NB-IoT ikke kan håndtere. (Telia, u.d.)  
(Telenor, u.d.) (Telenor, u.d.)



Figur 13: Viser telenors LTE-M dekning i Norge. (Telenor, u.d.)

### SigFox

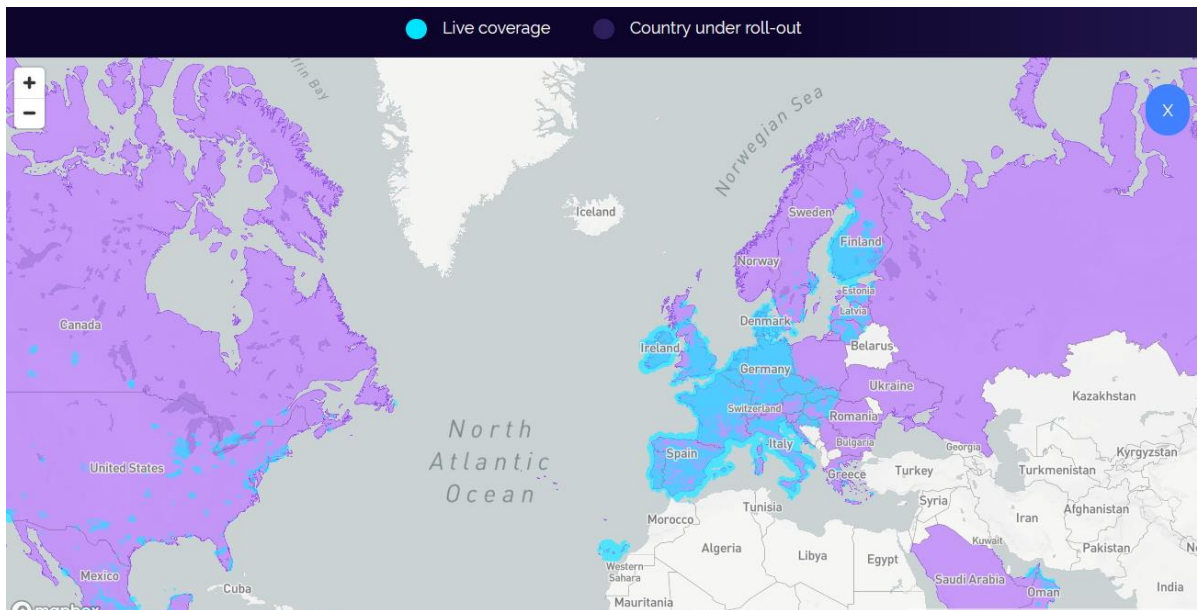
LPWAN nettverket SigFox ble utviklet av et fransk selskap med samme navn. Selskapet ble opprettet i 2010 og har siden den gang oppnådd stor suksess, spesielt i Europa.

SigFox bruker UNB modulasjon og benytter seg av DBPSK. Båndbredden for hver beskjed er derfor så lite som 100Hz. SigFox benytter seg av ISM-båndet. I Europa er båndet som

benyttes mellom 868 og 868,2MHz. Overføringshastigheten er enten 100 bps eller 600 bps, avhengig av regionen. SigFox har en rekkevidde på opp i 40 km og er derfor en av LPWAN teknologiene med best rekkevidde.

SigFox har en god QoS siden hver beskjed blir sent via 3 forskjellige signaler, der hvert signal kan bli sent på forskjellig tidspunkt, på forskjellig frekvens og via forskjellig gateway. Ved interferens vil da mottakeren kunne bruke det best bevarte signalet.

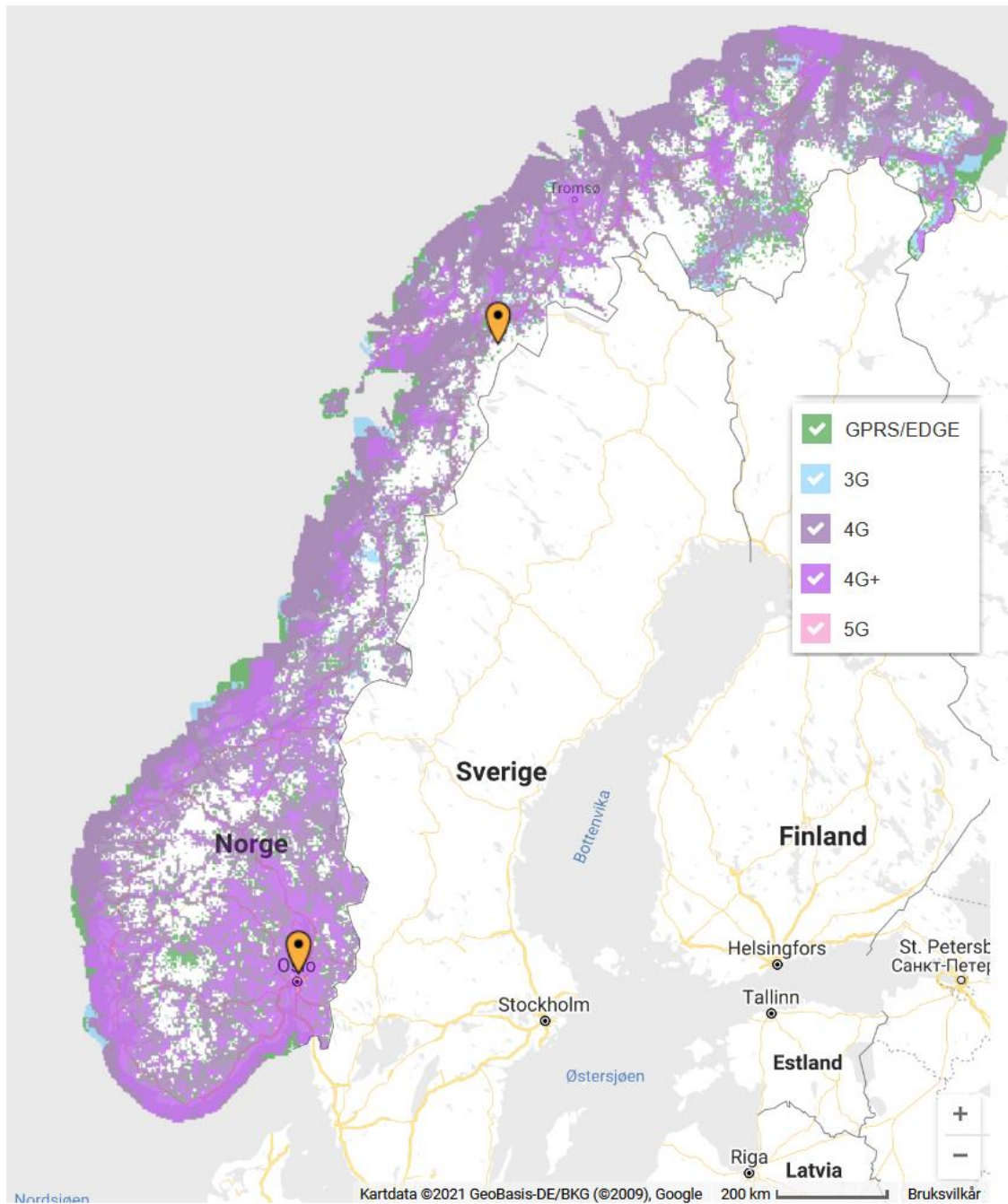
Selv om SigFox har blitt stort i flere europeiske land har IoT nettverket enda ikke slått rot i Norge. (Lalle, et al., 2019) (Lavric, et al., 2019) (Sigfox, 2018) (Vejlgaard, et al., 2017)



Figur 14: SigFox dekning i Europa (Sigfox, u.d.)

#### 4G LTE

4G er 4. generasjon av trådløse celledsystemer. Denne teknologien blir kalt for LTE og er en standard som ble introdusert av 3GPP i 2008. LTE er en lisensiert standard som blir brukt i mobilkommunikasjon rundt om i verden. For å kunne bruke LTE nettverket må hver bruker ha et eget SIM-kort som blant annet inneholder informasjon om brukeren. LTE har en veldig stor hastighet (spesielt uplink), god dekning og kan brukes i IoT nettverk, men LTE er ikke like effektiv med tanke på energisparing som andre LPWAN nettverk. (Nohrborg, u.d.) (ChavarriaReyes, 2010)



**Figur 15: Dekning for Telenor sine nettverk i Norge (Telenor, u.d.)**

LTE nettverket har en stjernetopologi og sender radiosignaler fra basestasjoner plassert rundt om i landet slik at hver bruker kobles opp til nærmeste basestasjon. Telenor tilbyr 4G til 99,9% av befolkningen og det er derfor gode muligheter for 4G dekning på mange av transformatorstasjonene i landet, men med mange områder uten dekning er det ikke usannsynlig at noen stasjoner kan være utenfor dekningsområde. (Telenor, u.d.) (Telenor, u.d.)

## Sammenligning av ulike kommunikasjonsmetoder

Under står det tabeller for ulike kommunikasjonsmetoder.

Kort rekkevidde:

	Rekkevidde (anlagsvis)	Hastighet	Skalerbarhet	Gjennomsnittlig Energiforbruk	Topologi
ZigBee	~ 45 m	250 Kbps	65000	100 mW	Stjerne, Mesh og Cluster
Wi-Fi	~ 100 m	> 1 Gbps	255	Høyt energiforbruk	Stjerne
Z-Wave	~ 65 m	40 Kbps	232	1 mW	Mesh
Bluetooth	~ 10 - 100 m	1 Mbps	20	10 mW	Piconet og Scatternet
Bluetooth 5	~40 - 400m	2 Mbps	32000	5 mW	Mesh

Lang rekkevidde:

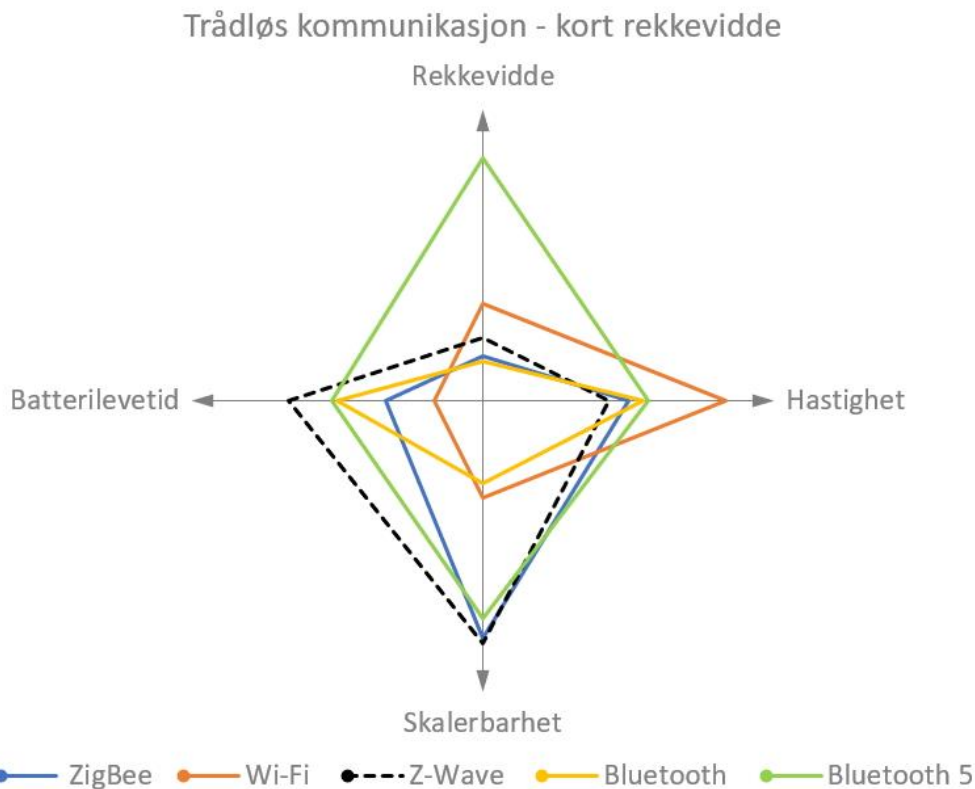
	Rekkevidde (anlagsvis)	Hastighet	Skalerbarhet	Batteri levetid	Topologi
LoRa	~ 20 km	50 Kbps	høy skalerbarhet	>10 år	Stjerne i Stjerne
NB-IoT	>15 km	127 Kbps	100 000 per basestasjon	~10 år	Stjerne
LTE-M	>11 km	1 Mbps	høy skalerbarhet	~5-10 år	Stjerne
SigFox	~ 40 km	0.1/0.6 Kbps	høy skalerbarhet	>10 år	Stjerne
LTE Adv.	~ 10 km	1 Gbps	høy skalerbarhet	Kort levetid	Stjerne

(Lalle, et al., 2019) (Tikhvinskiy, et al., 2018) (JUNJIE YIN and ZHENG YANG, 2019)

Tabellen over viser rekkevidde, skalerbarhet, energiforbruk og topologier for hver enkelt nettverksprotokoll vi har valgt å sammenligne i denne oppgaven. Alle de forskjellige protokollene har vert sitt bruksområde. For overvåkningskameraer og store dataoverføringer vil det kun være LTE og Wi-Fi som har stor nok bitrate av de valgte kommunikasjonsmetodene. Men siden Wi-Fi og LTE har et meget høyt energiforbruk vil det



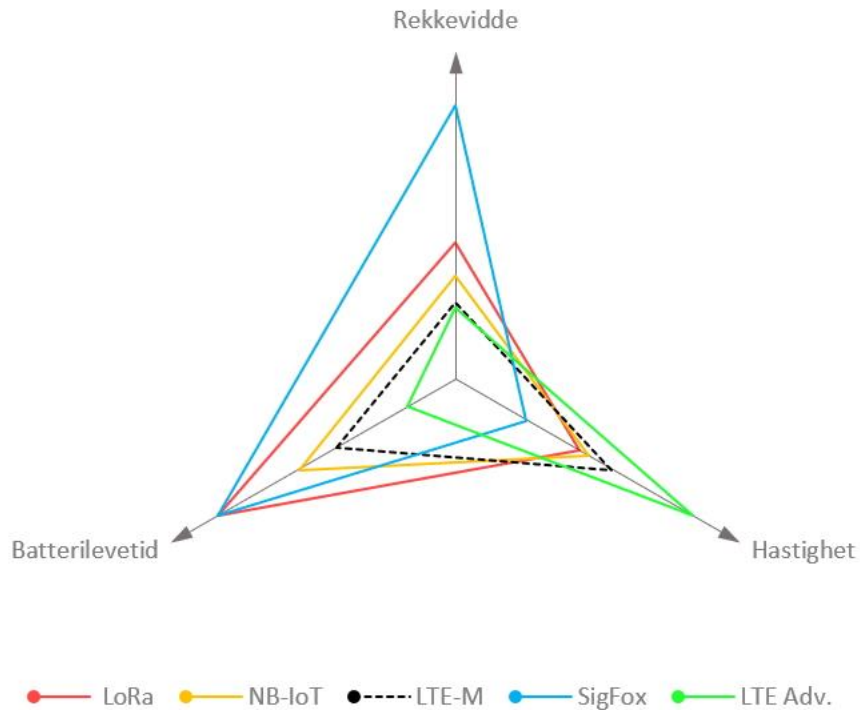
være fordelaktig og heller bruke andre kommunikasjonsprotokoller for sensorer med liten dataoverføring. For kameraer med lav oppløsning, sensorer med tale og SMS-funksjon, vil det være mulig å kunne bruke Bluetooth og LTE-M. Bluetooth er ellers også en billig løsning som er lett å sette opp. Ulempen med Bluetooth er en ganske begrenset skalerbarhet og relativt kort rekkevidde. Bluetooth 5 har langt større skalerbarhet og rekkevidde enn Bluetooth og er derfor en sterk konkurrent i denne sammenligningen. ZigBee og Z-wave har bra skalerbarhet og lavt energiforbruk, men dataratene er lav og det kan også være litt mere arbeid å sette opp ett nettverk.



**Figur 16: Radardiagram for sammenligning av kommunikasjonsløsninger med kort rekkevidde.**

Ønsker man stor rekkevidde er det LPWAN nettverkene som gjelder. Blant LPWAN nettverkene har vi lagt vekt på SigFox, LoRa, NB-IoT og LTE-M, i tillegg har vi tatt med LTE som har noe dårligere rekkevidde og gjennomtrengningsevne. For SigFox er det foreløpig dårlig forutsetninger for å sette opp nettverk i Norge. Skal man heller bruke LoRaWAN kreves det at man setter opp ett privat nettverk hvis man ønsker stabilitet og sikkerhet. Derfor vil det ofte være en enklere løsning å benytte seg av de resterende aktuelle LPWAN nettverkene NB-IoT, LTE-M eller et trådløst cellesystem som LTE som alle gir god dekning, sikkerhet og stabilitet gjennom selskaper som Telenor og Telia.

## Trådløs Kommunikasjon - LPWAN

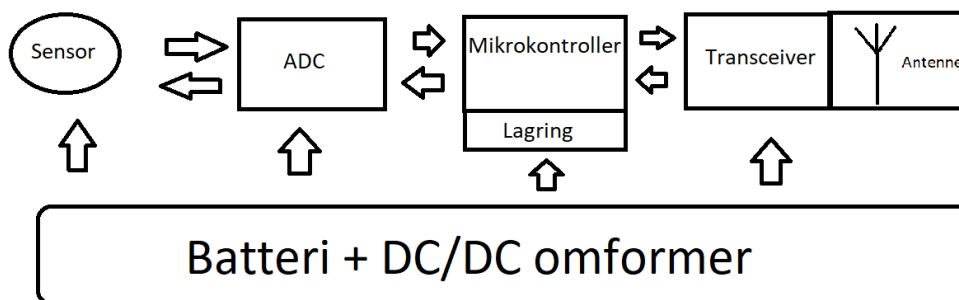


Figur 17: Radardiagram for sammenligning av kommunikasjonsløsninger med lang rekkevidde.

