

Egor Chagin

Kartlegging av korrosjon av gatelysmaster

Mapping of corrosion of street lights

August 2020

NTNU

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
Fakultet for naturvitenskap
Institutt for materialteknologi

Bacheloroppgave

2020



Egor Chagin

Kartlegging av korrosjon av gatelysmaster

Mapping of corrosion of street lights

Bacheloroppgave
August 2020

NTNU

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
Fakultet for naturvitenskap
Institutt for materialteknologi



Kunnskap for en bedre verden

KARTLEGGING AV KORROSJON AV GATELYSMASTER

Mapping of corrosion of street lights

Bacheloroppgave

Ekstern veileder: Bjørn Andresen

Intern veileder: Marte S. Mørkve

Prosjektnummer: IMA-B-27

Forfatter: Egor Chagin

Institutt for materialteknologi

Trondheim, 2020

Forord

Denne prosjektet ble gjennomført som bachelorarbeidet i olje- og gassteknologi hos NTNU i Trondheim. Forfatteren ble ganske interessert i selve temaet, på grunn at det regnes som en sjanse for å fremføre i realiteten noen forbedringer, det er et prosjekt hvor forfatteren kan bruke sine kunnskap og vise kreativitet. Arbeidet med oppgaven var ganske interessant, og det er unik erfaring. Det ble gått gjennom masse ideer, hypoteser, forslag og samtaler før det ble sluttet. Faglig utfordringer, forskningsarbeid uten noen fasitsvar – det er de faktorene som gjort denne prosjektet meget interessant. Forfatteren ble fornøyd med arbeidet, selv om det fortsatt finnes noen ideer om hvordan man kan behandle det samme problemet med forskjellige synsvinkler.

Forfatteren ønsker å si takk til Trondheim Kommune og spesielt til Bjørn Andresen som hjelp mye med informasjon og viktige tips, det også ønskes å si takk til Roald Lilletvedt, som har vært pådriver av hele prosjekter og selvfølgelig mye takk til Marte S. Mørkve for sin hjelp som rådgiver – det ble mye mer vanskeligere å jobbe med dette prosjektet uten tips, samtaler og diskusjoner med hun. Også takk til Andrey Kosinsky for opplæring i bruk av ultralyd apparat og Vik Ørsta™ for samarbeid og forklaringer om produksjonen deres.

Sammendrag

Bakgrunn med dette oppgave er at i dag er det situasjonen med lysmastene i Trondheim er ut av kontrollen – vanskelig å oppdage korrosjon, og bestemme hvilke faktorer som påvirker. Dette skjedd på grunn av de siste 40 år teknologisk progress vokst opp, de nye teknologiske løsninger kommer i brukt, samt med de gamle. På grunn av det, vedlikeholdet kan ikke gjennomføres i sammen tiden med alle lysmaster. Dette skjer på grunn av forskjellige lyktestolper har forskjellig korrosjonsraten.

Denne oppgaven har som hensikt å finne ut hvilke faktorer som kan påvirke korrosjon i lysmaster i Trondheim kommune, finne ut tendenser gjennom forskjellige byområder og lage noen forslag til å forbedre situasjonen.

Data ble samlet ved hjelp av ultralyd testen. UT-testen ble valgt på grunn av det er mest nøyaktig måte å analysere metallkonstruksjoner utendørs.

Dataanalysen ble gjennomført på grunn av de innsamlede data, noen karakteristiske trekk ble bestemt ifølge kvantitativt og kvalitativt analysen av resultat til eksperimentell del av arbeidet.

Ut ifra data som ble bearbeidet, ble det bestemt at det farligste korrosjonstypen til lysmastene er uniform og våt korrosjon. Det beste måte å beskytte metallkonstruksjoner i bymiljøet på er galvanisering. Naturlige faktorer påvirker nesten ikke korrosjonen, de teknologiske faktorer spiller mye større rolle.

Konklusjon: Det anbefales å erstatte gamle mastene til de galvaniserte eller delvis galvaniserte. Sterk anbefales å unngå å sette lysmastene direkte i sand/grus, mye bedre å bruke fundament. I tillegg det blir mye enklere å ta kontroll over det, hvis det blir mer dokumentasjon om lysmastene samlet inn i systemet for å planlegge vedlikeholdet bedre.

Abstract

The reason for this task is as a nowadays situation with the streetlights in Trondheim is out of control - difficult to detect corrosion, and determine which factors affect. This happened due to the last 40 years technological progress has grown up, the new technological solutions are coming into use as well as with the old ones in the same time. Due to that, the maintenance cannot be carried out in the same time with all the light poles. This happens because different lampposts have different reactions to corrosion.

This project aims to find out what factors can affect corrosion in streetlights in Trondheim municipality, find out trends through different urban areas and make some suggestions to improve the situation to better future.

Data were collected using the ultrasound test. The UT test was chosen because it is the most accurate way to analyse metal structures outdoors.

The data analysis was carried out due to the collected data, some characteristic features were determined according to the quantitative and qualitative analysis of the result of the experimental part of the work.

Based on the data that was processed, it was decided that the most dangerous type of corrosion for the streetlights are uniform- and wet corrosion. The best way to protect metal structures in the urban environment is galvanizing. Natural factors hardly affect corrosion, the technological factors play a much bigger role.

