

OVERVÅKNING AV NETTSTASJONER VED BRUK AV MODERNE SENSORTEKNOLOGI

Prosjektet skal bidra til å øke sikkerhet og pålitelighet ved drift av Agder Energi sitt distribusjonsnett

KRISTIAN ØEN
SIMEN RASMUSSEN
MARKUS STØVER EGELAND

VEILEDERE

Odin Kvam
Per-Oddvar Osland
Tore Vehus

MODERNE SENSORTEKNOLOGI I NETTSTASJONER

Anvendt sensorteknologi i nettstasjoner



Markus Støver Egeland



Simen Rasmussen



Kristian Øen

Studie:

Fornybar Energi,
Ingeniørfag - Bachelor

Obligatorisk gruppeerklæring

Den enkelte student er selv ansvarlig for å sette seg inn i hva som er lovlige hjelpemidler, retningslinjer for bruk av disse og regler om kildebruk. Erklæringen skal bevisstgjøre studentene på deres ansvar og hvilke konsekvenser fusk kan medføre. Manglende erklæring fritar ikke studentene fra sitt ansvar.

1.	Vi erklærer herved at vår besvarelse er vårt eget arbeid, og at vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.	Ja
2.	Vi erklærer videre at denne besvarelsen: <ul style="list-style-type: none">• Ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands.• Ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt.• Ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt.• Har alle referansene oppgitt i litteraturlisten.• Ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse.	Ja
3.	Vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å betrakte som fusk og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. Universitets- og høgskoleloven §§4-7 og 4-8 og Forskrift om eksamen §§ 31.	Ja
4.	Vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert.	Ja
5.	Vi er kjent med at Universitetet i Agder vil behandle alle saker hvor det forligger mistanke om fusk etter høgskolens retningslinjer for behandling av saker om fusk.	Ja
6.	Vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av kilder og referanser på biblioteket sine nettsider.	Ja
7.	Vi har i flertall blitt enige om at innsatsen innad i gruppen er merkbart forskjellig og ønsker dermed å vurderes individuelt. Ordinært vurderes alle deltakere i prosjektet samlet.	Nei

Publiseringsavtale

Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten (Åndsverkloven. §2).

Oppgaver som er unntatt offentlighet eller taushetsbelagt/konfidensiell vil ikke bli publisert.

Vi gir herved Universitetet i Agder en vederlagsfri rett til å gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:	Ja
Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?	Nei
Er oppgaven unntatt offentlighet?	Nei

Forord

Denne rapporten er en praktisk instrumenteringsoppgave og er resultatet av den avsluttende bacheloroppgaven i emnet ENE304. Dette emnet er avsluttende for det 3-årige ingeniørstudiet "Fornybar Energi" ved Universitetet i Agder, Campus Grimstad. Oppgaven og rapporten er utarbeidet og formet i samarbeid med Agder Energi Nett. Ønsket for å arbeide med Agder Energi Nett er deres kompetanse og ressurser, samt at bedriften i stor grad utfører både utførende og planleggende arbeid. Dette passer gruppen svært godt da alle gruppemedlemmene har praktisk utdanning innen ulike relevante fagfelt.

Parallelt med skriveprosessen har det også blitt gjennomført praktisk feltarbeid som er tett knyttet opp mot oppgaven og problemstillingen. Dette har bidratt til å gi oppgaven faglig tyngde ved å kunne kombinere datautvalg fra Agder Energi sine datasystemer med de kvalitative undersøkelsene vi selv har gjort i felt. På bakgrunn av den innhentede informasjonen er det utarbeidet en veiledning for videre arbeid, denne er vedlagt rapporten.

Vi må takke Per-Oddvar Osland ved Agder Energi for veiledning og engasjement gjennom arbeidet med oppgaven. Forhåpentligvis vil rapporten gi Agder Energi og andre lesere en dypere forståelse av hvordan feiltilstander i nettstasjoner kan overvåkes ved hjelp av Disruptive Technologies sin sensorteknologi, samt hvilken verdi et slikt system vil ha for Agder Energi. Det rettes en spesiell takk til senioringeniør Odin Kvam ved Universitetet i Agder for hjelpen med produksjonen av prototyper til prosjektet. Øvrige ansatte i Agder Energi og Disruptive Technologies skal også takkes for deres faglige innspill til studien.

Simen Rasmussen

Simen Rasmussen

Markus S. Egeland

Markus S. Egeland

Kristian Øen

Kristian Øen

Sammendrag

Utvikling av teknologi og en avhengighet av elektrisk energi legger til rette for en utvikling av måten distribusjonsnettene driftes på. Målet med følgende studie er å undersøke hvilken nytte moderne sensorteknologi har for Agder Energi Nett. Fokuspunktene når nytten undersøkes er pålitelighet og sikkerhet i distribusjonsnettene. I dette inngår hovedsakelig leverings- og personsikkerhet. For å besvare problemstillingen benytter studien seg hovedsakelig av situasjonsreplikerende forsøk og dataanalyser som studeres på kvalitative metoder. For å kunne komme frem til en konklusjon ble utformingen på sensorovervåkingen utarbeidet for å undersøke om det er mulig å innhente kredible data. En beskrivelse av utformingen ligger vedlagt og ansees som forutsetninger for konklusjonen.

Studien trekker en rekke konklusjoner som er relevant for pilotprosjektets utvikling, og en helhetlig konklusjon av sensorsystemets bidrag til Agder Energi Nett sin arbeidshverdag. Sensorsystemet viser seg å kunne gi gode indikasjoner på transformator tilstand og dørstilling i nettstasjoner. Nyttene dette vil ha for Agder Energi er at de kan utsette investeringer, planlegge forebyggende vedlikehold og øke personsikkerhet. Totalt sett vil dette gi et godt overblikksbilde over ønskede nettstasjoner og bidra til å øke tryggheten Agder Energi har overfor eget distribusjonsnett.

Abstract

The development of technology and dependence on electrical energy paves the way for the development of the power grid and how it is operated. The aim of the following study is to investigate which benefit modern sensor technology has for Agder Energi Nett. The focus points when the usefulness sought is reliability and safety in the distribution network. This mainly includes safety of energy delivery and personal safety. To answer the problem, the study mainly uses situation-replicating experiments and data analysis that are studied using qualitative methods. To conclude, the design of the sensor monitoring was prepared to investigate whether it is possible to obtain credible data or not. A description of the guidance is attached in the appendix and is considered a prerequisite for the conclusion.

The study draws several conclusions that are relevant to the pilot project's development, and a comprehensive conclusion of the sensor system's contribution to Agder Energi Nett's workday. The sensor system proves to be able to give good indications of the transformer's condition and the door position in substations. The benefit this will have for Agder Energi is that they can postpone investments, plan preventive maintenance, and increase personal safety. Overall, this will provide a good overview of desired substations and help increase the reliability Agder Energi has in its own distribution network.

Innhold

Liste over figurer	ix
Liste over tabeller	x
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Prosjektets historikk	1
1.3 Problemstilling	2
1.3.1 Problemdefinisjon	2
1.3.2 Etikk og samfunnsperspektiv	2
1.3.3 Avgrensninger	2
1.3.4 Forutsetninger	3
2 Utstyr, leverandører og systemer	4
2.1 Agder Energi	4
2.1.1 Nettstasjoner	5
2.2 Norsk Transformator	6
2.2.1 EcoSmart sensor	6
2.3 Disruptive Technologies	6
2.3.1 Oppdaterings-intervall, samplingsrate & batteritid	7
2.3.2 Cloud Connector	8
2.3.3 Temperatursensor	9
2.3.4 Dørsensor	9
2.3.5 Luftfuktighetsensor	9
2.3.6 Vannivåsensor	9
2.3.7 Range extender & Boost mode	9
2.4 Datasystemer	10
2.4.1 PowerBI	10
2.4.2 FASIT	10
2.4.3 DT Studio	11
3 Teori	12
3.1 Transformator	12
3.1.1 Levetid	14
3.1.2 Beregning av hot-spot temperatur	14
3.1.3 Beregning av levetid	15
3.1.4 Belastning av transformatorer	17
3.1.5 Transformatorer i Norge	17
3.2 Sikkerhets- og overvåkingskrav for nettstasjon	18
3.2.1 REN	18
3.2.2 DSB	19
4 Metode	20
4.1 Analyse av feilstatistikker i kraftnettet	21

4.2	Risikovurdering	21
4.3	Sensorlokasjoner & HMS-rapport	22
4.4	Feil lokalisering	22
4.5	Praktisk metode	22
4.5.1	Feltundersøkelser	23
4.5.2	Sensor plasseringer / installasjon	23
4.5.3	Omgivelsestemperatur & usikkerhet	24
5	Resultater & Diskusjon	25
5.1	Resultater fra feilstatistikker	25
5.1.1	Transformator	25
5.1.2	Føringer	26
5.2	Feilsituasjoner og overvåkning	27
5.3	Risikovurdering av feilsituasjoner	27
5.4	Analyse overbelastede transformatorer	28
5.5	Feilresultater ved monterte sensorer og data	32
5.5.1	Feiloversikt	32
5.5.2	Sensorlevetid	33
5.5.3	Feilresultater Dørsensor	34
5.5.4	Usikkerhetsmomenter ved temperaturmålinger	35
5.5.5	Elektromagnetisme og signaler	36
5.5.6	Flere usikkerheter rundt Disruptive Technologies	36
5.6	Nytteverdi temperatursensor	38
5.6.1	Temperatur og levetidsberegninger	38
5.6.2	Bruksområde temperatursensor	39
5.7	Praktiske tiltak	39
5.7.1	Protokoll	40
5.7.2	Nettstasjons utvalgsgrunnlag for sensormontasje	41
5.7.3	Rutiner	41
5.7.4	Sensormontasje	42
5.8	Vurdering av Disruptive Technologies	43
5.8.1	Elvias vurdering	43
5.8.2	Statnetts vurdering	43
5.8.3	NTNU bachelors vurdering	44
5.8.4	Oppsummering av vurderinger	45
6	Konklusjon	46
6.1	Montasje	46
6.2	Plassering og utvalg	47
6.3	Arbeidsrutiner ved behandling av data	47
6.4	Helhetlig konklusjon	48
7	Videre arbeid	49
7.1	Topp-oljetemperatur	49
7.2	Føringstemperatur	50
	Litteraturliste	51
A	Datasheet A	56
A.1	Risikovurdering mal	56
A.2	Installasjonsprotokoll	57
A.3	Feilstatistikk fra AEN	67
A.4	Montasjebeskrivelse EcoSmart	68
A.5	Lavspentføringer i nettstasjon	71

Figurer

2.1	AEN sitt geografiske ansvarsområde	4
2.2	Nettstasjons typer. f.v. frittstående nettstasjon, mastemontert transformator, innvendig betjent nettstasjon. Bildene er hentet fra AEN interne database. . .	5
2.3	Logo - Norsk Transformator	6
2.4	EcoSmart sensor for smart overvåking av transformator	6
2.5	Kommunikasjon mellom forskjellige komponenter	7
2.6	Levetid og oppdateringsfrekvens	7
2.7	Batteritid som konsekvens av oppdaterings-intervall	8
2.8	Range extender	9
2.9	Microsofts skyløsning PowerBI	10
2.10	Project Dashboard	11
3.1	Illustrert utvendig og innvendig av en transformator	12
3.2	Konveksjons prinsippet ved transformator	13
3.3	Relativ aldringshastighet, Møre Trafo vs IEEE	16
3.4	Forside RENBLAD 6025	19
4.1	Flytdiagram for fremgangsmåte mot problemstilling	20
4.2	Bakenforliggende feilårsaker for nettstasjoner	21
4.3	Plassering av temperatursensorer på transformator	23
5.1	Utløsende årsak for transformatorfeil	25
5.2	Bakenforliggende årsak for transformatorfeil	25
5.3	Feil- og bakenforliggende årsak på føringer	26
5.4	Feil- og bakenforliggende årsak på kabel	26
5.5	Overbelastnings antall for trafostørrelser hentet fra tabell 5.3	28
5.6	Timer overlast pr trafostørrelser hentet fra tabell 5.3	29
5.7	Belastningsdata transformator	30
5.8	Sensordata transformator	30
5.9	Værstasjonsdata ved transformator lokalisasjon	31
5.10	Feilstatistikk sensorer	32
5.11	Utdrag av signalstyrke og temperatur i tidsrommet hvor sensoren mister kontakt	33
5.12	Feildata fra dørsensor gjennom PowerBI. Data fra 31.03.2022 - 27.04.2022 . .	34
5.13	Sensortilstand hentet gjennom DT-studio. Batteritilstand 100%	34
5.14	Visualisering av solposisjon	35
5.15	Utetemperatur på nettstasjon målt 15.april.2022	35
5.16	Registrerte hendelser og signaltap	37
5.17	Cloud Connector i nettstasjon	38
5.18	Belastningsoversikt Transformatorer	39
5.19	Vennndiagram over overvåkings-aspekter	40
5.20	Monteringsbrakett for magnetsensor	42
5.21	Monteringsbrakett for magnetsensor med slot for antenne	42
5.22	Rekkevidde gjennom betong	45

Tabeller

3.1	Temperatur, aldringshastighet og levetid	16
3.2	Belastningsfaktor som funksjon av omgivelsestemperatur og overtemperatur .	17
3.3	Overvåkingsparametere fra RENBLAD 6025	18
5.1	Overvåkbare faktorer	27
5.2	Feilårsaker plottet i risikovurderingstabell	27
5.3	Overbelastede transformatorer 2022	28
5.4	Oversikt over sensorplassering	32
5.5	Klassifiseringer i AEN sin HMS-risikoprofil	41

Definisjoner

Begrep	Forkortelse	Definisjon
Agder Energi	AE	AE en av landes ledene aktører på fornybar energi [1].
Agder Energi Nett	AEN	Datterselskap av AE som har ansvaret for driften av strømmettet [1].
Avansert måle- og styringssystem	AMS	Nye digitale strømmålere som gir avlesning av strøm i sanntid [2].
Cloud Connector	CC	Kommunikasjonsmodul mellom sensorer og skylagrings tjenesten [3].
Disruptive Technologies	DT	Leverandør av sensorteknologi [4].
Feil- og avbruddsstatistikk i totalnettet	FASIT	Database for registrering av feil i strømmettet [5].
Hot-Spot temperatur	HST	Varmeste punkt i en transformator, oftest i rundt viklingene [6].
Kvalitetsjusterte inntektsrammer ved ikke-levert energi	KILE	KILE brukes til og beregne kostnader ved strømafbrudd [7].
Secure Data Shot	SDS	Metode for sikker overføring av informasjon mellom Sensorer og CC [3].
Topp olje temperatur	TOT	Temperaturen til oljen i toppsjiktet av oljen i transformatoren [6].
Universitetet i Agder	UiA	Universitetet i Agder

Kapittel 1

Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Forbruk av elektrisitet er blitt en selvfølge for de fleste i nærmest alle land. Bare siden 1990 har verdens forbruk av energi gjennom elektrisitet økt med 100% [8]. Her til lands har ikke økningen vært like drastisk da den kun har økt med 25%. Til tross for at forbruket ikke har vokst dramatisk har derimot forbruksmønsteret endret seg betraktelig. Etterspørselen etter store mengder elektrisk energi over korte tidsrom har blitt større, mye som følge av elektriske kjøretøy som krever store ladestrømmer [9]. Resultatet av dette endrede forbruksmønsteret er betraktelig høyere momentanlaste i nettet. Dette leder igjen til overbelastninger på transformatorer som ikke var dimensjonert for disse lastene. Ettersom hverdagen forventer tilgang til elektrisitet for matlaging, transport, arbeid og lignende er viktigheten av et trygt og operativt strømmnett viktigere enn noen gang. Derfor er det ønskelig i denne oppgaven kombinere praktiske og teoretiske metoder for å undersøke hvordan sensorovervåking kan bidra til å gjøre strømmettet sikrere og mer pålitelig. Det er også ønskelig å undersøke om samme sensorteknologi kan benyttes for å estimere levetid for en transformator

1.2 Prosjektets historikk

Implementasjonen av sensorteknologi i nettstasjoner startet som et pilot- og samarbeidsprosjekt mellom flere aktører. Gjennom forskningssenteret «Centre for Intelligent Electricity Distribution» (CINELDI), ledet av Sintef Energi ble pilotprosjektet utledet [10]. Dette pilotprosjektet skulle fremstille og legge til rette for fremtidens smarte kraftnett i Norge, der Agder Energi (AE) sammen med andre nettleverandører som Statnett og Elvia skulle teste ut sensorbrikker og sensorovervåking. Høsten 2019 startet Agder Energi Nett (AEN) implementasjonen av sensorsystem som skulle innhente momentan tilstandsinformasjon fra nettstasjoner. Sensorene som ble montert var blant annet overflate transformortemperatur og dørstilling der hvor transformatoren var montert i kiosk. Sensorene ble montert i 31 nettstasjoner og mastemonterte transformatorer, men prosjektet ble satt på pause grunnet en global pandemi og en omprioritering av fokus. Dette medførte at det ikke var kapasitet til å bearbeide og analysere nødvendig informasjon. I prosjektet ble det i liten grad undersøkt bruk av dørsensorer, samt at temperatursensorene hadde en reliabilitetsutfordring som begrenset en utstrakt bruk av sensorene. I desember 2021 ble prosjektet gjenopptatt og tildelt som en bacheloroppgave for studenter ved Universitetet i Agder. Fra 2019 frem til skrivende stund har det vært utvikling i sensorteknologien og det har kommet løsninger som potensielt kan bidra til å løse utfordringene som prosjektet tidligere har stått ovenfor. Pilotprosjektet er derfor modent for å videreføres og undersøkes på ny.

1.3 Problemstilling

Hvilken nytte har sensorovervåkning i nettstasjoner og hvordan kan dette benyttes for å øke sikkerhet og pålitelighet i Agder Energi sitt distribusjonsnett?

1.3.1 Problemdefinisjon

Den følgende oppgaven skal bidra til å kartlegge i hvilken nytte sensorteknologi tilknyttet nettstasjoner og transformatorer har, og om det kan bidra til et sikrere og mer pålitelig distribusjonsnett for AEN. Gjennom dette skal det også undersøkes hvilke faktorer som må ligge til grunn for at datainnsamlingen fra sensorene skal være pålitelig slik at AEN kan stole på og utføre handlinger på bakgrunn av dataene. Ettersom behovet for sensorteknologi ikke er homogent i kraftnettet er det essensielt at oppgaven avklarer hvor behovet for overvåkning er størst, og resultatet av oppgaven direkte kan benyttes i AEN sin arbeidsflyt.

I tillegg ønsket AEN å undersøke diverse feil og usikkerheter knyttet til montasje og innsamling av data. De opplevde ved flere tilfeller at temperatursensorer kuttet ut og ble defekte etter betydelig kortere tid enn den estimerte levetiden. Oppgaven skal derfor legge frem eventuelle feilkilder og tiltak for å utbedre dette. Basert på konklusjonene som trekkes i rapporten skal det også utarbeides en installasjonsprotokoll for implementasjonen av sensorene i kraftnettet.

1.3.2 Etikk og samfunnsperspektiv

Oppgaven skal bidra til å forsterke AE sine visjoner og verdier gjennom å styrke kraftnettet. Dette inkluderer å tilgjengeliggjøre fornybar energi, samt å fremme nærhet, troverdighet, handlekraft, nytenkning og kreativitet [11]. Hensikten er at oppgaven skal være med på å forlenge kraftnettets levetid, samt øke pålitelighet og sikkerhet gjennom å innhente informasjon som tidligere har vært utilgjengelig. Informasjonen skal sørge for at komponenter ikke går i stykker og må kastes, i tillegg til å avdekke feilsituasjoner før de oppstår, og dermed motarbeide bruk- og kastsamfunnet.

1.3.3 Avgrensninger

Studien begrenser seg gjennom at den ikke utforsker andre sensorleverandører, og kun forholder seg til leverandører som er forhåndsvalgt av AEN. Økonomiske aspekter rundt valg og montasje av utstyr omfattes ikke av rapporten, på denne måten vil rapporten legge frem en teknisk overvåkningsmodell som ikke begrenses av økonomiske spørsmål.

Informasjonen som rapporten bygges på er hentet ut ifra et utvalg på 31 nettstasjoner i AE sitt distribusjonsnett¹ med forhåndsmonterte sensorer, i tillegg til øvrige sensorer som er montert i løpet av prosjektets forløp. Grunnet dette er det ingen garanti for at rapporten er overførbar for nettstasjoner konstruert annerledes enn nettstasjonene i utvalget.

¹Distribusjonsnettet omfatter kraftforsyning fra regionalnettet frem til forbruker og gjelder for spenningsnivåer fra 22kV til 230V.

Energibransjens regler og føringer rundt HMS og adgangstillatelser, kompliserer arbeid tilknyttet montasje av sensorer for uautorisert personell. Blant annet sensorer montert direkte i transformatoroljen begrenser seg av garantien på transformatoren dersom forseglingen på transformatoren brytes. Konsekvensen av dette er at det ikke har blitt hentet inn en topp-oljetemperatur for anvendelse i prosjektet, selv om det til over midtveis i prosjektet ble antatt at denne skulle overvåkes. Videre begrenser montasjen av Disruptive Technologies sensorene seg av tilgang til nettstasjoner og muligheten til planlegging av eventuelle strømstanser, samt at det kan kreve montasje i høyden. Det har også resultert i at et lavt antall av nye sensorer som har blitt montert gjennom feltarbeid, noe som gir et mindre men enn tiltenkt datagrunnlag.

1.3.4 Forutsetninger

Gjennom hele studien benyttes aktivt data fra AE sine databaser. Omfanget av emnet og tilganger hos AE tillater ikke å kryssjekke om informasjonen stemmer til enhver tid. På bakgrunn av dette tas det forbehold om at informasjonen som ikke omfatter sensordata hentet fra datasystemene til AE stemmer.

Kapittel 2

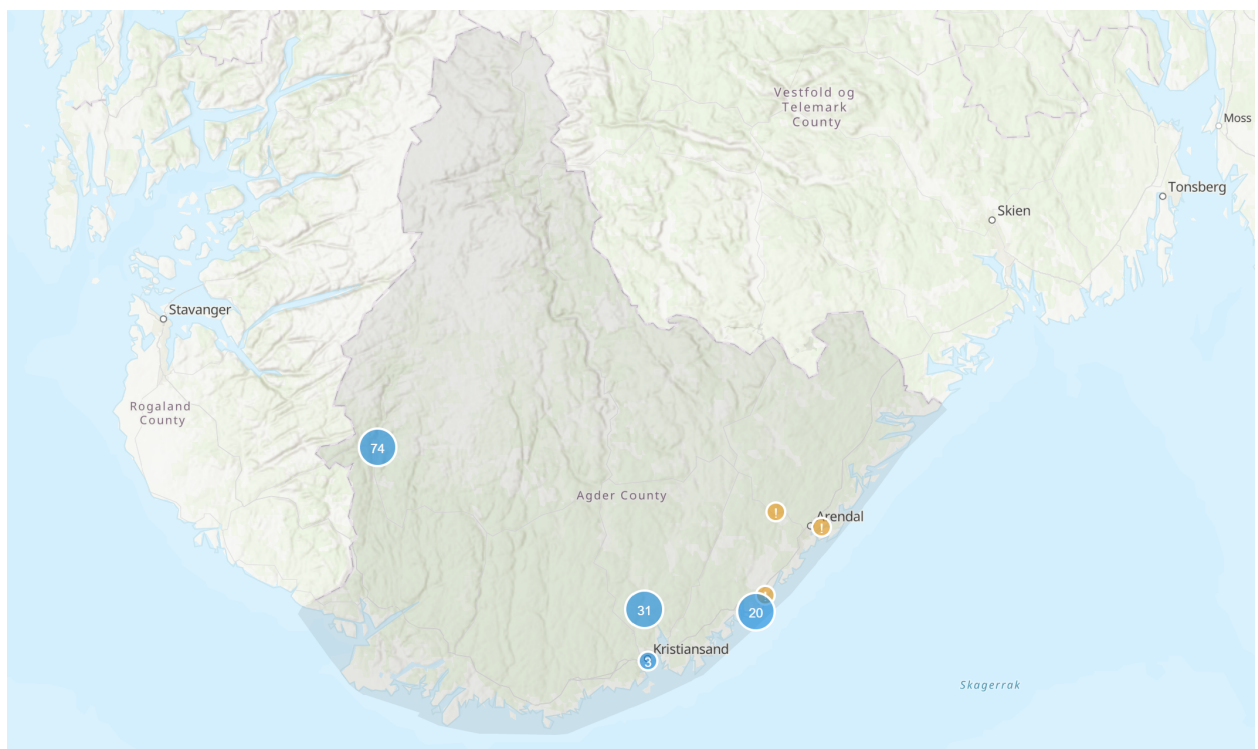
Utstyr, leverandører og systemer

Følgende kapittel er en sammenfatning av leverandører, utstyr og datasystemer som er benyttet i oppgaven. Kapitlet legger frem relevant informasjon som er nødvendig for en dypere forståelse ved videre lesning.

2.1 Agder Energi

Agder Energi Nett (AEN) er en del av Agder Energi (AE) konsernet. AEN leverer energi til over 207000 kunder over hele Agder [12]. Bedriftens ansvar er å drifte og vedlikeholde det elektriske regional- og fordelingsnettet i Agder. Omfanget av dette ansvaret inkluderer 22100 kilometer med kraftlinjer og kabler og 8330 nettstasjoner. Visjonen til AEN er:

«Agder Energi Nett skal sikre forretnings- og samfunnsoppgaven gjennom å oppnå mer for mindre.»



Figur 2.1: AEN sitt geografiske ansvarsområde

2.1.1 Nettstasjoner

I henhold til AEN sine systemer inneholder distribusjonsnettet over 8500 nettstasjoner. Nettstasjonene er knutepunktet for distribusjonen av kraft fra nettselskapene og ut til kunden. Disse har som formål å transformere energien fra et spenningsnivå til et annet ved hjelp av en transformator og kan da endre spenningen fra høy- til lavspent², og motsatt. De skal også fungere som et fordelingspunkt og sikre selektivitet i nettet ved hjelp av sikrede kurser frem til fordelingsskap og videre ut i nettet. Nettstasjonene består av tre hovedkomponenter som er transformator, høyspent-bryteranlegg og lavspent-fordelingstavle. Høyspent-bryteranlegget består av celler også kaldt kabelavganger. Disse har som formål å koble inn, ut og jordslutte kabler. Videre fra transformatoren er en lavspent-fordelingstavle som inneholder en rekke sikringslister som sikrer forsyningen videre ut i nettet [13]. Disse nettstasjonene kommer som en rekke forskjellige stasjonstyper avhengig av plassering, nytte og behov [14]. Denne studien vil fokusere på tre forskjellige stasjonstyper. Frittstående, mastemontert og i bygg, som vist på figur 2.2.



Figur 2.2: Nettstasjons typer. f.v. frittstående nettstasjon, mastemontert transformator, innvendig betjent nettstasjon. Bildene er hentet fra AEN interne database.

En frittstående nettstasjon står ofte utenfor bykjernene og gjerne i boligstrøk. Dette er grunnet at de gjerne opptar mye plass. Nyere frittstående nettstasjoner ser gjerne ut som små hus eller skjul, gjerne med trekledning eller lakkerte stålplater. Disse nettstasjonene er utformet for enten innvendig eller utvendig betjening. Innvendig betjente har ofte kun en dør, slik at betjeningen av høyspent og lavspent bryteranlegg skjer fra innsiden. Utvendig betjente nettstasjoner har gjerne separerte dører for lavspent-, høyspent- og transformatorrom [15].

Mastmonterte transformatorer er transformatorer plassert høyt oppe i høyspentstolper. Disse blir ofte plassert i strøk hvor luftlinjer er dominerende, og det er utfordrende med et strømmnett forlagt i bakken. Her skjer all betjening av brytere og sikringer fra bakkenivå.