### 4.2 EFFEKTFORBRUK OG BATTERI

En økning i trådløse sensorer og produkter fører med seg økt bruk av batteri. I dag drives de fleste sensorer av batterier, selv om energihøsting er et stort fremadstigende teknologisk felt. Fokuset på sirkulærøkonomi innen teknologi øker i takt med fokuset på en bærekraftig utvikling av samfunnet. I noen tilfeller hvor vibrasjoner og bevegelse er sentralt kan man nyttiggjøre seg av energien til bruk i sensorsystemer (Mitcheson, et al., 2008). Derfor kan det være nyttig å vite hvor energien brukes i en sensor og hvordan det påvirker batteriet.

Figur 18: Arkitekturen til en typisk sensornode. viser arkitekturen til en typisk sensornode.



Figur 18: Arkitekturen til en typisk sensornode.

En sensornode er kategorisert inn i fire forskjellige operasjonstilstander. Det er sove-, hvile-, sende- og mottakstilstand. Går vi nærmere inn på hva som bruker effekt kan man kategorisere det inn i kommunikasjon, sensing og databehandling.

Fra Figur 19: Tabell over effektforbruk i sensornoder, hentet ut fra kapittel 9 i boken Energy Harvesting Technologies (Priya & Inman, 2009) beskrives det vanlige intervaller av effektforbruk på sensornoder.

Function	Duration (s)	Power (mW)	Description
Sleep	$10^{-1}$ to $10^4$	$10^{-1}$ to $10^{-3}$	A minimal power state allowing the device to “wake up” on event interrupts and power an internal clock
Polling	$10^{-5}$ to 1	$10^{-4}$ to 100	The power required to interact with the node’s environment, from sensing to actuating, and whatever data processing are required on node
Transmitting	$10^{-6}$ to 1	1 to 100	The power and time required to send a data packet to another node or a base station. This packet includes sensor ID, routing information, and sensor data value. The power required scales with the distance the data need to travel and the rate at which the information is sent.
Receiving	$10^{-3}$ to 2	$10^{-1}$ to 1	The power and time required to listen for a data packet note that listening takes more time than sending to ensure data are received

Figur 19: Tabell over effektforbruk i sensornoder

Ut ifra tabellen kan man se tydelige tegn på at kommunikasjonen er det som krever mest energi. Etterfulgt av databehandling og sensing. Den bruker minimalt med effekt i en tilstand hvor den sover.

Hvis man tar utgangspunkt i transceiveren og kommunikasjonsdelen er følgende gjeldende:

$$E_{total} = E_{tx} + E_{rx} + E_{hvile} + E_{sove} + E_{overgang}, \quad \text{hvor } E \text{ står for energi,}$$

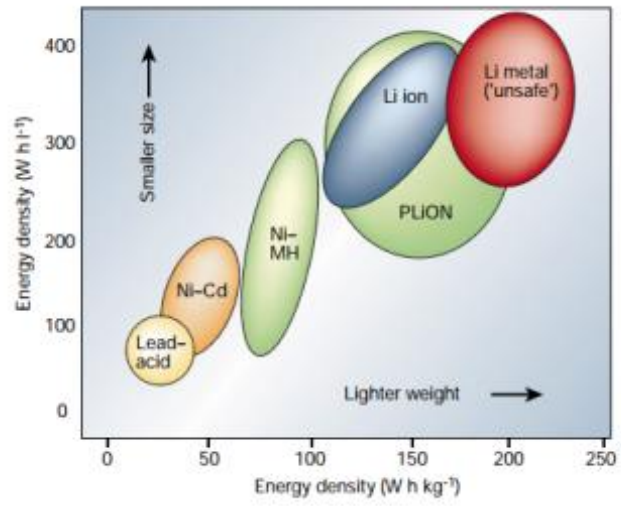
*tx er tranceive og rx er receive*

Hver operasjonstilstand har sin egen effekt P, multiplisert med tiden T som utøvende faktor som vil si at operasjonens energiforbruk er tett linket til tiden den bruker på å gjennomføre tilstanden.

I tilfeller hvor signalstyrke er dårlig vil en sensornode bruke lengere tid på å overføre signalet, som igjen fører til økt energiforbruk. Dårlige signalforhold vil i verste tilfelle kunne føre til betydelig redusert levetid i sensorer.

En sensor trenger også riktig mengde energi tilført på riktig tid. Dette gjennomføres som regel av en SMPS, hvor DC spenning blir omgjort til riktig nivå DC spenning. Disse har som regel mellom 70 til 90% effektivitet, som betyr at noe av batteriets effekt forsvinner her. (NTNU, R.K. Snilsberg, 2020)

Litium cellebatteri er den vanligste batteritypen å bruke i mindre elektronikk og da spesielt i sensorer. Litium batteri kommer i både oppladbare og ikke-oppladbare typer, hvor de ikke-oppladbare typene som CR og BR cellebatteri er de mest vanlige. De er mest brukt fordi de har gode egenskaper som blant annet lav selvutladning, høy energitetthet og kompakt form. Hvis man sammenligner CR og BR batteri har BR batteri noe lavere selvutladning ved høye temperaturer og tåler litt mer temperatursvingninger, mens CR tilfører noe høyere spenning. Begge er godt egnet for IoT anvendelser. (Scrosati & Garche, 2010)



Figur 20: Energitetthet blant forskjellige batterityper. Illustrasjon hentet fra (IEEE, 2016)

## KAPITTEL 5. VALG AV SYSTEM

Ut ifra oppgaveteksten og gjentagende møter gjennomført med Jacobsen Elektro i perioden januar-mai 2021, ble det utarbeidet en liste med kriterier i forhold til prosjektets demo. Med utgangspunkt i oppgaveteksten og kriteriene, ser vi på løsninger i det norske markedet og tar videre en beslutning for hvilket system vi mener er mest gunstig for Jacobsen Elektro. Det kreves sertifiseringer, design, produksjon, testing og mye mer for å få utviklet et system bestående av både maskinvare og programvare. Utprøvde løsninger på markedet ble derfor vurdert til å være et bedre alternativ enn selvlagde løsninger siden Jacobsen Elektro ønsket å få testet ut en prosjektdemo.

### 5.1 UTVALGSKRITERIER

Når vi skulle velge et system å teste ut, måtte vi ta hensyn til noen utvalgsriterier. Oppgaveteksten stiller krav til hvilke sensorer som minimum skal være med i systemet. I tillegg har vi gjennom møter med Jacobsen Elektro blitt presentert med en rekke kriterier som de ønsker oppfylt. Under ligger en samlet liste over hvilke utvalgsriterier som la føringer når vi skulle velge løsning.

- Så enkelt som mulig å installere, bruke og vedlikeholde.
- Systemet skal inneholde fukt-, temperatur-, og dørlåssensorer.
- Systemet skal ha en kommunikasjon, fra sensor i transformatorstasjon til driftssentral/sentralt beliggende lokasjon, som er utenom eksisterende systemer.
- Levetiden på komponentene bør være minst 10 år.
- Dørlåssensorene bør passe i dagens dørløsning.
- Robuste komponenter som tåler miljøet i og rundt transformatorstasjoner.
- Systemet bør ha programvare som behandler og viser fram dataene.
- Muligheten for å legge til andre sensorer

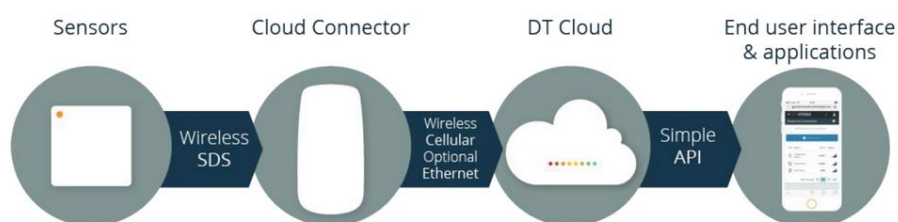
### 5.2 ALTERNATIVER I MARKEDET

Det finnes flere gode aktuelle alternativer i det norske markedet. Vi har valgt å se på noen norske selskaper som har gode solide løsninger og dekker de fleste punktene i utvalgsriteriene. Det finnes flere alternativer i markedet, men disse er de vi har sett som de beste alternativene.

---

## 5.2.1 DISRUPTIVE TECHNOLOGIES

Disruptive Technologies, herunder kalt DT, er et norsk selskap som har satset på et IoT system med små kompakte sensorer. De tilbyr et system med god sikkerhet som er lett å sette opp og montere. Systemet består blant annet av en Cloud Connector, herunder kalt CC, som videresender informasjonen fra sensorene i nettverket videre til en skyløsning. Systemet er i utgangspunktet vedlikeholdsfritt. Som kunde får man tilgang til DT-Studio som er en web applikasjon der data fra sensorene kan overvåkes.



**Figur 21: Overordnet systemgang Disruptive Technologies. (technologies, u.d.)**

DT har et voksende utvalg av sensorer som kan registrere temperatur, fuktighet, vann og en avstandssensor som kan passe til dørlåsløsning. Sensorene er 19 x 19 x 2.5 millimeter og er derfor ekstremt kompakte. De er også vanntette og har en estimert batterilevetid på 15 år. For forbedret signalstyrke er det også mulighet for å montere fast signalforsterkere på sensorene. Sensorene kan gå i noe som kalles i boostmode hvis signal kommer under et visst nivå. Boostmode vil kunne redusere batterilevetiden på sensorene.

CCen benytter seg av 4G, 3G og 2G, det er derfor installert et SIM-kort i CCen. Siden de benytter seg av en lisensiert tilkobling, betaler man for denne ytelsen. For å koble seg til sensorene bruker CCen SDS (Secure Data Shot) som er en egenutviklet kort rekkevidde kommunikasjonsprotokoll. Med disse protokolløsningene lover de god sikkerhet og mulighet for å koble på tusenvis av sensorer til nettverket. (Technologies, u.d.)

---

## 5.2.2 TELENOR & NORDIC SEMICONDUCTOR

Telenor, i samarbeid med Nordic Semiconductor, tilbyr en løsning over 4G, 2G, NB-IoT og LTE-M for bedrifter. Siden deres IoT løsning er lisensiert kan de garantere sikkerhet og kvalitet. Telenor Security Operations Center drifter og overvåker dette nettet konstant slik at bedrifter som ønsker en IoT løsning slipper å bruke tid og ressurser på dette selv. Du får også benytte deg av Telenor sin skyløsning Managed IoT Cloud hvor all sensordata kan overvåkes og analyseres.

Telenor tilbyr 5 forskjellige abonnementer på hjemmesiden deres. I disse pakkene får man med SIM-kort som settes i IoT enheter. På hjemmesiden kan man også finne tilhørende kretskort både med og uten sensorer. Disse pakkene inneholder Nordic Thingy91, Nordic

nRF9160 DK, Arduino og FiPy utviklingskort. I Arduino og FiPy pakken for det inkludert temperatur og fuktighetssensor og antenne. Nordic Thingy91 og Nordic nRF9160 DK er mikrokontrollere utviklet av Nordic Semiconductors. Nordic nRF9160 DK støtter i tillegg til LTE, LTE-M og NB-IoT også Bluetooth. Nordic Thingy91 er kanskje den mest komplette løsningen Telenor har å tilby, med sensorer for GPS, akselerometer, temperatur, luftfuktighet, trykk, farge og lys integrert i kretskortet.

Totalt sett kan man konkludere med at dette er en god løsning. Det eneste som er vert å påpeke er at det er begrenset med antall sensorer som er inkludert i pakkene. Dette må da løses ved å kombinere mikrokontrollene med eksterne sensorer og her kan det være utfordrende å finne riktig sensorer. Unntaket er Thingy91-pakken, men det kan ofte være problematisk at alle sensorene er integrert i ett kretskort hvis man har behov for å bruke de forskjellige sensorene på forskjellige områder, slik som i en transformatorstasjon. Det kan også være problem at varmen fra selve kortet påvirker temperatursensoren slik at man får for avlest for høye temperatur verdier. (Telenor, u.d.) (Telenor, u.d.)

---

### 5.2.3 HEIMDALL POWER

Heimdall Power ble etablert i 2016 og har utviklet sensorer som gir kritisk informasjon om tilstanden i kraftlinjene. Sensorene overvåker ulike parametere på kablene, som strømflyt, kabelvinkel, vibrasjon, temperatur, kortslutning og mye mer. Dermed kan nettselskapene raskt få informasjon om tilstanden i kraftnettet, mastene og linjene. Sensorene er plassert i ei kule som vist i Figur 22. Den kula henges så opp i linjene man vil overvåke, som vist i Figur 23. Derfra sendes dataen til skyen, analyseres og leveres til netteierne. For kommunikasjon skal sensorkulene sende målingene trådløst til skyen ved bruk av mobilt nettverk. Heimdall Power samarbeider med Telia og bruker deres NB-IoT-løsning. Utfordringen er at kraftkablene går igjennom store områder med lite befolkning, og dårlig eller ingen mobildekning. Der har Heimdall Power valgt å samarbeide med Data Respons R&D Services. De første sensorkulene ble utstyrt med LoRa-kommunikasjon, men i nyere versjoner av kulene skal det brukes Bluetooth mesh. (Data respons R&D Services, 2020)

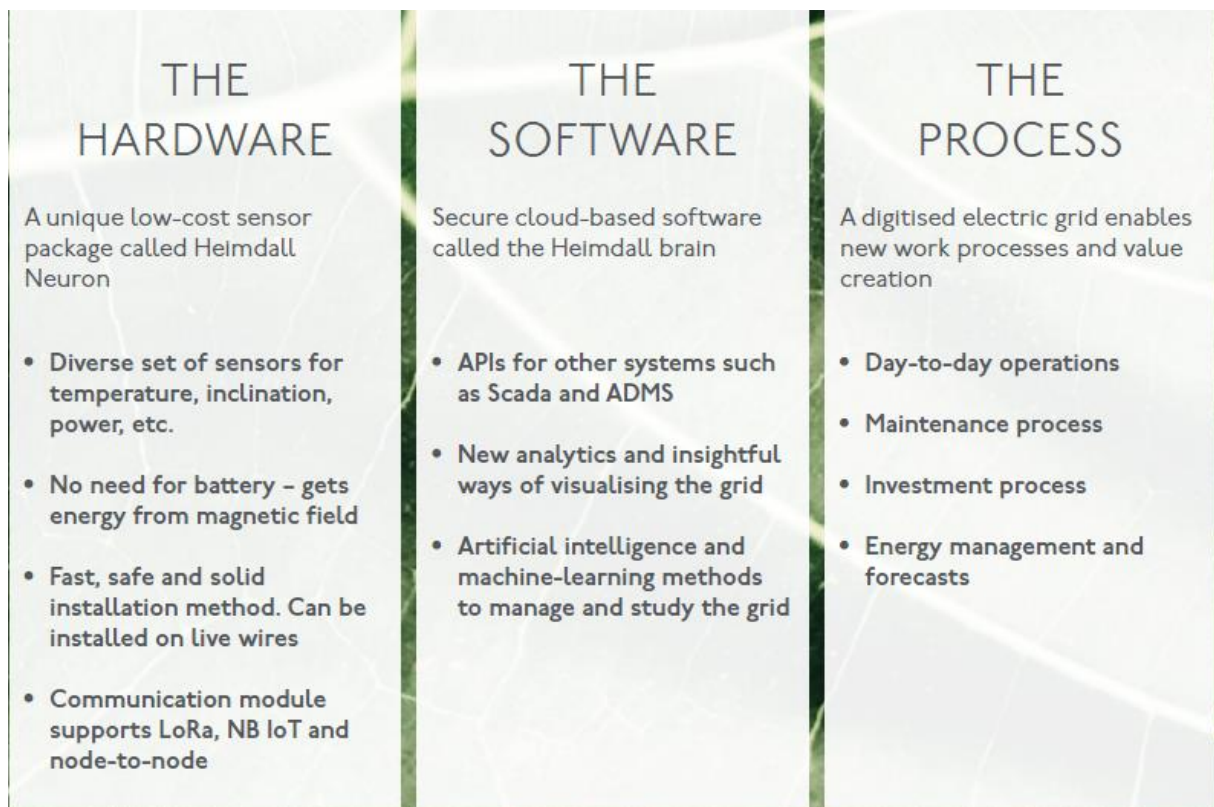




**Figur 22: Brage W. Johansen holder sensorkula (Heimdall Power, 2021)**



**Figur 23: Installering av sensorkula på linje (Heimdall Power, 2021)**



Figur 24: Systemet til Heimdall Power (Heimdall Power, 2021)

Av Figur 24 ser man at Heimdall Power har utviklet en komplett løsning når det gjelder å overvåke linjer og master, alt fra sensor, kommunikasjon og til programvare. Her ser man blant annet at effektforbruket blir dekt av linjene selv. Det gjør vedlikeholdskostnadene lave og det er gunstig for nettselskaper.

Det er allerede flere nettselskaper som samarbeider med Heimdall Power, blant andre Lyse Elnett. På deres hjemmesider kan man finne følgende om sensorikulene fra Heimdall Power:

«Vi arbeider hele tiden med forbedringer som kan bidra til færre strømbrydd for våre kunder eller raskere feilretting hvis feil oppstår. Sensorikuler som testes ut er en spennende teknologi som kan gi oss nyttig informasjon for optimal drift av strømmettet.

Sensorikulene gir også informasjon om ledig kapasitet i strømmettet, som er viktig når det skal tas beslutning om å investere i nytt strømmnett eller om kostbare investeringer kan utsettes. Det er mulig å bruke andre sensorer i kulen avhengig av behov.» (Lyse, 2021)

Løsninga til Heimdall Power ser lovende ut med tanke på å forbedre forsyningsikkerheten, utnytte forsyningskapasiteten og for å forbedre vedlikeholdet av linjer og master.

### 5.3 VALG AV PROSJEKTDAMO

Når vi skulle velge system, på bakgrunn av utvalgskriteriene og hvilke sensorer som var aktuelle å bruke i forbindelse med transformatorstasjoner, skilte DT seg ut som den beste kandidaten.

DT er en tilnærmet komplett løsning når det gjelder sensorer og maskinvare, kommunikasjon fra maskinvare til programvare, og selve programvaren. Det gjør det enkelt i den forstand av at det er «Plug and play», det vil si at alt er klart til bruk ut av boksen, ingen installering eller programmering nødvendig. Det er bare å plassere ut sensorer, koble til CC og gå inn på nettsiden hvor programvaren er klar til bruk.