Conclusion: It is recommended to replace old streetlights with galvanized or partially galvanized ones. It is strongly recommended to avoid placing the light poles directly in sand / gravel, much better to use a modern foundation. In addition, it will be much easier to take control of it, if there is more documentation about the light masts collected in the system to plan maintenance better.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	1
Sammendrag.....	2
Abstract.....	3
Symbolliste.....	7
1 Innledning.....	1
2 Teori.....	2
2.1 Stål.....	2
2.1.1 Stållegering.....	2
2.1.2 Galvanisering.....	3
2.1.3 Varmeforsinking.....	4
2.1.4 Stål korrosjon.....	6
2.2 Korrosjon. Typer korrosjon og korrosjonsmekanismer.....	7
2.2.1 Tørr korrosjon (atmosfærisk).....	7
2.2.2 Våt korrosjon.....	8
2.2.3 Galvanisk korrosjon.....	9
2.2.4 Jevn (uniform) korrosjon.....	11
2.2.5 Erosjonskorrosjon.....	13
2.2.6 Spalt Korrosjon.....	14
2.2.8 Grop Korrosjon (Pitting Corrosion).....	16
2.2.9 Andre faktorer som påvirker korrosjon.....	17
2.3 Ikke Destruktiv Testing – NDT.....	18
2.3.1 Ultralyd.....	18
2.3.2 Bølgelengde.....	20
2.3.3 Ultralyd gel.....	21
2.3.4 Normalt Stråleinspeksjon.....	21
2.3.5 Penetrant testing.....	22
2.3.6 Magnetpulver testing.....	23
3 Eksperimentelt Arbeid.....	25
3.1 Lokale forhold i Trondheim.....	25
3.2 Teoretiske antakelser.....	26
3.3 Forskningsdesign.....	27
3.4 Innsamling av teori.....	27
3.5 Metodevalg.....	27
3.6 Strategien av UT-testing.....	28
3.6.1 Materialer.....	29

3.6.2.	Kalibrering av apparat.....	29
3.6.3	Antakelser og prøvemålinger.....	30
3.7	Datainnsamling.....	31
3.8	Dataanalyse.....	33
3.9	Metodeevalueringen.....	33
3.9.1	Reliabilitet.....	33
3.9.2	Overførbarhet.....	33
3.9.3	Usikkerhet og feiler.....	34
4	Resultater.....	35
4.1	Kommentarer til målinger.....	36
4.1.1	Guttorms gate.....	36
4.1.2	Møllebakken.....	36
4.1.3	Marie Wexelsens Veg.....	36
5	Diskusjon, tolkning, analyse.....	37
5.1	Plassering.....	37
5.2	Mastene.....	37
5.3	Korrosjonfare.....	38
5.3.1	Korrosjonstyper som er aktuelle for hvert av de byområder.....	38
5.3.2	Spesielle tilfeller som påvirker korrosjon.....	42
5.3.3	Generelt vedtak om korrosjon i forhold til byområder.....	43
5.3.4	Masten. Byområder.....	45
5.3.5	Behandling av lysmaster.....	49
6	Konklusjon.....	52
7	Forslag til videre arbeid.....	54
	Referanser.....	55
	Vedlegg 1.....	58
	Vedlegg 2 (bilder av mastene).....	59
	Guttorms Gate.....	59
	Lyktestolpe 5.....	59
	Lyktestolpe 1.....	60
	Lyktestolpe 2.....	61
	Lyktestolpen fra Gantes Gate.....	62
	Lyktestolpe 3.....	63
	Møllebakken.....	64
	Lyktestolpen 19.....	64
	Lyktestolpen 20.....	65

Lyktestolpen 21	66
Lyktestolpen 22	67
Lyktestolpen 23	69
Lyktestolpen 24	70
Lyktestolpen 25	71
Marie Wexelsens Veg	72
Lyktestolpen 1	72
Lyktestolpen 2	73
Lyktestolpen 3	74
Lyktestolpen 4	75
Lyktestolpen 5	76
Vedlegg 3	77
Tabeller og Excel beregninger. Alle beregninger i mm.....	77
1. Øya, Guttorms gate	77
2. Fagerlia, Møllebakken.....	79
3. Persaunet, Marie Wexelsens Veg.....	81
4. Sammensetning av byområder.....	83
Vedlegg 4	86
Kartutsnitt	86
Utrekninger (mm):.....	87
Diagram:.....	87
Boblediagram og utregning for sum (mm):	87

Symbolliste

ASTM - American Society for Testing and Materials

BNP - Bruttonasjonalprodukt

HDG – Hot Dip Galvanization

ISO - International Organization for Standardization

IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry

Moh – meter over havet

MPI – Magnetic particle inspection

NACE - National Association of Corrosion Engineers

NDE – Non Destructive Examination

NDT - Non Destructive Testing

PT – Penetrant testing

RH – Relativ Humidity

TOW - time of wetness

UT – Ultrasonic Testing

UV – Ultraviolet (stråling)

d – avstand fra overflaten til defekt

t – tiden

v – hastighet av lyden i material

1 Innledning

Naturfenomener som flom, kysterrosjon, jordskjelv, og orkanstormer forårsaker store skader på infrastruktur, mennesker, dyr og natur hvert år. Det estimeres ifølge ourworldindata.org at 60 000 menneskeliv går tapt hvert år til naturkatastrofer, og økonomiske tap tilsvarer omkring 0.5% av verdens årlige BNP [1]. Som et naturfenomen er korrosjon trolig et av de dyreste på en global basis, men ikke i nærheten like fatalt som andre naturkatastrofer. Det er sjeldent at et jordskjelv i Asia vil ha alvorlige konsekvenser for andre verdensdeler, eller at en orkan på østkysten i USA vil påvirke land på andre kontinenter. Korrosjon derimot er et verdensomspennende problem som alle land påvirkes av, både i offentlig og privat sektor, og i alle industrier. Alle valgene som gjøres helt fra materialeseleksjonen, designutførelsen, den geografiske plasseringen, og oppfølgingen og vedlikeholdet, er avgjørende for hvor godt produktet vil nyttiggjøre seg. Når det er snakk om korrosjon er det ofte fordi noe har korrodert eller fordi det er ønskelig å forhindre det. Samtidig bor mennesker i en verden med begrensede ressurser, og det er derfor viktig å utnytte dem til det fulleste og optimalisere for situasjonen. Dermed finnes en fin balanse mellom å bruke for dårlige materialer i kritisk infrastruktur, og å bruke alt for korrosjonsmotstandsdyktige og dyre materialer i midlertidige prosjekter.