I bykjernene befinner nettstasjonene seg gjerne i et tiltenkt rom i bygget. Dette er grunnet lite tilgjengelig plass og for å begrense tilgang. Dette er en effektiv måte å plassere strømmettet i allerede eksisterende infrastruktur. Disse har også fordelen med og kunne levere strømmen direkte fra transformatoren og til skinnepakker direkte tilkoblet hovedtavlen i bygget, hvor transformatoren står montert.

²Høyspenning fra 1000V vekselspanning og 1500V likespenning og oppover. Lavspanning fra 1000V vekselspanning og 1500V likespenning og nedover

2.2 Norsk Transformator

Norsk Transformator er en av hovedleverandørene av transformatorer til AEN, og en stor andel av eksisterende transformatorer i nettet er derfor fra denne leverandøren. Underlag fra og relatert til Norsk Transformator blir derfor relevant da det er ønskelig at oppgaven blir så aktuell og anvendelig som mulig for AEN. Norsk Transformator er en norsk bedrift som står for produksjonen av ca 2500 Transformatorer årlig [16]. Norsk Transformator har lang erfaring med produksjon av transformatorer i høy kvalitet. Dette er en norsk bedrift om baserer seg på produksjon i Norge ettersom tidligere eier ABB valgte å flagge ut produksjonen til Asia [16].



Figur 2.3: Logo - Norsk Transformator [16]

2.2.1 EcoSmart sensor

Norsk Transformator har vært tidlige ute med utvikling av sensorer for overvåking av transformatorer. Bakgrunnen for overvåkningen er å tilfredsstille behovet for overvåking av det moderne kraftnettet ved hjelp av EcoSmart-sensoren [17]. Denne sensoren vil kunne gi sanntids overvåking av olje temperatur og trykk, da sensoren er montert direkte ned i transformatoroljen. Sensoren krever kablet løsning for spenning og signaloverføring, og vil dermed gi muligheten til å sende signal til et eventuelt bryteranlegg for utkobling ved feil eller havari, og dermed kunne avverge potensielle farlige situasjoner.



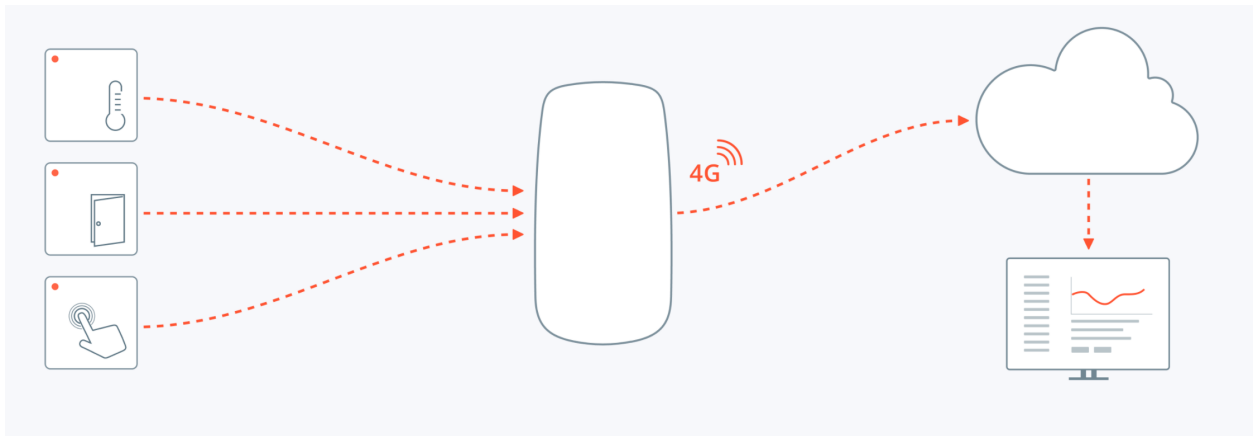
Figur 2.4: EcoSmart sensor for smart overvåking av transformator [17].

2.3 Disruptive Technologies

Utvalgt sensorleverandør for AEN sitt pilotprosjekt er Disruptive Technologies (DT). DT sine sensorer ble testet i et pilotprosjekt gjennomført i regi av CINELDI sammen med flere store nettselskaper. Det var derfor naturlig å bygge videre på observasjonene gjort i dette prosjektet ved å fortsette å benytte samme sensorleverandør. DT er et norsk teknologiselskap stiftet i 2013 som utvikler og produserer trådløse sensorer og IoT-infrastruktur³. Selskapet er kjent for sine små trådløse sensorer og har vunnet en rekke priser, blant annet prisen for verdens minste sensor og IoT system[19], som blir brukt i denne rapporten. For overvåking av temperatur, nærhet, luftfuktighet og vann, har AEN benyttet sensorer fra DT. Dette er små trådløse sensorer som limes på en overflate og kommuniserer via en Gateway⁴ som heter Cloud Connector (CC). Videre fra CC blir dataen overført via DT sin skyløsning, der den kan integreres og avleses hos bruker som illustrert i figur 2.5.

³Internet of things (Iot) - «IKT-system hvor et stort antall fysiske enheter kommuniserer med hverandre og med internett»[18]

⁴H. Dvergsdal og T. Ulseth - «Gateway er en mellomstasjon på veien fra en avsender til en mottaker» [20]

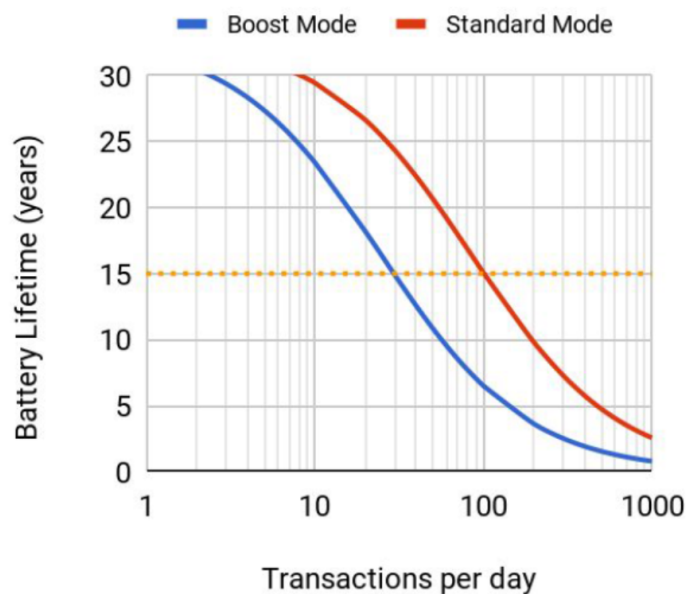


Figur 2.5: Kommunikasjon mellom diverse komponenter [21]

Figur 2.5 viser stegene fra sensoren til avlesbar data. Informasjon fra sensorene blir sendt trådløst til CC, videre fra denne blir informasjonen lastet opp i en sky-løsning der den kan leses av. Måle- og sensoridentitetsdata er kryptert i selve sensorene og forblir kryptert gjennom overføringen fra sensoren til CC videre til DT skyløsning. Informasjonen går så videre til de gjeldende aktørens applikasjoner, som forklart under avsnitt 2.4.1.

2.3.1 Oppdaterings-intervall, samplingsrate & batteritid

Sensorene til DT er trådløse sensorer, noe som betyr at de må ha batteri integrert for å kunne holdes i drift. Dette begrenser sensorens levetid som konsekvens av batteriets kapasitet, der levetiden vil bli påvirket av både oppdaterings-intervallet og temperatur. Oppdateringsintervallet, eller som DT kaller det «heart-beat» til sensoren er hvor ofte den registrerer og sender data. Ved romtemperatur på 25° grader og oppdaterings-intervall på 15 minutt (100 ganger per dag), vil forventet levetid være 15 år, som fremstilt i figur 2.6.



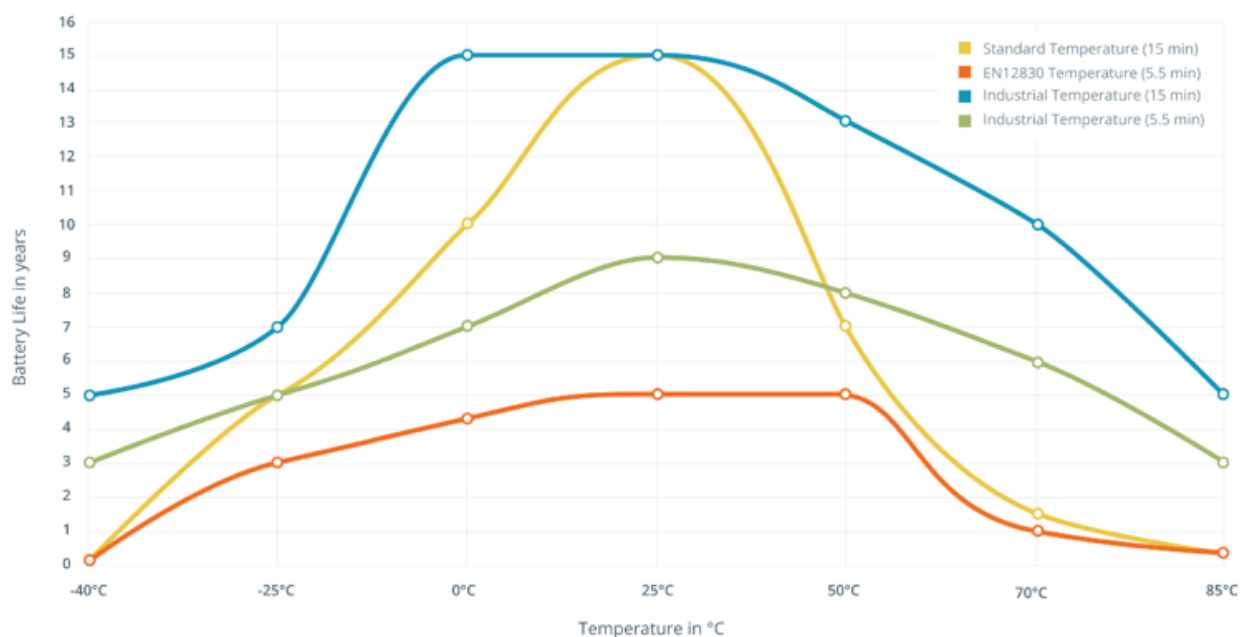
Figur 2.6: Levetid og oppdateringsfrekvens [22]

DT tilbyr ved skrivende tidspunkt fire ulike typer temperatursensorer [23], som er:

- Standard Temperatur Sensor (100118)
- Standard Temperatur Sensor V2 (102150)
- Industri Temperatur Sensor (101945)
- Industri Temperatur Sensor EN12830/330s (100587)

AEN har installert standard temperatursensor (100118) ettersom dette var den eneste sensoren på markedet da montasjen ble iverksatt. I senere tid har DT lansert nye temperatursensorer som skal være tilpasset ulike bruksområder. Det har blitt utført tester på noen av disse forskjellige sensorene for å avgjøre deres egnethet til formålet.

For å visualisere sensorenes levetid har DT konstruert graf 2.7, som plotter batterilevetid mot temperatur for de aktuelle sensorene. Denne grafen viser anslått levetid ved drift i gitte temperaturer. Vel å merke viser grafen også hvordan batterilevetiden forholder seg når oppdateringsfrekvensen øker fra 15- til 5.5- minutter. Hver sensor har også en mulighet for å gå i boost mode. Dette er en modus som aktiveres dersom en sensor er utenfor rekkevidde eller har svakt signal med CC. Dersom en sensor opererer seg i denne modusen, vil sensorens batteri- og levetid reduseres [24].



Figur 2.7: Batteritid som konsekvens av oppdaterings-intervall [25]

2.3.2 Cloud Connector

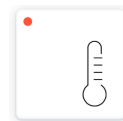
Cloud connectoren [3] er sensorenes tilkobling til skyen, og videresender dataene som overføres fra sensorene. Komponenten krever fast spenning og er en «Plug & Play»⁵ ordning som gjør installasjon og implementering relativt enkel, ettersom den er ferdig konfigurert gjenstår det å plugge den inn i stikkontakten, så blir den operativ. CC kommer med innebygd SIM-kort og kommuniserer via 4G mens kommunikasjon mellom sensorer skjer via SDS (Secure Data Shot) som kan sees på som et alternativ til Bluetooth [26].



⁵En elektronisk enhet som kan brukes uten konfigurering, så snart den er koblet til.

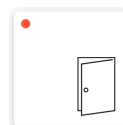
2.3.3 Temperatursensor

Temperatursensoren [27] limes på overflaten der en ønsker å måle temperaturen. Det finnes her 3 typer standard temperatursensorer som har samplingsrate hvert 15 minutt. I tillegg finnes det en temperatursensor versjon 2 som også sender data hvert 15 minutt, og kan i tillegg måle og logge fra 1 til 30 verdier i løpet av disse 15 minuttene. Ytterligere er det en industriell versjon som har større batterikapasitet og tåler høyere temperaturforandringer enn standard temperatursensor.



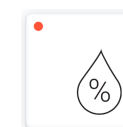
2.3.4 Dørsensor

Dør/nærhetssensoren [28] oppdager gjenstander som plasseres eller blir fjernet innenfor 0-5 mm fra fronten av sensoren og er derfor laget for bruk på dører og andre objekter som åpnes og lukkes. Den leser ikke av avstanden til ett objekt, men gir signal hvis et objekt er til stede eller ikke, innenfor en avstand på 5mm. I tillegg til nærhetssensor har DT kommet med en ny type dørsensor, som er basert på bruken av magnetisme for å avgjøre tilstedeværelsen av et objekt.



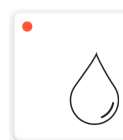
2.3.5 Luftfuktighetsensor

Luftfuktighetssensoren [29] måler relativ luftfuktighet i luften den er omringet av. I tillegg til å måle luftfuktighet har sensoren også mulighet til å måle temperatur, og vil da ha samme funksjonalitet som Standard temperatur sensor (100118).



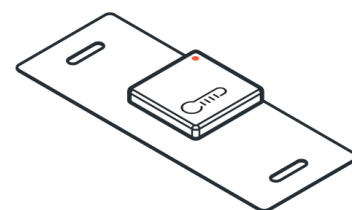
2.3.6 Vannivåsensor

Vannivåsensoren [30] opererer på en relativ lik måte som nærhetssensoren og reagerer på tildekning av vann eller annen væske. Senter av sensoren fungerer som målepunkt for tilstedeværelse av væske og vil ved tildekning av levere et åpent eller lukket signal.



2.3.7 Range extender & Boost mode

Range extender [33] er en passiv ekstern antenne som kan limes på en overflate for så å feste sensoren utenpå antennen. Antennen er fysisk utformet som en liten lapp hvor denne kan monteres i flere typer holdere som gjør montering av sensorer på rør og kabler lettere. Antennen blir gjerne brukt hvor sensorene blir montert direkte på metall, da metall eller andre forstyrrende materialer kan gi reduksjon i signalstyrken. Formålet med range extenderens holder er å skape avstand fra metallet slik at signalet ikke blir absorbert av metallet. Intensjonen ved range extenderen er å øke signalstyrken slik at sensoren ikke går inn i boost mode, og dermed bevarer batteri- og levetiden [24].



Figur 2.8: Range extender [31]⁶

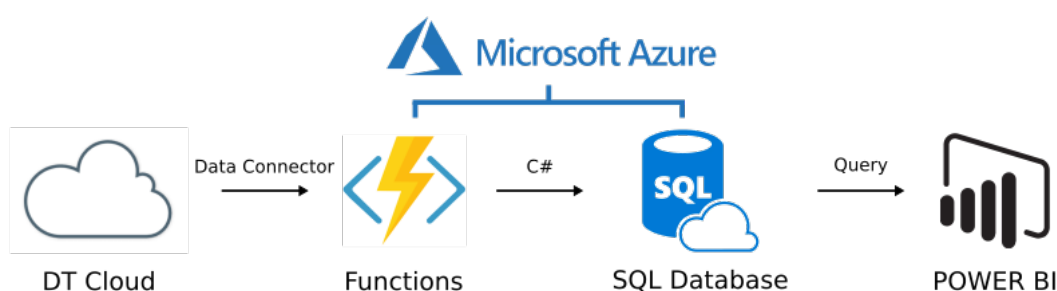
⁶Bilder av aktuelle sensorer er hentet fra [32] med mindre annen kilde er oppgitt.

2.4 Datasystemer

Gjennom studien er det brukt flere forskjellige datasystemer knyttet til varierte sensorer og annet utstyr. Det gjeldende kapittelet skal gi leseren en oversikt i de forskjellige systemene og plattformene som er brukt gjennom studiens omfang.

2.4.1 PowerBI

AE har utallige komponenter på deres anlegg, der disse overvåkes av diverse systemer fra forskjellige selskap. Ettersom diverse selskaper ofte har egne løsninger gjennom egne plattformer er det ønskelig å få samlet all data og informasjon på ett og samme system. Ved å bruke DT sine sensorer kombinert med PowerBI kan data hentes ut og leses av [34]. PowerBI er utviklet av Microsoft og er deres skyløsning for å samle, lese og visualisere data på en og samme plattform.



Figur 2.9: Microsofts skyløsning PowerBI [35]

Sensorene fra DT kommuniserer med CC som forklart ovenfor i avsnitt 2.3. Fra CC overføres dataen gjennom skyløsningen DT cloud og over til PowerBI, som illustrert i figur 2.9 ovenfor. PowerBI gjør at AEN slipper å holde seg oppdatert gjennom flere tredjepartsapper, og dermed slipper et mangfold av andre plattformer og systemer. AEN får dermed data og informasjon overført til sitt eget system der det kan avleses og visualiseres. Hensikten med PowerBI implementeringen til AEN er å se rådataen de får tilsendt fra DT uten at denne tolkes på noen måte. Etter at rådataene er importert til PowerBI kan dataene anvendes i rapporter og fagsystemer, som benyttes av ansatte i AEN.

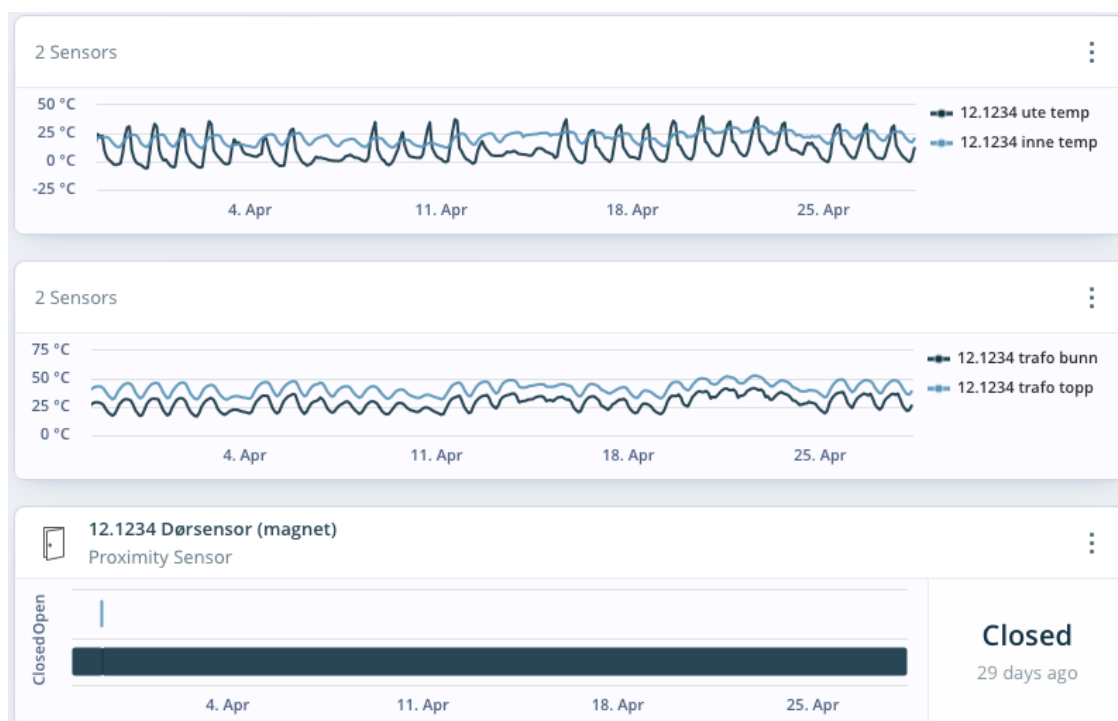
2.4.2 FASIT

FASIT står for «Feil- og avbruddsstatistikk i totalnettet» [5]. FASIT er en portal hvor Norske nettselskaper kan melde i fra om sine avbrudd og hvorfor disse har oppstått. Her blir det registret informasjon om alle typer driftsforstyrrelser, som automatiske utkoblinger og utkoblinger grunnet feil i nettet og planlagte avbrudd. Driftsforstyrrelsene blir kategorisert basert på feiltype, hvor feilen ligger og hva som forårsaker feilen. Disse verdiene blir så brukt til å kunne gi et godt grunnlag for å undersøke historiske feilsituasjoner. KILE kan sees på som kostnader for ikke levert energi, og sier noe om hvilken kostnad et strømbrydd vil ha på bakgrunn av energien som ikke blir levert til sluttbruker. KILE kostnaden blir så beregnet ut ifra kundegruppe, tid på døgnet og andre lokale forhold [7]. FASIT-statistikken er relevant for oppgaven i form av at den vil kunne bidra til å gi en forståelse for hvilke feil som oppstår i tilknytning til transformatorer og nettstasjoner.

2.4.3 DT Studio

DT Studio er Distrutive Technologies sin programvare for avlesning av informasjon og data [36]. Programmet tar for seg informasjon som blir avlest av sensorene og sendt til den skybaserte portalen «Studio». Gjennom Studio har man muligheten til å opprette prosjekter og legge til dashbord for enkel tilgang til avlesing av temperaturer, fuktighet og andre tilstander. Programmet gir også muligheten til å se signalstyrke, gjenstående batteri og generell tilstand på hver enkel sensor. Arbeidsområdet er en nettbasert løsning som gir grunnlaget for enkel avlesning av sensordata og muligheten for å legge til og sende ut varsler ved hendelser. Gjennom DT Studio har man også muligheten til å hente ut filer og data, i form av CSV- og Excel-filer for å analysere data nærmere.

Figur 2.10 nedenfor illustrerer avlesing av sensordata gjennom DT Studio, og viser fire temperatursensorer og en dørsensor.



Figur 2.10: Project Dashboard

Kapittel 3

Teori

I følgende avsnitt presenteres teorien og det faglige fundamentet for oppgaven. Avsnittet går gjennom oppbyggingen og virkemåten til en transformator, samt relevante aspekter for å gi leseren en grunnleggende forståelse for oppgaven. Ytterligere legges det frem aktuelle krav og forskrifter relevant for nettstasjoner og sensorovervåking.

3.1 Transformator

Det finnes mange ulike typer transformatorer til ulike applikasjoner innenfor energiforsyning. Denne studien tar kun for seg oljekjølte transformatorer fra 22kV eller 11kV til 400v og 230v, benyttet i distribusjonsnettet [37].

En Transformator er en statisk⁷ elektrisk maskin der både inngang og utgang er elektrisk [38]. Transformatoren består av viklinger og en laminert jernkjerne som er beskyttet av en hermetisk innkapsling og isolert med isolerende olje. Viklingene består av en primærside og en sekundærside, også kalt for høy- og lavspenningsside. Arbeidsoppgaven til en transformator er å omforme vekselstrøm fra ett spenningsnivå til ett annet ved bruk av elektromagnetisk induksjon [39].



(a) Hermetisk lukket transformator [40]



(b) Innmat transformator [41]

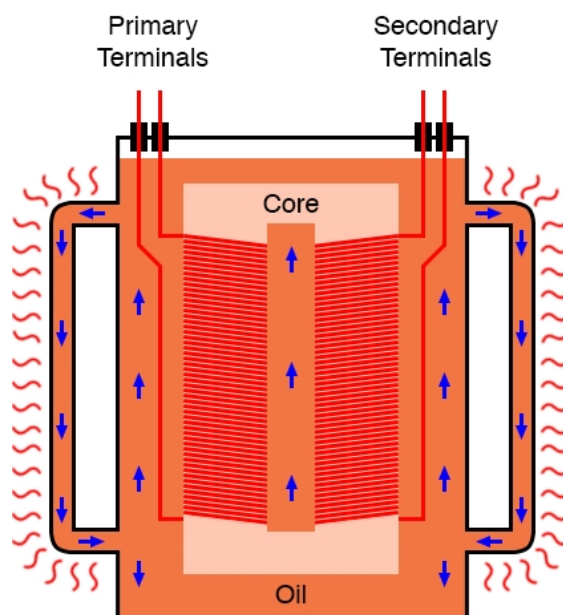
Figur 3.1: Illustrert utvendig og innvendig av en transformator

⁷Statisk maskin - har ingen bevegelige deler

En elektrisk maskin kan ikke være uten tap, dette gjelder også en transformator. Tap i en transformator vil oppstå forskjellige steder ved forskjellige anledninger. Tap som oppstår ved drift er hysteres-, jern-, kobber-, eddy-, dielektrikum- og lekkasjetap, der hoveddelen av tapene kommer fra tap i jernkjernen og viklingene [42]. Majoriteten av tapene vil resultere i varmgang.

En anerkjent årsak til overoppheting ved transformatorer er overbelastning og dårlig kjøling gjennom ventilasjon. Overbelastning oppstår da det trekkes mer last enn transformatorens merkeytelse tilsier. Hvis lasten er over merkeytelsen vil ikke transformatoren lenger være innenfor sitt driftsområde, og dette vil ofte resultere i en markant økning i temperatur [43]. Transformator tap er kjent for å variere med belastningen og kalles derfor for belastningstap. Varmen som blir produsert av dette vil forårsake temperaturøkning i transformatorens indre struktur, som kan ta skade ved langvarig drift med for høye temperaturer. For å begrense temperaturen og holde den ved optimal drift brukes det kjøling i form av olje og konveksjonsprinsippet.

For å holde temperaturen ved ønsket bruksområde og beskytte infrastrukturen til transformatoren, er den hermetisk lukket og fylt med olje. Denne type transformator bruker kjøling som kalles for ONAN [45]. ONAN er en standard kjølemetode og betyr på engelsk «Oil Natural Air Natural», som oversatt til norsk er Olje Naturlig Luft Naturlig. Oljens arbeidsoppgave er å spre varmen og isolere mellom viklingene, samt å forhindre at ledere og isolasjon korroderer, oksiderer eller blir mindre effektiv. Med gode dielektriske⁸ og termiske egenskaper kombinert med kjølefinner og en luftig oppholdsplass gjør dette transformatoren godt egnet til å arbeide i ønsket driftsområde uten å bli for varm [46]. Varmen som sirkulerer i oljen blir videre transportert vekk fra transformatorens viklinger via konveksjon. Figur 3.2 illustrerer konveksjonsprinsippet for kjøling til en transformator. En må gjøre oppmerksom på at transformatorene som blir brukt i AEN sitt fordelingsnett ikke har kjølerør/strålerør, men har kjølefinner for å øke overflatearealet og spre varmen best mulig.



Figur 3.2: Konveksjons prinsippet ved transformator [44]

Egenskapene nevnt ovenfor gjør en oljekjølt transformator mer attraktiv med tanke på varmgang enn hvis den hadde vært luftisolert. Å av den grunn vil den oppnå lavere tap enn alternative løsninger [47].

⁸Dielektrikum - et isolerende eller meget dårlig ledende materiale brukt i en sammenheng der det utsettes for et elektrisk felt.

3.1.1 Levetid

Helt siden transformatorer først ble satt i bruk har aldring og levetid hos transformatorer vært aktuelt å kartlegge. Transformatorer er store, komplekse og dyre komponenter som står for strømforsyningen til både industri og private husholdninger. En aldrende og svekket transformator har en større sannsynlighet for havari og kan i verste fall føre til store og kostbare konsekvenser [48].