DT har alle sensorene som måtte med, med tanke på utvalgskriteriene og oppgavetekst. I tillegg har de flere sensorer som er aktuelle for bruk. Sensorene er svært kompakte, størrelsen er på 19 x 19 x 2.5 millimeter, noe som for eksempel passet dørsensordesigna veldig bra. Dørsensoren består av en avstandssensor som ble vurdert som bedre enn å bruke limit-bryter eller magnet-bryter i tilfeller hvor den er kompakt nok til å passe i en dørlås.

Sensorer er trådløse og enkle å installere på grunn av den kompakte størrelsen og at det er bare å klistre dem på objektet man skal ha det på. Det gjør installeringskostnadene svært lave. I tillegg er de lett å flytte på hvis det viser seg at plasseringen ikke var gunstig. Sensorene følger med seg internasjonale standardiserte sertifiseringer i forhold til robusthet, samtidig som de er testet og testes pågående av andre norske nettselskaper i transformatorstasjoner. Det er med andre ord et område hvor DT mener sensorene er godt egnet for bruk.

Siden DT ikke benytter seg av en løsning hvor gateway/mikrokontroller er batteridrevet, vil det ikke ha så mye å si hva man velger på lang rekkevidde så lenge man god nok rekkevidde og høy nok datarate. Siden transformatorstasjoner har muligheter for strømuttak må man ikke å velge en løsning som er energibesparende. 4G er rask, stabilt og har god dekningsgrad i Norge, og er grunnen til at vi ser løsningen som god nok for Jacobsen Elektros bruk.

Siden det var ønskelig med en batteritid på minst 10 år, var det utfordrende å finne sensorer som hadde et lavt nok forbruk. DT derimot hadde sensorer med estimert batteritid på oppimot 15 år ved normalt bruk og i normale omgivelser, noe som ble utslagsgivende.

## KAPITTEL 6. PROSJEKTDEMO

I dette kapitlet tester vi systemet til DT i praksis for de løsningene som vi har valgt å fokusere på i forhold til transformatorstasjoner. I tillegg går vi gjennom de teoretiske aspektene, som hvilke kommunikasjonsprotokoller de bruker, hvordan effektforbruket er og deretter batterilevetiden i ulike situasjoner. Det vil bli også bli gjennomgått hvordan man kan behandle dataene for lagring og videre bruk. Etter testinga skal vi komme med ulike praktiske erfaringer som kan være nyttig å vite om systemet og til slutt vurdere om systemet er bra i forhold til problemstillingen.

### 6.1 BESTILLINGER AV KOMPONENTER

Jacobsen Elektro stod for bestillinga av deler. Bestillingslisten ble som i Figur 25

Description	HS-code	Qty
<b>SeaaS - Cloud Con EU 4G</b>		1
101742-0.0 Cloud Connector EU 4G Kit	85.17.6208	1
SeaaS Subscr - Basic CCON - 1Y Subscription		1
101693 Ambient Temperature Range Extender	85.29.1090	2
101699-0 Surface Range Extender	85.29.1090	2
100644-6.1 Sensor Range Extender PCB (EU & US)	85.29.1090	2
<b>SeaaS - Mini Kit EU/UK - 1Y - 11 sensors, 1 CCON 4G</b>		1
Pilot Package Mini EU 4G Kit EU 4 Temp, 4 Prox, 2 Touch, 1 Tactile, 1 CCON 4G	85.17.6208	1
SeaaS Subscr - Basic Sensor - 1Y Subscription		10
SeaaS Subscr - Basic CCON - 1Y Subscription		1
SeaaS Subscr - Tactile Sensor EU - 1Y Subscription		1

Figur 25: Bestillingslisten



**Figur 26: Utvalg av utstyr fra bestillingslisten**

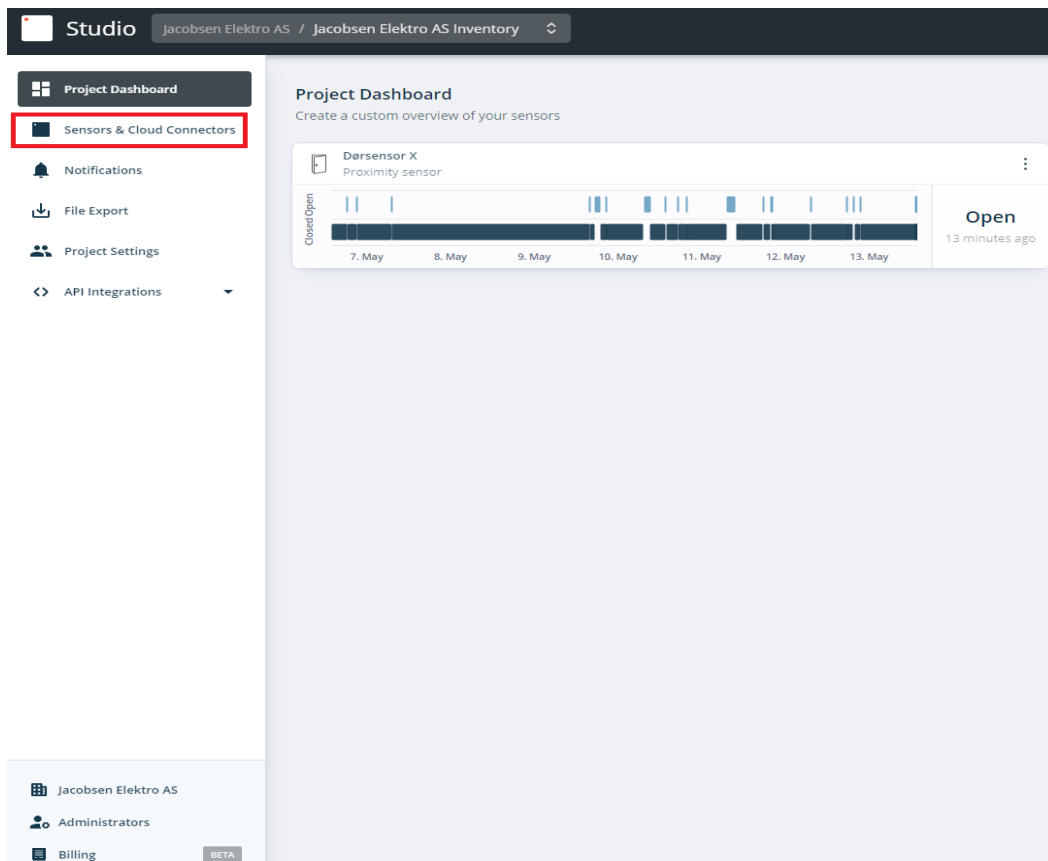
Fra bestillingslista ser vi at den inneholder to av de aktuelle sensorene som vi kom fram til i Kapittel 3 – Aktuelle sensorer, temperatursensor (gen 1) eller industriell temperatursensor og avstandssensor (proximity). DT har flere av de aktuelle sensorene som vi kom fram til i Kapittel 3 – Aktuelle sensorer, som vann- og fuktighetssensor, men av økonomiske hensyn ble det bestilt en forholdsvis rimelig samlepakke, hvor de sensorene ikke inngikk. Skulle det vise seg å være en interessant løsning, er altså muligheten for å utvide prosjektet med vann- og fuktighetssensor god. I tillegg til sensorer og CC ble det bestilt «range extendere», som er signalforsterkere og øker rekkevidden mellom CC og sensorene.

## 6.2 OPPSETT

For å gi Jacobsen Elektro innblikk i hvordan oppsettet av systemet var har vi inkludert et delkapittel som steg for steg viser installasjonsprosessen. Videre går vi gjennom hvordan man bruker systemet og hvordan dataen kan behandles.

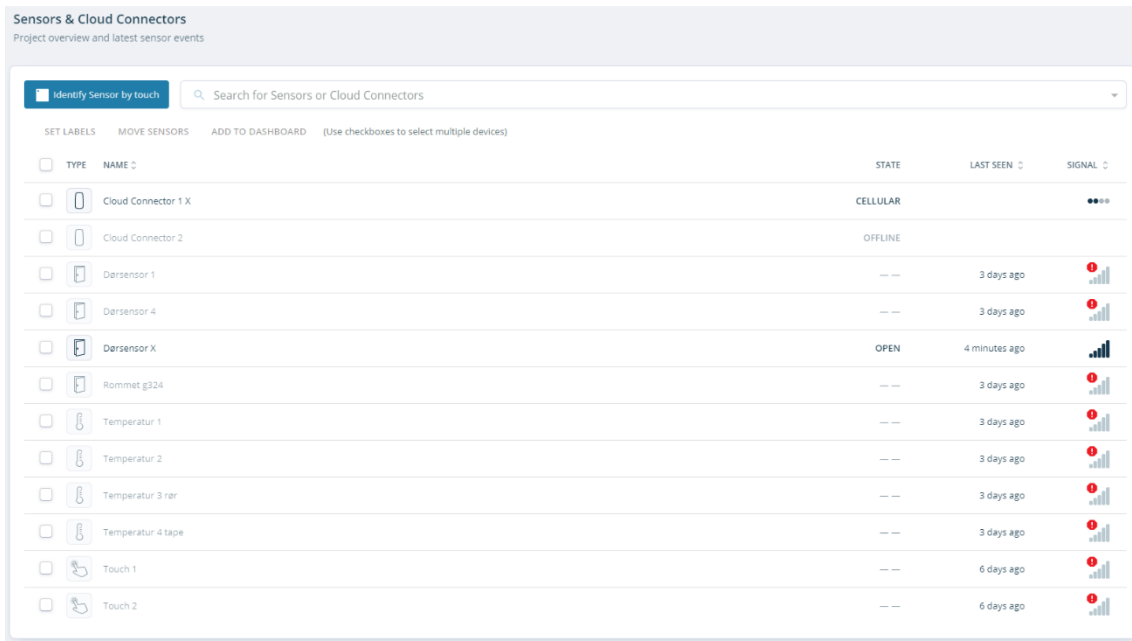
### 6.2.1 INSTALLASJON

Sensorene og CC kommer klargjort og er lagt i en lagerbeholdning inne i DT-Studio, som er DT sin egenutviklede web applikasjon. Man får tilsendt brukernavn og passord på e-posten man oppgir ved bestilling. Figur 27: Startskjerm DT-Studio viser startskjerm i nettleser hvor man kan overvåke sensorer og CC, sette triggere og varsler, opprette forskjellige prosjekter og videre behandle dataene som kommer inn.



Figur 27: Startskjerm DT-Studio

Alt man trenger å gjøre i installasjonsprosessen er å se til at man har fått utstyret man skal ha og gå inn på «Sensors & Cloud Connectors» i DT-Studio, visst i Figur 27: Startskjerm DT-Studio.



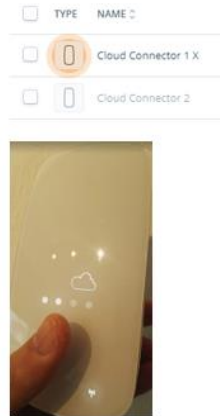
TYPE	NAME	STATE	LAST SEEN	SIGNAL
<input type="checkbox"/>	Cloud Connector 1 X	CELLULAR		●●●●
<input type="checkbox"/>	Cloud Connector 2	OFFLINE		
<input type="checkbox"/>	Dørsensor 1	---	3 days ago	●●●●
<input type="checkbox"/>	Dørsensor 4	---	3 days ago	●●●●
<input type="checkbox"/>	Dørsensor X	OPEN	4 minutes ago	●●●●
<input type="checkbox"/>	Rommet g324	---	3 days ago	●●●●
<input type="checkbox"/>	Temperatur 1	---	3 days ago	●●●●
<input type="checkbox"/>	Temperatur 2	---	3 days ago	●●●●
<input type="checkbox"/>	Temperatur 3 rør	---	3 days ago	●●●●
<input type="checkbox"/>	Temperatur 4 tape	---	3 days ago	●●●●
<input type="checkbox"/>	Touch 1	---	6 days ago	●●●●
<input type="checkbox"/>	Touch 2	---	6 days ago	●●●●

Figur 28: Alle sensorer og CC

Deretter plugges man CC til strøm og ser til at man har tilkobling til 4G eller ethernet. Etter hvert som man fysisk berører sensorenes front, vil de dukke opp i DT-Studio. Dette er en veldig kjekk funksjon for senere bruk og installering, visst i Figur 29: Identifisere med berøring sensor, når man skal gi navn til sensorene og lokalisere de. Den fungerer også med CC, med at du trykker under signalikonene, visst i Figur 30: Identifisere med berøring CC. Om man ikke benytter seg av denne funksjonen finner man en lengre kode på utsiden av sensorene, som er identisk med den du finner inne på hver enkelt sensor i DT-Studio.



Figur 29: Identifisere med berøring sensor



**Figur 30: Identifisere med berøring CC**

Etter at sensorene er tilkoblet og slått på vil de begynne å registrere data med omtrentlig 15-minutters intervall, denne funksjonen kalles «Heart beat». Man kan også trykke på sensorene fysisk for å få avmålt et datapunkt i det man trykker. Siste del av installasjon er å plassere ut sensorene på riktig plass og sikre at alle sensorer har tilkobling mot CC.

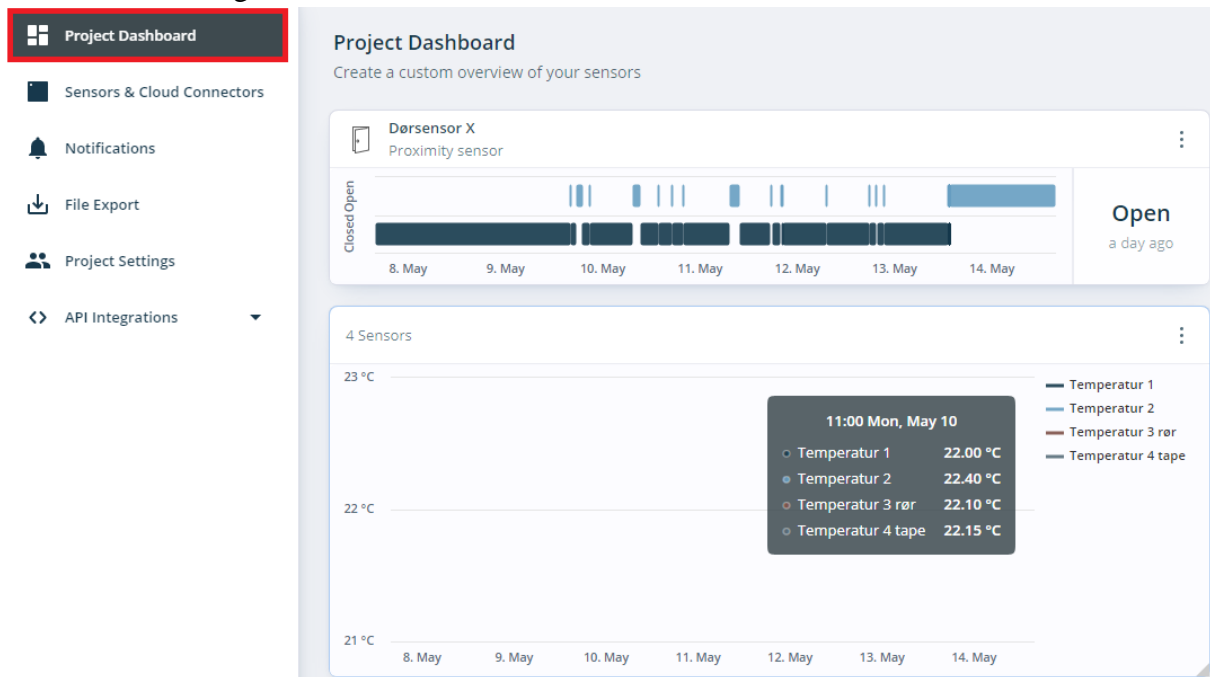
---

### 6.2.2 BRUK AV SYSTEMET

Den dagligdagse bruken består i all hovedsak av overvåkning og analysering av dataene som kommer inn. Det er ikke nødvendig å drive vedlikehold på CC eller sensorer med mindre ustabilitet eller feilmeldinger oppstår.