Det rapporteres at korrosjon i 2013 hadde et årlig skadeomfang tilsvarende 3.4% av verdens bruttonasjonalprodukt, eller 2.5 billioner amerikanske dollar [2]. Det hevdes samtidig at 15 til 35 prosent av disse skadeutgiftene kan spares med enkle tiltak basert på eksisterende korrosjonshåndtering og opplæring [2]. Ved å se på de to standardene ASTM G193 og ISO8044, sammen med IUPAC sin definisjon om korrosjon, kan korrosjon betegnes som en naturlig nedbrytning av materialer, vanligvis metall, ved kjemiske, elektrokjemiske, eller fysiokjemiske reaksjoner mellom materialet og miljøet, som i effekt kan redusere egenskapene til materialet [3].

Denne oppgaven har som hensikt å finne ut hvilke faktorer som kan påvirke korrosjon i lysmaster i Trondheim kommune. Poenget med det er å finne ut karakteristiske trekk korrosjonen i bymiljøet, bestemme situasjonen i byen akkurat for i dag og komme i gang med noen forslag for å forbedre situasjonen.

2 Teori

Teorikapittel settes for definering av begreper, prosesser og arbeid med objekter. Teoridelen skal inneholde kapitler om stål, korrosjon, NDT i sammensetning med bruk i forhold til Trondheim miljøet. Det skal utdypes begrepene i NDT fagfelt, oppgis beskrivelse for de metodene som er relevant i forhold til problemstillingen. Videre kapittel skal inneholde informasjon som brukes som base for videre utvikling av arbeidet, samt eksperimentell delen og metoder for videre arbeid. Gjennom bearbeiding av relevant litteratur ble satt inn mest relevant essensen av fagkunnskap som blir relevant for videre forståelse av oppgaven og fullføring av kvantitativt og kvalitativt analysen.

2.1 Stål

Stål er legering av Fe og C, hvor C-innhold varierer opp til 2%. Hvis karboninnhold er høyere, da materialet defineres som støpejern. Stål er mest brukt materialet for å bygge infrastruktur i hele verden, fra metallkonstruksjoner på oljeplattformer til nanoteknologiske verktøy. Også, alle verktøy som er nødvendig for å produsere stål, er også laget av stål. Et bevis på viktighet av stål er at verdensproduksjon av stål i 2013 var rundt 1.6 milliarder tonn, mens produksjon av det neste viktigst metall (Al) var rundt 47 millioner tonn [4]. Stål har relativt lave kostnader for produksjon, lett bearbeides, og egenskapene til stål kan justeres i forhold til forbruksareal, ifølge Britannica sin rapporter om stål og rustfri stål [4, 5].

2.1.1 Stållegering

Stål inneholder forskjellige legeringselementer for å gi nødvendige egenskaper til bruksområdet sitt. Under beskrives en rekke stoffer som brukes i stållegeringer, og i Tabell 1 vises stoffenes egenskaper tabellarisk. Denne underkapittel ble satt opp ved bruk av rapportene som ble skrevet tidligere av Pierre-Jean Cunat [6] og Aalco ® som lagt en presist oversikt over stållegeringer [7] og bok «Alloying: Understanding the Basics» som ble skrevet av Joseph R. Davis [8]. De to viktigste elementer er visst nede, de resten ble satt ut i tabell 1.

Karbon (C) og jern (Fe) slås sammen for at Fe skal kunne regnes som stål. Legering av Fe med C fører til økning i styrken og hardheten av Fe. Varmebehandling er ikke en løsning for styrke og øke hardheten til rent Fe, mens tilsetning av C fungerer bra, på grunn av at det gir bredere spekter av styrke og hardheten. Viktig å unngå høyt C-innhold i ferrittiske og austenittiske stål, på grunn av risiko for karbidnedbør [7].

Krom (Cr) tilsettes til stål for å forbedre motstandsegenskaper mot oksidasjon og korrosjon. Motstand økes proporsjonalt med Cr-andel i metallet. For at stålet skal være rustfritt, må den inneholde fra 10,5% til 12% Cr. De prosentene gir betydelig økning i korrosjonsmotstanden, i forhold til stål med relativt lav Cr-innhold [8].

Egenskap	C	Cr	Ni	S	Mn	Si	P	Cu	Mo	Se	Ti/Nb
----------	---	----	----	---	----	----	---	----	----	----	-------

Korrosjonsmotstand	-	√	√	X	-	-	√	-	√	-	-
Mekaniske egenskaper	√	√	-	-	√	√	√	√	√	-	√
Motstand mot høy temperatur	-	√	√	X	-	-	-	-	√	-	√
Bearbeidsegenskaper	X	X	-	√	-	-	√	-	-	√	-
Sveisbarhet	X	X	-	X	√	-	X	-	√	-	√
Kald bearbeiding	X	X	√	X	-	-	-	√	-	-	-

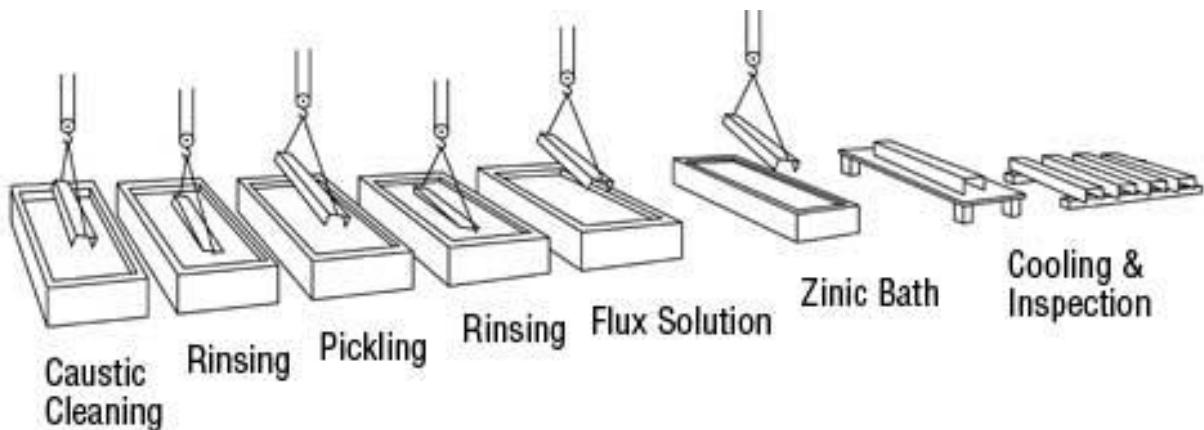
Tabell 1. Effekt av legeringselementer i rustfritt stål [6, 7].