Aldring og levetid er vanskelig å estimere ettersom den er avhengig av mange parametre. Det er derfor vanlig standard å begrense transformatorens levetid til isolasjonspapiret [49][50]. Levetiden for isolasjonspapiret kommer frem ved å se på den mekaniske fastheten eller forkortelse av cellulosefibrene til den gjeldende transformatoren. Aldring og forringelse av isolasjon er en funksjon av temperatur, oksygeninnhold og fuktighet over tid, og vil akselerere der disse er til stede. Fuktighet og oksygeninnhold kan hovedsakelig sees bort ifra ettersom disse minimeres i moderne oljesystemer. Dermed gjenstår isolasjonstemperaturen som parameteren for estimering av aldring og levetid [51][52]. Temperaturen kan utledes ved å se på gjennomsnittstemperaturen ved det varmeste punktet til transformatoren, også kalt for «hot-spot»[53]. Dette punktet vil være ved viklingene til transformatoren. Dermed ved å måle gjennomsnittstemperaturen og vite temperaturstigningen ved det varmeste punktet kan gjenstående levetiden estimeres. Det finnes flere måter å estimere levetid og aldring ved bruk av hot-spot temperaturen. Dette kan enten være ved bruk av beregninger [6], algoritmer eller machine learning som XGboost [54]

I tillegg til å ha et estimat på aldring og gjenstående levetid kan det også være ønskelig å få et mer konkret resultat, hvis dette er tilfelle så brukes det D_p^9 -analyse [55]. En D_p -analyse utføres normalt på store transformatorer og gjennomføres normalt ikke på små transformatorer. Ved slik analyse måles endringer ved lengden til cellulosefibrene. Grunnen til at cellulosefibrene blir målt er at kortere fibre tilsvarer sprøere isolasjonspapir og kan føre til at isolasjonspapiret sprekker. Hvis isolasjonspapiret blir for sprøtt kan dette føre til kortslutning eller jordslutning av viklingene i transformatoren, noe som ofte kan skje når isolasjonspapiret har kommet ned mot 20-30% startverdien. Dette gir også grunnlaget for levetiden. Levetiden ved isolasjonspapiret er ofte definert til 50% av startverdien, men kan leve til 20-30% av startverdien [56].

3.1.2 Beregning av hot-spot temperatur

Avsnitt 3.1.1 angir hot-spot temperaturen (HST) som hovedparameter for aldring og levetids estimat. For å komme frem til HST brukes beregningsstandarden fra IEEE C57.91 [57]. Dette er en guide for beregninger av HST til transformatorer ved bruk av kjente parametre og presenteres likning 3.1 og 3.2. Disse likningene viser forholdet mellom HST, topp-olje temperatur (TOT) og omgivelsestemperatur, der likninger og forklaringer er hentet fra en vitenskapelig artikkel angående transformator levetid og aldring [53].

$$T_h(t) = T_{to}(t) + \Delta T_{to,h}(t) \quad (3.1)$$

⁹Dp - Degree of polymerisation

Likning 3.1 kan videre utledes som:

$$T_h(t) = T_a(t) + \Delta T_{a,to}(t) + \Delta T_{to,h} \quad (3.2)$$

Hvor T_h er HST, T_a er omgivelsestemperatur, T_{to} er TOT, $\Delta T_{to,h}$ er HST stigningen over TOT, $\Delta T_{a,to}$ er TOT stigningen over omgivelsestemperatur.

Videre kan $\Delta T_{a,to}$ og $\Delta T_{to,h}$ deduseres ved bruk av formell 3.3 og 3.4

$$T_{a,to}(t) = (\Delta T_{a,to_u}(t) - \Delta T_{a,to_i}(t))(1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau_{to}}}) + \Delta T_{a,to_i}(t) \quad (3.3)$$

$$T_{to,h}(t) = (\Delta T_{to,h_u}(t) - \Delta T_{to,h_i}(t))(1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau_h}}) + \Delta T_{to,h_i}(t) \quad (3.4)$$

Hvor τ_{to} og τ_h er henholdsvis topp olje og viklings tidskonstant, og Δt er belastningsintervallet. Videre er $\Delta T_{a,to_i}(t)$ den initiale TOT over omgivelsestemperaturen og $\Delta T_{to,h_i}(t)$ er HST over TOT, begge ved tid t .

$\Delta T_{a,to_u}(t)$ og $\Delta T_{to,h_u}(t)$ er henholdsvis den ultimate TOT og HST økning over omgivelsestemperaturen og TOT respektivt ved tid t , og videre definert som:

$$\Delta T_{a,to_u}(t) = \Delta T_{to,r} \cdot \left[\frac{\left(\frac{i(t)}{i_r}\right)^2 \gamma + 1}{\gamma + 1} \right]^n \quad (3.5)$$

$$\Delta T_{to,h_u}(t) = \Delta T_{h,r} \cdot \left(\frac{i(t)}{i_r} \right)^{2m} \quad (3.6)$$

Der γ er raten ved belastningstap ved nominell belastning til tap ved null last, $i(t)$ er transformatorens last ved tid t , i_r er merkebelastning, $\Delta T_{to,r}$ og $\Delta T_{h,r}$ er TOT og HST stigning ved merkebelastningen respektivt. Videre er m og n transformatorens parametere avhengig av hvilken kjøling den har, dette leses av i databladet til transformatoren eller en oppslagstabell.

Ved bruk av likningene ovenfor og kjente parametere kan HST utledes. Det må nevnes at standarden fra IEEE C57.91 er en av flere måter å beregne HST ved bruk av andre kjente verdier. Ytterligere vil det ved indirekte målinger og flere parametere til stede være en eventuell mulig feilprosent som kan oppstå.

3.1.3 Beregning av levetid

Metoden ved å benytte temperatur til å dedusere aldring og levetid har eksistert helt siden transformatoren ble hyppig tatt i bruk. På 1930-tallet kom Montsingers regel [58], som sier at hver 8-10°C økning i isolasjonstemperaturen vil resultere i rundt 50% livsreduksjon. Fra Montsingers regel har andre bedrifter og institusjoner jobbet videre for å forbedre estimatet for temperatur og levetid.

Ifølge en rapport av Kårstein Longva for Møre Trafo [56] er relativ aldringshastighet og levetid gitt ved:

$$\text{Relativ aldringshastighet (V)} = \frac{\text{Aldringshastighet ved temp. } T_h}{\text{Aldringshastighet ved temp } 98^\circ\text{C}} = 2^{\frac{t_h - 98}{6}} \quad (3.7)$$

$$\text{Levetid av papirisolasjon } (\text{\AA}r) = \frac{14}{V} = \frac{14}{2^{\frac{T_h - 98}{6}}} \quad (3.8)$$

Utrykkene ovenfor tar utgangspunkt at transformatoren ved en konstant hot-spot temperatur på 98°C har en levetid på 14 år. Ved en temperatur økning på 6°C vil dette resultere i en doblet aldringshastighet og halvering av levetid. En reduksjon på 6°C vil tilvarende gi en halvering i aldringshastighet og dobling av levetid. Denne beregningen vil stemme så lenge gjennomsnittstemperatur holdes under 140°C.

Ved disse likningene og beregningene som grunnlag har Møre Trafo konstruert tabell 3.1 der temperatur ved varmeste punkt (T_h), relativ aldringshastighet (V) og levetid av papirisolasjon ($\text{\AA}r$) korrelerer.

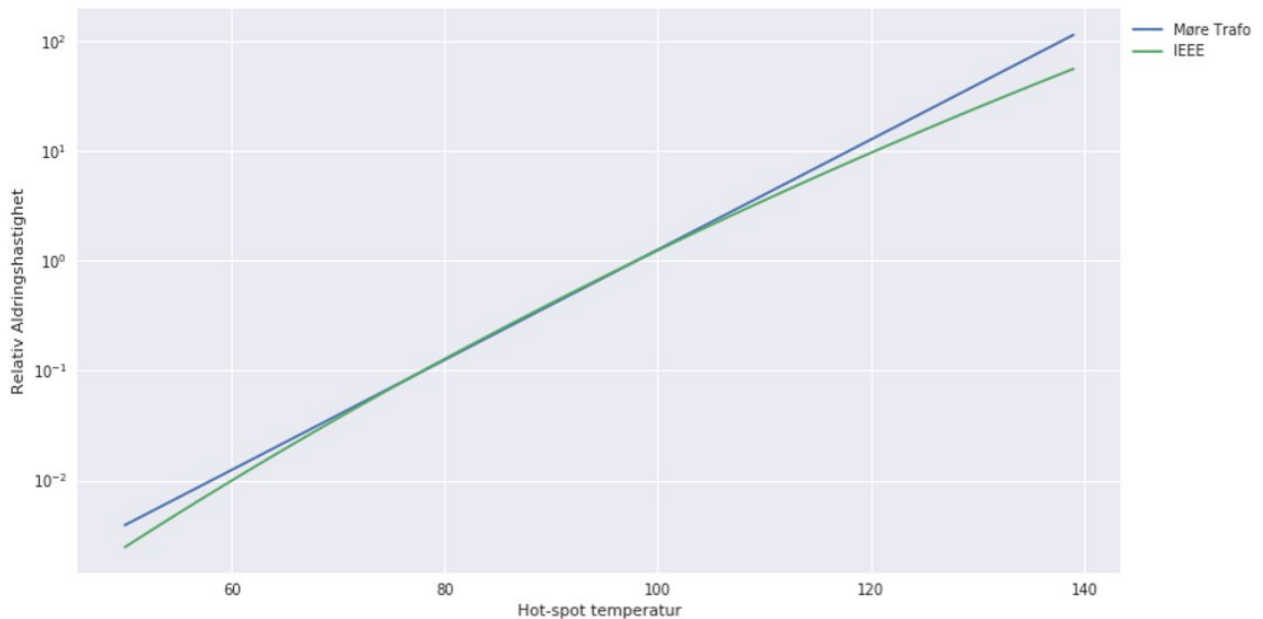
Tabell 3.1: Temperatur, aldringshastighet og levetid

T_h	80	86	92	98	104	110	116	122	128	134	140
V	0,125	0,25	0,5	1,0	2	4	8	16	32	64	128
\AA r	112	56	28	14	7	3,5	1,75	0,9	0,45	0,22	0,1

En tilsvarende forbindelse kommer fram i en vitenskapelig artikkel for IEEE av Mohd Taufiq Ishak og Zhongdong Wang [59]. Her kommer det frem et lignende uttrykk for aldringshastighet som er:

$$\text{Relativ aldringshastighet} = e^{\frac{15000}{383} - \frac{15000}{273 + T_{hs}}} \quad (3.9)$$

Ved å bruke uttrykk 3.7 og 3.9 har Ida R. Hansen for Cineldi [60] konstruert en graf som viser sammenhengen mellom uttrykket til Møre Trafo og IEEE.



Figur 3.3: Relativ aldringshastighet, Møre Trafo vs IEEE

Figur 3.3 illustrerer Møre Trafo og IEEE sine uttrykk plottet i form av en graf. Figuren tilsier at uttrykket til Møre Trafo vil være korrekt mot IEEE ved 98°C.

Hun sier videre at hot-spot temperaturen ikke alltid er konstant og vil variere. Den gjennomsnittlige temperaturen vil da være gitt ved:

$$\text{Gjennomsnittstemperatur } T_h = \frac{\int 2^{\frac{t_h - 98}{6}} dt}{\int dt} \quad (3.10)$$

3.1.4 Belastning av transformatorer

I tillegg til å produsere tabell 3.1, har Kårstein Longva produsert en tabell som setter omgivelsestemperatur, hot-spot og belastningsfaktor opp mot hverandre.

Tabell 3.2: Belastningsfaktor som funksjon av omgivelsestemperatur og overtemperatur

Omgivelse temperatur	-25	-20	-10	0	10	20	30	40
Hot-spot overtemperatur	123	118	108	98	88	78	68	58
Hot-spot absolutt	98	98	98	98	98	98	98	98
Belastningsfaktor	1,37	1,33	1,25	1,17	1,09	1,00	0,91	0,81

Tabell 3.2 viser belastningsfaktor som funksjon av omgivelsestemperatur ved konstant hot-spot temperatur på 98°C. Tabellen viser at en kjøligere omgivelsestemperatur tilsier at en kan belaste transformatoren mer og allikevel oppnå den opprinnelige levetiden som var dimensjonert. Dette er en av grunnen til at mastetransformatorer ofte er belastet høyere enn transformatorer som står i bygg og kiosker.

Ved å studere tabell 3.2 oppstår spørsmålet knyttet til høyere belastningsgrad og høyere overtemperatur. Ved høyere verdier vil levetiden bli forkortet, og bedriften for transformatoren må gjøre en økonomisk vurdering knyttet opp mot livssyklus kostnader¹⁰.

3.1.5 Transformatorer i Norge

I Norge var levetiden til en transformator vanligvis designet for å være rundt 30 år ved nominell belastning. Ifølge en rapport i 2020 av SINTEF [61] var gjennomsnittsalderen til transformatorene i Norge på rundt 32 år, og omtrent 15% av disse var over 50 år. Rapporten konkluderer at levetiden er høyere grunnet flertallet av transformatorer opererer med lavere belastning enn hva som er dimensjonert, i tillegg er det gode kjøleforhold som hjelper å holde temperaturen nede. Dette tilsier ifølge SINTEF at forventet levetid sannsynligvis er betydelig høyere enn dimensjonert.

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) kommer frem til en lignende konklusjon i sin rapport angående aldersfordeling for komponenter i kraftsystemet [62]. NVE oppsummerer den forbigående levetiden som et utfall av overdimensjonering, som resulterer i lavere belastningsgrad og temperatur.

Kårstein Longva formulerer seg lignende i sin rapport på fordelingstransformatorer og levetid [56]. Kårstein nevner årsaken for den lange levetiden som:

«Årsaken til 30-50 års levetid har vært lav gjennomsnittsbelastning på 40-70%, kombinert med lave omgivelsestemperaturer».

¹⁰livssyklus kostnader - kostnader ved forvaltning, drift, vedlikehold og utvikling i brukstiden m.m

3.2 Sikkerhets- og overvåkingskrav for nettstasjon

Tilhørende enhver nettstasjon er diverse forskrifter og sikkerhetskrav, disse henholdsvis av REN¹¹ og DSB¹². Denne rapporten skal ikke ta for seg alle forskrifter og krav ettersom store deler er utenfor omfanget til studien, det vil derimot bli listet noen spesifikke krav relevant for oppgaven.

Det verdt å merke er konseptet med tilbakevirkende kraft [63]. Mesteparten av nettstasjonene i Norge ble bygget for flere år siden, da andre normer og forskrifter var til stede. Ettersom det kommer nye oppdaterte forskrifter og normer hvert år, kan disse ikke ha tilbakevirkende kraft. Forskrifter og normer gjelder da jobben blir utført, og er denne standarden som skal følges, med få unntak.

3.2.1 REN

RENblader er bransjeretningslinjer som sikrer at riktige normer og forskrifter blir fulgt. Med tanke på overvåking stiller RENblad 6025 [64] krav og parametere over hvilke komponenter og utstyr som bør overvåkes, styres og reguleres. Parametere relevant for denne studien er listet under i tabell 3.3, og omhandler overvåking av temperatur og dør.

Overvåket parameter	Lokalt registrerte verdier	Overføring	Sentral databehandling	Minimum	Opsjon
Romtemperatur	9.7.2 Gjennomsnittsverdi, tidspunkt, varighet	Hver dag	10.5.2 Trendanalyse		X
Brudd på grenseverdier for transformator-temperatur	9.7.1 Awik, tidspunkt, varighet	Umiddelbart	10.5.1 Awiksanalyse Alarm		X
Transformator-temperatur	9.7.1 Gjennomsnittsverdi, tidspunkt, varighet	Hver dag	10.5.1 Trendanalyse		X
Brudd på grenseverdier for romtemperatur	9.7.2 Awik, tidspunkt, varighet.	Umiddelbart	10.5.2 Awiksanalyse		X
Dør	9.7.4 Awik, tidspunkt, varighet.	Umiddelbart	10.5.4 Awiksanalyse Alarm		X

Tabell 3.3: Overvåkingsparametere fra RENBLAD 6025 [64]

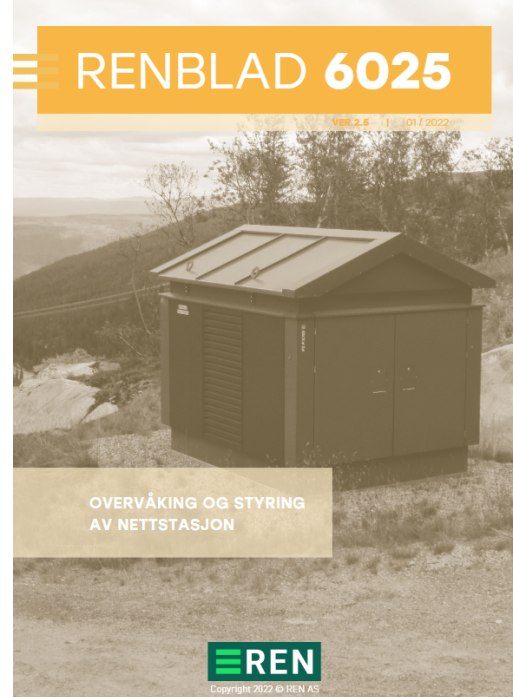
Felles for parameterne ovenfor er at ingen av dem er ett minimumskrav, men opsjon. Ved opsjon betyr det at man ikke er pliktig til å overvåke.

¹¹REN - Rasjonell Elektrisk Nettvirksomhet

¹²DSB - Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap

Ved driftsovervåking av parameterne fra tabell 3.3 stiller RENblad 6025 også krav for overvåking ved drift. Nedenfor er tre parametere listet med gjeldende krav for hver av dem under den enkelte.

- Overvåking av romtemperatur
 - Presentasjon av «trend»
 - Tidspunkt og varighet
- Overvåking av temperatur på transformator
 - Presentasjon av «trend»
 - Tidspunkt og varighet
 - Avvikssignalet skal kunne trigge en alarm
- Overvåking av dør
 - Presentasjon av «avvik»
 - Tidspunkt og varighet
 - Avvikssignalet skal kunne trigge en alarm



Figur 3.4: Forside RENBLAD 6025 [64]

REN 6025 beskriver «trend» og «avvik» som:

«Med type signal «trend» menes registrering av parameter data over en periode som kan danne grunnlag for en trendanalyse i den sentrale databehandlingen.»

«Med type signal «avvik» menes registrering av avviksdata på bakgrunn av innstilling i den lokale enhet. Dette som kan danne grunnlag for en avviksanalyse i den sentrale databehandlingen eller for kritiske parametere: alarm.»

I tillegg til RENBLAD 6025 er følgende RENblader relevante for studien: RENblad 6002 [14], RENblad 6010 [15] og RENblad 6017 [13].

3.2.2 DSB

DSB er ansvarlig for oversikt over risiko og sårbarhet i samfunnet, og stiller krav som norske nettselskaper må følge, dette i tillegg til REN. Fra DSB er det diverse krav som er relevante for denne studien, der en majoritet er knyttet til sikkerhetsaspektet ved nettstasjonen. Relevante forskrifter er blant annet knyttet til adgang, dette gjennom DSB høyspenningsinstallasjoner [65] §4-5 og §4-7, listet under.

§4-5 «*Installasjoner skal plasseres eller inngjerdes slik at adgang og inngrep fra uvedkommende unngås.*»

§4-7 «*Bygninger og rom for høyspenningsinstallasjoner skal bygges og utstyres slik at de gir sikkerhet for personer i og utenfor anleggene. Adkomstmuligheter som dører og vinduer skal utføres slik at uvedkommendes adgang til anleggene effektivt hindres.*»

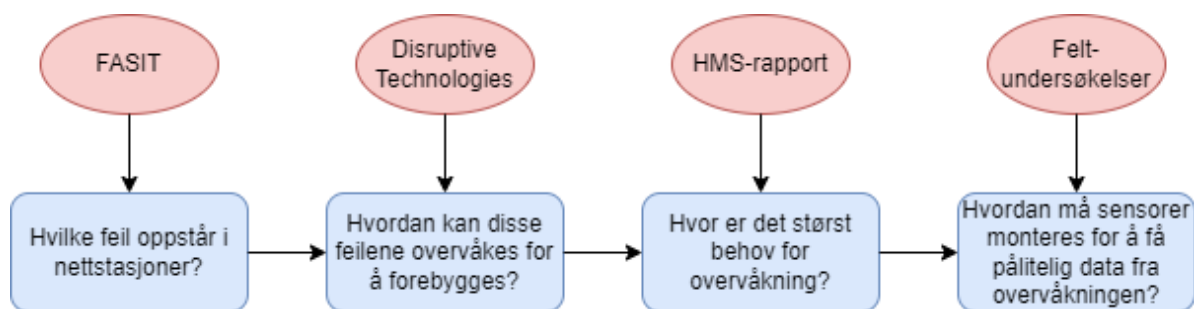
For å forsikre at §4-5 og §4-7 er ivaretatt er det brukt dørsensorer. Disse er brukt på dørene til nettstasjonen for å forsikre at den er lukket til en hver tid. Slik forsikrer AEN at kravene blir ivaretatt.

Kapittel 4

Metode

Det finnes et utvalg av metoder som kan benyttes i studier for å komme frem til en konklusjon. En måte å dele opp disse metodene kan gjerne være ved å kalle de for kvalitative- og kvantitative metoder. Den kvalitative metoden vil basere seg på at opplysningene som benyttes i undersøkelser er detaljerte og av høy kvalitet. Målet med dette er at utvalget skal representere populasjonen godt. Ved bruk av den kvantitative metoden benyttes tilsvarende prinsipp, bare motsatt. Her er antallet resultater så stort at kvaliteten på resultatene kan reduseres. For å utføre en analyse ved hjelp av en kvantitativ metode utarbeides gjerne resultatene fra en stor dataklynge. Utfordringen med denne metoden er anskaffelsen av store nok mengder data. Viktigheten av metodens hensikt forblir uansett den samme, at forsøkene kan etterprøves og konklusjonen forblir den samme.

Ettersom systemet som undersøkes i denne studien kun er montert på et veldig lite utvalg, faller det seg naturlig å gå mest kvalitativt og deduktivt til verks på de eksisterende anleggene. Noe kvantitativt arbeid vil gjøres av data hentet fra FASIT-systemet, men hovedsakelig vil det gjøres kvalitativt og deduktivt arbeid av observasjoner og forsøk. At problemstillingen undersøkes på en kvalitativ og deduktiv metode vil si at det gjøres grundige undersøkelser av enkelttilfeller og trekkes logiske slutninger mot teori [66]. Et sluttresultat av rapporten skal være en veiledning for implementering av Disruptive Technologies sine sensorer i AEN sitt distribusjonsnett på mikro-nivå, og derfor vil enkelttilfeller av utilsiktede hendelser granskes i detalj for å kartlegge årsak og hendelsesforløp. En av utfordringene som kan oppstå ved å undersøke og avdekke feil på et lite utvalg er at alle feil som kan skje nødvendigvis ikke har inntruffet enda. Dette blir viktig senere i rapporten. Figur 4.1 gir en visuell fremstilling av dataene (rødt) som er disponible for dette prosjektet, samt hvilke spørsmål (blå) det er ønskelig å belyse gjennom analyser av disse dataene. Disse spørsmålene er utledet på bakgrunn studiens hovedmål om å øke sikkerhet og pålitelighet gjennom bruk av sensorteknologi.

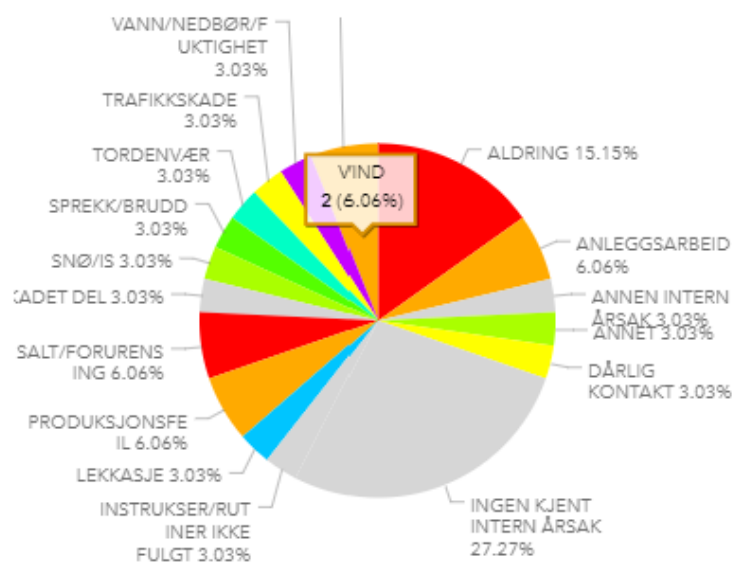


Figur 4.1: Flyttdiagram for fremgangsmåte mot problemstilling¹³

¹³Flyttdiagram er laget ved hjelp av <https://app.diagrams.net/>

4.1 Analyse av feilstatistikker i kraftnettet

Informasjonen tilknyttet feilsituasjoner i AEN sine nettstasjoner er hentet gjennom FASIT som respektivt er beskrevet i avsnitt 2.4.2. Figur 4.2 viser et eksempel på hvordan bakenforliggende feilårsaker fremstilles via FASIT. Som tidligere beskrevet skal det benyttes kvalitative og induktive metoder for å utarbeide resultater. Spesielt under analyse av formen for data som vist i figur 4.2 er det viktig å gå induktivt til verks da det fremstilles lite informasjon gjennom kakediagrammene. Ønsket med å analysere disse statistikkene er å komme frem til feilsituasjonen som har oppstått slik at vi kan utforme komponentovervåkingen på en forebyggende måte. FASIT gir statistikker på både feilårsak og bakenforliggende årsak, og for å få et nøyaktig bilde av feilsituasjonen er det essensielt å se disse statistikkene i sammenheng. Feilrapportene har en tekstbeskrivelse vedlagt som sier noe om feilkilden og omfanget av feilen som har oppstått. Denne kan bli viktig for å forstå feilene som oppstår da det er flere feilregistrerte hendelser i statistikken. Resultatet av denne analysen skal være en oversikt over typiske feilkilder som oppstår i AEN sitt distribusjonsnett. Denne oversikten skal så benyttes videre i rapporten, og knyttes direkte opp mot Disruptive Technologies sine sensorer.



Figur 4.2: Bakenforliggende feilårsaker for nettstasjoner

4.2 Risikovurdering

Ideelt overvåkes alle komponenter i alle nettstasjoner, men dette vil resultere i at mange og kanskje de fleste sensorene blir overflødige da ikke alle nettstasjoner har de samme behovene for overvåking. For å kartlegge behovet for forskjellige typer komponentovervåking i en nettstasjon må det utarbeides en systematisk og gjennomførbar utredning. For å gjøre behovet så målbart som mulig sier vi i denne oppgaven at behovet for overvåking av forskjellige komponenter vokser lineært med risiko forbundet med feil og ulykker. Ved å lage kategoriserte konsekvens- og sannsynlighetsvurderinger kan det enkelt utarbeides en risikoanalyse som er individuell for hver nettstasjon. I tabell 5.1 presentert i avsnitt 5.2, vises feilsituasjonene som ble utarbeidet gjennom metoden i forrige avsnitt og ansees som overvåkbare i en nettstasjon eller på en transformator. Denne tabellen er også et resultat

og forklares videre der. Risikovurderingen fremstilles på denne måten som produktet av konsekvens og sannsynlighet. Dette er en velkjent metode for å analysere risiko på og denne spesifikke måten å utføre analysen på bygger på samme metode som en av Forsvarets Forskningsinstitutt sine tidligere risikovurderinger [67]. Formålet med risikovurderingen er å lage et grunnlag for å avgjøre hvilke sensorer som er nødvendig og redusere rommet for synsing for den enkelte beslutningstaker.