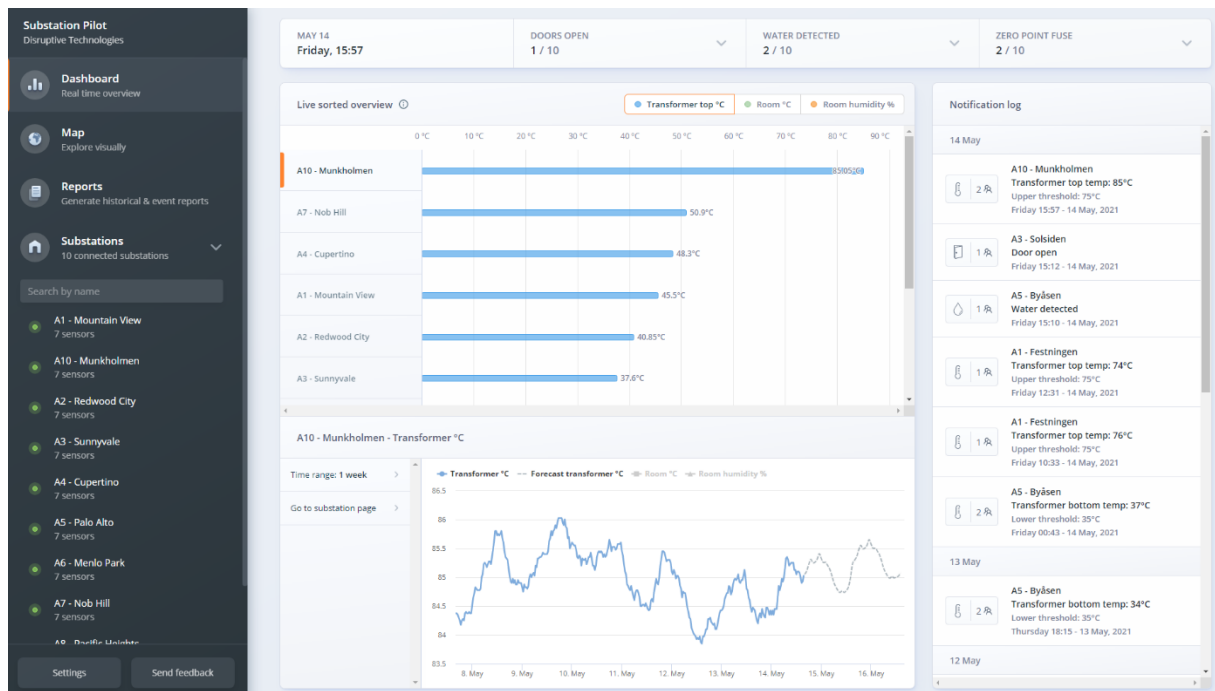


I startskjermen finnes det et skrivebord hvor du kan plassere de sensorene du vil ha oversikt over, visst med Figur 30



**Figur 31: Prosjekt skrivebord.**

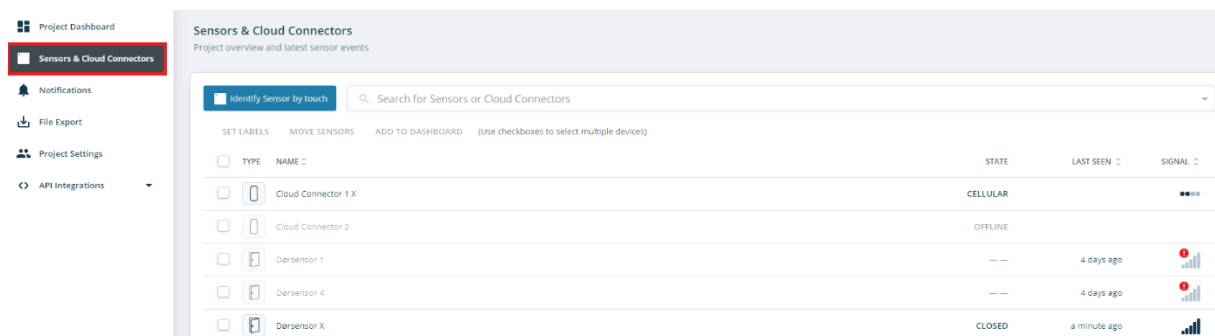
Her endrer du størrelse ved å dra i figurene. Dette skrivebordet fylles svært fort opp om sensorene blir mange. Dette tvinger fram andre løsninger for å få oversikt over alle sensorene. DT har foreløpig en pilotløsning på dette, som du finner på linken: <https://substation-pilot.com/dashboard>.



Figur 32: Utklipp fra DT "Substation Pilot"

Her får vi et innblikk hvordan DT ser for seg en oppdeling ved overvåkning av flere transformatorstasjoner. Man kan også se mer dynamiske måter å sette trigger og lignende. Alt er utviklet ved hjelp av DT «REST API».

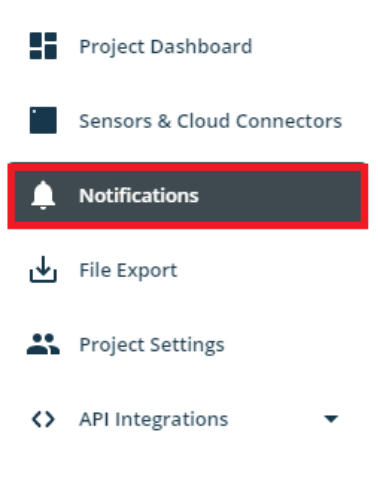
Videre i startmenyen finner vi «Sensors and Cloud Connectors», visst i Figur 33: Alle komponenter, som gir en oversikt over alle komponenter tilgjengelig i prosjektet. Her kan man også gå nærmere inn på hver enkelt sensor eller CC, se historiske data og hvor god tilkobling man har. Her vises også om sensor står i Boost Mode, som forklares nærmere i delkapittel 6. Man finner også batteristatus her inne.



Figur 33: Alle komponenter

Det neste vi finner på startskjermen er «Notifications», visst i Figur 33 og 34. Denne funksjonen benytter man seg av om man vil ha tilbakemeldinger om data fra sensorene. Om

en temperatursensor går for høyt, en dør åpnes i uregelmessige tider eller en vannsensor gir utslag. Per 20.05.21 er det kun mulig å bli varslet på e-post.



Figur 34: Notifikasjoner

Alarm: Temperatur på Transformatorstasjon 1 Enabled

**Trigger**

When:  is:  Lower (°C):  Upper (°C):

Send Notification:

**Schedule (optional)** UTC | Europe/Oslo ×

Allow notifications:  From:  To:

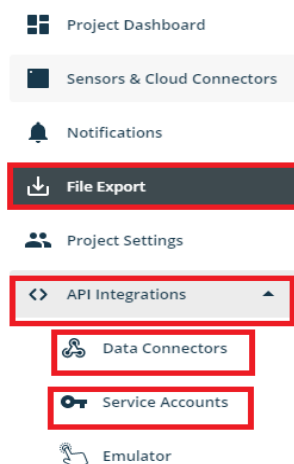
Notifications triggered outside set schedule won't be sent.

**Devices** + Add device

NAME	TRIGGER STATUS	LAST CHANGED	REMOVE
Temperatur 2	Triggering		<input checked="" type="checkbox"/>
Temperatur 1	Triggering		<input checked="" type="checkbox"/>
Temperatur 3 rør	Triggering		<input checked="" type="checkbox"/>
Temperatur 4 tape	Triggering		<input checked="" type="checkbox"/>

Figur 35: Sette triggere

Resterende del av startskjerm gjelder videre behandling av data. Per 20.05.21 lagres dataene fra sensorene i 30 dager i DT-Studio, men det finnes flere måter å videreføre disse på.

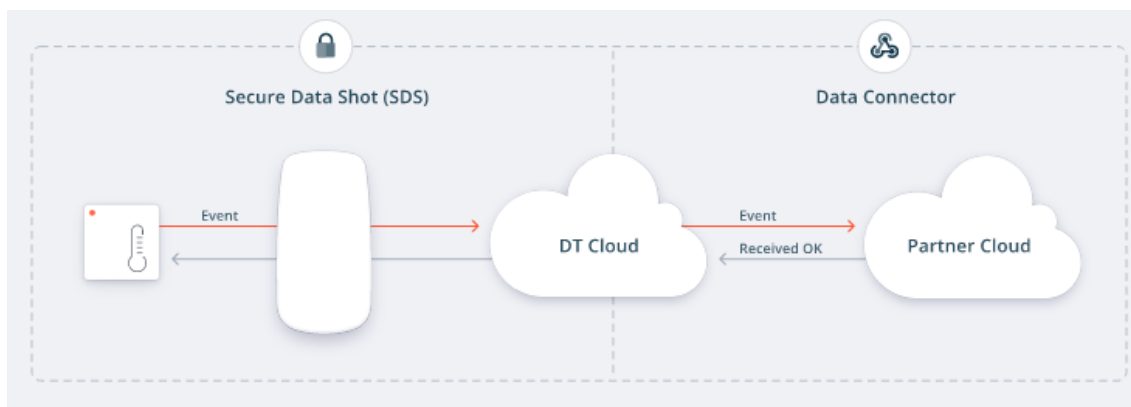


**Figur 36: Muligheter for videre databehandling**

«File Export» er en enkel og manuell måte å få representert dataene på, i form av xml. eller csv. filtype for nedlasting.

«API Integrations» åpner opp for mer dynamisk bruk av dataene, i form av REST API og Data Connectors. DT har et godt utviklet REST API som åpner opp for tilgang til alle mulige funksjoner. DT-Studio i seg selv er basert på REST API'et som gir en pekepinn på hvordan eget system kan se ut. Tidligere nevnte «Substation pilot» er også bygd på REST API'et. Det betyr at man står fritt til å lage et eget program utenom DT-Studio for å systematisere dataene selv. Man har også muligheten til å engasjere et tredjeparts firma for å gjøre denne jobben, slik som Elvia har gjort i samarbeid med ESRI via ArcGIS plattformen (Disruptive Technologies, 2020). Et slikt verktøy vil systematisere og gjøre jobben med overvåkning mye enklere. Her kan det også benyttes løsninger som tar i bruk kunstig intelligens, som over tid vil gi gode indikasjoner når ting ikke er som det skal.

Hvis man velger en løsning utenom DT-Studio kan man også bruke «Data Connectors», som fungerer som en webhook. En webhook fungerer slik at de viderefører sanntidsinformasjon umiddelbart, som visst i Figur 36. I DT' tilfelle sender den en JSON fil i en HTTPS POST. Denne løsningen fungerer både med og uten bruk av REST API'et, som er nærliggende å tro at er måten ArcGIS benytter seg av.



**Figur 37: Data Connector flyt.**

## 6.3 TEORI OG DOKUMENTASJON

I dette delkapitlet får vi et nærmere innblikk i den tekniske informasjonen om systemet. Informasjonen omhandler systemets nøyaktighet, robusthet og begrensninger.

### 6.3.1 SENSORER

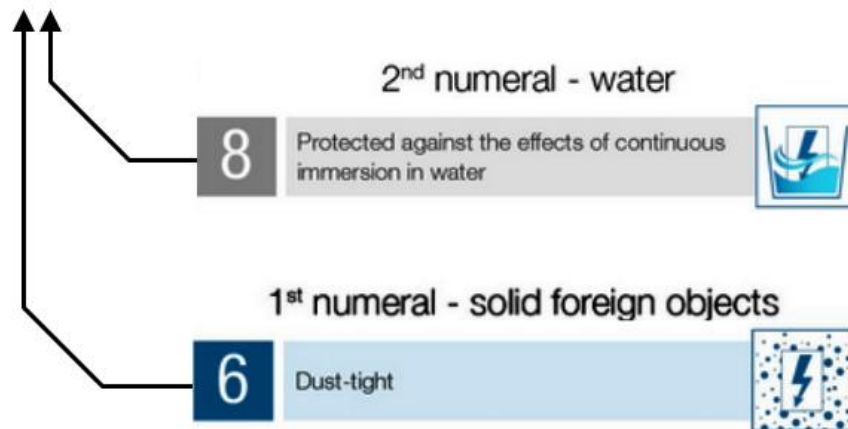
Av de aktuelle sensorene som vi kom fra til i Kapittel 3 – Aktuelle sensorer, har DT flere av disse sensorene. De har vannsensor, fuktighetssensor, temperatursensor og avstandssensor. Sensorene består overordnet av et batteri, en sender og en sensor, som er innkapslet. Batteriene som brukes er av typen CR cellebatteri og har god energitetthet. I 2021 lanserte DT derimot en ny type sensor som heter «industrial temperature sensor» og innehar BR cellebatteri. Bakgrunnen for ny batteritype i en egen sensor var et ønske om å garantere lengere levetid i krevende omgivelser, spesielt hvor temperaturen er veldig høy eller lav.

Sensorene har en sendereffekt på 1 mW og batterilevetid på 15 eller 10 ved 25 °C. Sensorene har en størrelse på 19 mm x 19 mm x 2,5 mm ( $\pm 0,2$  mm) og veier 2 g ( $\pm 0,5$  g).

Innkapslingen gjør sensorene vanntette og beskytter mot støv og slag. For å få et bra bilde på robustheten til sensorene kan vi se på sensorenes Ingress Protection rating (IEC 60529). Ingress Protection rating er en standard utviklet av en IEC Komité for å rangere robustheten til elektroniske komponenter. Sensorene har en Ingress Protection rating på 68, som vil si at de er fullstendig støvtett og tåler å ligge kontinuerlig i vann.

## Ingress Protection rating:

IP68



Figur 38: Beskrivelse av IP rating for sensorer. (IEC, u.d.)

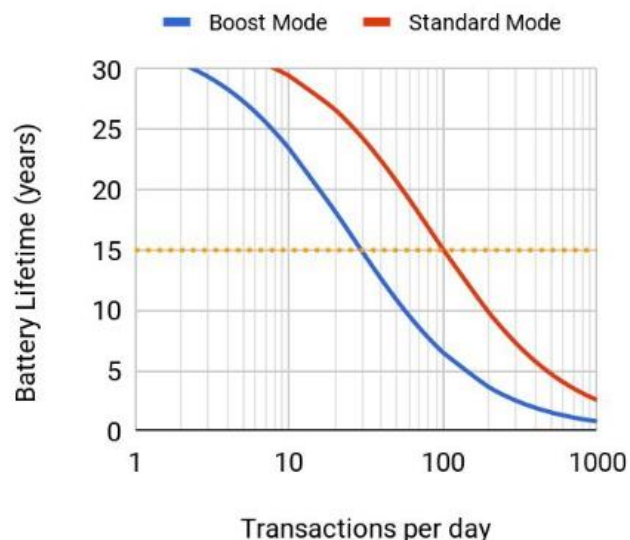
Sensorene er operativ i en rekkevidde fra  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  til  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Det anbefalte område er likevel mindre, fra  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  til  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . I tabellen under ser vi hvor mye levetiden på sensorene påvirkes av omgivelsestemperaturen. I tabellen ser vi at Industrial Temperatursensor helt klart egner seg best av temperatursensorene når temperaturen går mot grenseverdiene og at fuktighetssensoren har kortere levetid enn de andre sensorene.

Sensorenes levetid:

	$-40\text{ }^{\circ}\text{C}$	$-25\text{ }^{\circ}\text{C}$	$25\text{ }^{\circ}\text{C}$	$50\text{ }^{\circ}\text{C}$	$70\text{ }^{\circ}\text{C}$	$85\text{ }^{\circ}\text{C}$
Temperatur sensor gen. 1/ gen. 2	1 uke*/3 år	5 år	15 år	7 år		4 måneder
Industrial Temperatur sensor	5 år	7 år	15 år		10 år	5 år
Fuktighetssensor	1 uke*/3 år	4 år	10 år	5 år		4 måneder
Water Detector	1 uke*/3 år	5 år	15 år	7 år		4 måneder
Proximity sensor	1 uke*/3 år	5 år	15 år	7 år		4 måneder

\* Ved så lave temperaturer vil sensoren slutte å respondere. Hvis temperaturen øker vil sensoren fungere som normalt igjen.

Andre faktorer som kan påvirke levetiden på sensorene er sterkt sollys, mekanisk stress, løsemidler og store temperaturforandringer. Selv om sensorene er forseglet med akrylfilm som gjør at sensorene i utgangspunktet er vanntette, vil levetiden på sensorene reduseres hvis de ligger i vann over en lengre periode. Levetiden på sensorene/batteriene reduseres også når sensorene går i Boost Mode som vi ser i Figur 39 under. (technologies, u.d.)



**Figur 39: Batterilevetid med og uten Boost Mode. (technologies, u.d.)**

For øyeblikket har de 4 forskjellige temperatur sensorer; generasjon 1, EN12830/330s (ment for matindustri) og industriell temperatursensor. En fjerde temperatursensor slippes mai 2021 og er en videreutvikling av generasjon 1, og får navnet generasjon 2.

Temperaturavlesningen har en oppløsning på 0,05 °C og en nøyaktighet på 0,4 °C ved 25 °C.

Nøyaktighet for avlesning ser vi i tabellen under:

	-40 °C	-25 °C	25 °C	50 °C	70 °C	85 °C
Temperatur sensor gen. 1		±1,0 °C	±0,4 °C	±0,4 °C		±0,9 °C
Industrial Temperatur sensor	±1,5 °C	±1,0 °C	±0,4 °C		±0,4 °C	±0,9 °C

(technologies, u.d.)

Fuktighetssensorene måler både temperatur og fuktighet. Oppløsningen på avlesningene er på 1 %RH. I tabellen under ser vi nøyaktigheten på målinger ved forskjellig luftfuktighet.

Fuktighet	0 %RH	20 %RH	80 %RH	100 %RH
Nøyaktighet	±7,5 %RH	±4,5 %RH	±4,5 %RH	±7,5 %RH

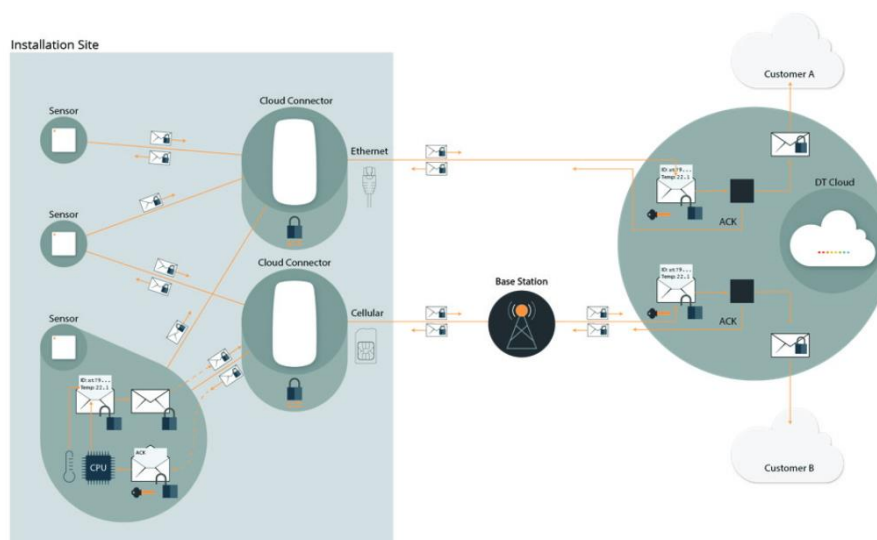
(technologies, u.d.)

Avstandssensoren registrerer ikke avstand, men registrer kun om noe blokkerer sensoren eller ikke. Sensoren registrer blokkering kun ved en avstand på mellom 0 og 5 mm. (disruptive-technologies, u.d.)

Vannsensoren registrer når den er i kontakt med vann. Rekkevidden på sensoren kan utvides med en sensorekstender som absorberer vann veldig lett. Denne sensorekstenderen har en lengde på 3 meter. (disruptive-technologies, u.d.)

### 6.3.2 SECURE DATA SHOT

SDS er en trådløs teknologi selvutviklet av DT. SDS brukes som kommunikasjon mellom CC og sensorene. Den har en teoretisk rekkevidde på 25 meter innendørs, 300 meter utendørs i free-space og 1000 meter utendørs i free-space med boostmode. SDS benytter seg av ISM båndet på 868 MHz. Disruptive ønsker produkter med god sikkerhet og høy skalerbarhet. De har derfor satset på å utvikle en egen kommunikasjonsprotokoll fremfor å bruke en av de eksisterende protokollene som for eksempel Bluetooth, ZigBee eller lignende. DT bruker end-to-end kryptering helt fra sensorer og fram til skyløsningen DT Cloud som brukerne får tilgang til. Topologien er stjerne, men har en egenskap som gjør at sensorene kobler seg til den best tilgjengelige CC og ikke er bundet til én spesiell CC.