Forklaring:

- √ = Gunstig
- X = Skadelig

2.1.2 Galvanisering

Varmeforsinking er et begrep som forklares galvaniseringsprosessen. Hovedprinsippet for det er å senke jern/stål objektet i bad med smeltet sink, for å lage et sink belegg med korrosjonsbestandige egenskaper. Når jern/stål objektet settes inn i sink, da er det opprettes Zn-Fe legering og metallisk sink på overflaten, dette skjer på grunn av diffusjonsprosessen mellom Zn-metall og Fe-metall [9]. Dette fører til at belegget dannes jevnt og vinkelrett på alle overflater, dette betyr at det blir jevnt tykkelse av belegg over hele delen av objektet. Figur 1 demonstrerer hele galvaniseringsprosessen fra begynnelsen til slutten.



Figur 1. Illustrert prosess av galvanisering [9].

Varmeforsinking ble bestemt som langvarig, relativt vedlikeholdsfri beskyttelse mot korrosjonspåvirkning, med lave kostnader i flere år. Generell prinsippet ble oppdaget i 1742, og denne prosessen utfordres med de nye teknologier og kreative løsninger frem til i dag, mens de hoved trinnene som overflatebehandling, galvanisering og etterbehandling er uendret

frem til i dag [9]. Hele varmforsinking prosessen er enkelt, og det er en fordel i forhold til de andre korrosjon beskyttelsesmetoder [10].



Figur 2. Korrodert stål [11].

Figuren 2 fremviser stålobjektet som er korrosjonspåvirket. Rust og korrosjonsskader er ganske kostbare for eiere. Ganske utsatt for korrosjon er offentlige metallkonstruksjoner, som bygninger, broer – det er kostbart å reparere. Hvis det er ikke god korrosjonsbeskyttelse da må det føres til at vedlikeholdes skal utføres oftere, ellers i verste fallen må strukturen bygges på nytt. Med pressing av den nye tendenser til bærekraftig utvikling, settes de nye bygger under spesifikasjoner av miljø og økonomiske tendenser til å bygge opp de nye strukturer med lang levetid som krever ikke så mye vedlikehold over tiden [12].

2.1.3 Varmeforsinking

Varmeforsinking (HDG) – prosess som beskriver dekking av metallobjektet ved sinking i bad med sink. Den består av tre trinn: overflatebehandling, selve galvanisering, slutt inspeksjon. Selve prosessen ble visst på figur 1, trinn for trinn. Grundig beskrivelse av prosessen ble satt opp av Connecticut Galvanizing [9].

1. Forberedelse av overflaten

Før stålen skal gå gjennom galvanisering, må gjennomføres overflateforberedning. Objektet henges i stativet, som skal beveges ved hjelp av kraner. Da gjennomføres tre rengjøringsprosesser:

1. Avfetting
2. Beising
3. Flussbehandling

Hovedbruk av det første trinnet – fjerne organiske belegg på overflaten. Beising fjerner jernoksider, og flussbehandling fjerner gjenværende oksider og lager et beskyttende lag på overflaten for å stoppe videre oksiddanning før galvanisering. Hovedpoenget med det, er at sink skal ikke reagere med urent, forurenset stål, så derfor er overflatebehandling er ekstremt viktig [10].

II. Forsinkingsprosessen

Etterpå stålet settes inn i badet med smeltet sink som har gjennomsnittlig temperatur 443 C (830 F) med minst 98% av Zn [10]. Viktig å beholde en vinkel som gjør at alt luften kommer bort fra lommer, rørformer og lignende. Etter at objektet nedsenket i badet, da reagerer Fe i stål med Zn og danner Zn-Fe-intermetalliske lag og en ytre lag som består av rent Zn [13, 14].

III. Undersøkelse av belegget

Den siste delen av inspeksjonen er undersøkelse av belegg. Vanlig å gjennomføre kvalitetsanalyse av belegg ved hjelp av visuell inspeksjon. Hvis det finnes en del av objektet hvor Zn er ikke reagert med stål da den området er synlig. I tillegg kan gjennomføres magnetisk testing gjennomføres for å verifisere beleggtykkelsen i forhold med spesifikasjonskravene [14].