4.3 Sensorlokasjoner & HMS-rapport

For å avgjøre hvilke nettstasjoner og transformatorer som er prioritert for montasje, knyttes dette opp mot en total risikovurdering. Risikovurderingen vil omfavne nærhet til mennesker (spesielt barn), historisk belastningsgrad og KILE-kostnader ved en eventuell utkobling. Her vil AEN sin HMS risikoanalyse og den vedlagte installasjonsprotokollen bli lagt til grunn for og bestemme hvilke nettstasjoner som har behov for overvåking.

4.4 Feil lokalisering

Grunnet prosjektets hovedformål om å øke sikkerhet og pålitelighet i distribusjonsnettet er det høyst aktuelt at sensorovervåkingen også leverer pålitelig informasjon. Som tidligere nevnt har dette pilotprosjektet med sensorovervåking fremstilt flere ulike feil og usikkerheter knyttet til montasje og innsamling av data. Agder Energi har ved flere tilfeller opplevd at temperatursensorer har kuttet ut eller blitt defekte, dette etter betydelig kortere tid enn hva som var estimert. Ytterligere ga nærhetssensoren på dørene flere unormale avlesinger i form av flere åpne eller lukkede dører på rad. Det må presiseres at sensorer som ble montert før rapporten ble startet kommer fra pilotprosjektet og at sensorene da muligens ikke var ferdig utviklet.

Ved undersøkelse av sensorer sjekkes dette opp gjennom sidene DT Studio og PowerBI. Her lagres data til den representative sensoren for hvert oppdaterings-intervall den utfører. Dataen som blir lagret er blant annet batteri status, temperatur, signalstyrke, og mer. Dataen fra sensorer registrert under samme transformator blir deretter satt opp mot hverandre og vises visuelt i form av grafer og diagram. Det er disse oversiktene som benyttes for å avdekke feil på sensorer. Feil ved eksisterende sensorer blir presentert senere i rapporten under 5.5.

4.5 Praktisk metode

Ettersom dette prosjektet i stor grad baserer seg på å kombinere fysiske undersøkelser med et teoretisk rammeverk, er det valgt å inkludere et kapittel for den praktiske metoden som er anvendt. Den praktiske delen av prosjektet skal bidra til å teste og forstå hvordan anvendelse av sensorteknologien vil fungere i tiltenkte omgivelser. Dette gjøres gjennom kvalitative undersøkelser og observasjoner av enkelttilfeller hvor overvåkingen ikke fungerer som tiltenkt.

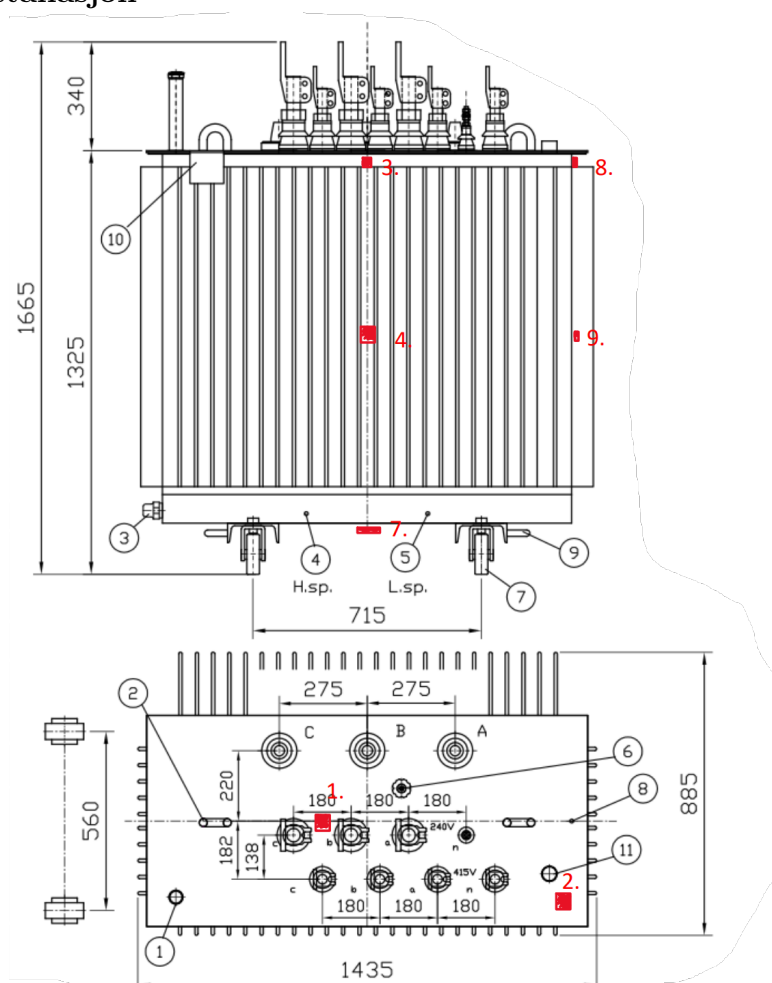
4.5.1 Feltundersøkelser

For å undersøke hvordan den praktiske utformingen av komponentovervåkingen bør utføres, gjennomføres det feltundersøkelser av et utvalg på AEN sine nettstasjoner. Gjennom feltundersøkelsene skal det monteres ulike sensorer på ulike steder for å innhente informasjon fra nettstasjonen. Denne informasjonen skal benyttes for å undersøke hvilke sensorplasseringer som representerer den reelle tilstanden til nettstasjonen på best mulig måte. Her er det også viktig å avdekke hvilke plasseringer som gir dårlig respons og uriktige resultater slik at dette også kan kartlegges. Ut fra resultatene skal det utarbeides en kort og konsis veiledning som skal hjelpe AEN og montører å installere DT sine sensorer slik at de fungerer som tiltenkt. I hovedsak er sensorene som skal testes ut dør- og temperatursensorene da disse tidligere har gitt falske resultater i eksisterende installasjoner som nevnt innledningsvis i avsnitt 1.1.

4.5.2 Sensor plasseringer / installasjon

Figur 4.3 viser hvor sensorer er ønsket plassert på transformatoren. Sensorplasseringen på transformatorene med EcoSmart overvåking, er valgt ut for og gi et så detaljert bilde av overflatetemperaturen som mulig. Med denne plasseringen vil det bli mulig og se om det er temperaturforskjell på høy- og lavspennings siden, samt topp og bunn. Senere vil det kunne bli sett på muligheten for å beregne kjerne-temperaturen ut i fra verdiene på en eller flere sensorer, sammenlignet med verdien fra EcoSmart overvåkingen. Her er meningen at EcoSmart dokkingen skal monteres av en underleverandør av AEN, da dette arbeidet blir sett på som elektro teknisk utstyr, som beskrevet i montasjebeskriveslen av EcoSmart A.4. Monteringen av temperatursensorer og EcoSmart dokkingen er tiltenkt montert på tre utvalgte Transformatorer.

Ettersom denne montasjen av EcoSmart Dokkingen krever driftsstans på transformatoren i opptil et døgn for at temperaturen og trykket i transformatoren skal stabilisere seg og være trygg å åpne. Dette er et forsøk som ikke er gjennomført grunnet utestående EcoSmart montasje.



Figur 4.3: Plassering av temperatursensorer på transformator

4.5.3 Omgivelsestemperatur & usikkerhet

Under avsnitt 3 i likning 3.1 og 3.2 kommer det frem at omgivelsestemperatur kan inngå i en beregning for hot-spot temperatur. Omgivelsestemperaturen vil her være med på å bestemme hvor mye varmeenergi transformatoren klarer å avgi til omgivelsene. Dette gjør en målt omgivelsestemperatur essensiell i tilknytning til denne oppgaven, og det er viktig at denne verdien er pålitelig slik at videre beregninger og estimer blir så presise som mulig. Dette er et forsøk som hovedsakelig skal sees i sammenheng med EcoSmart-sensoren og er derfor ikke blitt undersøkt i stor grad. Dette er ikke relevant for øvrige temperatursensorer for inne- og utetemperatur da disse ikke monteres på en overflate som holder annen temperatur enn omgivelsene. En større påvirkning for disse sensorene vil være direkte sollys, noe som undersøkes i avsnitt 5.5.4

Kapittel 5

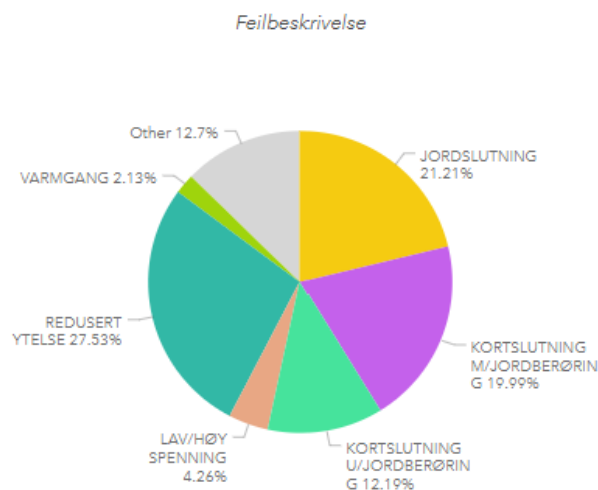
Resultater & Diskusjon

5.1 Resultater fra feilstatistikker

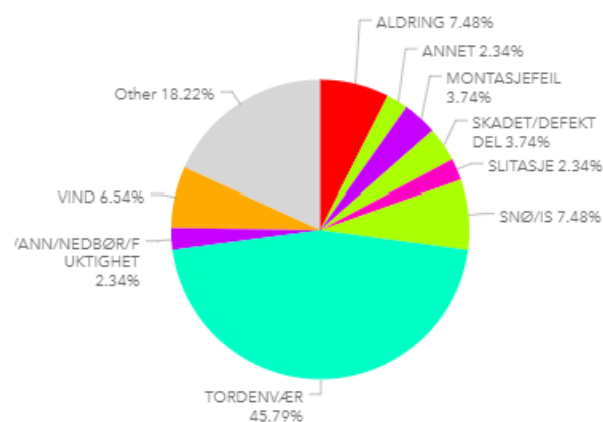
I følgende kapittel vil resultater presenteres og drøftes i tilsvarende rekkefølge som beskrevet under metode i figur 4.1, da resultatene i stor grad bygger videre på hverandre. Som første ledd i prosjektets fremgangsmåte er analyse av FASIT-statistikker for å belyse hvilke feil som oppstår i en nettstasjon. I følgende delkapitler er derfor sortert på komponentene «Transformator» og «Føringer» da dette er komponentene som i hovedsak utgjør en nettstasjon.

5.1.1 Transformator

Gjennom FASIT er det hentet ut feilstatistikker som er sortert etter anleggsdel. Resultatene sortert på transformator vises i figur 5.1 og 5.2. Statistikken som vises i diagrammene inneholder 1894 datapunkter som er registrert fra 2001 frem til 2018. Diagrammet forteller oss at kun 2.13% av feilene som oppstår leder til varmgang. Dette gjenspeiles i figur 5.2. Varmgang kan oppstå som følge overbelastning og lavt oljenivå i transformator. Som beskrevet i avsnitt 3.1 om transformator, så benyttes olje primært som et kjølemedium og isolator i transformatoren. Et oljenivå som ikke dekker de interne komponentene i transformatoren vil resultere i overoppheting eller kortslutning. Det kommer også frem i statistikken at 2,34% av transformatorfeil kommer av «Vann/nedbør/fuktighet». En utløsende årsak som dette, resulterer som oftest i en form for overledning mellom faser eller faser og jord da vann har høy evne til å lede strøm. Utover overledning kan vann, fukt og nedbør i eller omkring en transformator medføre korrosjon og forringing av utsatte komponenter som pakninger og kabelinnføringer.



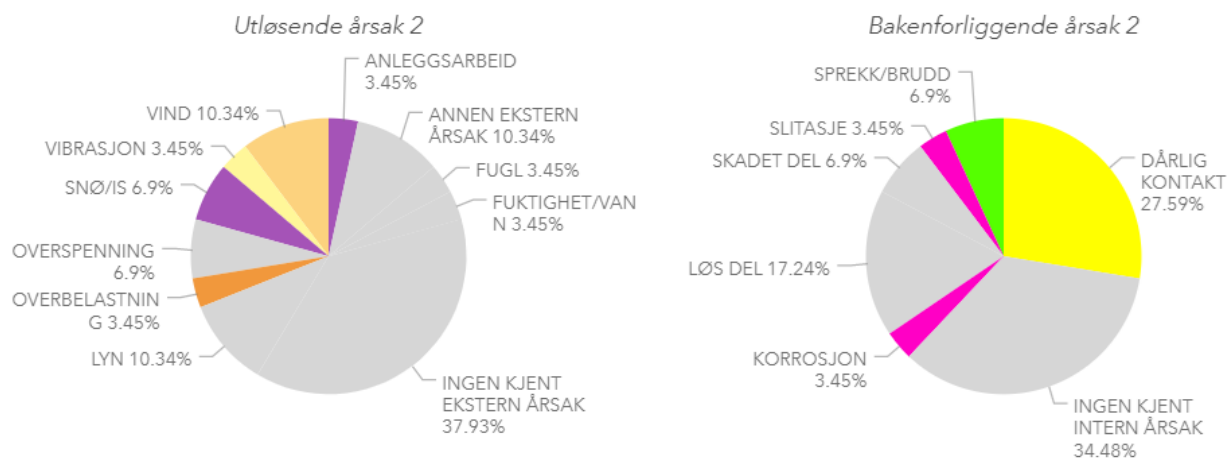
Figur 5.1: Utløsende årsak for transformatorfeil
Bakenforliggende årsak 2



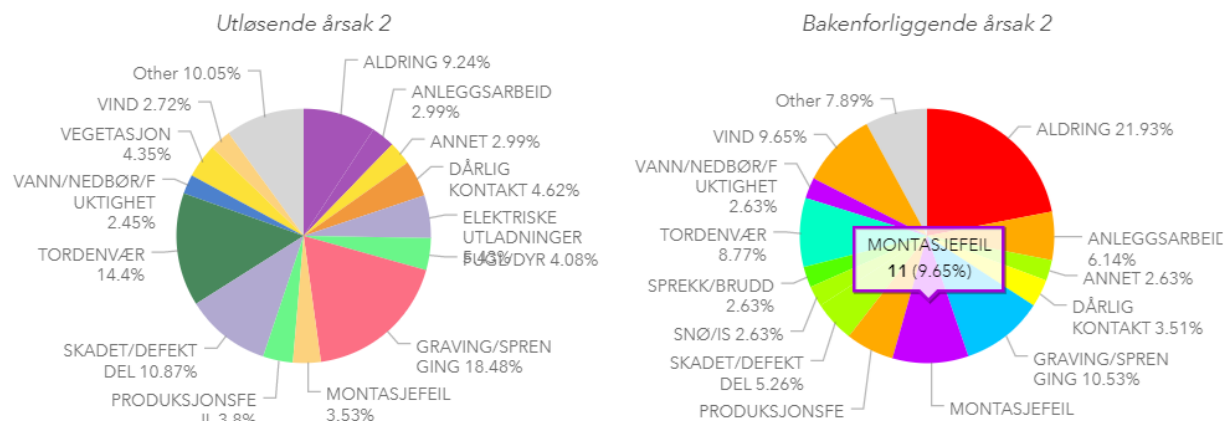
Figur 5.2: Bakenforliggende årsak for transformatorfeil

5.1.2 Føringer

Statistikkene for føringer omfavner alt av kabelføring og samleskinner som er tilknyttet nettstasjoner og transformatorer. Dette innebærer alt av klemmer og gjennomføringer. Disse komponentene er spesielt interessante da 59% av feilene oppstår på disse. Det er ingen av disse årsakene som direkte vil være egnet å overvåke, men flere av årsakene som «dårlig kontakt», «slitasje» og «korrosjon» kan lede til svekkelse av kontaktflater. Ved korrosjon på kontaktflater vil overgangsmotstanden mellom disse øke, noe som igjen resulterer i varmeutvikling. At dette utvikler varme er eksplisitt da enhver ohmsk motstand i en elektrisk krets vil utvikle varme. På bakgrunn av dette vil overvåkning av temperatur og temperaturendring over tid kunne være en god indikator på at en feil har eller er i ferd med å oppstå. Omfanget ved å overvåke lavspenutføringer ville vært svært stort, og vil kreve store mengder materiell ettersom en middels stor trevinklignings-transformator kan ha oppimot 30 lavspenutføringer som vist i vedlegg A.5. Dersom man skal overvåke hver eneste føring i en slik nettstasjon ville dette krevd opp mot 30 temperatursensorer kun for å gi et bilde av temperaturen på lavspenutføringene. Videre i rapporten er det derfor ikke gjort videre vurderinger av føringstemperatur.



Figur 5.3: Feil- og bakenforliggende årsak på føringer



Figur 5.4: Feil- og bakenforliggende årsak på kabel

5.2 Feilsituasjoner og overvåkning

I dette delkapittelet er det ønskelig å trekke en parallell mellom resultatene fra FASIT-statistikkene og overvåkbare feilsituasjoner. I forbindelse med dette oppstår det en utfordring gjennom at analysen av statistikken ikke trekker frem noen av de overvåkbare feilkildene som en betydelig andel av statistikken. Dette gjør at en sammenheng mellom feilsituasjoner i distribusjonsnettet og overvåking ikke kan trekkes. Det ble derfor benyttet en annen fremgangsmåte hvor det ble utarbeidet en liste som omfavner de mest relevante overvåkbare feilsituasjonene og det foretas videre en risikovurdering av disse. Formålet med dette er fortsatt det samme med det som er beskrevet under 4.2, nemlig å vurdere hvilke sensorer som er nødvendige i de ulike posisjonene. Ved å gjøre dette vil det være mulig å prioritere hvilke sensorer som skal monteres, slik at prosjektet får størst mulig verdi, samtidig som det ikke forbrukes unødvendig materiell og kostnader. Tabell 5.1 viser den sammenfattede listen over feilsituasjoner som er utarbeidet på bakgrunn av interne samtaler med AEN.

Tabell 5.1: Overvåkbare faktorer

1	Overopphetet transformator (Mast/Nettstasjon)
2	Overopphetet transformator (Bygg/Murkiosk)
3	Høy luftfuktighet i nettstasjon
4	Lav vanninntrengning
5	Høy vanninntrengning
6	Varmgang i lavspenning
7	Åpen dør til nettstasjon

5.3 Risikovurdering av feilsituasjoner

Resultatene viser en samlet konsekvensutredning over de ulike feilsituasjonene og skal benyttes som grunnlag for å avgjøre hvilke faktorer som bør overvåkes i en nettstasjon. Tallene i tabellen refererer til feilsituasjonene som er gitt i tabell 5.2 og angir deres plassering i risikovurderingen. Det kommer frem at situasjonene «lav vanninntrengning» og «høy luftfuktighet i nettstasjon» plasserer seg lavt på risiko-gradienten og har derfor et lavt behov for overvåkning. Derimot er transformatoren og føringenes temperatur veldig viktig i tillegg til dørtilstand og høy vannstand, noe som legger til grunn for et større behov for overvåkning av disse feiltilstandene. Karakterene som er gitt er basert på samtaler, intervjuer og møter gjort med ansatte i AEN som har tilknytning til drift av kraftnettet. Denne risikovurderingen tar høyde for personskade, kostnad tilknyttet nedetid og reparasjon/vedlikehold, samt hvor eksponert nettstasjonene er for feilene. Det må understrekes at denne risikovurderingen er en separat vurdering fra den som kommer frem under HMS-risikoprofil i avsnitt 5.7.2

Tabell 5.2: Feilårsaker plottet i risikovurderingstabell

Konsekvens	4	Veldig stor		7			
	3	Stor	5	1	2		
	2	Middels				6	
	1	Liten			3		
	0	Veldig liten		4			
		Veldig lav	Lav	Middels	Høy	Veldig høy	
		0	1	2	3	4	
Sannsynlighet							

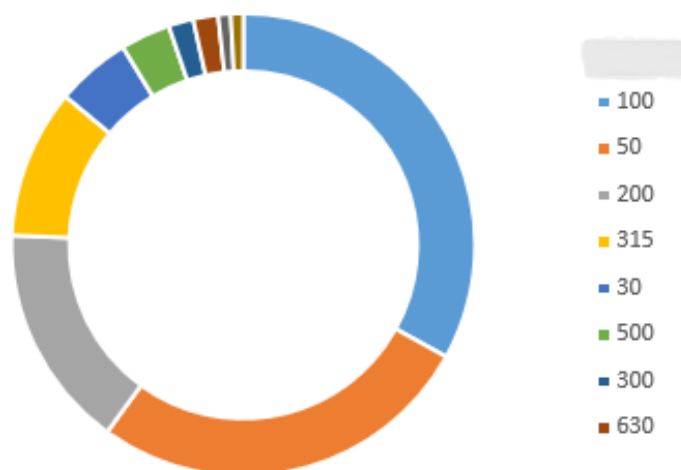
5.4 Analyse overbelastede transformatorer

AEN har en rekke transformatorer i distribusjonsnettet spredd rundt omkring i Agder. Totalt har AEN 8763 (per 05.05.2022) transformatorer i størrelser fra 20kVA opp til 1600kVA. Gjennom databasen PowerBI ble 115 av disse transformatorene merket som overbelastet i år (2022), som tilsvarer 1.31% av alle transformatorene til AEN. Av disse 115 transformatorene som er overbelastet ligger størrelsen på 20kVA til 630kVA. Ved bruk av PowerBI ble tabell 5.3 konstruert for å presentere hvilke transformatorer som oftest blir overbelastet og hvor mange timer de kjøres ved overlast.

Tabell 5.3: Overbelastede transformatorer 2022

Trafo størrelse (kVA)	Antall	Prosentandel av overbelastet trafo i denne størrelsen (%)	Timer overbelastet (t)
20	1	0.86	21
30	6	5.17	187
50	31	26.72	1530
100	38	32.75	997
200	18	15.51	385
300	2	1.72	16
315	12	10.34	291
350	1	0.86	324
500	4	3.44	12
630	2	1.72	69
Totalt	115	≈ 100	3832

Fra tabell 5.3 ovenfor kommer det frem at transformatorene på 50kVA og 100kVA er oftest overbelastet, på henholdsvis 26.72% og 32.75% av tilfellene. Disse transformatorstørrelsene står for over halvparten av tilfellene hos Agder Energi, og har majoriteten av plasseringer i mast. Mer spesifikt står disse for cirka 60% av totalen for overbelastede trafoer. Figur 5.5 visualiserer verdiene fra tabell 5.3.



Figur 5.5: Overbelastnings antall for trafostørrelser hentet fra tabell 5.3

I tillegg til prosentandel overlast, gir tabell 5.3 også informasjon om hvor mange timer hver trafostørrelse kjører i overlast. Totalt opererer AEN sine transformatorer 3832 timer ved overlast. Merkelig fra tabellen er trafostørrelsene på 50KVA og 100KVA som opererer ved overlast i henholdsvis 1530 timer og 997 timer. Figur 5.6 visualiserer timer overlast for hver trafostørrelse, som gjengitt i tabell 5.3.

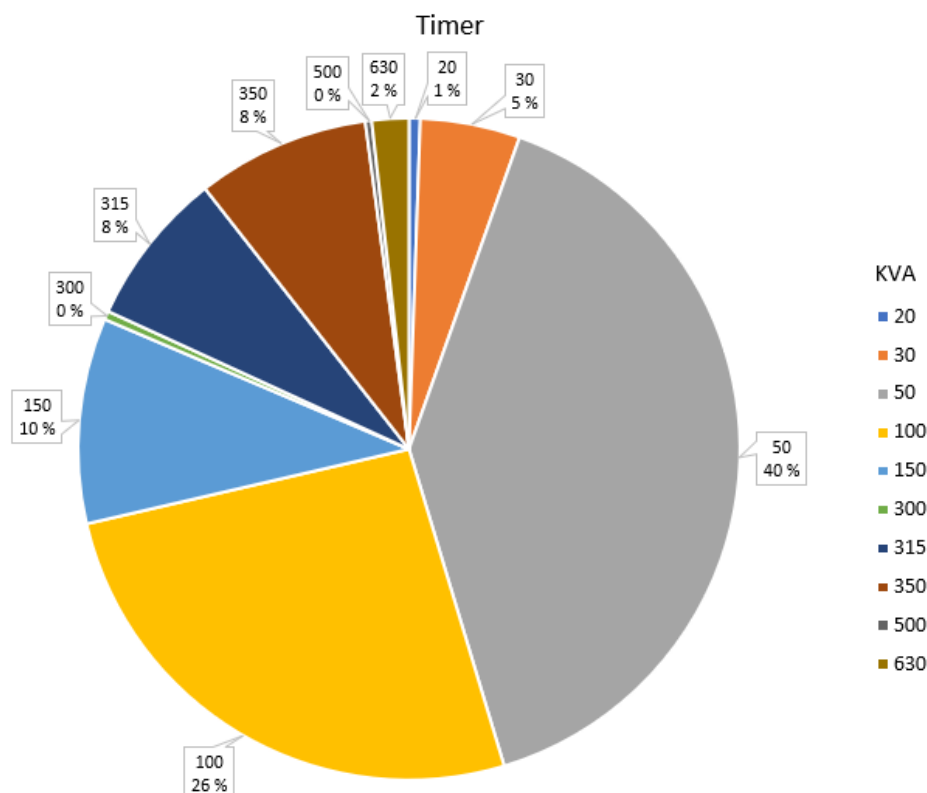
Oppsummert forteller tabellen og grafene at transformatorstørrelsen på 50 KVA og 100 KVA oftest blir overbelastet og opererer også med mest timer ved overlast. Dette stemmer godt med ut-sagnet og tabell 3.2 til Kårstein Longva om at små mastetransformatorer kan belastes høyere enn normalt.

Gjennom samtaler med driftspersonell i AEN ble det sagt at transformatorer montert i mast av mindre størrelser ikke har noe særlig form for overvåking tilknyttet overbelastning. Grunnen til dette er at disse transformatorene har svært god kjøling, og tåler overbelastning godt på bakgrunn av dette. Om det eventuelt skulle oppstå en belastningsrelatert skade på transformatoren vil den i de fleste tilfeller være enkle å skifte ut.

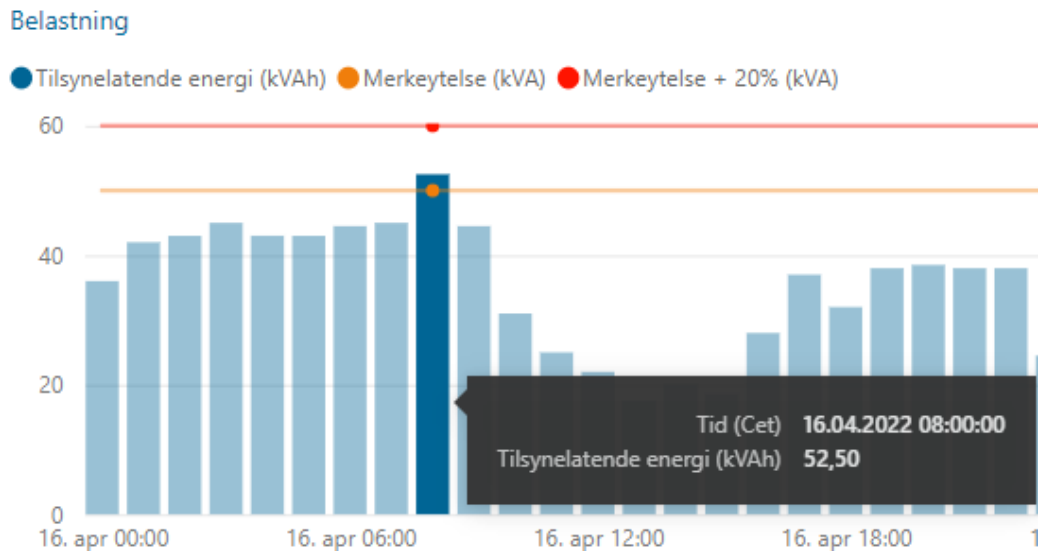
AEN fortalte videre at de hadde to prosesser for vedlikehold og utskiftning av eksisterende transformatorer i nettet. Prosess en går på belastningsgraden til den gjeldene transformatoren, der de overvåker maksbelastningen gjennom en rapport i PowerBI. I følgende tilfelle har AEN en tommelfingerregel som sier at 20% overlast går greit ved små mastemonteerte transformatorer. Prosess to er tilstandsbasert, der en inspeksjon vil være med på å gi tilstanden til transformatoren. Ifølge AEN blir det ikke utført noe videre arbeid hvis de to gjeldene prosessene er akseptable.