Figur 40: Viser krypteringen i systemet. (Tchnologies, u.d.)

### 6.3.3 CLOUD CONNECTOR

CC videregir data fra sensorene og til skyløsningen via internett. CC støtter både 4G, 3G og 2G og kan også kobles til internett via en ethernet kabel.

CC har en relativt lav IP rating på 20 som betyr at den verken tåler støv eller fuktighet. CC er kun beregnet på å stå innendørs i et normalt innneklima mellom 0°C og 45°C.



## Ingress Protection rating:

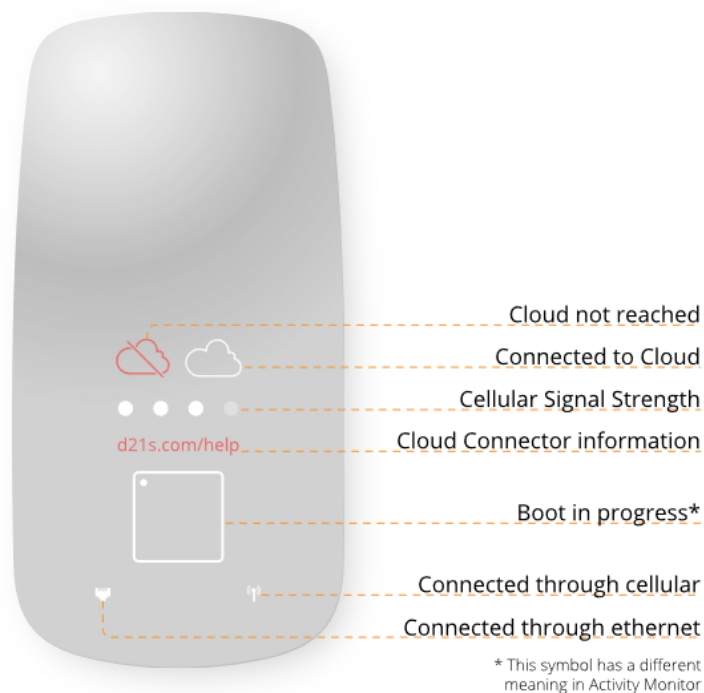
IP20



Figur 41: Beskrivelse av IP rating for Cloud Connector. (IEC, u.d.)

Som strømtilførsel bruker CC Power-over-ethernet (PoE, IEEE802.3at type 1), det vil si at man kun trenger å koble til en ethernetkabel når man skal starte CC. Den gjennomsnittlige effekten er på under 5W, men kan variere blant annet ut ifra hvor god dekning det er.

## Cloud Connector User Interface



**Figur 42: User Interface for Cloud Connector (technologies, u.d.)**

I Figur 42 er det en oversikt over CC forskjellige grensesnitt.

---

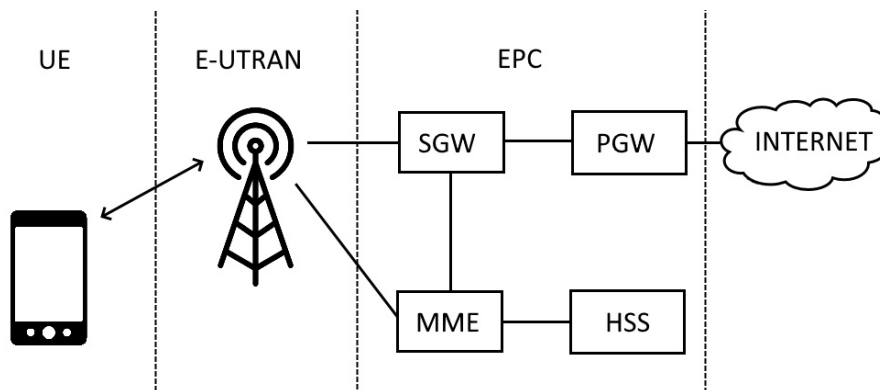
### 6.3.4 4G LTE

I dette delkapittelet skal vi se hvorfor DT har valgt 4G som en del av systemet. 4G er den mest utbredte kommunikasjonsteknologien i Europa og DT mener det er blant annet derfor de hadde valgt 4G. 4G har også stor hastighet og skalerbarhet. Videre i kapitelet skal vi se hvordan 4G er oppbygd slik at vi kan forstå hvorfor 4G har blitt et av de mest vellykkede kommunikasjonsteknologiene.

Figur 15: Dekning for Telenor sine nettverk i Norge Figur 15 viser dekningsgraden til 4G i Norge.

#### EPS i 4G LTE

The Evolved Packet System (EPS) består av to forskjellige systemer E-UTRAN og EPC som igjen består av forskjellige noder/pakker som vist i Figur 43: LTE fra UE til Internett.



**Figur 43: LTE fra UE til Internett**

UE er enheten som brukeren kobler seg opp til LTE nettverket med. UE nodene kan være alt i fra bærbare datamaskiner til mobiltelefoner, så lenge enhetene støtter LTE. For att enheten skal koble seg til nettverket trenger den et SIM-kort, som blant annet brukes av operatøren til å indentifisere brukerne. Grensesnittet mellom UE og eNodeB kalles for Uu.

E-UTRAN NodeB eller eNodeB er det formelle navnet på en LTE basestasjon som sender ut radiosignaler til UE enheter. Basestasjonene kan kommunisere til hverandre. Hvis EU enheten

flytter seg ut av rekkevidden til en eNodeB kan en annen eNodeB fortsette dataøkten. eNodeB har også som funksjon å modulere og demodulere radio signaler.

MME noden har som ansvar å sette opp og avslutte dataøktene. Noden har også i oppgave å autorisere brukeren og holde styr på hvilke tjenester brukeren har tilgang til ved å hente data fra HSS noden. Siden selve data pakkene sendes gjennom SGW og PGW, er det også MME som tar avgjørelser om hvilke gatewayer som blir brukt i SGW og PGW.

HSS fungerer som en database av brukerinformasjon. HSS holder sikkerhetskoder for alle SIM-kort i nettverket og har oversikt over hvilken MME hver bruker har kontakt med til enhver tid.

### **Division Duplexing i LTE 4G**

Siden LTE er en full duplex kommunikasjonsmetode, må uplink- og downlink signalene for hver eneste bruker separeres for å unngå interferens. LTE støtter to metoder, FDD og TDD. FDD står for Frequency Division Duplexing og går ut på at uplink og downlink signalet separeres på to forskjellige frekvenser med et Guard Band mellom. TDD (Time Division Duplexing) separerer up- og downlink ved å bruke synkroniserte tidsintervaller på den samme frekvensen med Guard perioder hvert tidsintervall. Selv om det er både fordeler og ulemper med begge metodene er det globalt sett mest vanlig med FDD.

Grunnen til division duplexing er relevant i dette prosjektet er muligheten for oppdateringer av firmware til sensorer og CC. Ved bruk av en full duplex kommunikasjon kan man gjennomføre FOTA (Firmware Over-The-Air), skulle det oppdages feil eller andre mangler i systemet.

---

#### **6.3.5 GOOGLE CLOUD/DT CLOUD**

DT bruker Google Cloud for lagring av all data fra sensorer. Google tilbyr sikkerhet og kontrollering av dataene på et toppnivå. Google Cloud nettverket er delt opp i 3 kategorier, global, regional og «zonal». Global er et nettverk av datasentre som er plassert rundt om i verden og hvert av disse datasentrene blir kalt «regional». For DT' kunder i Norge vil det bli regionale Google Cloud servere i Europa. Disse datasentrene er delt opp i mindre soner, «zonal». Denne oppdelingen sørger for å ha en skyplattform med mindre sannsynlighet for nedetid. (Google, u.d.)

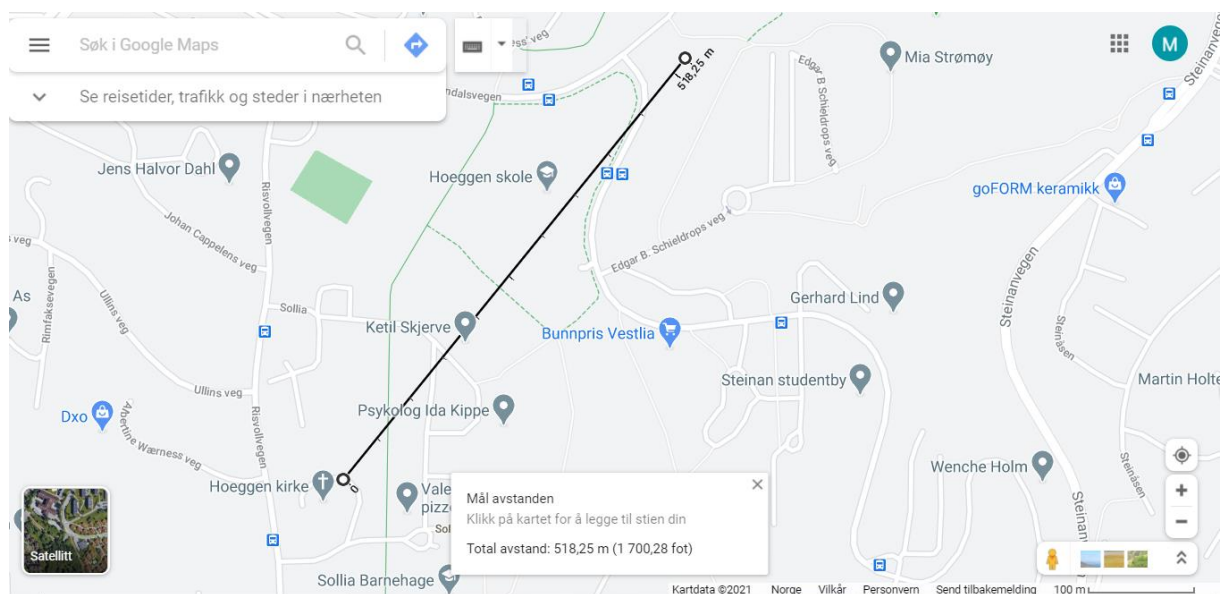
#### **6.4 TESTING**

Flere tester av utstyret til DT ble gjennomført for å sjekke om det fungerer i praksis slik vi hadde tenkt for Jacobsen Elektro. På grunn av koronasituasjonen ble det ikke mulighet å få

testet utstyret på en transformatorstasjon, slik at vi måtte finne andre plasser å teste ut utstyret. Tanken ble da å teste det ut i lignende omgivelser som i en transformatorstasjon. Betong er et mye brukt materiale i bygningene som står på transformatorstasjoner. Derfor testet vi hvordan signalstyrken var gjennom betong. Videre testet vi ut dørsensorløsninga vår i ulike dører, sånn som branndører av stål og vanlig ytterdør av treverk med forskjellige låser. Vi testet også signalstyrken gjennom sikringskap av forskjellige typer som var tilgjengelige. I tillegg testet vi hvordan rekkevidden var i friluft for å se hvor lang rekkevidden var, siden bryterfeltene er utendørs. Summen av denne testinga skal gi et bilde på om systemet fungerer til formålet.

#### 6.4.1 REKKEVIDDE UTENDØRS

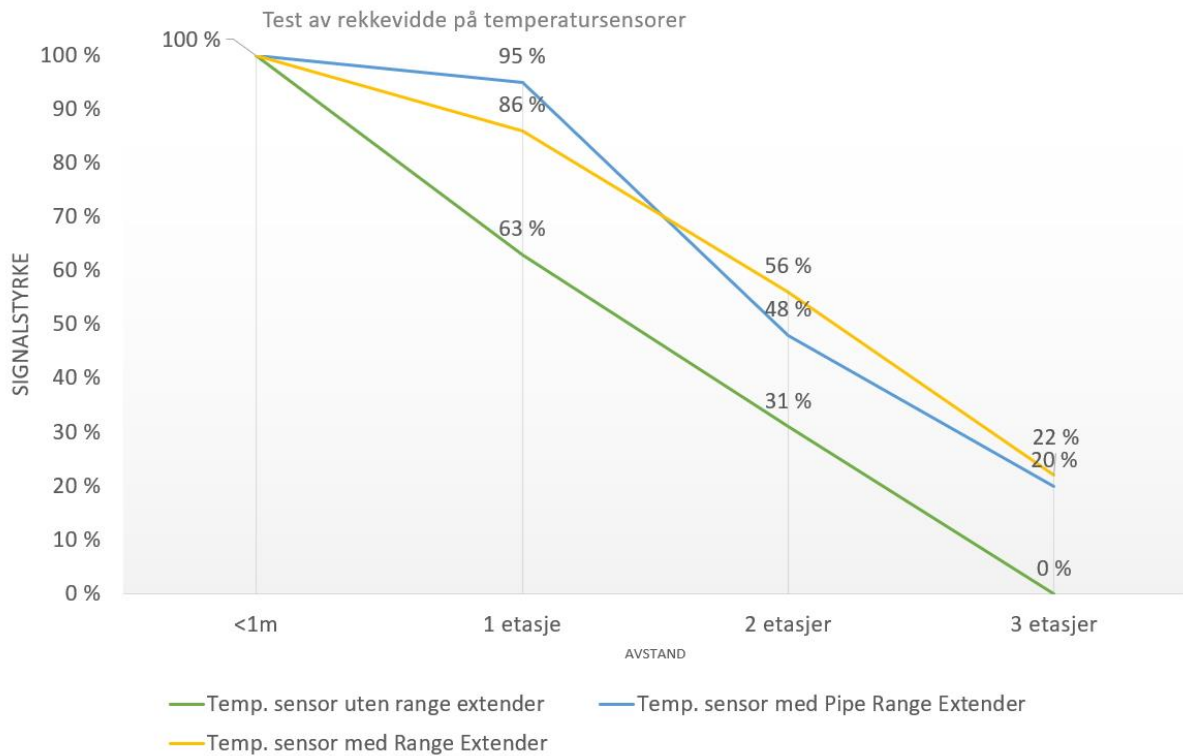
Her målte vi avstanden med Google Maps. For å kvalitetssikre at avstandsmålene i Google Maps er riktig, kjørte vi en test på fotballbanen Lerkendal. Fotballbanen er oppgitt å være 105m lang og 68m bred. (NFF, 2019) Det stemte med Google Maps sin avstandsmåler. Vi målte altså signalstyrken mellom CC og sensorer med minst 500 meter mellomrom, som vist i Figur 44. Eneste hindring var noen trær uten blader, men det var av lite betydning, siden testpersonene så hverandre tydelig fra hver sin ende. Temperatursensor uten range extender hadde en signalstyrke på mellom 1-10%. Temperatursensor med range extender hadde en signalstyrke på mellom 25-30%. Det skal holde for de fleste, om ikke alle, transformatoranlegg i Norge.



Figur 44: Rekkevidde utendørs

#### 6.4.2 REKKEVIDDE GJENNOM BETONGGULV

Denne testen ble gjort på NTNU sitt bygg i Klæbuveien 72, på Handelshøyskolen. Her testet vi rekkevidden på sensorene gjennom betonggulv for å se på signalstyrken gjennom betong.



**Figur 45: Testing av signalstyrke gjennom betonggulv.**

Denne testen ble gjort på NTNU sitt bygg i Klæbuveien 72, på Handelshøyskolen.

<1m: Testet rekkevidden under en meter mellom delene for å ha et referansepunkt.

1 etasje: 26 cm betonggulv + 2.5 meter åpent luftrom mellom CC og sensor

2 etasjer: 2x (26 cm betonggulv) + 5 meter åpent luftrom mellom CC og sensor

3 etasjer: 3x (26 cm betonggulv) + 10 meter åpent luftrom mellom CC og sensor

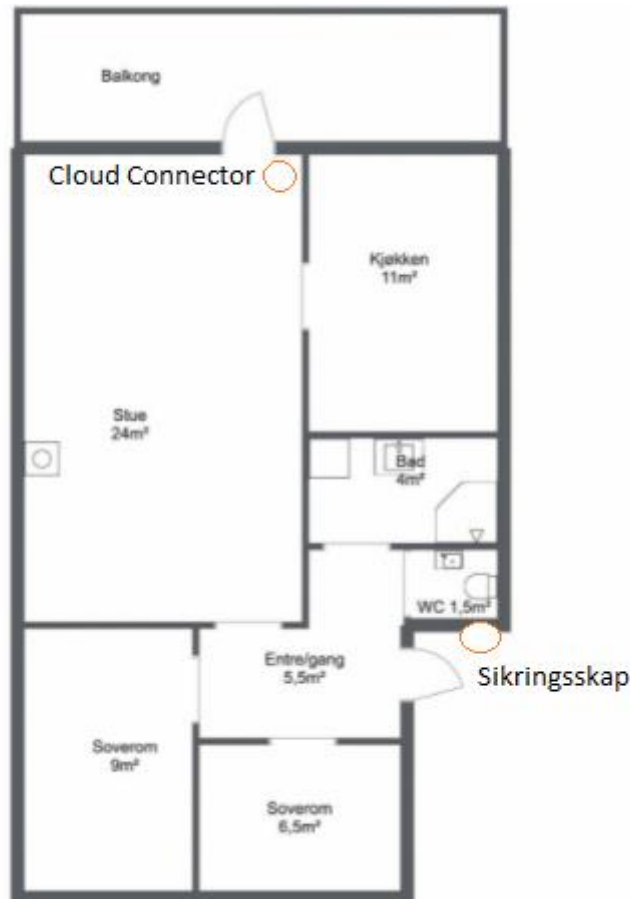
Testen viser at det skal ikke mange betongvegger eller betonggulv til for at signalstyrken blir svekket mot kritisk lavt nivå. Den viser også at sensorer med range extender har bedre signalstyrke jevnt over.