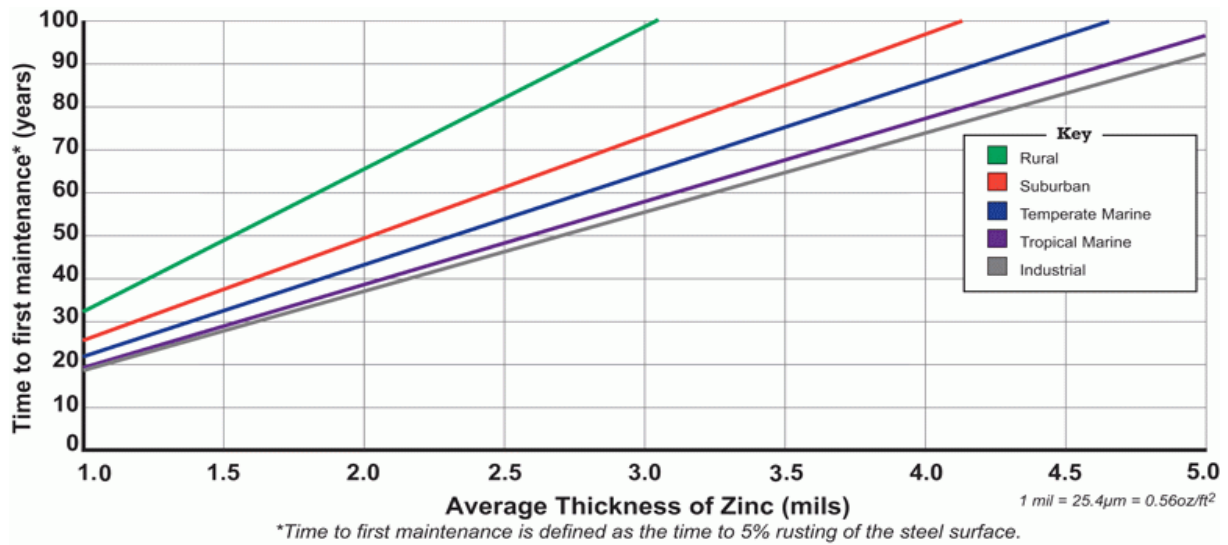
IV. Fordeler av belegg forbruk

Varmeforsinking gir en del fordeler for stålet. Zn-Fe legeringslaget gir ikke bare en barriere mellom objektet og stål, mens fungerer også som beskyttelse for katodisk stål. Katodisk beskyttelsen som lages av sink betyr at galvanisert belegg brukes for å beskytte underliggende stållag mot korrosjon [9].

Tett vedlagt belegg med en bindingsstyrke rundt 3600 psi er ekstremt slitesterk, faktisk de intermetalliske lagene er hardere enn grunnstålet av objektet. Hvis beskyttende belegget skal være skadet, da sink skal fortsatt beskytte stålet frem til 6,35mm unna [15].

Til slutt sinkbelegget danner et lag med korrosjonsprodukter av Zn på overflaten, akkurat den lagen kalles som sinkpatina. Den gir katodisk beskyttelse, dekker fullstendig objektet og gir faktisk til observerende objektet lang og sammen med det, relativt vedlikeholdsfri levetiden

[10]. På figur 3 ble det fremvist lineært forhold mellom tykkelsen av overflaten og tid før det skal kreves noen vedlikehold i forhold til miljøet.



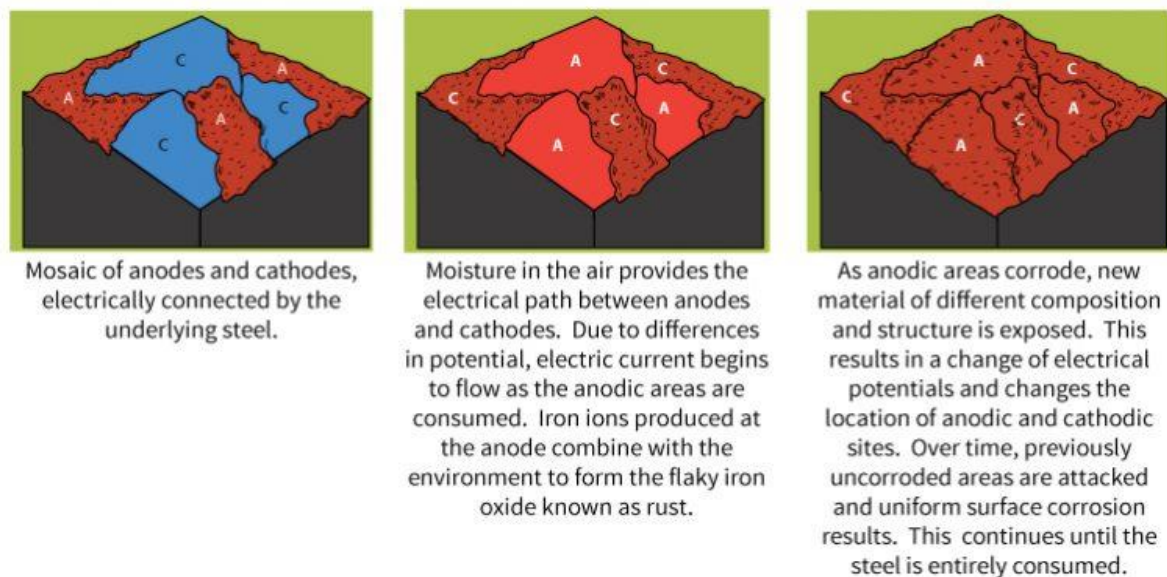
Figur 3. Sammensetning av Zn-tykkelse og tid før den første vedlikeholds operasjon [10].

2.1.4 Stål korrosjon

Korrosjonsprosesser som skjer med ubearbeidet stål uten noen belegg er kompleks. Det finnes mye forskjellige faktorer som påvirker korrosjonsprosessen, som variasjon i strukturen, urenhet (kommer ofte på grunn av høy andel av resirkulert stål) og indre belastning.

Relativt enkelt å få situasjonen, når noen områder på mikronivå med forskjellige egenskaper blir anodiske eller katodiske for hverandre. Når det er mye samme områder, da stålet blir utsatt for galvanisk korrosjon, som kan ødelegge hele objektet [16].

Når korrosjonsprosessen kom i gang, da produkter av korrosjon vokser opp i metallet. De produktene har forskjellige sammensetninger og egenskaper enn metallet i sin vanlige tilstand. De nye produkter vokser opp på overflaten, som fører til de store endringer i anodiske/katodiske områder. På grunn av det, er de delene av objektet som var upåvirket av korrosjon begynner å angripes. Sånn begynnes korrosjon av hele overflaten [10]. Korrosjonsprosessen av stål fremstilt grafisk på Figur 4.