Som følge av AEN sine prosesser og rutiner ved inspeksjon av transformatorer ble det som nevnt tidligere i rapporten utført arbeid og montasje av sensorovervåking på enkelte transformatorer. Enkelte av transformatorene hvor det ble utført montasje av nye sensorer opererte ved overlast og befant seg i mast. Dette ble gjort for å få inn mer informasjon til prosess en og to. Ved mer sensordata får AEN inn mer informasjon som vil bidra til å vurdere tilstanden til transformatoren.

Figur 5.7 viser belastningen på en slik transformator på 50 KVA montert i mast som opererer med overlast og viser hva driftspersonellet til AEN ser gjennom PowerBI når de sjekker belastning. Figuren under viser en søyle med data og tidspunkt i perioden transformatoren var overbelastet, og viser at den har en last på 52,5 kVAh, som er 105% av merkeytelsen.



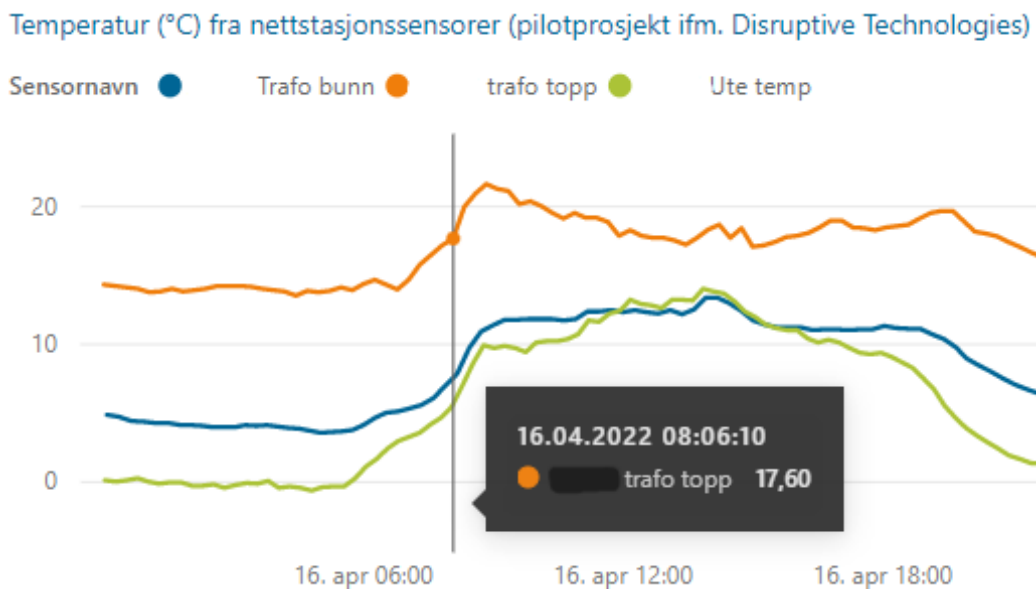
Figur 5.6: Timer overlast pr trafostørrelser hentet fra tabell 5.3



Figur 5.7: Belastningsdata transformator

Siden transformatoren som vises i figur 5.7 opererte periodevis med overlast, ble det montert sensorer fra DT på denne. Figur 5.8 viser avleste verdier for temperatur i samme periode som transformatoren var overbelastet. Visuelt fremstilles det at temperaturene i tidspunktet ved overbelastning er:

- Ute temperatur 5°C
- Transformator bunn 8°C
- Transformator topp 17.6°C



Figur 5.8: Sensordata transformator

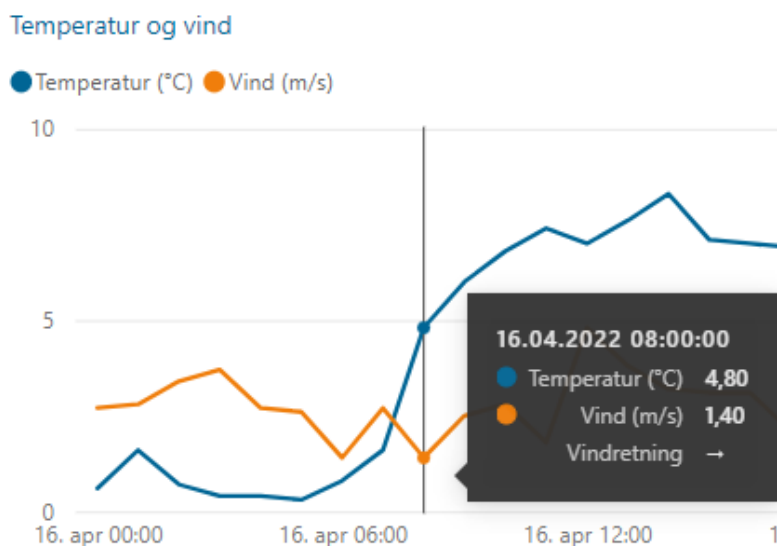
Verdiene fra figur 5.8 ble videre kryssjekket opp mot værstasjons-data fra en relativt nær lokalisasjon og stemmer relativt godt med utetemperaturen på sensoren ved transformatoren. Det må nevnes at temperaturen hos sensorene vil bli påvirket av temperaturen til transformatoren i tillegg til plasseringen, som beskrevet i installasjonsprotokollen A.2

Figur 5.9 viser at temperaturen stemmer forholdsvis godt med ute-temperaturen til transformatoren, da denne er montert under AMS-skabet på bakkenivå ved mastefoten.

Ved å studere figur 5.7, 5.8 og 5.9 kan en se at utvendig temperatur på transformatoren holder seg relativt lav, dette selv om transformatoren opererer i overlast. Dette skyldes trolig den lave utetemperaturen og at mastemonterte transformatorer er i et bedre ventilert miljø, som nevnt tidligere.

Ved tidspunktet da transformatoren var overbelastet lå utendørstemperaturen på rundt $4\text{--}5^{\circ}\text{C}$. Gjennom inspeksjon av tabell 3.2 til Kårstein Longva kan en se at en omgivelsestemperatur på 0°C tilsvarer en belastningsfaktor på 1.17. Det vil si at transformatoren i teorien kan belastes 17% over merkeytelsen uten at dette forringer levetiden.

Scenarioet presentert ovenfor er ett eksempel på hvordan sensorovervåking kan bli brukt for å forsikre seg om at transformatoren holder seg i ønsket driftsområdet ved gitte temperaturer. Hvis tidspunktet for overbelastningen eksempelvis hadde vært i juli istedenfor april, og temperaturen hadde vært høyere kunne dette ført til at transformatoren ble varmere enn antatt. En utvendig omgivelsestemperatur på 30°C hadde ifølge tabell 3.2 tilsvart en belastningsfaktor på 0.91, tilsvarende en reduksjon på 9% av belastningskapasiteten.



Figur 5.9: Værstasjonsdata ved transformator lokalisasjon

5.5 Feilresultater ved monterte sensorer og data

Det påpekes tidlig i oppgaven at AEN har hatt problemer med overføring og avlesing av sensordata. Diverse sensorer har blitt defekte og enkelte har mistet kontakt med CC. Dette avsnittet presenterer og illustrerer problemer knyttet til eksisterende sensorer fra starten av pilotprosjektet.

5.5.1 Feiloversikt

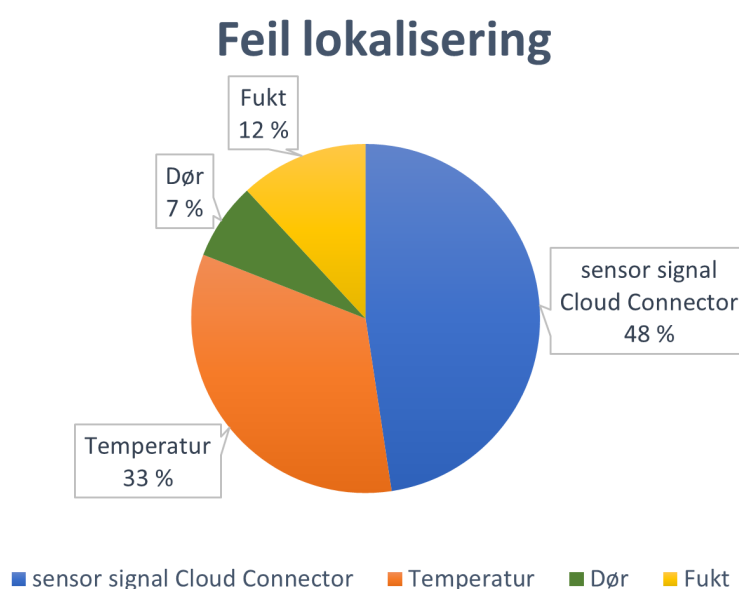
AEN hadde før prosjektets start montert sensorer i 31 nettstasjoner, der 21stk er i trafokiosk, 8stk i bygg og 2stk i mast. Totalt var 185 sensorer satt opp og konfigurert, der 124stk er temperatur, 42stk er dør, 14stk er luftfuktighet og 5stk er vann. Tabell 5.4 under viser oversikten over plasseringene til sensorene og antall defekte sensorer for hver type.

Tabell 5.4: Oversikt over sensorplassering

Nettstasjons type	Temperatur	Dør	Vann	Fukt	Totalt
Trafokiosk	83	34	2	13	132
Bygg	33	8	3	1	45
Mast	8	0	0	0	8
Totalt	124	42	5	14	185
Defekte sensorer	14	3	0	5	22
Prosentandel defekt (%)	11.3	7.1	0	35.7	11.9

Totalt ble det funnet 22 defekte sensorer, der 14 temperatur-, 3 dør- og 5 fukt-sensorer var defekte. Ytterligere hadde 20 sensorer mistet kontakt med CC for den representative sensoren. Figur 5.10 illustrerer hvilke kategorier det oppstod feil ved for de eksisterende sensorene hos AEN. Feilene ble funnet ved bruk av fremgangsmåte som beskrevet i avsnitt 4.4.

Oppsummert tilsier disse tallene at 11.9% av sensorene ble defekte og 10.8% av sensorene hadde mistet kontakt med CC. Potensielle feilårsaker legges frem i rapportens neste delkapitler.

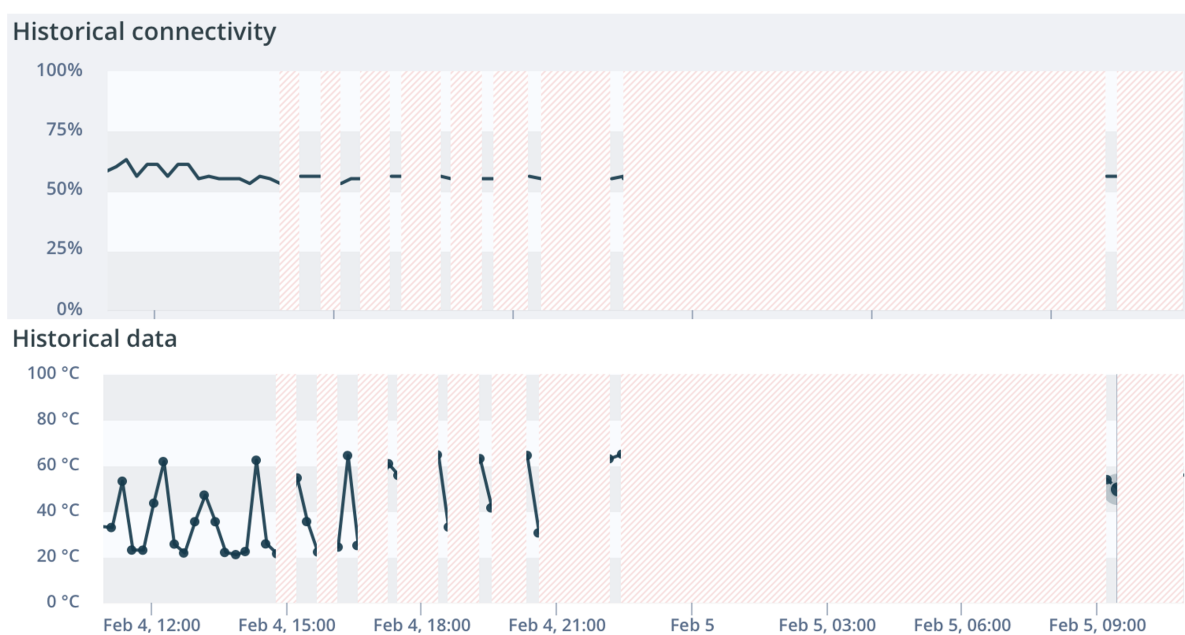


Figur 5.10: Feilstatistikk sensorer

5.5.2 Sensorlevetid

Det ble i avsnitt 2.3.1 skrevet om korrelasjonen mellom samplingsrate og batteritid. Det ble her beskrevet hvordan dårlig signalstyrke vil gjøre sensoren gå inn i «boost mode» og vil dermed tømme batteriet hurtigere enn estimert. Ytterligere ble figur 2.7 presentert, der levetiden ble satt opp mot temperatur.

I et forsøk på å undersøke levetiden på en temperatursensor var det ønskelig å plassere en slik sensor i et miljø som best representerer sensorens anvendelsesområde i distribusjonsnett. En «Standard Temperatur Sensor (100118)» ble derfor plassert på en panelovn. Hensikten var at panelovnen skulle kunne simulere temperatursvingningene som oppstår på en overbelastet transformator. Forsøket ga høyst relevante resultater ettersom forsøket endte med at sensoren sluttet å virke på tilsvarende vis som de transformatormonterte sensorene.

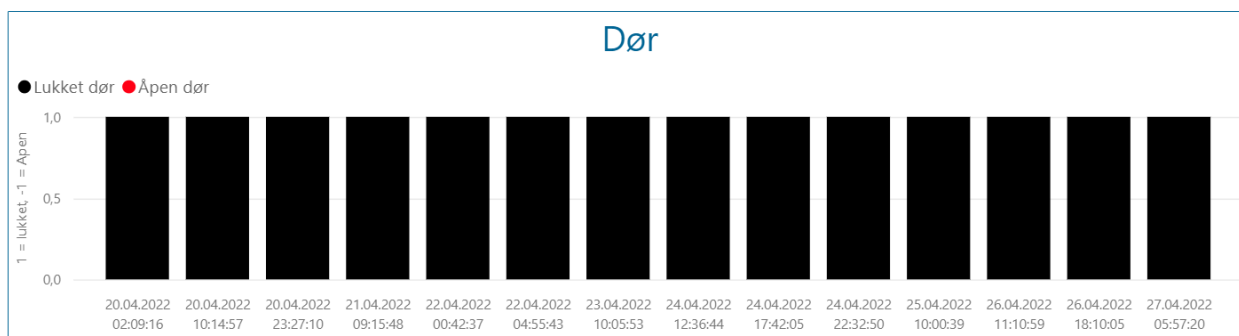


Figur 5.11: Utdrag av signalstyrke og temperatur i tidsrommet hvor sensoren mister kontakt

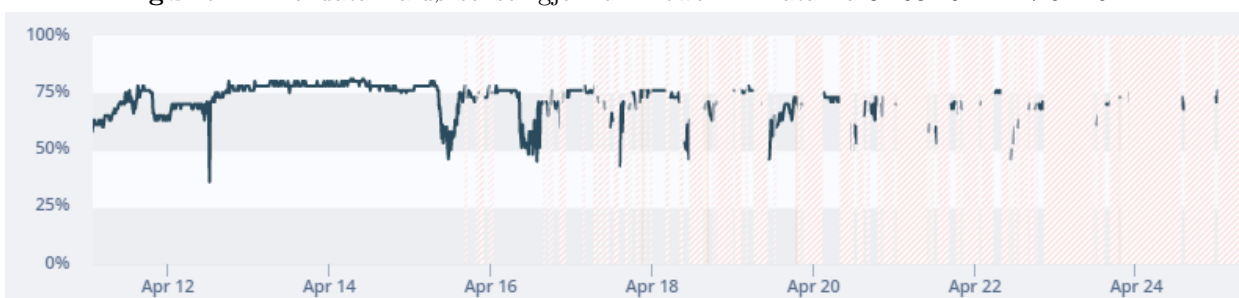
Bildet ovenfor viser tidsintervallet hvor sensoren mister kontakten med CC. Sensoren klarer sporadisk å sende ut signaler etter avbruddene, men tidsintervallet hvor sensoren mister kontakten øker for hvert avbrudd. Det er viktig å merke seg at den benyttede sensoren er en standard temperatursensor, og ikke en industriell som skal tåle høye temperaturer og svingninger bedre. Årsaken for at en standard ble benyttet, var for å undersøke hva som har gjort at tidligere temperatursensorer har sluttet å virke. Fra forsøket er det vanskelig å tyde om det er svingningene eller de høye temperaturene som utløser feilen, men bruk av industrisensoren skal uansett kunne utbedre begge disse utfordringene. Ettersom hensikten med disse sensorene er å kartlegge transformatorer med høye temperaturer anbefales derfor at industrisensoren benyttes på absolutt alle transformatorer, slik at de kan fungere til sin hensikt.

5.5.3 Feilresultater Dørsensor

Gjennom PowerBI har det vært problemer med varsling og avlesing av data. Ved flere tilfeller har proximity sensoren for varsling av dør gitt signaler på flere åpne og/eller lukkede dører på rad. Ved å sammenligne data hentet fra PowerBI og DT-studio vil det komme frem hvordan sensortilstanden er i samme tidsrom som den eventuelt registrerer data. I figur 5.12 og 5.13 kommer det tydelig frem at det er en sammenheng mellom signalavbrudd og slik feilregistrert data som beskrevet over. Figur 5.12 viser alle hendelser siden montasje av sensoren registrert i PowerBI og figur 5.13 viser sensortilstanden fra DT-studio. Figur 5.13 viser et tydelig økende signalproblem knyttet til sensoren hvor de skraverte feltene visualiserer tidsrommet hvor sensoren ikke har kontakt med CC. I de to figurene er det ikke direkte «en til en» sammenheng mellom signalavbruddet og hendelsene men det er uansett tydelig at det er relatert. Etersom PowerBI kun behandler rådata sendt fra Disruptive Technologies, kan det tenkes at sensoren etter lengre dataavbrudd sender et nytt signal om hvilken tilstand den er i, slik at informasjonen vist i PowerBI opptrer som vist i figur 5.12. Informasjonen hentet fra DT-studio viser også at batteritilstanden på sensoren er 100% og feildataen er derfor ikke knyttet til lavt batteri, gitt at denne informasjonen er korrekt.



Figur 5.12: Feildata fra dørsensor gjennom PowerBI. Data fra 31.03.2022 - 27.04.2022

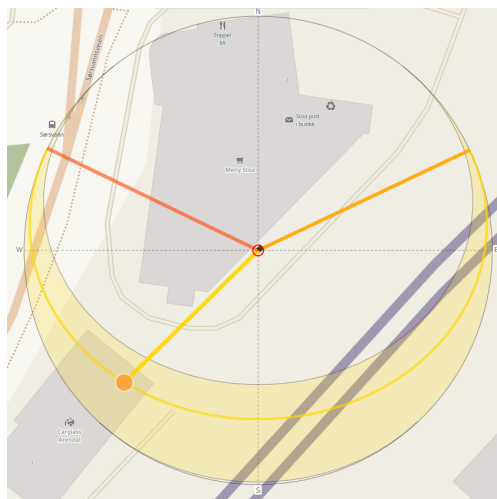


Figur 5.13: Sensortilstand hentet gjennom DT-studio. Batteritilstand 100%

Dette betyr at det ikke er et sensor- eller montasjerelatert problem ved registrering av hendelser, men heller et dataoverførings-problem. En måte å omgå dette problemet er å utforme en ny visualisering i PowerBI som konstant viser den aktuelle dørstillingen. Ved å gjøre dette vil ikke flere identiske hendelser påvirke statistikken på noen måte. Her er det verdt å merke seg at slike feilregistreringer kan være en god indikator på at det er noe øvrig galt med sensoren, og det kan derfor være en relevant at slike hendelser også kommer frem i visualiseringen slik at man har mulighet til å eventuelt ta tak i problemet før sensoren slutter å virke. I dette tilfellet feiler ikke sensoren på samme grunnlag som sensoren i avsnitt 3.1.3 om sensorlevetid. I følge Disruptive Technologies er det heller en svakhet i de tidligere sensorene som gjør at interne komponenter i sensoren kan løsne og resultere i ustabilitet som vist i figur 5.13.

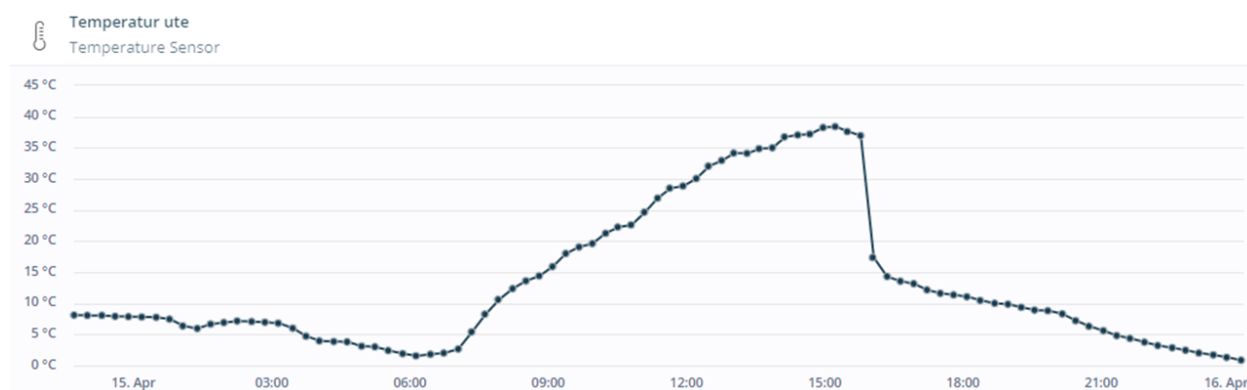
5.5.4 Usikkerhetsmomenter ved temperaturmålinger

I arbeidet rundt påliteligheten til dataene som leveres av temperatursensorene er det relevant å undersøke innvirkningen direkte sollys har på registrerte temperaturer. Formålet her er å avgjøre om en solutsatt plassering av temperatursensor vil gjøre dataene fra temperatursensoren upålitelig. For å kartlegge dette problemet ble en sensor montert utvendig på en nettstasjon i en solutsatt posisjon. Den ble også plassert slik at sensoren rask blir skyggelagt når solen forsvinner bak nærliggende bygg. Overflaten som temperatursensoren monteres på, er en grå og tynn polymeroverflate noe som gir den en lav varmekapasitet. Som utvalg for denne kvalitative undersøkelsen ble en solrik dag benyttet, med intensjonen om at dette skal lage tydelige resultater som en videre konklusjon kan baseres på.



Figur 5.14: Visualisering av solposisjon i forhold til sensor kl. 15:47 15.april.2022 ¹⁴

Sensoren er av typen «Standard Temperatur Sensor (100118)» og er orientert direkte i retning sør-vest. Ved hjelp av et dataprogram som beregner solposisjon basert på geografisk posisjon og høyde, samt dato er det estimert når solen vil forsvinne bak bygningsmassen. Det estimerte tidspunktet er 15:47 på denne gitte dagen. Dette fremstilles visuelt i figur 5.14. I denne figuren er origo temperatursensorens plassering og den oransje prikken i retning sør-vest er solens posisjon på det gitte tidspunktet. Hensikten med å estimere solposisjonen er å undersøke hvordan denne sammenfaller med parallell registrert temperaturdata vist på 5.15. Denne sammenligningen viser at temperaturen registrert av sensoren synker med 19,60 °C i løpet av 15 minutter. Dette resultatet viser at informasjonen som leveres av Disruptive Technologies sine temperatursensorer er svært posisjonsavhengige. I dette forsøket ble det kun målt en utvendig omgivelsestemperatur og er derfor ikke en temperatur som er kritisk at samsvarer med den reelle verdien. Dersom dette på en annen side hadde vært en sensor som var montert på en mastemontert transformator, ville dette kunne gitt en falsk alarm dersom det hadde blitt registrert en overflatetemperatur som er nærmere 20 °C høyere enn den reelle temperaturen.



Figur 5.15: Utetemperatur på nettstasjon målt 15.april.2022

¹⁴Visualisering gjort ved hjelp av suncalc.org

5.5.5 Elektromagnetisme og signaler

Databladet [68] og spesifikasjoner for sensorene sier at sensoren ikke skal utsettes for sterke magnetiske felt eller sterke elektriske feltsvingninger.

En masteroppgave av Thorkildsen, Leander Berg [54] fra UIA i samarbeid med Agder Energi brukte også sensorer fra Disruptive Technologies. Denne artikkelen stilte seg kritisk til enkelte resultater og nevnte magnetfelt som en mulig feilkilde. Dette ettersom magnetisme og elektriske felt er hovedprinsippet til en transformator. Relatert til elektromagnetisme legger også REN 6002 [14], 2017 frem følgende påstand:

Sitat REN 6002, 2017 - *«Nettstasjoner anbefales ikke plassert der tilstøtende rom inneholder datautstyr eller følsomt elektronisk utstyr, eller blir brukt til «stasjonært» opphold (soverom). Dette på grunn av at det ved strømførende installasjoner oppstår elektromagnetiske felter som kan virke forstyrrende, eller sjenerende på mennesker. Nettselskapet påtar seg intet ansvar for senere forstyrrelser på installasjoner som måtte oppstå som følge av elektromagnetiske felter. Det vises til RENblad 8014 som er et generelt blad for håndtering av magnetiske felter»*

Sitatet ovenfor nevner at nettstasjoner ikke bør være plassert tilstøtende med følsomt elektronisk utstyr, og at elektromagnetiske felter kan være forstyrrende. Dette sitatet er ikke det mest relevante i rapportens sammenheng, men får allikevel frem at magnetfelt kan ha forstyrrende innvirkninger på elektronikk. Hvor følsomt sensorene til DT er, og om magnetfelt faktisk er en mulig feilkilde har ikke oppgaven sett nøye nok på til å produsere noen resultater, men er verdt å nevne som en mulig feilkilde, som nevnt i REN 6002 og av Thorkildsen. Uansett viser ikke noen av de nye installasjonene antydning til at transformatorens elektriske felt påvirker signalstyrken i stor nok grad til at det er nødvendig å ta høyde for dette.

5.5.6 Flere usikkerheter rundt Disruptive Technologies

Ved implementering av nytt overvåkingssystem er det essensielt at systemet både er pålitelig og har få, til ingen usikkerhetsmomenter. For å ha en pålitelig og trygg overvåking av data er det viktig at løsningen er basert på grunnlag av det gjeldene anlegget og driftsområdet.