#### 6.4.3 TEMPERATURSENSOR I SIKRINGSSKAP

Vi undersøkte hvor godt signalstyrken gikk gjennom et sikringsskap av typen som vist i Figur 47 og litt andre materialer som er typisk i en bygning. I tillegg ville vi se på

temperaturforandringer på selve sikringene for å se om det hadde sammenheng med belastningen. De oransje ringene i Figur 46 markerer hvor sikringskap og CC er plassert. Plassering av sensoren med range extender er vist i Figur 48. I tillegg ble en sensor uten range extender plassert i skapet på den hvite boksen til høyre i midten, med vanlig tape for å spare på liminga til tapen på sensoren. Den holdt ikke lenge, for etter noen dager ble den sensoren funnet på bunnen av sikringsskapet. Når sensoren falt i bunnen av sikringsskapet, kan man bare spekulere i, men dataene om signalstyrke i Figur 51 viser tydelige endringer ved et tidspunkt etter en ganske stabil signalstyrke, så det er sannsynlig at det hendte da.

Av Figur 50 ser man at rundt kl. 12 den 2.,3. og 4.mai økte temperaturen ganske raskt med 1 grader. Dette var på grunn av at belastningen på sikringa ble større, da en 1500W panelovn ble skrudd på forut for den raske temperaturstigninga. Av Figur 50 ser vi også av temperaturen når panelovnen ble skrudd av. Dette viser at man kan overvåke temperatur på sikringer hvis man vil ha en indikasjon på hvordan belastningen er på sikringene.



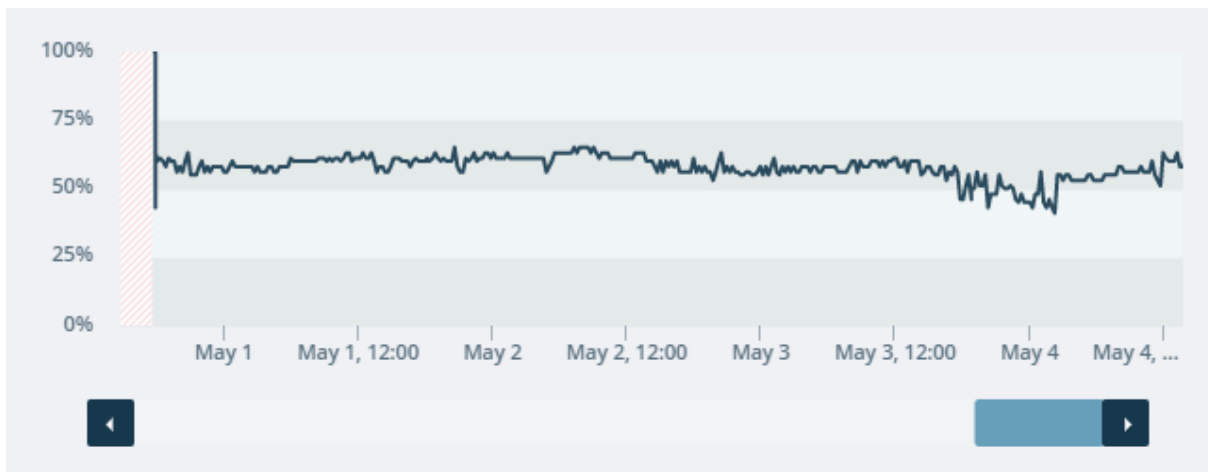
**Figur 46: Plassering av CC og sikringskap**



**Figur 47: Sikringskap**



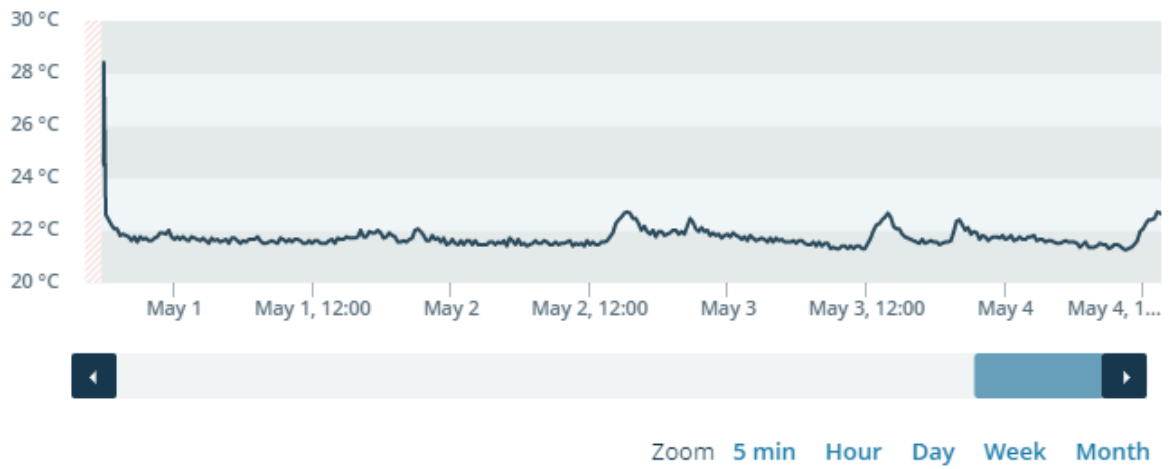
**Figur 48: Plassering av sensor med range extender**



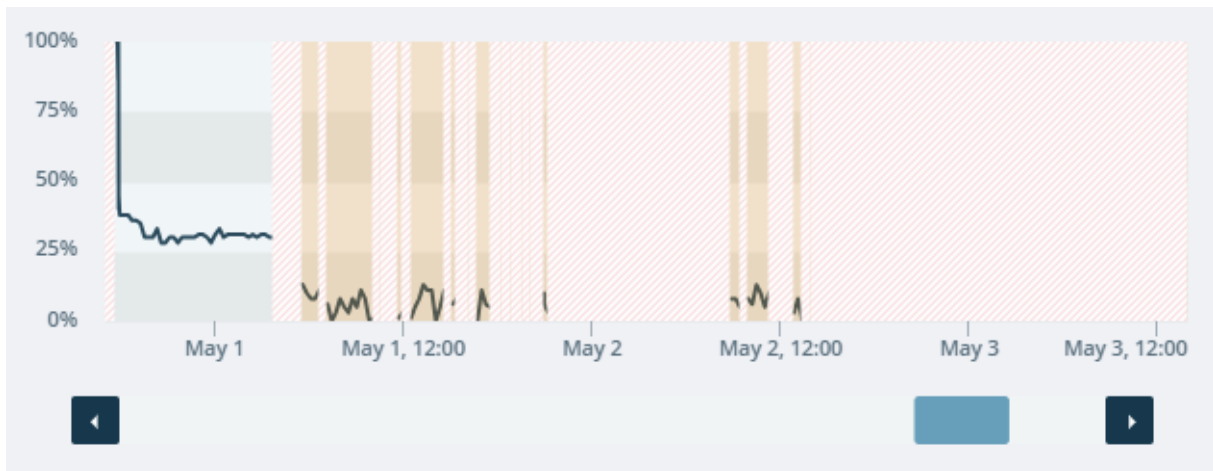
**Figur 49: Signalstyrke mellom CC og sensor med range extender**



## Historical data

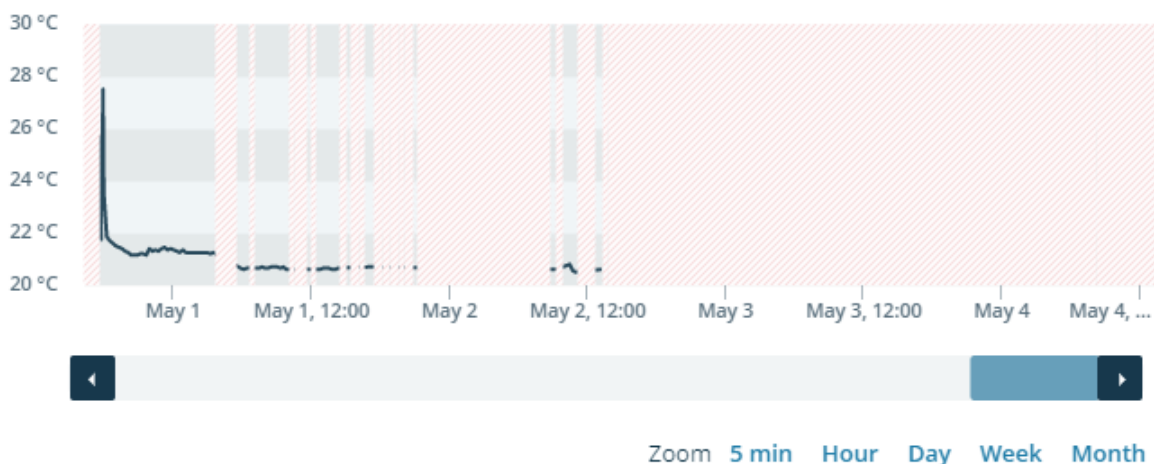


**Figur 50: Målt temperatur av sensor med range extender**



**Figur 51: Signalstyrke mellom CC og sensor uten range extender**

## Historical data

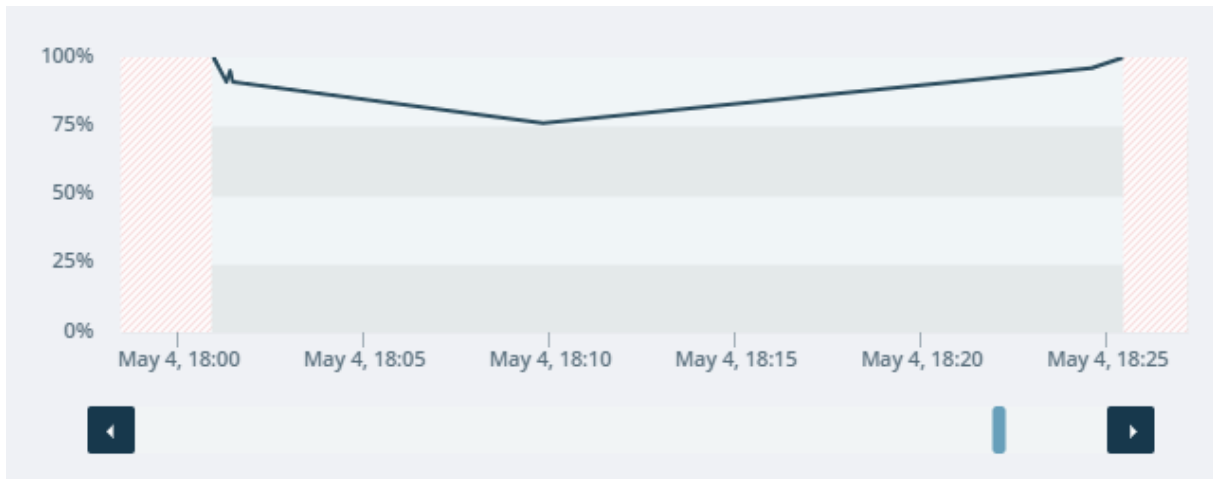


**Figur 52: Målt temperatur av sensor uten range extender**

Vi testet i tillegg for signalstyrken gjennom et annet større sikringsskap som vist i Figur 55. Her ble CC plassert bare et par meter rett utenfor sikringsskap uten noen hindringer mellom. Gjennom disse skapene var signalstyrken veldig bra for sensoren med range extender, mens sensor uten range extender fikk lavere som ved mange andre tilfeller. Det ser man av Figur 53 og Figur 54. Sensor uten range extender har kun en måling rundt kl.18:10 som er inne fra skapet. Eier av fasiliteten var travel og dermed fikk vi kun en måling gjennom skapet. Det gjør akkurat denne testen litt svak siden det ikke er så mye måledata å ta av, men det gir likevel en god indikasjon sammen med den andre testen på signalstyrken gjennom sikringsskap, om at signalene kommer gjennom.



**Figur 53: Signalstyrke gjennom sikringsskap for sensor med range extender**



**Figur 54: Signalstyrke gjennom sikringskap for sensor uten range extender**



**Figur 55: Sikringskap**

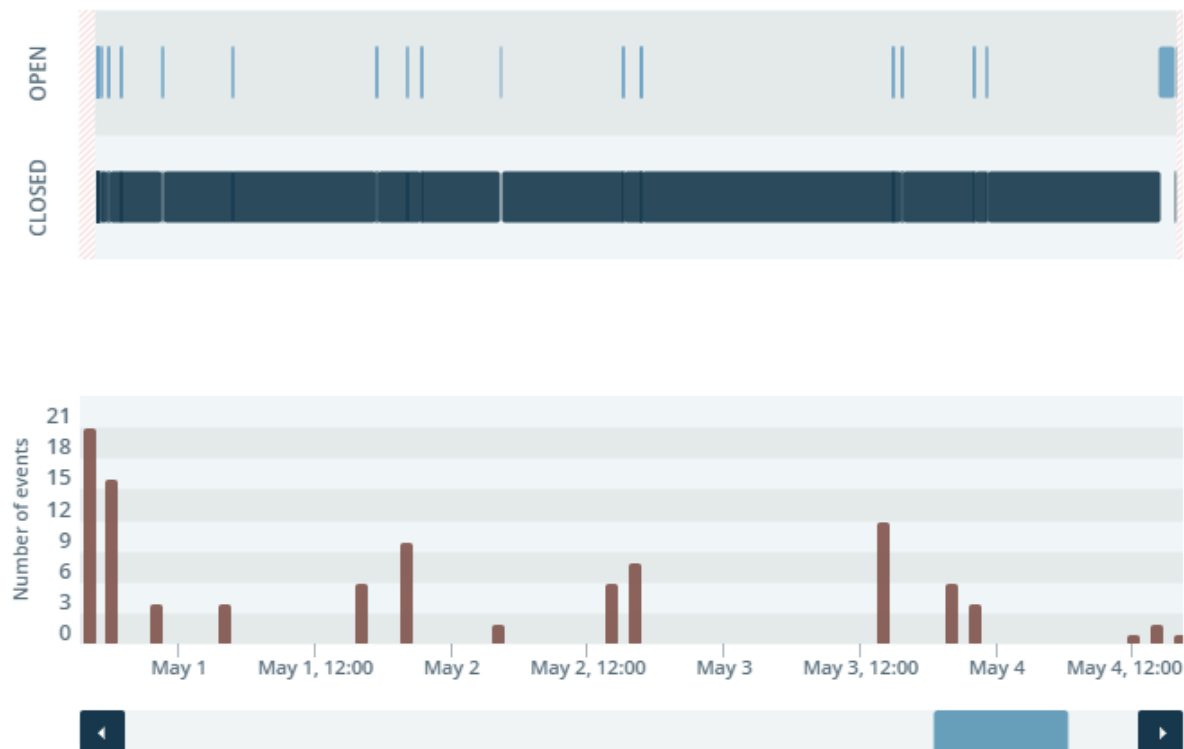
Dørsensorløsninga vår gikk ut på å plassere DT sin avstandssensor i låskassen på døra som for eksempel som på Figur 56 eller som på Figur 67. Siden sensorene til DT er så små så passer de inne i de fleste låskasser, og om det ikke skulle passe, er det ikke mye justeringer som må til for å få de til å passe. Avstandssensoren detekterer hvis et objekt kommer mot eller drar ifra sensoren 0-5mm. Dermed skal man med denne løsninga få oversikt over når døra er låst.

Så i denne testen ble avstandssensoren plassert i låskassen som vist i Figur 56. CC er plassert på samme punkt som i Figur 46 og døra er plassert ved sikringsskapet. Døra er en ytterdør laget av treverk. Av Figur 57 ser man at man har full oversikt på om døra er låst eller ikke låst. Av Figur 58 ser man at signalstyrken holder for å få sendt signalet i standard mode, men er mye mer ustabil enn ved andre tester vi har gjennomført.

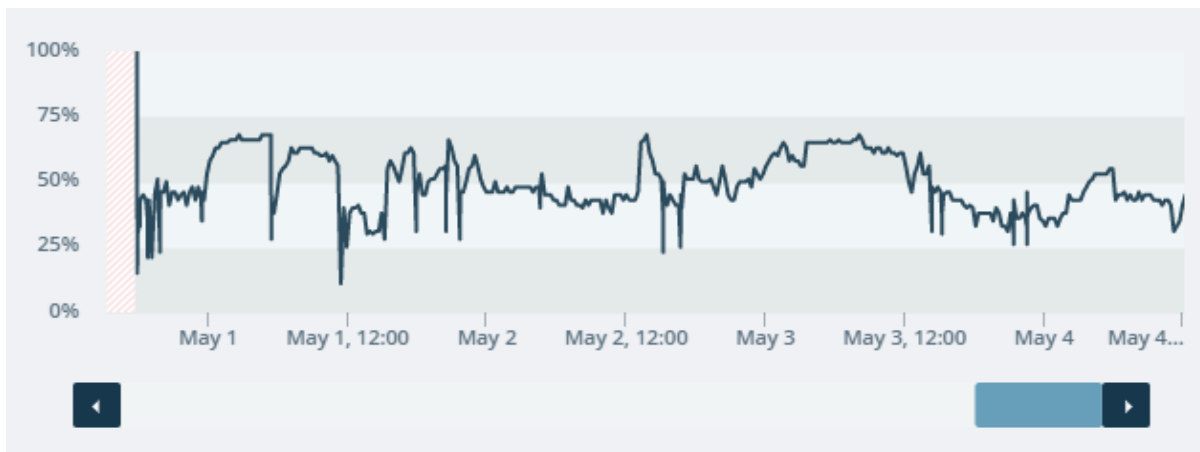


**Figur 56: Plassering av sensor i låskasse**

## Historical data



Figur 57: Oversikt over om døra er låst eller ulåst



Figur 58: Signalstyrken mellom CC og sensor

Videre kjørte vi en test av avstandssensoren på ei brandør av stål som vist i Figur 59 for å se på signalstyrken gjennom mer solide dører. Her plasserte vi sensor på døra istedenfor i låskasse, for å sjekke for slike tilfeller også på grunn av at det ble nevnt i møter med Jacobsen Elektro at noen dører har hengelås. I de tilfellene får man ikke sjekket om døra er låst, men

om den har vært åpen eller lukket. Slik at for de dørene vil det være ideelt å plassere sensor i dørkarm eller på døra som vist i Figur 62.