Figur 4. Hvordan stålet blir korrodert på overflaten [17].

De korrosjonsprodukter av stål består av oksider med brun/rød brun farge. Det er bare liten mengde av de produktene er nok til korrosjonen skal vokses opp mer og mer på rent stål som var ikke korrodert før. Stål korroderes naturlig når den har tilgang til atmosfæren, og i tillegg til det er alle korrosjonsprosessene økes raskt når det er elektrokjemiske reaksjoner begynner å oppstå på overflaten [17, 18].

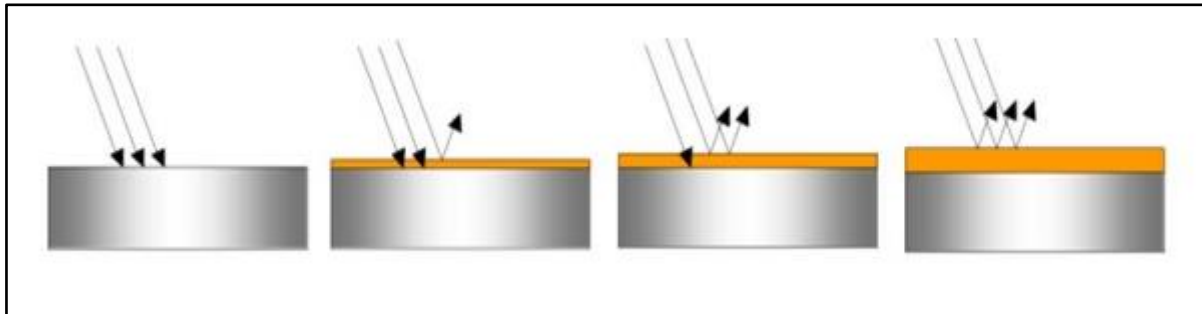
2.2 Korrosjon. Typer korrosjon og korrosjonsmekanismer.

Korrosjon en reaksjon som skjer mellom et material og miljøet det befinner seg i. Videre kan alle miljøer sies å være korroderende for et material, men da i ulik grad [19]. Hvor korrosivt et miljø er for et material påvirkes av flere faktorer, som selve materialtypen, temperatur, relativ luftfuktighet (RH), pH, jordsmonnstilstand, oksygentilgang, forurensende stoffer, eller om det er aggressive reagerende stoffer til stede [20]. Kombinasjonen av disse faktorene danner korrosjonsmiljøet og vil være med å bestemme korrosjonsraten til et gitt material, som i denne rapporten vil være stål og varmforsinket stål. Det er flere måter korrosjon kan oppstå, men de to viktigste av disse omtales gjerne som tørr korrosjon og våt korrosjon [12].

2.2.1 Tørr korrosjon (atmosfærisk).

Tørr korrosjon kjennetegnes ved at det ikke er vann eller fukt til stede som tilrettelegger for elektrokjemisk korrosjon, men at det er gasser i atmosfæren som angriper overflaten av materialet [21]. Tørr korrosjon kalles også atmosfærisk korrosjon, og er resultatet av en reaksjon mellom eksempelvis stål og oksygen i luften. I denne reaksjonen vil oksygen adsorberes i overflaten av stålet der det reduseres og reagerer med de oksiderte jernioner. Produktet blir et lite porøst jernoksid som avsettes på overflaten og begrenser videre adsorpsjon, til det ikke lenger er permeabelt nok til å tillate denne formen for reaksjon [22]. Oksidlaget danner en beskyttende film, som ofte kalles passivsjikt. Når molekylært oksygen

ikke lenger har uavbrutt tilgang til jernioner vil det i stedet diffundere gjennom passivsiktet, og oksidlaget vil fortsette å øke i tykkelse. Reaksjonen vil avta med den økende tykkelsen, og stoppe når diffusjon ikke lenger er mulig, som kan vises i Figur 5.

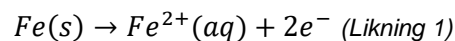


Figur 5 – Utviklingen av et passivsikt på et metall [23].

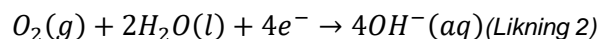
2.2.2 Våt korrosjon

I våt korrosjon kan et påvirket legeme stå delvis eller fullstendig nedsenket i vann, eller i luft der legemets overflate blir vætet i form av regn eller fukt. Våt korrosjon kalles også elektrokjemisk korrosjon, fordi det dannes en lokalisert elektrisk ledende krets ved overflaten av materialet. Denne kretsen, til vanlig kalt en korrosjonscelle, har fire bestanddeler som muliggjør oppstart av korrosjon [22]. Cellen har en katode, anode, elektrolytt, og en metallkontakt mellom katode og anode som sikrer en elektronstrøm. Elektrolytten vil i alle praktiske formål være vann, og karakteristikken til elektrolytten vil ha stor påvirkning for korrosjonen. Det prinsipielle ved elektrokjemisk korrosjon er den anodiske oppløsningen av metallet med elektronutveksling. Når korrosjon først har begynt kan det ikke stoppes, så det må enten håndteres eller forhindres. Under vil likningene 1-4 beskrive korrosjonscellen som kan sees i Figur 6 lenger nede.

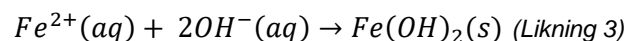
I Likning 1 løses jern til ionet sitt i vandrdåpen, og avsetter to elektroner til det nærliggende metallet. Dette er nå anoden.