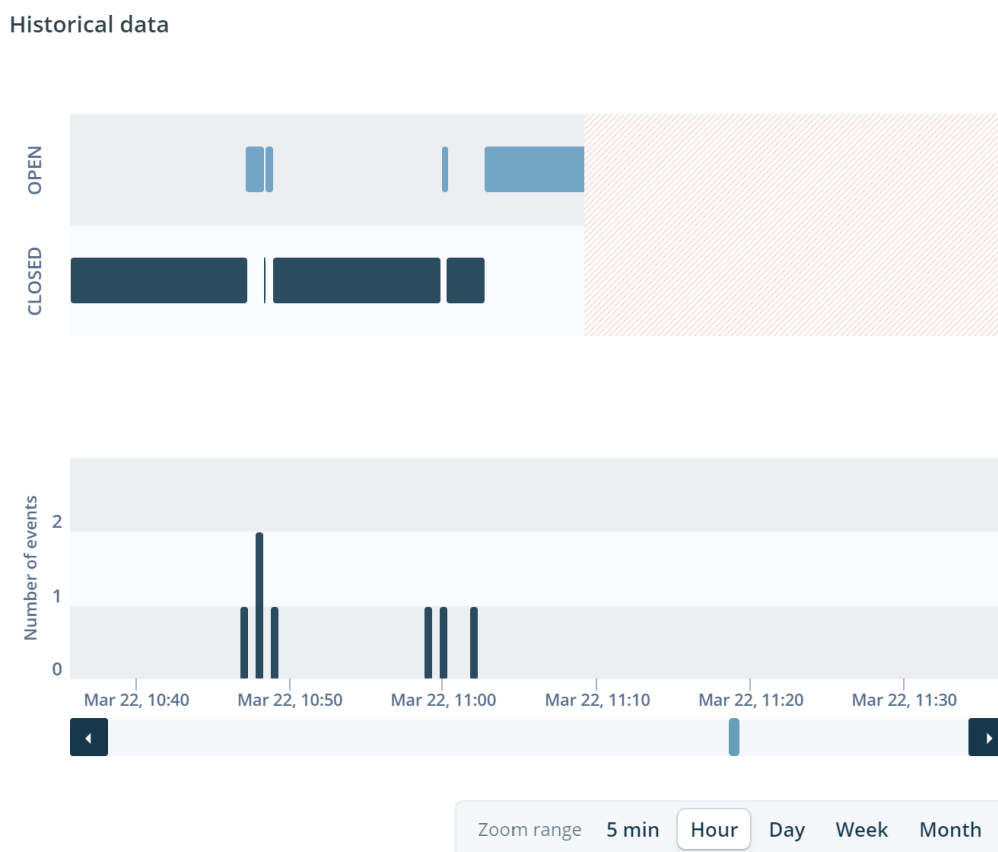
Disruptive Technologies har en artikkel [69] der de forsvarer og anbefaler bruken av sensorer i nettstasjoner, noe de kaller «smarte nettstasjoner». De skriver videre at:

«DT-sensorer er enkle å installere og gir fjernovervåking og praktisk innsikt i driften av transformatorstasjoner. Sensorene passer overalt, er enkle å installere og ingen nedetid er nødvendig.»

Hvor godt sitatet ovenfor stemmer kan være vanskelig å svare på ettersom at det finnes mange forskjellige utforminger på nettstasjoner, men gjennom observasjoner og erfaringer gjort gjennom montasje fremkom enkelte problemer og ulemper knyttet til sensormontasje. avsnitt 5.7 beskriver montasjen av sensorene og gjengir fordeler og ulemper som oppstod. Som nevnt i sitatet ovenfor var mesteparten av montasjen forholdsvis enkel, men ved enkelte steder krever det ekstern festemasse grunnet at det eksisterende limet på sensorene ikke fester seg godt til røye overflater. DT gjengir også gjennom sitatet ovenfor at installasjonen ikke

krever nedetid, men dette var ikke alltid tilfellet for montasjene utført hos AEN. Enkelte av transformatorene til AEN er ikke berøringssikre, og vil der kreve enten stans, altså nedetid, eller en form av barriere for skjerming av spenningsledene deler, som ikke alltid er mulig å få til. Nedetid, også kalt strømstans er vanskelig å unngå hvis sensor skal monteres på transformatorer i mast. Dette ettersom mastetransformatorer ofte har spenningsførende uisolerte anleggsdeler som medfører stor risiko for strømgjennomgang ved montasje uten en strømstans. Det skal sies at selve montasjen av sensorene fortsatt er relativt enkel, men det krever større tiltak for omstendighetene rundt installasjonen dersom en transformator ikke er berøringssikker.

Det har tidligere i oppgaven kommet frem at prosjektet hadde problemer som oppstod gjennom kommunikasjon med sensorer og CC. Ved innhenting av sensordata var det flere tilfeller der sensoren mistet kontakt med CC, og dermed ga mangelfull og ufullstendig informasjon. I forbindelse med montasje av dørsensor oppstod det perioder ved signaltap. Figur 5.16 viser gjennom DT Studio en rekke hendelser hvor sensorene og CC mistet all kontakt. Videre ble det foretatt en inspeksjon gjennom AEN sine systemer, der det ble konkludert at ingen arbeid var registrert i tilsvarende tidsrom.



Figur 5.16: Registrerte hendelser og signaltap

Figur 5.17 viser CC tilkoblet stikkontakt ved samme nettstasjon som nevnt ovenfor. Ved å studere figuren kan en se at utformingen til komponenten gjør at den tar i bruk to uttak, dette ved å dekke til den nedre jordingspinnen i det øverste uttaket. Ved enkelte scenarier der sensoren har mistet kontakt med CC kan det se ut som at dataavbruddet har nær relasjon til en arbeidsbeskrivelse. Dette betyr at montører kan ha hatt behov for å benytte seg av strømuttaket, og derfor har plagget ut komponenten. En majoritet av eksisterende CCEr montert i nettstasjoner mangler en form for markering om at disse ikke må frakobles, noe som betyr at det heller ikke er iverksatt noen tiltak for å omgå dette problemet. Ytterligere har DT ingen verifikasjon på om CC har eller mangler spenning, noe som gjør at man ikke kan fastslå, at dette er et problem, kun ved å se på informasjonen som hentes inn gjennom DT-studio og PowerBI. Hovedutfordringen med måten CC monteres på er at de monteres for permanent bruk i et strømuttak som hovedsakelig er dedikert til vedlikehold og arbeid i en nettstasjon. En god løsning på dette ville vært å direktekoble komponenten slik at det blir vanskeligere å frakoble den. På en annen side økes samtidig omfanget av installasjonen, men det kan tenkes at avkastningen i form av økt pålitelighet gjør en slik installasjon gunstig.



Figur 5.17: Cloud Connector i nettstasjon

Annen mulig årsak for tap av signal knyttet til CC kan være hvis det utføres arbeid som krever fullstendig strømstans på nettstasjonen. Ved slike tilfeller da anlegget og kursene er uten spenning, vil det oppstå tap av data og informasjonsflyt. For å undersøke om dette er en mulig årsak må man inn fysisk i systemene til Agder Energi for å se om det har blitt utført arbeid ved den gjeldende nettstasjonen.

5.6 Nytteverdi temperatursensor

Under teorien i avsnitt 3.1.3 trekkes relevante variabler som kan ha påvirkning på transformatorens levetid frem. Her er det tydelig at høye temperaturer tilknyttet overlast i stor grad er med på å avgjøre en transformators levetid. Den åpenbare utfordringen som denne oppgaven står ovenfor, er fraværet av målt oljetemperatur. Ideelt ville oljetemperatur vært logget og benyttet i en matematisk modell som kan tilsi hvor lang ut i livsløpet hver enkelt transformator er, og man kunne videre sjekket hvor nært man kan komme dette resultatet med verdier fra temperatursensoren.

5.6.1 Temperatur og levetidsberegninger

Dette prosjektet skulle se på sammenhengen mellom overflatetemperatur, kjernetemperatur i oljen og belastning av transformatoren. Grunnet hindringer som nevnt tidligere i oppgaven var dette ikke mulig, og man sto da kun igjen med belastningsdata og utvendig temperatur

på transformatoren. Dermed ved å benytte transformatorens overflatetemperaturer fremfor toppoljetemperaturen, vil enhver beregning kun være et estimat. Det vil uansett være mulig å gjøre et ganske så godt estimat, spesielt ved å inkludere en form for «Machine Learning» for å estimere den faktiske oljetemperaturen. Thorkildsen, Leander Berg hadde som nevnt tidligere gode resultater med å beregne temperatur ved bruk av belastningsdata kombinert med Machine Learning ved XGboost [54] for AEN. Etersom sammenhengen mellom utvendig og innvendig temperatur ikke kunne bli innsisert videre og at AEN allerede har en god modell for beregning av temperatur ved bruk av belastningsdata, ble temperatursensorene videre brukt til å sjekke tilstanden til transformatoren istedenfor å gjøre temperatur og levetidsberegninger. AEN har videre ett mål om å få montert Ecosmart sensoren på transformatorer som originalt tenkt slik at temperatursensorene kan brukes til sitt originale formål.

5.6.2 Bruksområde temperatursensor

Det oppgis ovenfor at tiltenkt bruksområde for sensorene til DT ble flyttet fra ett beregningsperspektiv for temperatur og levetid, til ett mer tilstandsbasert informasjonsverktøy. Tidligere i kapitlet under avsnitt 5.4 legges bruksområdet for overvåking av overbelastede transformatorer frem. Gjennom å overvåke temperaturen på de mest overbelastede transformatorene kan dette være en god måte for å få inn mer informasjon om tilstanden til transformatoren.

Figur 5.18 viser en kort oversikt over trafokretser med høyest belastning til AEN, hentet fra PowerBI. Felles for transformatorene på lista er at alle er plassert i mast. Ytterligere må det nevnes at størrelsen på transformatorene i mast er av en mindre størrelse, og har ofte en størrelse på enten 50kVA, 100kVA eller lavere. Figur 5.18 påpeker også utsagnet til Kårstein Longva om at små mastemonterte transformatorer kan belastes høyere enn ellers normalt. Andre alternativer der temperatursensoren har stor nytteverdi er i bygg der ventilasjon ikke er til stede eller er begrenset. Videre kan temperaturavlesing være nyttig på annet utstyr som kan eller har en tendens til å bli varmt. Rapporten vil senere introdusere AEN sine ønsker for temperaturovervåking og plassering av sensorer. Dette kommer frem under avsnitt 5.7.1.

Trafokretser med høyest belastning (siste år)				
Tid siste maksverdi	Overlast	Timer	Merkeyt.	
15.05.2021 21:00:00	89,10 %	57	50,00	
24.12.2021 19:00:00	68,00 %	463	50,00	
15.05.2021 19:00:00	63,55 %	119	30,00	
02.04.2021 11:00:00	55,21 %	80	50,00	
13.05.2021 17:00:00	51,33 %	140	50,00	
30.01.2022 04:00:00	46,01 %	232	50,00	
26.02.2022 10:00:00	38,00 %	215	100,00	
03.04.2021 22:00:00	36,06 %	501	50,00	

Figur 5.18: Belastningsoversikt Transformatorer

5.7 Praktiske tiltak

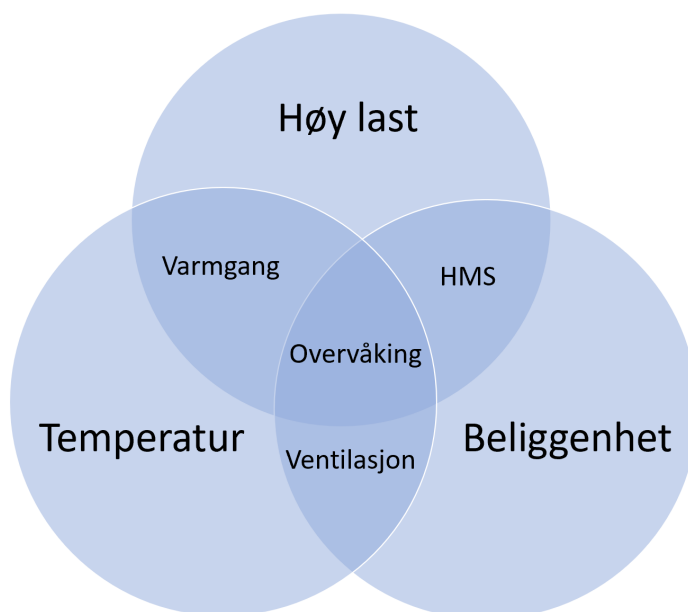
Følgende avsnitt vil legge frem de praktiske tiltak som har blitt utarbeidet på bakgrunn av observasjoner under feltundersøkelser. Det vil trekkes frem hvilke problemstillinger som har ledet til disse tiltakene, og settes i sammenheng med hvordan utfordringene løses.

5.7.1 Protokoll

I samarbeid med AEN ble det utformet en protokoll på hvilke nettstasjoner og transformatorer det var ønskelig med sensormontasje og overvåking. Protokollen ble bygget opp med tanke på overvåking og datainnsamling av transformatorer, samt sikkerhet rundt adgang gjennom dører til diverse nettstasjoner. Figur 5.19 visualisere faktorene som tegner behovet for overvåking i nettstasjoner.

Belastning og temperatur er sterkt knyttet opp mot levetiden til en transformator, som beskrevet i 3.1.3. Gjennom AEN sin database PowerBI 2.4.1 listes transformatorer med høyest belastning, og det er blant annet disse som er ønskelig å overvåke med temperaturovervåking.

I tillegg til last og innvendig temperatur til transformator er omgivelsestemperatur ett av parameterne som er med å påvirke den totale temperaturen til transformatoren. Tabell 3.2 under kapittel 3.1.4 viser hvordan omgivelsestemperaturen påvirker den totale temperaturen og hvor mye en transformator kan belastes. Grunnet slike ytre påvirkninger er det ønskelig å ha overvåking på nettstasjoner som er kjent for å bli varme og der ventilasjonen er begrenset. Transformatorer plassert i bygg der det ikke er mekanisk ventilasjon er det ifølge AEN også ønskelig å overvåke. Det er begrunnet i at slike transformatorer plassert i bygg er ofte av større kapasitet, og dermed dyrere. I tillegg er en utskifting av slike transformatorer ofte en mer omfattende jobb enn utskifting i en standard nettstasjon. Det vil dermed være hensiktsmessig å overvåke en mer kostbar investering ettersom denne vil være mer kostbar å erstatte. Annen nødvendig overvåking er overvåking av dører til nettstasjonene. På grunn av den berøringsfaren til spenningsførende deler inne i nettstasjonen er det særdeles viktig at AEN har oversikt over dørene og tilgang til en hver tid. Spesielt viktig er dette rundt tettbebygde strøk, skoler, barnehager og andre store folkemengder. Dette ble beskrevet i detalj i avsnitt 5.7.2



Figur 5.19: Venndiagram over overvåkings-aspekter

AEN og andre leverandører utfører ofte arbeidsoppdrag i nettstasjoner. Ved slike tilfeller kan det skje menneskelige feil som resulterer i en ulåst og åpen dør. Slike situasjoner gir nødvendigheten for en tredjepartskontroll¹⁵ gjennom systemer for overvåking. Ved bruk av informasjonen ovenfor har det blitt utarbeidet ett protokoll-skjema som ligger vedlagt. Dette er laget for å gi AEN en guide gjennom en protokoll. Ved hjelp av denne protokollen skal ny installasjon av sensorer skje raskt og enkelt samt at den sikrer at montasjen blir utført

¹⁵Tredjepartskontroll - en nøytral kontroll hvor det kontrolleres at anlegget tilfredsstiller krav og observerer eventuelle feil.

korrekt. Denne protokollen skal leses som en del av rapportens konklusjon, og ligger vedlagt som A.2.

5.7.2 Nettstasjons utvalgsgrunnlag for sensormontasje

Gjennom protokollen i A.2 blir HMS-risikoprofilen lagt frem. Ved bruk av HMS-risikoprofilen vil alle nettstasjonene i AE sitt forsyningsnett bli vurdert og tilegnet en av fire risikokarakterer. Foreløpige kriterier basert på HMS-risikoprofilen er presentert nedenfor i tabell 5.5.

Tabell 5.5: Klassifiseringer i AEN sin HMS-risikoprofil

	Mastemontert nettstasjon	Frittstående nettstasjon
Høy	100m buffer barnehage 100m buffer skoler	100m buffer barnehage 100m buffer skoler
Middels	Kryssende sykkel- og gangvei 10m buffer til sykkel- og gangvei Nærhet til bygninger, parkeringsplasser og andre trafikerte områder	Nærhet til bygninger, parkeringsplasser og andre trafikerte områder
Lav	Bebodde områder (boligfelt etc.)	Bebodde områder (boligfelt etc.)
Uprioritert	Utmark	Utmark

Risikoprofilens bruksområde kommer frem i installasjonsprotokollen under vedlegg A.2. Denne risikoprofilen under utredning hos AEN og er i skrivende stund ikke klar for bruk. Risikoprofilen skal gi en oversikt over hvilke nettstasjoner som vil være aktuelle å overvåke med dørsensorer for å beskytte en tredjepart. Risikoprofilen vil være sentral i arbeidet knyttet til utvalg av nettstasjoner som skal overvåkes med tanke på sikkerhet og lokalisasjon hos AEN. Grunnlaget for risikoprofilen er blant annet å forebygge at uvedkommende ikke skal komme i inn nettstasjonen.

Tidligere i rapporten under avsnitt 3.2 ble forskrifter og paragrafer for nettstasjoner presentert. I avsnittet presenterer både REN og DSB sine forskrifter og normer som blant annet beskriver nødvendigheten for overvåking av adgang og dører. Dette forsterker incentivet til AEN for overvåking av dører og adgang i sine nettstasjoner.

5.7.3 Rutiner

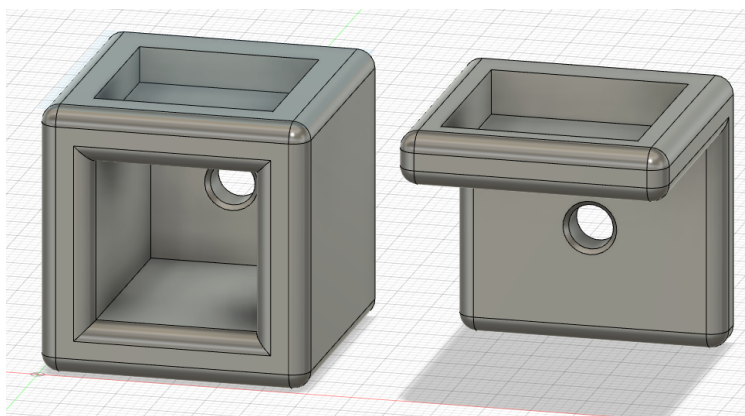
For at en utrulling av sensorteknologi i distribusjonsnettet skal være vellykket og inngå sømløst i AEN sin arbeidsflyt krever dette rutiner internt i AEN. Rutinene må være gjennomarbeidet og godt implementert slik at de fungerer til sin hensikt. En slik rutine må etableres i forbindelse med transformatorbytte. Ved flere tilfeller har transformatorer blitt byttet ut uten at temperatursensorene flyttes over til ny transformator. Denne rutinen må etableres slik at prosjektplanlegger har en oversikt over hvor sensorer er montert. På denne måten kan en slik overføring av sensorer inngå i en arbeidsbeskrivelse som montøren benytter seg av

ved arbeid. Et system hvor montører får tilgang til installasjonsprotokollen for sensorer A.2 bør også inngå, slik at sensorene blir montert på korrekt måte og datapåliteligheten forblir den samme som før transformatorbytte.

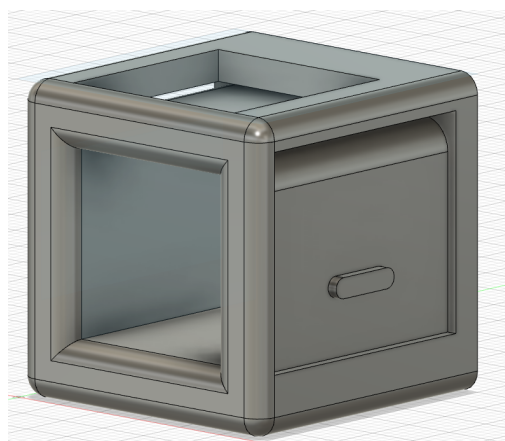
Ytterligere må det utarbeides en rutine hvor AEN gjøres oppmerksom på hvilke nettstasjoner som har et behov for overvåkning. Denne rutinen må ta høyde for kriteriene som rapporten fremstiller i avsnitt 5.7.1, som tegner bildet av overvåkningsbehovet til en nettstasjon. For å avgjøre viktigheten til hvert av kriteriene bør AEN sin egen HMS-risikoprofil benyttes som underlag.

5.7.4 Sensormontasje

Under planleggingen av montasjen, ble det fremlagt en problemstilling ved at dørene i nettstasjonene har ulik utforming. Dette gjorde en generalisering av sensormontasje på dør utfordrende. På bakgrunn av dette ble DT kontaktet for å undersøke om det fantes en løsning for å sikre enkel og pålitelig montasje av dørsensorer. DT hadde under utvikling en type magnet-sensor som ble mulig å teste ut i prosjektet. Magnetsensoren som er benyttet i prosjektet er derfor en prototype. Videre under planleggingen av montasjen ble det designet og produsert en monteringsbrakett til denne magnetsensoren som vist i figur 5.20. Hensikten med monteringsbraketten er nemlig å løse den nevnte problemstillingen, slik at en magnetsensor enkelt vil kunne monteres på alle dørutforminger. Det ble også tatt et valg om å montere sensoren på ikke bevegelig del (dørkarm) for å unngå forstyrrelser i signalet til CC ved å ha en statisk kommunikasjonslinje.



Figur 5.20: Monteringsbrakett for magnetsensor



Figur 5.21: Monteringsbrakett for magnetsensor med slot for antenne

Braketten er designet slik at den kan skrus ved montering direkte på flat dørkarm eller limes med dobbeltsidig tape på de resterende 3 sidene. Denne løsningen vil tilby en større grad av fleksibilitet gjennom plassering og avstandsjustering for montøren. Dette vil videre resultere i en bedre og mer pålitelig montasje i nærmest alle situasjoner, noe som også gjør at dataene som dørsensoren henter inn har større kredibilitet og derfor utbedrer en av prosjektets tidligere utfordringer. Under praktisk testing av braketten viste det seg at designet fungerte optimalt i forhold til tiltenkt bruks- og virkemåte. Det er også designet en videreutvikling av braketten slik at sensoren også kan benyttes med «range extender».

Dette gjør at sensoren potensielt kan monteres lengre unna CC som vist på figur 5.21. Modelleringen ble utført i Fusion 3D og printet ut med hjelp av veileder Odin Kvam ved Universitetet i Agder.

5.8 Vurdering av Disruptive Technologies

Som gjengitt tidligere i rapporten ble en rekke selskaper med på prosjektet knyttet til smartere strømmnett gjennom CINDELDI. Blant et av prosjektene var trådløs overvåking gjennom løsningen fra DT. Ettersom flere andre nettselskaper var med på dette prosjektet var det fordelaktig å finne ut hva andre nettselskaper mener om overvåking av strømmettet gjennom DT sensor løsning.

5.8.1 Elvias vurdering

Elvia var en av de første selskapene som tok i bruk sensorovervåkingen til DT, dette helt tilbake i 2017. Elvia oppsummerer sine tanker og erfaringer med denne løsningen gjennom en artikkel på egne sider. Elvia sier at de bruker sensorene som et verktøy for å oppdage unormale tilstander og for å få kontroll på flere komponenter [70].

I artikkelen stiller ikke Elvia seg kritisk til sensorene, men oppsummerer mer nytten og fordelene ved bruken av sensorer fra DT. Gjennom testprosjektet fant de blant annet feil på en bryter i en transformatorstasjon, dette endte med at bryteren ble byttet ut grunnet høy varmgang. Elvia sier at det er slikt sensoren er tiltenkt og på den måten forhindret sensorene en feil som kunne ført til at mer utstyr kunne blitt ødelagt. Ytterligere nevner de at sensorene også kan bli brukt som en sikkerhetsbarriere ved å gi eksempelvis en varslings hvis en dør åpnes på en nettstasjon.

5.8.2 Statnetts vurdering

I tillegg til Elvia og Agder Energi, var også Statnett med på pilotprosjektet knyttet til sensorovervåking gjennom DT. Statnett tok i bruk sensorløsningen rundt starten av 2019 og skrev senere en artikkel [71] der de oppsummerer og evaluerer deres tankegang etter rundt 1 år i bruk.

Statnett sier at en stor del av komponentene deres har en form for eksisterende overvåking, men også at mange komponenter i stor grad ikke er overvåket og til en viss grad ikke observerbare utenom vanlige vedlikeholds- og inspeksjonsrunder. Ved bruk av temperatursensorer fra DT oppdaget Statnett blant annet varmeutvikling i en av bryterne til en busbar¹⁶ ved en transformatorstasjon. Denne varmeutviklingen ble sjekket ved termografi og bekreftet avlesningen fra temperatursensoren. Statnett sier at informasjonen fra sensorene har bidratt til å oppdage en begynnende svikt i en kritisk komponent og lar Statnett fortsette å drifte transformatorstasjonen på en sikker og kontrollert måte. Statnett stiller seg i denne artikkelen mer kritisk enn det Elvia gjorde, og utfører forsøk og eksperimenter der de blant annet sammenligner sensordata med eksisterende data for å påvise påliteligheten til sensorene.

¹⁶Busbar - tilsvarer samleskinne. Har i oppgave å fungere som elektrisk knutepunkt der all den innkommende og utgående elektriske strømmen møtes

Statnett avdekker blant annet problemer knyttet til dekning ved CC rundt transformatorer. I følge Statnett er transformatorene ofte omgitt av tykke betongvegger, hvilket gjør det utfordrende med tanke på trådløs signaloverføring. Ytterligere hadde de problemer med kommunikasjon når sensorene var festet til selve transformatoren. Statnett sier at ved slike tilfeller ble kommunikasjonsavstanden redusert til mindre enn 10 meter, og krevde siktlinje mellom sensoren og CC. De sier at en av årsakene for den korte overføringsavstanden skyldes at metallkroppen til transformatoren absorberer det meste av RF-signalet fra sensoren. Slik montasje på transformatorer krevde da montasje på 90 graders vinkel mot overflaten av transformatoren, og ble videre utviklet en rekkeviddeforlenger fra Disruptive for blant annet dette formålet, men Statnett hadde allikevel problemer med å sende signaler rundt hjørnene til transformatoren.

Statnett utførte også montasje direkte på en uisolert 300kV komponent. Der mistet de 25% av sensorene på et år, men var ellers upåvirket. Statnett mistenker den høye spenningen og omgivelsene som gjorde at batteriet tappet seg kjapt, men sier også at dette kan skyldes at sensorene stammer fra ett pilotsett og ikke var helt ferdigutviklet.

Statnett oppsummerer sin opplevelse av sensorbruken som:

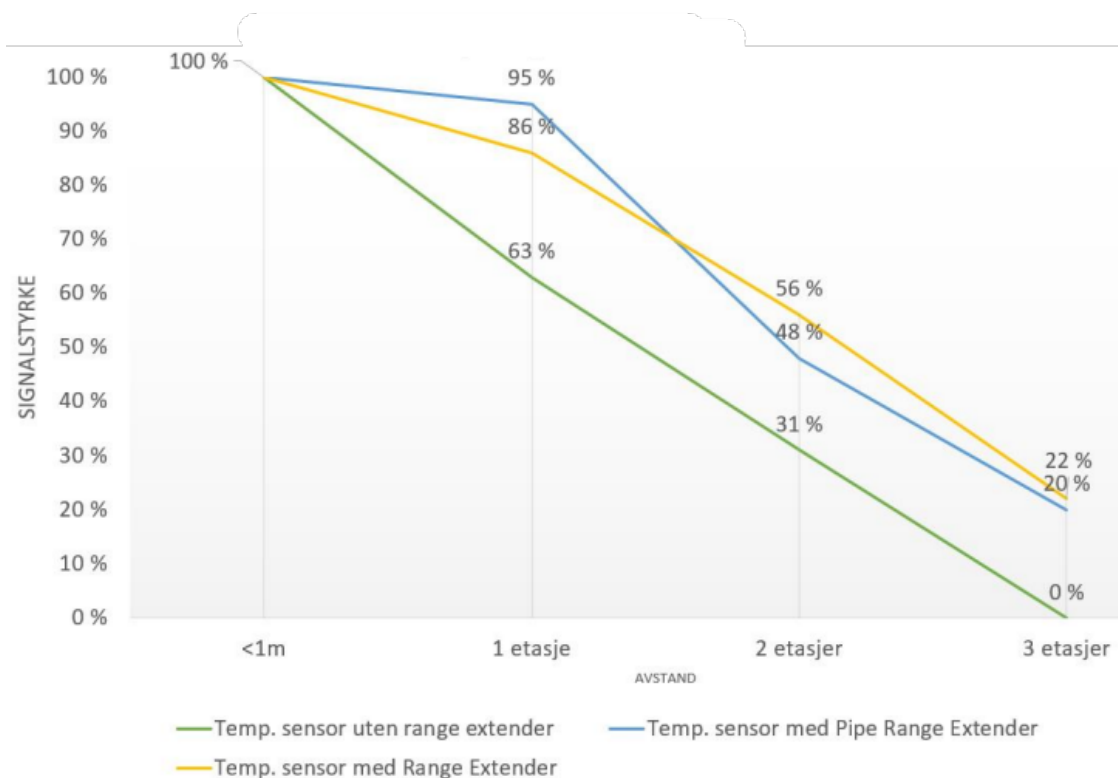
«Datakvaliteten er god, sensoravlesningene er nøyaktige, implementering er superenkelt, og sensorene er stort sett pålitelige. Imidlertid er både skykoblingene og den SaaS-baserte arkitekturen svake punkter der redundansen er begrenset. Hvis en skykontakt svikter, risikerer vi å miste data fra alle sensorene som kommuniserer med den kontakten.