**Figur 59: Bilde av branndør i stål**



**Figur 60: CC lå på bordet nærmest**



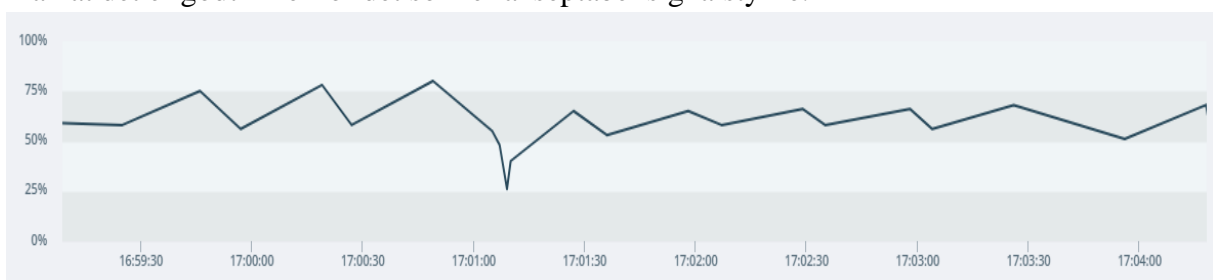
**Figur 61: Plassering av sensor nærmest CC**





**Figur 62: Plassering av sensor lengst unna CC**

Sensor plassert som i Figur 61 ga 75% ved lukking av dør og 58% ved åpning. Det kommer frem av Figur 63, i tidspunktet mellom 16:59:30-17:01:00. Sensor plassert som i Figur 62 ga 65% ved lukking og 53% ved åpning. Det kommer fram Figur 63 i tidspunktet fra 17:01:30-17:04:00. Årsaken til forskjell i signalstyrken mellom lukking og åpning er tidspunktet sensoren sender signalet. Tar man utgangspunkt i det laveste for å være på den sikre siden ser man at det er godt innenfor det som er akseptabel signalstyrke.



**Figur 63: Signalstyrken mellom CC og sensor**

Av testene kan man konkludere med at løsninga fungerer godt i praksis. I den første løsninga hvor sensor er i låskasse har man oversikt over om døra er låst eller ulåst. Signalstyrken gjennom låskassen er god og er ikke nær boostmode. I den andre testen ser man at signalstyrken er god gjennom branndør av stål, den er heller ikke i nærheten av boostmode. I

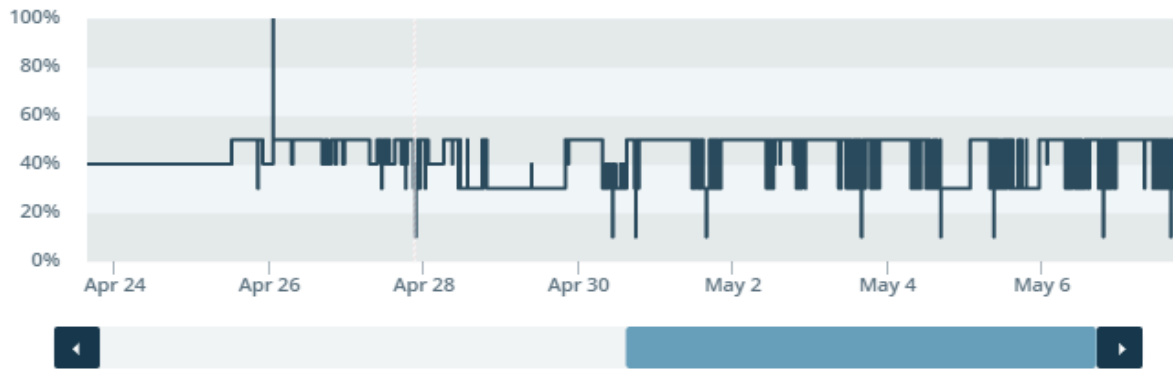
tillegg fikk man oversikt over når døra var åpen eller lukket. Disse testene ble gjort uten range extender på avstandssensor, slik at får man problemer med signalstyrken kan man bruke det i tillegg.

---

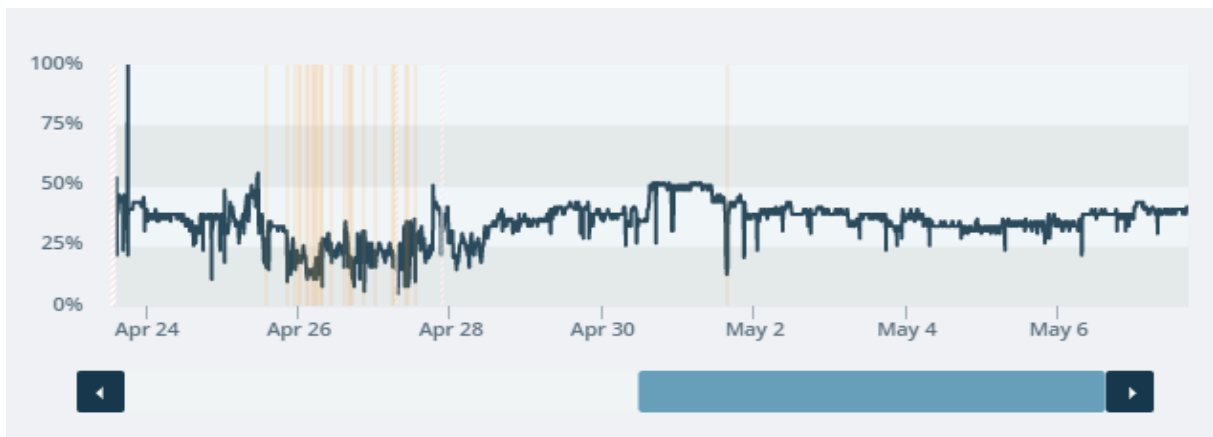
#### 6.4.5 STABILITET

Vi testet dørsensorløsninga i et par uker for å se på stabiliteten til signalene fra sensor til CC og fra CC til skyen. I tillegg kan man av Figur 67 se at denne sensoren er plassert forskjellig fra Figur 56, som viser at man kan plassere sensoren på ulike plasser i låskassen. Av Figur 64 ser man at CC har jevn signalstyrke med lite variasjon. På testene kom det fram at CC opererte med inkremitter på 10%, slik at en variasjon mellom 40-60% bør anses som jevn signalstyrke. Det er dekning hele perioden bortsett fra et minutt den 27.april. Da ble CC flyttet på grunn av at sensoren ofte kom i Boost Mode og generelt hadde dårlig signalstyrke. Under flyttinga forsvinner strømforsyninga til CC, derfor blir den frakoblet. Stabiliteten mellom sensor og CC er også ganske jevn over denne perioden og ble bedre etter at CC ble flyttet.

Verken signalene fra sensor til CC og fra CC til skyen ble borte under hele denne perioden på to uker, med unntak når det ble gjort flytting av CC, det lover godt med tanke på stabiliteten til systemet. Den ble liggende i to uker til etter denne testen ble gjennomført uten noen nedetid eller problemer.

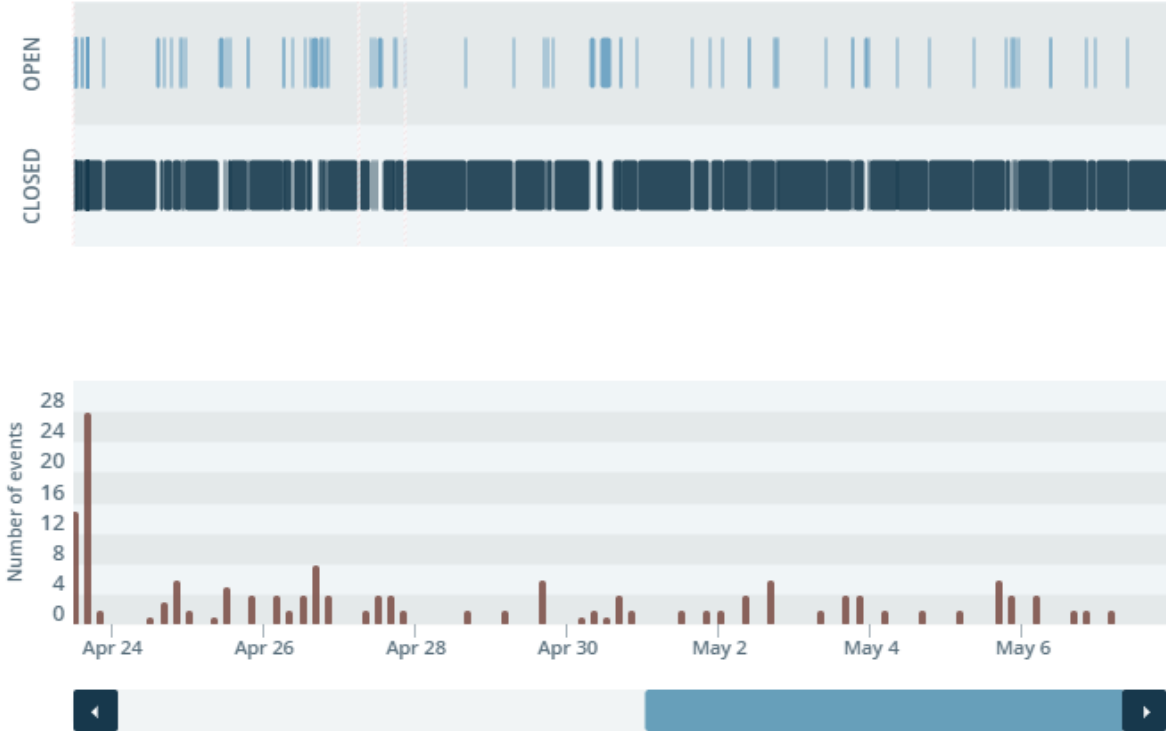


Figur 64: Signalstyrken mellom CC og skyen



Figur 65: Signalstyrken mellom sensor i låskasse og CC

Historical data



Figur 66: Oversikt over når døra er låst og ulåst



Figur 67: Sensor i låskasse

## 6.5 ERFARINGER MED PROSJEKTDEMO

Under testingen av utstyret gjorde vi oss noen praktiske erfaringer med utstyret som kan være nyttig å ha med ved senere bruk

### **Sensorene:**

Sensorene har en funksjon som den går inn i hvis signalstyrken er lav og den kalles Boost Mode. I denne tilstanden er effektforbruket større og batterilevetiden forkortes. Det er ikke oppgitt når sensorene går inn i denne Boost Mode, men vår antagelse ut fra testene er at det kan skje fra alt under 30% signalstyrke. Derfor kan det være lurt å ha minst 30% signalstyrke ved installasjon.

Sensorene med signalforsterker har i snitt 20-30% bedre signalstyrke enn sensorene uten signalforsterker ut fra testene vi har kjørt.

Plassering av sensorer, selv et par centimeter, kan ha stor innvirkning på mottatt signalstyrke når sensor plasseres i nærheten av materialer som hindrer signalet, for eksempel metall i låskasse. Tilfeller hvor det ikke er mulig å ha signalforsterker vil det være essensielt å teste signalstyrken ved installasjon.

Limet på sensorene. Det sitter tilfredsstillende på første montering. Hvis sensorene skal flyttes vil det ikke være like godt feste slik at de kan falle ned.

Ingen sensorer har lavere batteri etter testing og står fortsatt som 100% inne i DT-Studio. Utstyret ble testet i en periode på rundt 30 dager. 1% av 15 år og avrundet tilsvarer omtrent 55 dager. 1% av 10 år er avrundet 37 dager. Dette kan være noe å følge med på i senere tid.

### **Cloud Connector:**

Når strømmen går i en CC lagres ikke dataene fra de tilkoblede sensorene lokalt og vil være tapt. Sensorene er avhengig av at CC har strømtilførsel.

Hvis to CC dekker samme området, vil sensorene koble seg til den CC med best signalstyrke automatisk. Faller den ene CC ut, kobler de resterende sensorene seg til automatisk den andre CC.

### **DT-Studio:**

DT-Studio gjør en god figur i dette prosjektet. Skal prosjektet derimot skaleres vil det kunne være behov for en annen mer dynamisk løsning for programvare, som f.eks. DT' «Substation Pilot». Det anbefales å høre med DT hvor langt denne løsningen er kommet. DT har en god løsning for videreføring av data og bruk av REST API slik at man selv kan designe programvaren om det skulle være ønsket. Hvis ikke er mulighetene til å engasjere et tredjeparts firma for å håndtere programvareløsning gode.

Vår konklusjon er at et system med sensorer bidrar til å forbedre sikkerheten og vedlikeholdet i transformatorstasjoner. Gjennom rapporten har vi sett hvilke sensorer som er aktuelle og hva de kan bidra med av ulik informasjon, som gjør at man får kontinuerlig oppdatering om anlegget og tilstanden til komponentene, som gjør at sikkerheten blir bedre og at man har muligheten for å gjøre vedlikehold på et tidligere tidspunkt, som er bedre. Vi har, med kjennskap til kommunikasjonsprotokollene, konkludert med at SDS og 4G er en god nok løsning for Jacobsen Elektro sitt bruk. Med det systemet vi har foreslått har vi fått dekt mye av kriteriene som lå til grunn i oppgaven og gitt av Jacobsen Elektro i etterkant. Dette systemet har vi også testet ut i praksis og det har fungert til de formålene vi så for oss som kom til å være nyttige i transformatorstasjoner, samtidig som det har avdekket noen svakheter som kan være nyttige å vite om.

Det eneste som ikke ble dekt av viktige områder å overvåke, med det systemet vi valgte, er linjene og mastene. Her fant vi likevel et annet system som har en løsning for det. Dette kan brukes i tillegg til systemet som vi testet ut for å få dekt alle områder som Jacobsen Elektro ønsket å få overvåket.

For videre arbeid vil det være verdt å få testet disse systemene på transformatorstasjoner for å se om det fungerer i praksis og vurdere nytten av slike systemer. Teknologien er veldig fersk og uprøvd, slik at etter hvert som det blir brukt får man mer innsikt i hvor mulighetene og begrensningene ligger. I tillegg vil man etter hvert få data på om slike systemer fører med seg besparelser og man kan da vurdere nytten av teknologien.

Videre arbeid kan også inneholde forbedringer i programvare og bruken av kunstig intelligens. Ved bruk av kunstig intelligens på sensordata kan man potensielt få varsling om feil på utstyr mye tidligere enn ved manuell overvåkning av dataene.

## REFERANSER

Aizpurua J.I., S. B. M. S. L. B. C. J. C. V., 2019. *Improved power transformer condition monitoring under uncertainty through soft computing and probabilistic health index.*

[Internett]

Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S156849461930300X>

[Funnet 22 04 2021].

Bogue, R., 2013. *Sensors for condition monitoring: a review of technologies and applications.* [Internett]

Available at: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/SR-05-2013-675/full/html#idm45015471883776>

[Funnet 10 05 2021].

Buthelezi, B., u.d. *Researchgate.* [Internett]

Available at: [https://www.researchgate.net/figure/Classification-of-ZigBee-Topologies\\_fig2\\_330254252](https://www.researchgate.net/figure/Classification-of-ZigBee-Topologies_fig2_330254252)

[Funnet 06 mai 2021].

ChavarriaReyes, I. F. M.-E., 2010. *ScienceDirect.* [Internett]

Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1874490710000303>

[Funnet 06 mai 2021].

Data respons R&D Services, 2020. *Prosjekt om Heimdall Power.* [Internett]

Available at: <https://rd-datarespons.no/heimdall-power/>

[Funnet 09 05 2021].

Disruptive Technologies, 2020. *Disruptive Technologies.* [Internett]

Available at: <https://www.disruptive-technologies.com/blog/smart-sensors-help-elvia-modernize-the-power-grid>

[Funnet 27 April 2021].

disruptive-technologies, u.d. *disruptive-technologies.* [Internett]

Available at: <https://support.disruptive-technologies.com/hc/en-us/articles/360010452099-Wireless-Proximity-Sensor>

[Funnet 19 mai 2021].

disruptive-technologies, u.d. *disruptive-technologies.* [Internett]

Available at: <https://support.disruptive-technologies.com/hc/en-us/articles/360012906580>

[Funnet 19 mai 2021].

DSB, 2005. *Lover om elektriske anlegg og elektriske installasjoner.* [Internett]

Available at: <https://www.dsb.no/lover/elektriske-anlegg-og-elektrisk-utstyr/veiledning-til->



forskrift/veiledning-til-forskrift-om-elektriske-forsyningsanlegg/#hoyspenningsinstallasjoner  
[Funnet 26 04 2021].

DSB, 2016. *Samfunnets kritiske funksjoner*. [Internett]  
Available at: [https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/rapporter/kiks-2\\_januar.pdf](https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/rapporter/kiks-2_januar.pdf)  
[Funnet 7 April 2021].

DSB, 2020. *Elsikkerhet magasinet*. [Internett]  
Available at: <https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/elsikkerhet-els/elsikkerhet-magasinet/elsikkerhet-92-1.pdf>  
[Funnet 30 04 2021].

Elvia, 2018. *Driftleders instruksjer 2018*. [Internett]  
Available at:  
[https://nettbiblioteket.elvia.no/ebook/driftsleders\\_instruksjer\\_for\\_elektriske\\_anlegg/master/f51a39143.xhtml](https://nettbiblioteket.elvia.no/ebook/driftsleders_instruksjer_for_elektriske_anlegg/master/f51a39143.xhtml)  
[Funnet 30 04 2021].

Elvia, 2019. *Driftsleders instruksjer 2019*. [Internett]  
Available at:  
[https://nettbiblioteket.elvia.no/ebook/driftsleders\\_instruksjer\\_2019/master/attachments/di\\_2019\\_-\\_interactiv.pdf](https://nettbiblioteket.elvia.no/ebook/driftsleders_instruksjer_2019/master/attachments/di_2019_-_interactiv.pdf)  
[Funnet 30 04 2021].

Elvia, 2020. *Driftsleders instruksjer 2020*. [Internett]  
Available at:  
[https://nettbiblioteket.elvia.no/ebook/driftsleders\\_instruksjer\\_2020/master/attachments/driftsleders\\_instruksjer\\_2020.pdf](https://nettbiblioteket.elvia.no/ebook/driftsleders_instruksjer_2020/master/attachments/driftsleders_instruksjer_2020.pdf)  
[Funnet 30 04 2021].