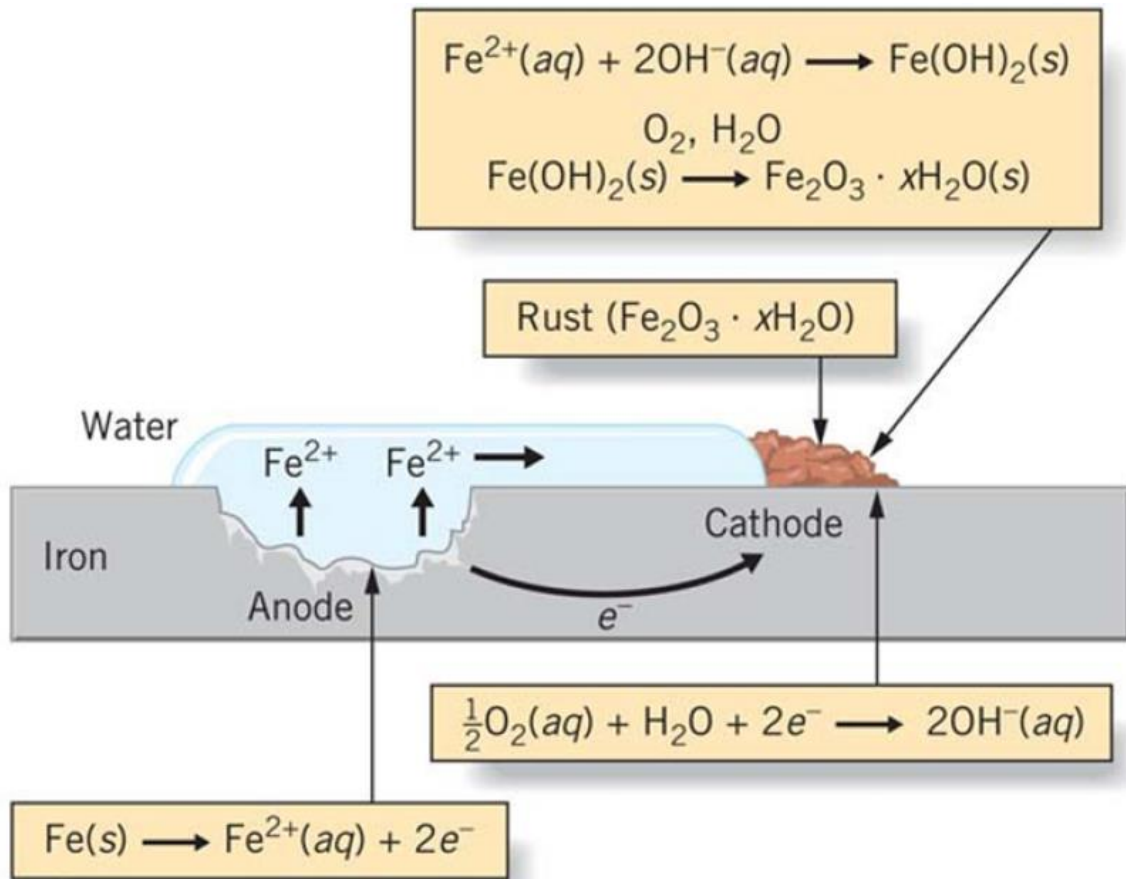
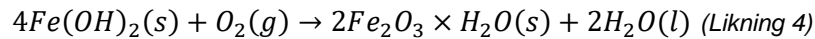
Elektronene vil så redusere oksygen fra luften ved kanten av vandrdåpen, og dette blir det katodiske området som vises i Likning 2.



To hydroksidioner kan så reagere med et jern-ion som danner jern(II)hydroksid som vist i Likning 3.



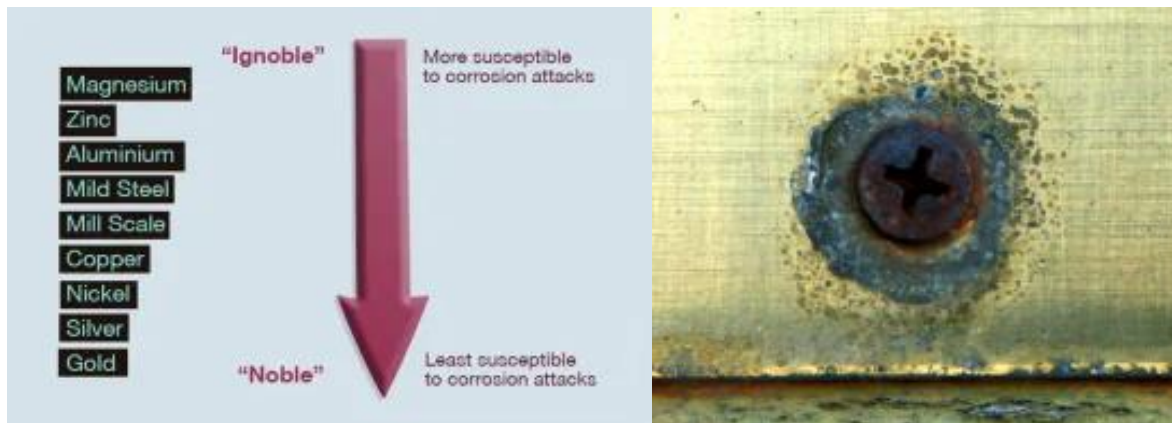
Med tilgang på oksygen vil da jern(II)hydroksid reagere og lage produktet jern(III)oksid, som viser likning 4.



Figur 6 - En typisk korrosjonscelle av jern i surt miljø [24].

2.2.3 Galvanisk korrosjon

Galvanisk korrosjon står for korrosjon som skjer når to forskjellige metaller koblet i elektrolytt [25]. Godt eksempel av det er når to eller flere metaller kommer i elektrisk kontakt under vann – dette føres til at det dannes galvanisk par, det betyr at den ene metallet blir anoden, den andre metall blir da katode [26]. Oksidasjon skjer alltid på anoden, samtidig med at reduksjon skjer alltid på katoden – det betyr at i galvanisk par anoden skal korrodere raskere, enn det skjer når metallet er ikke i galvanisk par, sammen med det er katoden som korroderer mye svakere enn den korroderer alene, sies i NACE rapporten om galvanisk korrosjon [25].