Til slutt kan kommunikasjon være utfordrende når det gjelder store metall- og betongkonstruksjoner.»

5.8.3 NTNU bachelors vurdering

I tillegg til artikler fra nettselskaper var det i 2021 en bacheloroppgave angående sensorteknikk i transformatorstasjoner. Denne oppgaven fra NTNU [72] brukte også sensorløsningen fra DT. Bacheloroppgaven skulle teste ut bruken av sensorer i transformatorstasjoner, men grunnet uventede situasjoner ble sensorene testet ut i et «vanlig» bygg og ikke i en transformatorstasjon.

Sensortestingen som ble utført var blant annet signal gjennom materialer som kan hindre og forstyrre signalet, samt rekkevidde, pålitelighet og lignende. Oppgaven kom fram til at plassering av sensorer var viktig, der materialer som betong og metall kan ha innvirkninger på signalstyrken. Bacheloroppgaven fra NTNU produserte dermed figur 5.22, der de observerte signalstyrken gjennom etasjer med betonggulv. Betongen var 26 cm tykk per etasje og luftrom per etasje var 2.5 meter. Testen ble utført på NTNU sitt bygg i Klæbuveien 72, på Handelshøyskolen.



Figur 5.22: Rekkevidde gjennom betong [72]

Figuren viser signalstyrken med og uten range extender, gjennom etasjer med betonggulv og luftrom. NTNU bacheloren konkluderer ut i fra figuren at:

«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.»

Bacheloroppgaven fra NTNU konkluderer til slutt at systemet med sensorovervåking vil bidra til å forbedre sikkerheten og vedlikeholdet i transformatorstasjoner.

5.8.4 Oppsummering av vurderinger

Elvia, Statnett og NTNU bachelor oppsummerer sin erfaring med DT som positivt, men det oppstod også enkelte ulemper. Majoriteten av ulempene som ble beskrevet kommer fra Statnett, der de blant annet hadde problemer med signalet og levetiden til enkelte sensorer.

Videre opplyser Elvia og Statnett at de gjennom sensormontasje oppdaget feil på sine anlegg ved bruk av DT sin temperatursensor, og så gjennom dette nytten av sensorene. Begge bedriftene sa at en videre utrulling av sensorer vil øke informasjon og tilstandsrapport på ønskede området, der Elvia har i skrivende stund fått utplassert omkring 2000 sensorer og 200 CC-er i forbindelse med CINELDI prosjektet [73].

Kapittel 6

Konklusjon

Konklusjonen har som formål å besvare den overordnede problemstillingen «Hvilken nytte har sensorovervåkning i nettstasjoner og hvordan kan dette benyttes for å øke sikkerhet og pålitelighet i Agder Energi sitt distribusjonsnett?». Dette er et bredt spørsmål og i avsnitt 1.3.1 «Problemdefinisjon» og 4 «Metode» kommer det frem hvilke delspørsmål det var ønskelig å undersøke for å klare å besvare den overordnede problemstillingen. Det første av disse delspørsmålene var «Hvilke feil oppstår i en nettstasjon?». Gjennom 5.1.1 «Resultater fra feilstatistikker» vises det ingen tydelig trend hvor en overvåkbar feilårsak er dominerende for statistikken. Bakgrunnen for overvåkingen er derfor ikke drevet av denne statistikken, men gjøres heller som et tiltak for å øke sikkerhet og pålitelighet i og rundt nettstasjoner. Det betyr at sensorene ikke vil bidra til å redusere mengden feil i en betydelig grad, men heller vil fungere som et forebyggende og trygghetsskapende verktøy der konsekvensene av enkelte feilsituasjoner er store. Rapporten har gjort en rekke konkrete funn som kan inndeles i kapitlene under, og bidrar til å besvare problemstillingen

6.1 Montasje

Ettersom det var ønskelig å vurdere hvilke faktorer som bør overvåkes, ved å undersøke «Hvordan kan disse feilene overvåkes for å forebygges?» Ettersom det første delspørsmålet ikke endte med noen konklusjon av typiske feilscenarier, ble det heller satt sammen en liste av feilsituasjoner som ansees som overvåkbare og AEN anså som relevante. Gjennom risikovurderingen kom det fram at det hovedsakelig er overoppheting av transformator og åpen dør til nettstasjon som er feilsituasjonene med størst risiko. Dette er også blant feilsituasjonene som AEN sin driftsavdeling har belyst, og er derfor med på å underbygge resultatet av risikovurderingen. Med dette som bakgrunn var det ønskelig å gjøre forsøk på hvordan disse sensorene måtte monteres for å gi en kredibel og pålitelig overvåking, gitt pilotprosjektets tidligere utfordringer. Bakgrunnen for å undersøke og gjøre forsøk på dette er at alle sensordata må ha viss grad av kredibilitet for å kunne videre behandles og benyttes som utgangspunkt for aksjoner og handlinger i strømmettet. Sensordataene sin kredibilitet er bestemt av valg av sensorer og utformingen på montasjen av disse. Gjennom feltundersøkelser og test av sensorene er det blitt avklart spesifikke posisjoner for montasje av temperatursensorer, samt hvilke sensorer som må benyttes til de ulike formålene. Følgende sensorer skal benyttes til gitte formål:

- Standard Temperatursensor - Omgivelsestemperatur (ikke i direkte sollys)
- Industriell Temperatursensor - Transformatoroverflatetemperatur

- Proximitysensor - Dørtilstand der døren kommer nærmere enn 5mm men ikke i kontakt med sensor
- Magnetsensor - Dørtilstand der proximity ikke er egnet, benytt brakett ved behov

Basert på diskusjonen og listen over, er det tydelig at «Proximitysensoren» har et snevert bruksområde, noe som gjør at den kan sløyfes til fordel for en magnetsensor i tilnærmet alle tilfeller. For en detaljert beskrivelse av kriterier som stilles til utførelse av montasjen leses vedlegg A.2 som en del av konklusjonen. Dersom alle disse kriteriene ble fulgt var det heller ikke mulig å replikere noen av de tidligere feilene som ble oppdaget ved pilotprosjektets start i 2019, og installasjonsprotokollen kan derfor ansees som en utbedring disse feilene.

6.2 Plassering og utvalg

For å maksimere nytteverdien av denne sensorteknologien ble det i kapittel 4 om metode lagt frem et spørsmål om hvor overvåkningsbehovet er størst og hvor det derfor bør monteres. For å lage en vurdering som kartlegger dette måtte det trekkes en parallell helt tilbake til problemdefineringsen i avsnitt 1.3.1 som beskriver at hensikten er å øke sikkerhet og pålitelighet tilknyttet nettstasjoner. Nettstasjonene som har størst behov for overvåkning er de som utgjør størst sikkerhetsrisiko eller som har mest ustabile driftstilstander. Dette kommer frem avsnitt 5.6 og 5.7.2 . Følgende er utarbeidede kriterier som kategoriserer scenariene tilknyttet høyest risiko:

- Står nettstasjonen innenfor 100 meter av en barnehage, skole eller institusjoner?
- Står nettstasjonen i tilknytning til fotgjenger-trafikkerte steder som gågate, kjøpesenter eller lignende?
- Står transformatoren slik til at AEN ikke har kontroll på lufttilførsel og/eller kjøling?
- Er transformatoren i perioder kontinuerlig overbelastet mer enn 20%?

Gjennom installasjonsprotokollen legges det frem ytterligere scenarier og deres tilhørende risikokarakter.

6.3 Arbeidsrutiner ved behandling av data

Overordnet kan pilotprosjektet ansees som vellykket da overvåkning av transformatorens overflatetemperatur og nettstasjonens dørstilling kan legge frem pålitelige og kredible data. Dersom pilotprosjektet skal ha noen verdi for AEN er det en nødvendighet med noen interne rutiner som sørger for en videre utrulling av prosjektet, at systemet er driftssikkert og at innhentet informasjon benyttes aktivt. Ettersom datapåliteligheten er god ved korrekt utførelse er det også fullstendig mulig å gjennomføre handlinger og aksjoner på bakgrunn av disse dataene. Dette gjør at systemet kan benyttes forebyggende for å avverge feilsituasjoner av ulik karakter. Rutiner som sørger for følgende, kommer derfor som en anbefaling til Agder Energi Nett:

- Overføring av sensorer ved transformatorbytte

- Montører får tilgang til installasjonsprotokollen sammen med arbeidsbeskrivelsen
- Kryssjekk av registrerte dørhendelser mot planlagt og utført arbeid i nettstasjoner
- Montasje av sensorene hvor overvåkningsbehovet er størst.

Sistnevnte punkt er i stor grad ferdig utviklet gjennom installasjonsprotokollen, men har behov for å kontinuerlig oppdateres dersom AEN sin HMS-risikoprofil revideres.

6.4 Helhetlig konklusjon

Gjennom problemstillingen var det ønskelig å undersøke og besvare «Hvilken nytte har sensorovervåkning i nettstasjoner og hvordan kan dette benyttes for å øke sikkerhet og pålitelighet i Agder Energi sitt distribusjonsnett?». Problemdefinisjonen 1.3.1 forklarte i detalj hvilke aspekter av dette spørsmålet som nærmere skulle undersøkes.

Ettersom prosjektet var vellykket i å avdekke og utbedre samtlige feilkilder og usikkerhetsmomenter fra tidligere undersøkelser, er det liten tvil om at Disruptive Technologies sine sensorer er egnet for montasje i nettstasjoner. Rapporten konkluderer med at en korrekt montasje i nettstasjonene og implementasjon i AEN sine systemer sørger for pålitelige og kredible avlesninger. På bakgrunn av dette kan AEN stole på innhentet informasjon og utføre handlinger basert på dette. AEN vil da kunne iverksette hovedsakelig forebyggende tiltak og dermed avverge uønskede hendelser før de eventuelt skulle oppstå. Pilotprosjektet temperaturovervåkning kan også benyttes til helt motsatt formål, nemlig å utsette et eventuelt transformatorbytte dersom det måles tilfredsstillende temperaturer til tross for en overbelastning.

I og med at sensorovervåkingen kan benyttes til forebyggende vedlikehold, utsatte investeringer og tilstandsbaserte aksjoner vil AEN ha flere gevinster av dette pilotprosjektet. Ved en korrekt montasje vil AEN oppnå følgende:

- Utsatte investeringer gjennom tilstandsovervåking
- Forebyggende vedlikehold for å forlenge levetid
- Økt personsikkerhet rundt nettstasjoner
- Økt trygghet for Agder Energi Nett gjennom pålitelig overvåking av dørstilling i utsatte områder

Disse punktene beskriver hvilken gevinst og nytte AEN kan oppnå gjennom en vellykket implementasjon av pilotprosjektet, og besvarer derfor den overordnede problemstillingen. Bruken og vedlikeholdet av sensorsystemet krever gode og sømløse rutiner som sørger for at systemet fungerer som tiltenkt, og maksimerer den potensielt store nytteverdien.

Kapittel 7

Videre arbeid

7.1 Topp-oljetemperatur

Fraværet av topp-oljetemperatur lager et hull i oppgaven i form av at det ikke foreligger eller var mulig å måle verdiene via EcoSmart sensoren. Konsekvensen av dette er at oppgaven ikke trekker noen parallell mellom topp-oljetemperatur og transformatorens overflate- og omgivelsetemperatur. Ideelt skulle det vært utarbeidet en modell som benytter de siste respektive temperaturene og gjør en estimering mot topp-oljetemperaturen som referanse. En naturlig fortsettelse for prosjektet er derfor etablere overvåkning av topp-oljetemperaturen og benytte denne i en modell utformet med teorien i avsnitt 3.1 som grunnlag. Andre beregningsmåter kan også benyttes, og denne foreligger kun som et eksempel. Teorien legger ikke frem noen fremgangsmåte for å beregne topp-oljetemperaturen ved bruk av overflate-temperaturen, da det må utføres forsøk og tester for å avdekke hvor tett de forskjellige temperaturene er knyttet opp mot hverandre. Som en fortsettelse vil det være viktig å undersøke innvirkningen omgivelsetemperatur og vindhastighet har på den målte overflatetemperaturen ved en konstant kjernetemperatur. Det er nødvendig å undersøke effekten vindhastighet har på overflatetemperaturen da luftbevegelse vil sørge for økt varmekonveksjon til luft.

I avsnitt 4.5.2 er det beskrevet hvordan en sammenligning av overflate og topp-oljetemperatur skal gjøres i praksis. Dette er ikke gjennomført grunnet utestående EcoSmart montasje, og det er derfor naturlig at denne fremgangsmåten eventuelt benyttes når montasjen finner sted. Grunnet tidligere sammenligning av overflate temperatur på bunn og topp av transformator er det grunnlag for å utelukke sensorer montert på bunn og side av transformator. Årsaken til dette er at topp-overflatetemperatur viser en bedre sammenheng med belastningsgraden. På grunn av dette kan det derfor være aktuelt å undersøke temperaturgradienten på transformatorens topp, slik at man kan kartlegge hvor stor forskjell det er på å sette den på midten sammenlignet med langs kanten.

Det bør også utarbeides flere monteringsalternativer for Druptive Technologies sensorene for pålitelige avlesninger og lengre levetid. Sensorene fra Druptive Technologies kan i denne sammenhengen overvåke flere parametere enn hva som er sett på i denne studien. Her bør det sees på muligheten for å bruke andre typer sensorer for overvåking av nettstasjonene. et eksempel kan være og bruke fukt-sensorer til å overvåke lekkasje fra transformator som står montert i trafokar og overvåke flom eller høy vannstand på utsatte plasser. Mulighetene er mange.

7.2 Føringstemperatur

I avsnitt 5.1.2 legges det frem resultater som tilsier at en stor andel feil oppstår på det som kategoriseres som føringer. Det kommer også frem at det er grunn til å tro at store deler av disse feilene oppstår i nærhet til koblinger og skjøter. Grunnet ressursene som lå til grunn for prosjektet er det som beskrevet i avsnitt 5.1.2 ikke mulig å overvåke alle føringer på en nettstasjon i dette prosjektet. Ønskelig ville vi gjennom en slik måling laget en tilnærming for hvor godt temperaturen i en enkelt føring representerer totalbildet for alle føringene. Et aktuelt videre arbeid med disse sensorene kan derfor være å undersøke denne sammenhengen. Det er klart at overvåking av hver enkelt føring er svært ressurskrevende, men dersom man lykkes i å etablere en sammenheng mellom totalbildet og temperaturmåling av en enkelt føring vil man potensielt kunne avverge farlige og kostnadsdrivende feilsituasjoner før de oppstår. Utfordringen vil være at varmgang i en føring vanligvis kun oppstår på en føring og dermed har liten til ingen innvirkning på de andre føringene.

Litteraturliste

- [1] Om Agder Energi. URL: <https://www.ae.no>. (accessed: 24.04.2022).
- [2] Smarte strømmålere (AMS). URL: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/kunde/strom/stromkunde/smar-te-strommalere-ams/>. (accessed: 24.04.2022).
- [3] Disruptive Technologies. *Cloud Connector*. URL: <https://support.disruptive-technologies.com/hc/en-us/articles/360011013300-Cloud-Connector-EU-4G>. (accessed: 21.01.2022).
- [4] Jan Axelson. *Designing RS-485 Circuits*. URL: <https://www.disruptive-technologies.com>. (accessed: 16.11.2021).
- [5] Statnett. *FASIT (Feil- og avbruddsstatistikk i totalnettet)*. URL: <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/systemansvaret/leveringskvalitet/fasit/>. (accessed: 20.01.2022).
- [6] Ahmet Arabul og Ibrahim Senol. «Development of a hot-spot temperature calculation method for the loss of life estimation of an ONAN distribution transformer». I: *Electrical Engineering* 100 (sep. 2018). DOI: 10.1007/s00202-017-0641-0. URL: https://www.researchgate.net/publication/319694106_Development_of_a_hot-spot_temperature_calculation_method_for_the_loss_of_life_estimation_of_an_ONAN_distribution_transformer. (accessed: 07.02.2022).
- [7] Norges vassdrags- og energidirektorat. *KILE – kvalitetsjusterte inntektsrammer ved ikke-levert energi*. URL: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/regulering/nettvirksomhet/%C3%B8konomisk-regulering-av-nettselskap/om-den-okonomiske-reguleringen/kile-kvalitetsjusterte-inntektsrammer-ved-ikke-levert-energi/>. (accessed: 11.01.2022).
- [8] International Energy Agency. *Electricity consumption*. URL: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electricity>. (accessed: 11.01.2022).
- [9] IEA. *Global EV Outlook 2020*. URL: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>. (accessed: 19.04.2022).
- [10] SINTEF. *Digital Inspection Agder Energi*. URL: <https://www.sintef.no/projectweb/cineldi/pilot-projects-in-cineldi/digital-inspection-agder-energi/>. (accessed: 05.05.2022).
- [11] Agder Energi. *Oppdrag, visjon og verdier*. URL: <https://www.ae.no/om-agder-energi/oppdrag-visjon-og-verdier/>. (accessed: 18.11.2021).
- [12] Agder Energi Nett. *Vår virksomhet*. URL: <https://www.aenett.no/virksomhet/om-aenett/var-virksomhet/>. (accessed: 18.11.2021).
- [13] REN. «spesifikasjon av nettstasjon i bygg samt plassbygd (V6.15)». I: (2021). (accessed: 12.05.2022).
- [14] REN. «RENblad 6002 - Nettstasjon - i bygg/plassbygd -Byggtekniske krav (V4.2)». I: (2017). (accessed: 02.05.2022).

- [15] REN. «RENblad 6010 - Utførelse av nettstasjon (V3.11)». I: (2021). (accessed: 12.05.2022).
- [16] Norsk transformator. *Norsk Transformator - en ny bedrift med lang erfaring*. URL: <https://www.nortrafo.no/default.asp?Mode=Meny&HovedMenyId=98&UnderMenyId1=111&ThisMenyId=111>. (accessed: 20.01.2022).
- [17] Norsk transformator. *Norsk Transformator - Tilleggsutstyr - EcoSmart Sensordocking*. URL: <https://www.nortrafo.no/default.asp?Mode=Meny&HovedMenyId=99&UnderMenyId1=120&ThisMenyId=120>. (accessed: 20.01.2022).
- [18] Øverby H. *tingenes internett*. 2021. URL: https://snl.no/tingenes_internett. (accessed: 25.01.2022).
- [19] Disruptive Technologies. *About Disruptive Technologies*. URL: <https://www.disruptive-technologies.com/about>. (accessed: 25.01.2022).
- [20] Dvergsdal, H og Ulseth T. *Internettprotokoll*. 2021. URL: <https://snl.no/internettprotokoll>. (accessed: 21.01.2022).
- [21] *Bilde: How It Works*. URL: <https://www.disruptive-technologies.com/products/wireless-sensors/wireless-temperature-sensor>. (accessed: 02.05.2022).
- [22] Disruptive Technologies. *Wireless Temperature Sensor QR*. URL: https://support.disruptive-technologies.com/hc/article_attachments/4403637872402/102058_DT_-_Datashet_-_Wireless_Temperature_Sensor_EU_QR.pdf?_gl=1*1igr0v0*_ga*NDY4NTI1Nzg4LjE2Mzk2OTMxNjg.*_ga_XXVB8G11S3*MTYOMjUwNDA1Ni4xOS4xLjE2NDI1MDQ0NDUuNTc.. (accessed: 25.03.2022).
- [23] Stian Færøy. *Wireless Sensors Details*. 2022. URL: <https://developer.disruptive-technologies.com/docs/concepts/devices#temperature-sensor>. (accessed: 29.03.2022).
- [24] Stian Færøy. *What is Boost (high power boost mode)?* URL: <https://support.disruptive-technologies.com/hc/en-us/articles/360003182914-What-is-Boost-high-power-boost-mode->. (accessed: 29.03.2022).
- [25] Veisdal, J og Disruptive Technologies. *Selecting the Right Wireless Temperature Sensor for Your Cold Storage Application*. 2015. URL: <https://www.disruptive-technologies.com/blog/wireless-temperature-sensor-for-cold-storage-application>. (accessed: 12.01.2022).
- [26] Disruptive Thecnologies. *SECURITY AND PRIVACY IN DISRUPTIVE TECHNOLOGIES IoT SENSING SOLUTION*. URL: <https://www.disruptive-technologies.com/hubfs/Help-Center/DT-White-Paper-Security.pdf>. (accessed: 09.05.2022).
- [27] Faroy, Stian. *Temperature Sensor*. URL: <https://support.disruptive-technologies.com/hc/en-us/articles/360010342900-Temperature-Sensor>. (accessed: 09.05.2022).
- [28] Faroy, Stian. *Proximity Sensor*. URL: <https://support.disruptive-technologies.com/hc/en-us/articles/360010452099-Proximity-Sensor>. (accessed: 09.05.2022).
- [29] Faroy, Stian. *Humidity Sensor*. URL: <https://support.disruptive-technologies.com/hc/en-us/articles/360013965460-Wireless-Humidity-Sensor>. (accessed: 09.05.2022).
- [30] Faroy, Stian. *Water Detector*. URL: <https://support.disruptive-technologies.com/hc/en-us/articles/360012075360-Wireless-Water-Detector>. (accessed: 09.05.2022).
- [31] Disruptive Technologies. *Range extender*. URL: https://support.disruptive-technologies.com/hc/en-us/articles/360010450159-Range-Extender?_gl=1*q5q7q7*_ga*MTU1MTM2Mjk4Ny4xNjM3*_ga_XXVB8G11S3*MTY0ODExNTAyNy4yMS4xLjE2NDgxMTUzMTYyNjA. (accessed: 24.03.2022).

- [32] Disruptive Technologies. *Full sensor suite for indoor spaces*. URL: <https://www.disruptive-technologies.com/products/wireless-sensors?hsCtaTracking=8cf2f9dc-d6bf-4ee4-b475-06620b61b55e%7C5b481f46-0791-4ddf-92aa-65b97004c0d6>. (accessed: 24.03.2022).
- [33] Faroy. Stian. *Range Extender*. URL: <https://support.disruptive-technologies.com/hc/en-us/articles/360010450159-Range-Extender>. (accessed: 09.05.2022).
- [34] microsoft. *Hva er Power BI?* URL: <https://docs.microsoft.com/nb-no/power-bi/fundamentals/power-bi-overview>. (accessed: 16.03.2022).
- [35] Disruptive Technologies. *Sensor Data Insight with Power BI Integration*. URL: https://developer.disruptive-technologies.com/docs/other/application-notes/sensor-data-insight-with-power-bi-integration?_gl=1*134z83w*_ga*NDY4NTI1Nzg4LjE2Mzk2OTMxNjg.*_ga_XXVB8G11S3*MTYOMjE3MTIyMi4xNC4xLjE2NDIxNzE1MTYuNA..
- [36] Disruptive Technologies. *Studio*. URL: <https://www.disruptive-technologies.com/products/dt-studio>. (accessed: 24.02.2022).
- [37] A Navarro og H Rudnick. «Large-Scale Distribution Planning-Part I: Simultaneous Network and Transformer Optimization». eng. I: *IEEE transactions on power systems* 24.2 (2009), s. 744–751. ISSN: 0885-8950. (accessed: 10.05.2022).
- [38] Andre Veltman. «Fundamentals of Electrical Drives». eng. I: *Power Systems* (2016), s. 47–76. (accessed: 21.03.2022).
- [39] Austin Hughes. «Electric motors and drives : fundamentals, types and applications». eng. I: (2013), s. 1–36. (accessed: 22.03.2022).
- [40] Norsk Transformator. *Bilde: Hermetisk tette transformatorer*. URL: <https://www.nortrafo.no/default.asp?Mode=Meny&HovedMenyId=99&UnderMenyId1=100&ThisMenyId=100>. (accessed: 19.04.2022).
- [41] *Bilde: Oil Immersed Transformer Coil Windings Inside 18 3D model*. URL: <https://www.turbosquid.com/3d-models/oil-immersed-transformer-coil-windings-inside-18-3d-model-1744173>. (accessed: 06.05.2022).
- [42] *Types of Losses in a Transformer and Their Efficiency*. URL: <https://www.elprocus.com/types-of-losses-in-a-transformer-and-their-efficiency/>. (accessed: 26.01.2022).
- [43] Milad Akbari, Mehdi Allahbakhshi og Rashid Mahmoodian. «Heat analysis of the power transformer bushings in the transient and steady states considering the load variations». eng. I: *Applied thermal engineering* 121 (2017), s. 999–1010. ISSN: 1359-4311. (accessed: 16.04.2022).
- [44] *Bilde: 9.8 Practical Considerations – Transformers*. 2020. URL: <https://www.technocrazed.com/9-8-practical-considerations-transformers>. (accessed: 19.04.2022).
- [45] Jiahui Zhang og Xianguo Li. «Coolant flow distribution and pressure loss in ONAN transformer windings *Part I : Theory and model development*». eng. I: *IEEE transactions on power delivery* 19.1 (2004), s. 186–193. ISSN: 0885-8977. (accessed: 26.04.2022).
- [46] *Transformer Oil*. URL: <https://services.totalenergies.uk/business-products/industrial-lubricants/energy/electrical-transformer-oils>. (accessed: 27.01.2022).
- [47] K. Longva og Møre Trafo AS. *Miljøvennlige Fordelingstransformatorer - Forbedret Sikkerhet og Pålitelighet*. 2007. DOI: <https://moretrafo.no/download/?id=1822>.
- [48] «Electricity Distribution : Intelligent Solutions for Electricity Transmission and Distribution Networks». eng. I: *Energy Systems* (2016), s. 221–240. (accessed: 10.05.2022).