Energifakta Norge, 2019. *Strømnettet*. [Internett]  
Available at: <https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/kraftnett/>  
[Funnet 04 05 2021].

European Alliance for Innovation, 2015. <https://eai.eu/>. [Internett]  
Available at: <https://eudl.eu/pdf/10.4108/eai.26-10-2015.150597>  
[Funnet 15 Mars 2021].

Gollu Appala Naidu, J. K., 2019. *Springer Link*. [Internett]  
Available at: [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-981-13-3765-9\\_24](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-981-13-3765-9_24)  
[Funnet 06 mai 2021].

Google, u.d. *Google cloud*. [Internett]  
Available at: <https://cloud.google.com/>  
[Funnet 16 mai 2021].

Haxhibeqiri, J., Abeele, F. V. d., Moerman, I. & Hoebeke, J., 2017. <https://www.mdpi.com>.  
[Internett]  
Available at: <https://www.mdpi.com/1424-8220/17/6/1193>  
[Funnet 15 April 2021].

Heimdall Power, 2021. *Heimdall Power*. [Internett]  
Available at: <https://heimdallpower.com/esg/>  
[Funnet 05 05 2021].

Heimdall Power, 2021. *Heimdall Power*. [Internett]  
Available at: <https://heimdallpower.com/about/>  
[Funnet 05 05 2021].

Hemraj Sharma, S. S., 2014. *iee*. [Internett]  
Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6799579&tag=1>  
[Funnet 06 mai 2021].

Håvard Zeiner, 2019. *Teknisk ukeblad*. [Internett]  
Available at: <https://www.tu.no/artikler/kule-overvaker-stromnett-og-finner-feil/462827>  
[Funnet 09 05 2021].

IEC, u.d. *IEC*. [Internett]  
Available at: <https://www.iec.ch/ip-ratings>  
[Funnet 12 mai 2021].

IEEE, 2016. <https://ieeexplore.ieee.org>. [Internett]  
Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7506639>  
[Funnet 25 April 2021].

International Organisation for Standardization, 2021. <https://www.iso.org>. [Internett]  
Available at: <https://www.iso.org/ics/35.100/x/>  
[Funnet 7 Mars 2021].

Istad, M., 2013. *Vedlikehold av nettstasjoner*. [Internett]  
Available at: [https://www.sintef.no/globalassets/project/smartregions/workshop-2013/6\\_vedlikehold-av-nettstasjoner\\_maren-istad.pdf](https://www.sintef.no/globalassets/project/smartregions/workshop-2013/6_vedlikehold-av-nettstasjoner_maren-istad.pdf)  
[Funnet 03 05 2021].

JUNJIE YIN and ZHENG YANG, T. U. C. U. L. U. Z. Z. W. o. M. C. P., 2019.  
<https://dl.acm.org>. [Internett]

Available at: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145%2F3317687>

[Funnet 10 Mai 2021].

Lalle, Y., Fourati, L. C., Fourati, M. & Barraca, J. P., 2019. *ieee xplore*. [Internett]

Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9044961>

[Funnet 06 mai 2021].

Lavric, A., Petrariu, A. I. & Popa, V., 2019. *ieee explore*. [Internett]

Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9043727>

[Funnet 06 mai 2021].

Lin J., Z. B. Z. P. L. W. Y. H. X. Y., 2015. *Monitoring power transmission lines using a wireless sensor network*. [Internett]

Available at:

<https://browzine.com/libraries/376/journals/12244/issues/7912870?showArticleInContext=doi%3A10.1002%2Fwcm.2458>

[Funnet 04 05 2021].

LoRa Alliance, 2021. <https://lora-alliance.org>. [Internett]

Available at: <https://lora-alliance.org/wp-content/uploads/2020/11/what-is-lorawan.pdf>

[Funnet 3 Mars 2021].

Lyse, 2021. *Sensorkuler på linjer*. [Internett]

Available at: <https://www.lysenett.no/fou-og-innovasjon/fou-prosjekter/sensorkuler-pa-linjer>

[Funnet 05 05 2021].

Mitcheson, P. D. et al., 2008. <https://ieeexplore.ieee.org>. [Internett]

Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4618735>

[Funnet 18 Mars 2021].

NFF, 2019. *Fotballdata*. [Internett]

Available at: <https://www.fotball.no/fotballdata/anlegg/hjem/?fiksId=6375>

[Funnet 06 05 2021].

Nohrborg, M., u.d. [3gpp.org](https://www.3gpp.org). [Internett]

Available at: <https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>

[Funnet 06 mai 2021].

NTNU, R.K. Snilsberg, 2020. [Internett]

Available at: [https://learn-eu-central-1-prod-fleet01-](https://learn-eu-central-1-prod-fleet01-xythos.learn.cloudflare.blackboardcdn.com/5def77a38a2f7/3409653?X-Blackboard-Expiration=1620669600000&X-Blackboard-Signature=hnReGMCiroE8hyfj9SduYl%2FW7veuBK6x%2Bp3tRkFHyc8%3D&X-)

[xythos.learn.cloudflare.blackboardcdn.com/5def77a38a2f7/3409653?X-Blackboard-](https://learn-eu-central-1-prod-fleet01-xythos.learn.cloudflare.blackboardcdn.com/5def77a38a2f7/3409653?X-Blackboard-Expiration=1620669600000&X-Blackboard-Signature=hnReGMCiroE8hyfj9SduYl%2FW7veuBK6x%2Bp3tRkFHyc8%3D&X-)

[Expiration=1620669600000&X-Blackboard-](https://learn-eu-central-1-prod-fleet01-xythos.learn.cloudflare.blackboardcdn.com/5def77a38a2f7/3409653?X-Blackboard-Expiration=1620669600000&X-Blackboard-Signature=hnReGMCiroE8hyfj9SduYl%2FW7veuBK6x%2Bp3tRkFHyc8%3D&X-)

[Signature=hnReGMCiroE8hyfj9SduYl%2FW7veuBK6x%2Bp3tRkFHyc8%3D&X-](https://learn-eu-central-1-prod-fleet01-xythos.learn.cloudflare.blackboardcdn.com/5def77a38a2f7/3409653?X-Blackboard-Expiration=1620669600000&X-Blackboard-Signature=hnReGMCiroE8hyfj9SduYl%2FW7veuBK6x%2Bp3tRkFHyc8%3D&X-)

Blackboard-Client-Id=303508&response-

[Funnet 3 Mars 2021].

NVE, 2019. *NVE*. [Internett]

Available at: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/okonomisk-regulering-av-nettselskap/om-den-okonomiske-reguleringen/kile-kvalitetsjusterte-inntektsrammer-ved-ikke-levert-energi/>

[Funnet 23 04 2021].

NVE, 2019. *Nyhet om forsyningssikkerheten i 2018*. [Internett]

Available at: <https://www.nve.no/nytt-fra-nve/nyheter-sikkerhet-og-energiforsyningsberedskap/vaeret-storste-utfordring-for-forsyningssikkerheten-i-2018/>

[Funnet 30 04 2021].

Phan minh Linh An, T. K., 2018. [Internett]

Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8463281>

[Funnet 06 mai 2021].

Priya, S. & Inman, D. J., 2009. <https://link.springer.com>. [Internett]

Available at: <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-0-387-76464-1>

[Funnet 23 April 2021].

Queralta, J. P. et al., 2019. <https://www.sciencedirect.com>. [Internett]

Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050919309639>

[Funnet 21 Mars 2021].

Ray, B., 2015. *Link Labs*. [Internett]

Available at: <https://www.link-labs.com/blog/bluetooth-zigbee-comparison>

[Funnet 06 mai 2021].

Salim Jibrin Danbatta, A. V., u.d. *ieee.org*. [Internett]

Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8757472>

[Funnet 06 mai 2021].

Sanchez-Iborra, R. et al., 2018. *www.mpd.com*. [Internett]

Available at: <https://www.mdpi.com/1424-8220/18/3/772>

[Funnet 18 Mars 2021].

Scrosati, B. & Garce, J., 2010. *ScienceDirect*. [Internett]

Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775309020564>

[Funnet 24 April 2021].

Semiconductor, N., u.d. *Nordic Semiconductor*. [Internett]

Available at: <https://www.nordicsemi.com/Products/Low-power-short-range->

wireless/Bluetooth-5

[Funnet 12 mai 2021].

SigF, u.d. [Internett]

Available at: <https://www.avnet.com/wps/wcm/connect/onesite/03aebfe2-98f7-4c28-be5f-90638c898009/sigfox-technical-overview.pdf?MOD=AJPERES&CVID=magVa.N&CVID=magVa.N&CVID=magVa.N>

Sigfox, 2018. *Sigfox*. [Internett]

Available at: <https://www.avnet.com/wps/wcm/connect/onesite/03aebfe2-98f7-4c28-be5f-90638c898009/sigfox-technical-overview.pdf?MOD=AJPERES&CVID=magVa.N&CVID=magVa.N&CVID=magVa.N>

[Funnet 06 mai 2021].

Sigfox, u.d. *Sigfox.com*. [Internett]

Available at: <https://www.sigfox.com/en/coverage>

[Funnet 06 mai 2021].

Sintef, 2015. *Publikasjoner fra CRISTin - SINTEF Energi*. [Internett]

Available at: <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/handle/11250/2559113>

[Funnet 28 04 2021].

Soijoyo, S. & Ashari, A., 2017. *semanticscholar.org*. [Internett]

Available at:

<https://pdfs.semanticscholar.org/63cc/46240e66258dc35ede6699a4677616b8cc04.pdf>

[Funnet 7 April 2021].

Standard Norge, 2018. *NS-EN 13306 Vedlikehold - Vedlikeholdsterminologi*. [Internett]

Available at:

<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1022000>

[Funnet 12 04 2021].

Statnett, 2020. *Datascience @ Statnett*. [Internett]

Available at: <https://datascience.statnett.no/2020/01/29/retrofitting-the-transmission-grid-with-low-cost-sensors/>

[Funnet 26 04 2021].

Statnett, 2020. *Gassovervåkning av transformatorolje*. [Internett]

Available at: <https://www.statnett.no/om-statnett/fou-og-teknologiutvikling/vare-sentrale-prosjekter/gassovervaking-av-transformatorolje/>

[Funnet 29 04 2021].

Statnett, 2020. *Thermal modelling of transformers*. [Internett]  
Available at: <https://www.statnett.no/om-statnett/fou-og-teknologiutvikling/vare-sentrale-prosjekter/transformer-thermal-performance/>  
[Funnet 29 04 2021].

Stig Petersen, s., 2020. *Blackboard*. [Internett]  
Available at: <https://learn-eu-central-1-prod-fleet01-xythos.learn.cloudflare.blackboardcdn.com/5def77a38a2f7/7706208?X-Blackboard-Expiration=1621209600000&X-Blackboard-Signature=07bSFfTzFL%2Buk%2Fxf1B541C9P7qXtvA%2Bf4G5RIkCuq64%3D&X-Blackboard-Client-Id=303508&respons>  
[Funnet 17 Mars 2021].

Technologies, D., u.d. *Disruptive Technologies*. [Internett]  
Available at: <https://www.disruptive-technologies.com/hubfs/Help-Center/DT-White-Paper-Security.pdf>  
[Funnet 12 mai 2021].

technologies, d., u.d. *disruptive technologies*. [Internett]  
Available at: <https://support.disruptive-technologies.com/hc/en-us/articles/360010342900-Wireless-Temperature-Sensor>  
[Funnet 12 mai 2021].

Technologies, D., u.d. *Disruptive Technologies*. [Internett]  
Available at: <https://www.disruptive-technologies.com/>  
[Funnet 12 mai 2021].

technologies, d., u.d. *disruptive-technologies.com*. [Internett]  
Available at: <https://support.disruptive-technologies.com/hc/en-us/articles/360013965460-Wireless-Humidity-Sensor>  
[Funnet 14 mai 2021].

technologies, s. d., u.d. *support disruptive technologies*. [Internett]  
Available at: <https://support.disruptive-technologies.com/hc/en-us/articles/360011013300-Cloud-Connector-EU-4G>  
[Funnet 12 mai 2021].

Telenor, u.d. *Telenor*. [Internett]  
Available at: <https://www.telenor.no/bedrift/aktuelt/internet-of-things/iot-mobilnett/>  
[Funnet 06 mai 2021].

Telenor, u.d. *Telenor*. [Internett]  
Available at: <https://www.telenor.no/bedrift/iot/dekning/>  
[Funnet 06 mai 2021].

Telenor, u.d. *Telenor*. [Internett]

Available at: [https://www.telenor.no/bedrift/iot/iot-nettverksteknologi/?gclid=EAIaIQobChMIso-Cqcar8AIVgqOyCh2iFAShEAAAYASAAEgIrLfd\\_BwE&ef\\_id=EAIaIQobChMIso-Cqcar8AIVgqOyCh2iFAShEAAAYASAAEgIrLfd\\_BwE%3AG%3As&s\\_kwcid=AL%21285%213%21296469541105%21b%21%21g%21%21%2Bnb%20%2Bi](https://www.telenor.no/bedrift/iot/iot-nettverksteknologi/?gclid=EAIaIQobChMIso-Cqcar8AIVgqOyCh2iFAShEAAAYASAAEgIrLfd_BwE&ef_id=EAIaIQobChMIso-Cqcar8AIVgqOyCh2iFAShEAAAYASAAEgIrLfd_BwE%3AG%3As&s_kwcid=AL%21285%213%21296469541105%21b%21%21g%21%21%2Bnb%20%2Bi)

[Funnet 12 mai 2021].

Telenor, u.d. *Telenor*. [Internett]

Available at: <https://www.telenor.no/bedrift/iot/dekning/>

[Funnet 12 mai 2021].

Telenor, u.d. *Telenor bedriftsbutikk*. [Internett]

Available at: <https://bedriftsbutikk.telenor.no/m2m/>

[Funnet 12 mai 2021].

Telenor, u.d. *Telenor.no*. [Internett]

Available at: <https://www.telenor.no/dekning/>

[Funnet 06 mai 2021].

Telenor, u.d. *Telenor.no*. [Internett]

Available at: <https://www.telenorconnexion.com/iot-insights/lte-m-vs-nb-iot-a-guide-exploring-the-differences-between-lte-m-and-nb-iot-b/>

[Funnet 06 mai 2021].

Telenor, u.d. *Telenor.no*. [Internett]

Available at: <https://www.telenor.no/dekning/4g/>

[Funnet 06 mai 2021].

Telia, u.d. *Telia*. [Internett]

Available at:

[https://www.telia.no/contentassets/63ccd759311a4f66acbb03d127e72546/product\\_sheet-nb-iot\\_lte-m.pdf](https://www.telia.no/contentassets/63ccd759311a4f66acbb03d127e72546/product_sheet-nb-iot_lte-m.pdf)

[Funnet 05 mai 2021].

Tensio, 2021. *Strøm til hele Norge*. [Internett]

Available at: <https://tensio.no/aktuelt/strom-til-hele-norge>

[Funnet 08 05 2021].

The Things Network , 2021. <https://www.thethingsnetwork.org>. [Internett]

Available at: <https://www.thethingsnetwork.org/country/norway/>

[Funnet 5 April 2021].

Tikhvinskiy, V., Bochechka, G., Gryazev, A. & Aitmagambetov, A., 2018. [Internett]  
Available at:  
<https://www.researchgate.net/publication/326077918> Comparative Analysis of QoS Management and Technical Requirements in 3GPP Standards for Cellular IoT Technologies  
[Funnet 06 mai 2021].

Vejlgaard, B. et al., 2017. *ieee explore*. [Internett]  
Available at:  
[https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8108666?casa\\_token=tqq5ZR\\_RScAAAAA:EI\\_AJGTYVaUHzfLPtuj1RBK1HHISdKftLKfyCjkoBEvQG5lbWsj1cVNmuF6wQ1dOedZdvKyBQ8o](https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8108666?casa_token=tqq5ZR_RScAAAAA:EI_AJGTYVaUHzfLPtuj1RBK1HHISdKftLKfyCjkoBEvQG5lbWsj1cVNmuF6wQ1dOedZdvKyBQ8o)  
[Funnet 06 mai 2021].

Xie B., Z. D. H. T., 2020. *Transformer Monitoring and Protection in Dynamic Power Systems – A Review*. [Internett]  
Available at: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2020.00150/full>  
[Funnet 22 04 2021].

Yang H., Z. Z. Y. X., 2017. *A Novel Method of Decision-Making for Power Transformer Maintenance*. [Internett]  
Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1002/tee.22618>  
[Funnet 22 04 2021].

Zhang C., H. Y. D. B. Y. L. L. B. J. S., 2020. *Transformer fault diagnosis method using IoT based monitoring system and ensemble machine learning*. [Internett]  
Available at:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X19334727?via%3Dihub>  
[Funnet 22 04 2021].



## A3-poster

## SENSORTEKNIKK I TRANSFORMATORSTASJON

**Bakgrunn**

Ulike sensorer har stort potensiale til å gi anleggsiere bedre overvåking av sine høyspentanlegg. Det finnes også muligheter til å foruse vedlikehold av komponenter som krafttransformatorer ved bruk av sensorer.

Bransjen har hatt lite utvikling på dette området siden strømmettet ble bygget ut og her finnes det i dag et stort forbedringspotensial.

**Problemstilling**

Med bakgrunnen og oppgaven tatt i betraktning, skulle det da vurderes om et system bestående av sensorer og med mulighet for å kommunisere til en driftssentral/ sentralt beliggende lokasjon, kunne forbedre vedlikeholdet og sikkerheten i og rundt transformatorstasjoner.

Problemstilling ble da som følgende:

Kan et system med sensorer forbedre sikkerheten og vedlikeholdet i transformatorstasjoner?

**Oppgaven**

Oppgaven går ut på å se på hvilke sensorer som kan være aktuelle, for å forbedre vedlikeholdet og sikkerheten i og rundt transformatorstasjoner, og hvordan disse skal kommunisere med en driftssentral/sentralt beliggende lokasjon.

**Konklusjon og resultat**

Konklusjonen er at et system med sensorer bidrar til å forbedre sikkerheten og vedlikeholdet i transformatorstasjoner.

Vi testet ut et system som ble valgt som løsning på problemstillingen. Resultatene fra testene viste at det var fullt mulig å ha et slikt system operativt i praksis.