- [49] Pradhan. M og Ramu T S. *On the Estimation of Elapsed Life of Oil-Immersed Power Transformers*. 2005. URL: https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=1458867&casa_token=o8J2ljNlndcAAAAA:5KVIuwIpgmZwLy_hSCJWaSD5maX0BuIo5JqFEf1kNM9-V5omUH808sCtYt8syUjI_xRpAF5rk&tag=1. (accessed: 07.02.2022).
- [50] *Temperature Rise and Transformer Efficiency*. URL: https://www.copper.org/environment/sustainable-energy/transformers/education/trans_efficiency.html. (accessed: 29.01.2022).
- [51] Biçen. Y, Aras. F og Kirkici. H. *Lifetime Estimation and Monitoring of Power Transformer Considering Annual Load Factors*. URL: https://www.researchgate.net/publication/273397619_Lifetime_Estimation_and_Monitoring_of_Power_Transformer_Considering_Annual_Load_Factors. (accessed: 29.01.2022).
- [52] G.W Swift mfl. «Adaptive transformer thermal overload protection». eng. I: *IEEE transactions on power delivery* 16.4 (2001), s. 516–521. ISSN: 0885-8977. (accessed: 10.05.2022).
- [53] Aizpurua. J mfl. *Adaptive Power Transformer Lifetime Predictions through Machine Learning & Uncertainty Modelling in Nuclear Power Plants*. URL: https://pure.strath.ac.uk/ws/portalfiles/portal/81820169/Aizpurua_et_al_TIE2018_Adaptive_power_transformer_lifetime_predictions_through_machine.pdf. (accessed: 07.02.2022).
- [54] THORKILDSEN. LEANDER BERG. «Estimation of temperature development in secondary substation transformers». I: *University of Agder* (2021). URL: https://uia.brage.unit.no/uia-xmlui/bitstream/handle/11250/2823895/Thorkildsen%20Leander%20Berg%20%28817%29_78839561_2.pdf?sequence=1&isAllowed=y. (accessed: 29.03.2022).
- [55] Sushil Chaudhari. «Effectiveness of DP in determining Remnant Life of Transformers». I: 2010. URL: https://www.researchgate.net/publication/273635334_Effectiveness_of_DP_in_determining_Remnant_Life_of_Transformers. (accessed: 19.04.2022).
- [56] Longva. Kårstein. «Fordelingstransformatorer og levetid». I: *Møre Trafo AS* (2007). URL: <https://moretrafo.no/download/?id=1659>. (accessed: 23.03.2022).
- [57] IEEE. «IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers and Step-Voltage Regulators». I: *IEEE Std C57.91-2011 (Revision of IEEE Std C57.91-1995)* (2012), s. 1–123. DOI: [10.1109/IEEESTD.2012.6166928](https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2012.6166928). (accessed: 19.04.2022).
- [58] E. L. Brancato. «INSULATION AGING A HISTORICAL AND CRITICAL REVIEW». I: *EI-13 No 4* (1978). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=4080550>. (accessed: 29.03.2022).
- [59] Mohd Ishak og Zhongdong Wang. «Transformer hotspot temperature calculation using IEEE loading guide». I: *International Conference on CMD 2008* (mai 2008), s. 1017–1020. DOI: [10.1109/CMD.2008.4580455](https://doi.org/10.1109/CMD.2008.4580455). (accessed: 29.03.2022).
- [60] Hansen. R Ida. «Uttesting og implementasjon av estimering av trafotemperatur». I: (2021). (accessed: 29.03.2022, Upublisert konfidensielt dokument).
- [61] Jorn Foros og Maren Istad. «Health Index, Risk and Remaining Lifetime Estimation of Power Transformers». I: *IEEE Transactions on Power Delivery* 35.6 (2020), s. 2612–2620. DOI: [10.1109/TPWRD.2020.2972976](https://doi.org/10.1109/TPWRD.2020.2972976). (accessed: 23.03.2022).
- [62] Stene. Birger, Tor Sneve M og Brekke Karstein. «Aldersfordeling for komponenter i kraftsystemet». I: *Norges vassdrags- og energidirektorat* (2005). URL: https://publikasjoner.nve.no/rapport/2005/rapport2005_08.pdf. (accessed: 23.03.2022).
- [63] Gisle. Jon. *Tilbakevirkende kraft*. 2022. URL: https://snl.no/tilbakevirkende_kraft. (accessed: 09.04.2022).

- [64] REN. «RENblad 6025 - Overvåking og styring av nettstasjoner (V2.5)». I: (2022). (accessed: 02.05.2022).
- [65] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. *Veiledning til forskrift om elektriske forsyningsanlegg*. 2006. URL: <https://www.dsb.no/lover/elektriske-anlegg-og-elektrisk-utstyr/veiledning-til-forskrift/veiledning-til-forskrift-om-elektriske-forsyningsanlegg/#hoyspenningsinstallasjoner>. (accessed: 09.02.2022).
- [66] Kåre Elgmork. *Vitenskapelig metode*. Universitetsforlaget, 1985, s. 15–20. ISBN: 8200072754.
- [67] Forsvarets Forsknings Institutt mfl. *Tilnærminger til risikovurderinger for tilsiktede uønskede handlinger*. 00923. 2015, s. 27–31. DOI: <https://ffi-publikasjoner.archive.knowledgearc.net/bitstream/handle/20.500.12242/1178/15-00923.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [68] Disruptive Technologies. *Wireless Temperature Sensor QR*. 2020. URL: https://support.disruptive-technologies.com/hc/article_attachments/4403637872402/102058_DT_-_Datashet_-_Wireless_Temperature_Sensor_EU_QR.pdf?_gl=1*rxnhe9*_ga*MjkzMTgyNzUyLjE2NDg1NTM1NDY.*_ga_XXVB8G11S3*MTY1MTY1NjQwOS4xNC4xLjE2NTE2NTYOMjIuNDc.. (accessed: 04.05.2022).
- [69] Disruptive Technologies. *Smart Substations*. URL: <https://www.disruptive-technologies.com/en/smartsubstations#section-next>. (accessed: 13.04.2022).
- [70] Elvia. *Små smarte sensorer hjelper Elvia med å overvåke strømnettet*. URL: <https://www.elvia.no/drift-og-vedlikehold/sma-smarte-sensorer-hjelper-elvia-med-a-overvake-stromnettet/>. (accessed: 14.04.2022).
- [71] Boye A. Høverstad. *Retrofitting the Transmission Grid with Low-cost Sensors*. 2020. URL: <https://datascience.statnett.no/tag/disruptive-technologies/>. (accessed: 14.04.2022).
- [72] Myrvang, Olav Aleksander, Aakvik, Mathias og Knutsen, Marius. «Sensorteknikk i transformatorstasjoner». I: *NTNU* (2021). URL: <https://hdl.handle.net/11250/2778182>. (accessed: 14.04.2022).
- [73] SINTEF. *Digital Inspection Elvia (Finalised)*. URL: <https://www.sintef.no/projectweb/cineldi/pilot-projects-in-cineldi/digital-inspection-elvia/>. (accessed: 05.05.2022).

Tillegg A

Datasheet A

A.1 Risikovurdering mal

Konsekvens	4	Veldig stor					
	3	Stor					
	2	Middels					
	1	Liten					
	0	Veldig liten					
			Veldig lav	Lav	Middels	Høy	Veldig høy
			0	1	2	3	4
			Sannsynlighet				

A.2 Installasjonsprotokoll

INSTALLASJONSPROTOKOLL VED MONTASJE AV DISRUPTIVE TECHNOLOGIES SENSORER

En beskrivelse som omfatter beslutningsunderlag for montasje og implementasjon av sensorovervåkning i distribusjonsnett og datasystemer hos Agder Energi Nett. Protokollen er basert på Agder Energi sin HMS-risikoprofil og bør derfor oppdateres dersom risikoprofilen revideres.

Revisjon

Nummer 1

Dato

13.05.2022

Utarbeidet av

Simen Rasmussen

Markus Egeland

Kristian Øen

Revidert av

Agder Energi Nett, 2022

Avdeling Analyse

Innhold

1	Veiledning	3
1.1	Plassering i forhold til potensiell personskade og vedlikehold	3
1.2	Andre forhold	3
1.3	Registrering av sensorer	4
1.4	Varsling	4
1.5	Antenner	4
1.6	Protokoll for sensormontasje	5
2	Montasjebeskrivelse	6
2.1	Dørsensor	6
2.1.1	Magnet	6
2.1.2	Proximity	7
2.2	Temperatursensor	8
2.2.1	Utetemperatur	8
2.2.2	Innetemperatur	9
2.2.3	Merking	9
2.3	Cloud Connector	9
2.3.1	Frittstående nettstasjon	9
2.3.2	Nettstasjon i bygg	9
2.3.3	Merking av Cloud connector	9
2.4	Arbeid i DT Studio	10
2.4.1	Opprette Prosjekt	10
2.4.2	Opprette dashboard	10

1 Veiledning

1.1 Plassering i forhold til potensiell personskade og vedlikehold

AE-nett sin rapport **HMS-risikoprofil** klassifiserer nettstasjonene etter klassene «Høy», «Middels», «Lav» og «Uprioritert». Kategorien «Høy» anbefales for alle nettstasjoner som står i umiddelbar nærhet og i tilknytning til skoler og barnehager, samt trafikkerte skoleveier hvor skadepotensialet for uvitende barn og unge er høyt. En rekke nettstasjoner faller inn under kategorien «Høy» i HMS-risikoprofilen, men ikke alle og det bør derfor gjøres en individuell vurdering av hver nettstasjon. Derfor bør det også sees på nettstasjoner som faller inn under klassen «Middels», hvor det ferdes mye mennesker, som nettstasjoner tilknyttet bykjerner, med tilgang direkte fra trafikkerte områder som parker, gågater og lignende. Ved utrulling i større omfang bør det også velges nettstasjoner som behøver overvåking av temperatur og hvor nettstasjonene står slik plassert at et bytte kan være spesielt kostnads drivende eller at leveringssikkerheten er svært viktig. Dersom det er andre kritiske forhold som tilsier at nettstasjonen og transformatoren bør overvåkes bør dette også vurderes. Overordnet kan ulike situasjoner klassifiseres som gjort i figuren under.

	Adkomst	Vedlikehold
Høy	100m buffer til Skole/barnehage Fotgjenger-trafikkerte områder	Lufting/ kjøling Beliggenhet
Middels	Kryssende sykkel- og gangvei Nærhet til bygninger, parkeringsplasser og andre trafikkerte områder	Beliggenhet KILE Belastning
Lav	Bebodde områder (boligfelt etc.)	
Uprioritert	Utmark	

1.2 Andre forhold

Andre forhold som bør vurderes er forhold hvor det er historisk overbelastning og potensiell varmgang. Montasje i nettstasjoner i bygg hvor kjøling ikke er styrt av AE (vifter etc.) og hvor konsekvensene av en havarert trafo medfører høye reparasjonskostnader. Generelt for denne vurderingen er steder hvor KILE-kostnaden er spesielt stor og et havari vil medføre en stor økonomisk kostnad.

1.3 Registrering av sensorer

Det må utarbeides en rutine ved bytte av Transformatorer med Disruptive Technologies sensorer, slik at data og sensorer ikke går tapt. Ved bytte av transformator er det viktig at dette blir registrert, slik at sensorene kan forflyttes til ny transformator eller at sensorene blir kvittert ut av systemene dersom de ikke lenger skal benyttes. Ved et transformatorbytte bør det også undersøkes om det fortsatt er behov for overvåking av transformatoren eller om denne er dimensjonert for den tidligere overlasten og ikke lenger har samme behov for overvåking.

1.4 Varsling

Som en anbefaling burde det settes opp en varslingsgrense om en transformator får en temperatur på over 60 grader celsius, slik at det kan undersøkes om det bør gjøres tiltak. Hensikten med tiltakene skal være å senke temperaturen på transformatoren slik at levetiden forlenges og/eller øke og sikre leveringssikkerheten.

Det bør også gis varslinger på dørsensorer angående dørstilling. Dersom en dør har levert et åpent signal over en lengre periode eller registrerer unormalt mange hendelser over en kortere periode. Hensikten med denne varslingen er å unngå uønsket dørstilling eller å avdekke en dårlig sensormontasje.

1.5 Antenner

Basert på data fra eksisterende sensorer, bør det installeres antenner (range extender) på temperatursensorer montert direkte på transformator innendørs og i mast. Bakgrunnen for dette er et tap i signalstyrke og rekkevidde dersom sensoren monteres direkte på metall eller er i nærhet til magnetiske felt.

1.6 Protokoll for sensormontasje

Følgende er en foreløpig rutine som benyttes ved vurdering av en nettstasjons behov for sensor montasje:

Dørsensor	Ja	Nei	Risikoklasse
Står nettstasjonen innenfor 100 meter av en barenhage, skole eller institusjoner?			Høy
Står nettstasjonen i tilknytning til fotgjenger-trafikkerte steder som gågate, kjøpesenter eller lignende?			Høy
Står nettstasjonen i tett befolket område?			Middels
Har nettstasjonen kryssende gang- eller sykkelvei?			Middels
Er det andre lokale forhold som gjør nettstasjonen har behov overvåking av dørstilling?			Middels
Står nettstasjonen i bebodde områder?			Lav
Temperatur			
Står transformatoren slik til at AEN ikke har kontroll på lufttilførsel og/eller kjøling?			Høy
Er transformatoren i perioder kontinuerlig overbelastet mer en 20%?			Høy
Er transformatoren sporadisk overbelastet mer en 20%?			Middels
Vil transformatoren gi unormalt høy KILE kostnad ved havari?			Middels
Har transformatoren belastning over merkeytelse?			Middels
Står Transformatoren slik til at et bytte vil kreve unormalt mye arbeid?			Middels
Har transformatoren historisk overbelastning inntil 20%?			Lav

2 Montasjebeskrivelse

Det skal vaskes med egnet utstyr slik at overflaten hvor sensorer monteres er rent og tørt. Sensorene bør også monteres med et tynt lag superlim for bedre mekanisk holdbarhet. Det anbefales ikke bruk av silikonbaserte limtyper da dette kan gi isolasjon mot overflaten det måles temperatur på.

2.1 Dørsensor

Dørsensorer monteres på ikke bevegelig del (karm), og så fritt som det lar seg gjøre slik at signalene ikke blir «innestengt». Ved en slik montasje er det viktig å påse at at dørsensoren har tilstand som åpen dersom reilen (låsen) eller fallet kun ligger inntil karmen, og at den har tilstand som lukket når den går i låst posisjon. Dette sjekkes gjennom DT-studio ved montasje. Ved montasje av dørsensor kan det velges mellom magnet og proximity sensor basert på deres egnethet til montasjen, men fortrinnsvis er magnetsensor best egnet i de fleste tilfeller.

2.1.1 Magnet

Dersom det er bevegelse i døren når den er i låst posisjon bør det benyttes en magnetsensor, da denne har større terskel før den trigges og vil derfor filtrere ut uønskede dørhendelser ved korrekt montasje. Sensoren monteres med spesialdesignet vinkelbrakett der dette er hensiktsmessig og forbedrer enkelhet og pålitelighet for montasjen. Brakettene monteres enkelt med to skruer eller egnet lim.



Figur 2.1: Eksempelvis montasje av magnetsensorer

2.1.2 Proximity

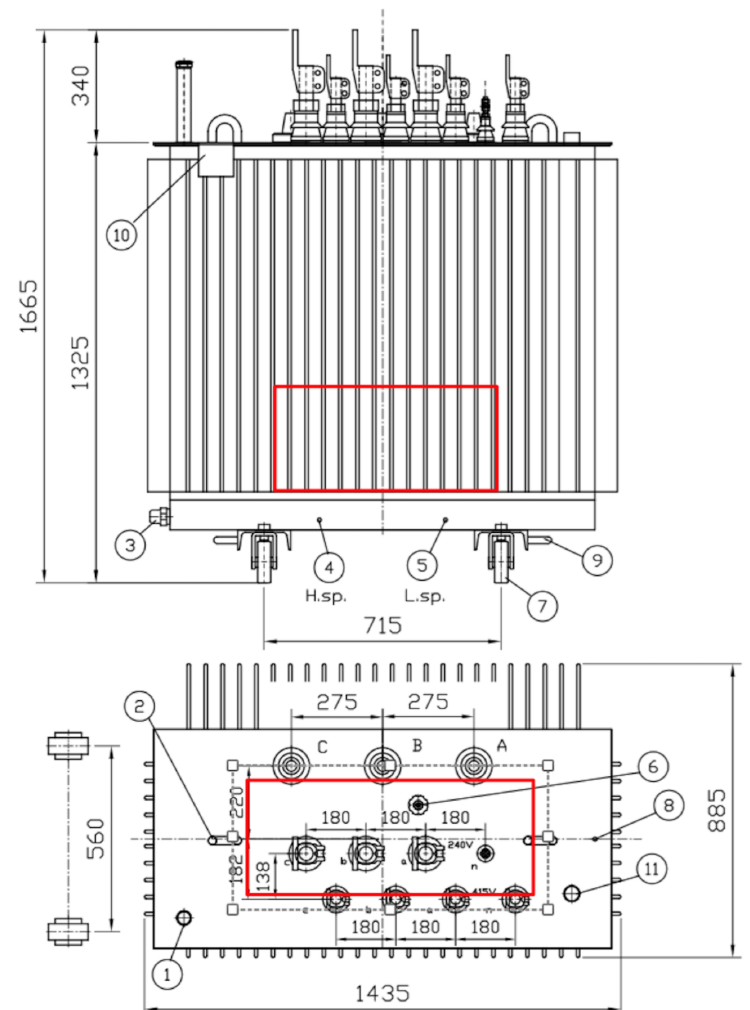
Brukes hvor det ikke lar seg montere magnetsensor på tilfredsstillende måte. Denne må dette tilfelle monteres slik at den ikke kommer direkte i kontakt med døren (må ha noe avstand). Overflatekontakt mellom sensor og dør kan føre til skade på sensor slik at den registrerer feilsignaler og mister kontakt med Cloud Connectoren. Ved bruk av denne sensoren er det ekstremt viktig å påse at døren er innenfor 5mm i lukket posisjon for at montasjen skal fungere.



Figur 2.2: Eksempelvis montasje av proximity dørsensor

2.2 Temperatursensor

Temperatursensor for måling av overflatetemperatur på toppen av transformatorene monteres innenfor avmerket området som vist på bilde under. Dette er for å sørge for en samsvarende montasje på alle transformatorer.¹ Temperatursensor for måling av overflatetemperatur på bunn av trafo gjøres på horisontalt senter av transformatoren så langt ned som mulig, mellom kjøleribbene. Dersom sensoren ikke får plass mellom kjøleribbene er det bedre at denne sensoren sløyfes.



Figur 2.3: Temperatursensorene plasseres innen for markert område.

2.2.1 Utetemperatur

Temperatursensor for måling av utetemperatur settes på undersiden av AMS skap, eller annet sted den ikke er utsatt for direkte og minimalt indirekte sollys som mulig. Dette gjelder ikke for nettstasjoner i bygg dersom en utendørsmontasje vil føre til dårlig signalstyrke

¹Gradienten av denne overflatetemperaturen kan undersøkes nøyere for å finne mer nøyaktig plasseringsposisjon

2.2.2 Innetemperatur

Temperatursensor for måling av romtemperatur monteres på lavspennetavlen inne i nettstasjonen eller annen temperaturnøytral gjenstand. Dette gjelder kun for frittstående nettstasjoner og nettstasjoner i bygg.

2.2.3 Merking

Sensorene skal fysisk merkes basert på deres følgende plassering:

- Ut (Utetemperatur)
- Inn (Innetemperatur/ Romtemperatur)
- TB (Transformator bunn)
- TT (Transformator topp)



Figur 2.4: Merking av Sensorer

2.3 Cloud Connector

Cloud Connector bør plasseres slik at sensorene har best mulig signalstyrke til en hver tid. For sikre en god montasje bør monterings brakettet til Cloud Connectoren settes fast med en selvborende skrue i tillegg til medfølgende teip.

2.3.1 Frittstående nettstasjon

Ved frittstående nettstasjoner og mastemonterte transformatorer, skal Cloud Connectoren monteres i AMS-skapet.

2.3.2 Nettstasjon i bygg

Cloud connectoren bør monteres inne i nettstasjonens lavspennetavle.

2.3.3 Merking av Cloud connector

Cloud connectoren merkes med «Må ikke fjernes» og nettstasjonsnavn.



Figur 2.5: Plassering av Cloud connector

2.4 Arbeid i DT Studio

2.4.1 Opprette Prosjekt

Oppsett i studio og opprettelse av prosjekt.

Opprette nytt prosjekt: Navnet må være likt Nettstasjons-id, slik at sensor dataen blir hentet inn i Power BI. Tilordne Cloud Connectoren i prosjektet og merke denne med nettstasjonsnummer- og navn. Tilordne sensorer navn og prosjekt. Disse skal starte med nettstasjon nummer og deretter plassering i nettstasjon.

- Trafo bunn
- Trafo Topp
- Ute temp
- Inne temp



Figur 2.6: Merking av komponenter i studio

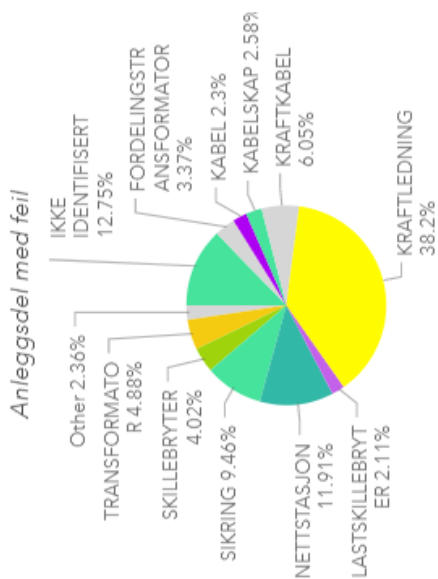
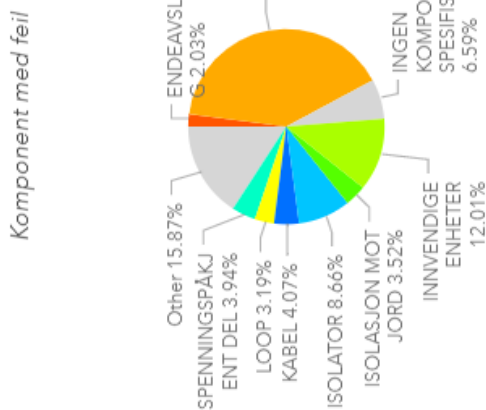
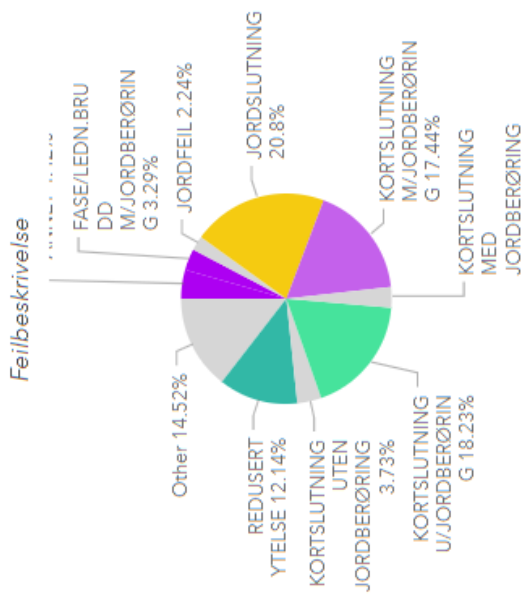
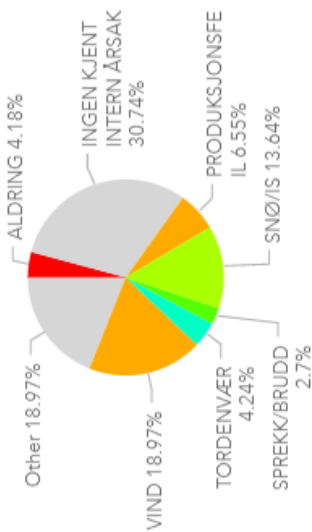
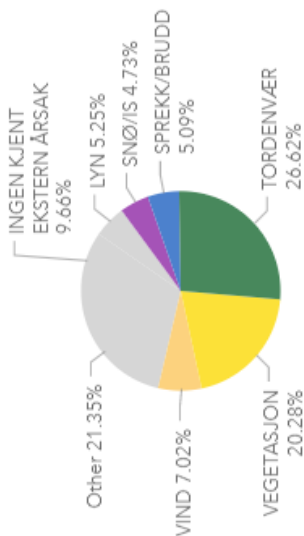
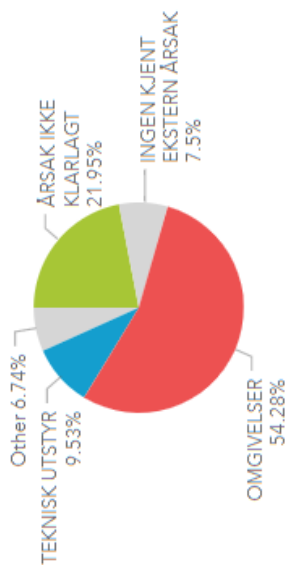
2.4.2 Opprette dashboard

Hvert prosjekt skal ha et dashboard for enkel oversikt over siste måneds datapunkter. Her skal det da opprettes nye kort hvorav to kort for temperatur, et for ute temp og innetemp. Det skal også lages kort for trafo topp og trafo bunn, samt et kort for dørstilling som vist på figur 2.7.



Figur 2.7: Dashboard i Studio

A.3 Feilstatistikk fra AEN



A.4 Montasjebeskrivelse EcoSmart



Ettermontering / bytte av sensordocking:

- Prosessen anbefalt utført ved oljetemperatur ved ca 20°C. Vent ca et døgn etter driftstans, og følg med slik at temperaturen på transformatoren ikke blir lavere en ca 20°C.

 1. Løfte trykkventil for å ta bort trykk i transformatoren.
 2. Tapp av litt av oljen, slik at oljenivå er i bunn av påfyllingsrøret.
 3. Fjern mutter som forsegler monteringsrør til sensordocking på transformatoren.
 4. Skru fast sensordocking.
 5. Løsne setts- skrue og vinkle sensordocking i ønsket / lesbar stilling.
 6. Fyll tilbake olje helt opp i toppen av påfyllingsrør.

Generell informasjon:

Vår nettside: www.nortrafo.no

Produkter → tilleggsutstyr → EcoSmart sensordocking.



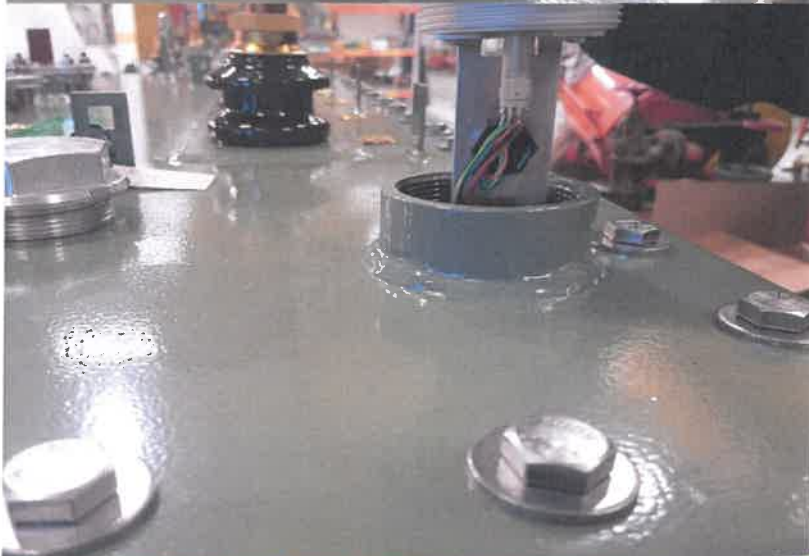


**Norsk
Transformator**





**Norsk
Transformator**



A.5 Lavspenningføringer i nettstasjon



A.6 Bacheloroppgave

Bachelor med mulighet for deltidsjobb: Sensorer for overvåking av nettstasjoner

Problemstilling

Sensorer og IoT er viktige ved effektiv drift av nettanlegg. Registrering av temperatur, fuktighet, dørstilling etc legger grunnlag for tilstandsbasert vedlikehold: Man kan sette inn tiltak ved behov, og sparer dermed unødvendige besøk i felt.

Agder Energi Nett piloterer bruk av sensorer, og trenger bistand til uttesting og analyse.

Om oppgaven

Formål: Undersøke respons på sensorer. Følge opp konfigurering og datainnsamling. Dataanalyse.

Metode: Analyse av data fra sensorer. Noe arbeid i felt for montasje. Dokumentasjon.

Passer for: 2-3 studenter, Bachelor.

Forkunnskaper: Kjennskap til IoT og energisystemer. Bakgrunn som installatør eller lignende er fordelaktig.

Interessert? Kontakt agder.energi@agderenergi.no