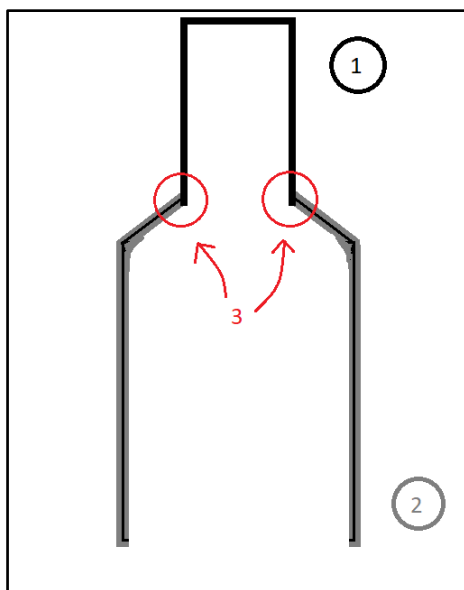


Figur 7. Spenningsrekke (til venstre) og korrodert objektet (til høyre) [25, 26] .

I galvanisk par er det minst edelt metall skal være anoden, og skulle ha tendens til å korrodere raskere, sammenliknet med sin vanlig (ikke-koblet) tilstand. Mer edelt metall skal være katoden [27]. Galvanisk korrosjon som forebygges på dette prinsippet er en av de vanligste korrosjonsformer, sammen med det – regnes som en av de mest farlige for konstruksjoner ifølge NACE rapporten.

Bestemme om at metall er edelt og i hvor stor grad metall er edelt kan vi ved å måle korrosjonspotensialet [27]. Spenningsrekken brukes vanligvis for å fremvise om metall er edelt eller ikke i sjøvann [25]. Selve spenningsrekken og eksempel av galvanisk korrosjon ble fremstilt på figur 7 oppe. Viktig å passe på at arealforhold mellom anode og katoden er stor, fordi hvis forholdet skal være liten så skal strømmen konsentrere i et lite anodisk område, som skal føres til at tykkelsen av anoden skal reduseres ganske fort under disse forhold, ifølge Galvanizers Association rapport [26]. Problemer som handler om galvanisk korrosjon, skal utløses ved hjelp av unngå disse problemene fra begynnelsen generelt, mens i tillegg til det, den korrosjonstypen kan forhindres ved å bruk av god isolasjon av forskjellige metaller som plassert nært hverandre i konstruksjonen, ved å belegge katoden og anoden (ekstra viktig å holde belegg i god tilstand for å beholde barrierefunksjon), ellers minimisere forskjellen i potensialer ved å bruke metaller som ligger sammen i spenningsrekken [26, 27].

Generell skisse av korrosjonsprosess er fremvist i figur 8. Ved bruk av informasjon som ble settet over, kan vi si at i situasjon hvor observeres stålmasten kan stålseksjonen (punkt 1) bli katoden mens den nedre delen av masten (punkt 2) vil bli anoden i kontaktpunktet 3.



Figur 8. Tegning av lysmast. Punkt 1: stålseksjon. Punkt 2: varmforsinket stål som utgjør nedstikkseksjonen.
Punkt 3: galvanisk kontakt mellom stål og sink.

2.2.4 Jevn (uniform) korrosjon

Jevn korrosjon (uniform corrosion) - er en av de mest vanligste korrosjonstyper. Jevn korrosjon skjer generelt jevnt over hele overflatearealet, hoved mekanismen for det – fortykning av ytre lag av materialet. Dette korrosjonstype regnes som en av de viktigste på grunn av relativt stor delen av massen til objektet korroderes bort [28]. I sammenheng med det, den type korrosjon er ganske lett å oppdage, samt med det, er det ganske lett å forutsi [29]. I følge databasen fra Sandvik AS, kan vi si at hvis massetap er mindre enn 0,1 mm/år, da regnes rustfritt stål som motstandsdyktig [30]. Ifølge NACE, problemer med den typen korrosjon oppstår vanligvis ved påvirkning av sterke syre- og varme alkaliske miljøer – uorganiske syrer er mer aggressive enn organiske [28, 30]. Spesielt utsatte for den typer korrosjon er metalkonstruksjoner som er plassert på industriområder, marint miljøet eller bymiljøet. Et godt eksempel på uniform korrosjon er visst på figur 9 nede.



Figur 9. Overflatekorrosjon i marint miljøet [31].

Viktig prinsippet er at korrosjonsraten avhengig av syrekonsentrasjoner i miljøet rundt – jo høyere konsentrasjon, jo mer aggressivt blir miljøet, jo raskere korrosjon oppstår [30]. Virkning av syrer og kjemiske løsninger illustreres ved tabellen 2 som er visst nede:

Uorganiske syrer	Organiske syrer	Alkaliske løsninger
H_2SO_4	HCOOH	NaOH
H_3PO_4	$C_4H_6O_6$	-
HCl*	CO_3COOH	-
HNO_3^{**}	$CH_3CHCOOH$	-

Tabell 2. Fremvisning av syrer som er mest viktige i forhold til overflate korrosjon. * står for at korrosjon skjer ved lave temperaturer og konsentrasjon, ** - står for at det skjer passivering ved lave konsentrasjoner [30].

I noen tilfeller objektet som er påvirket av uniform korrosjon dekkes med et belegg, som virker korrosjonsmotstandig. Godt eksempel på det er patina, i løpet av korrosjonsprosessen oppstår en lag av Cu_2O som har godt barrierefunksjon [32]. Godt eksempel på det – er Frihetsgudinne (figur 10 nede), som består av kobberplater og stål [33].



Figur 10. Frihetsgudinnen (Statue of Liberty). Eksempel på hvordan patina fungerer som beskyttelseslag mot korrosjon [34].

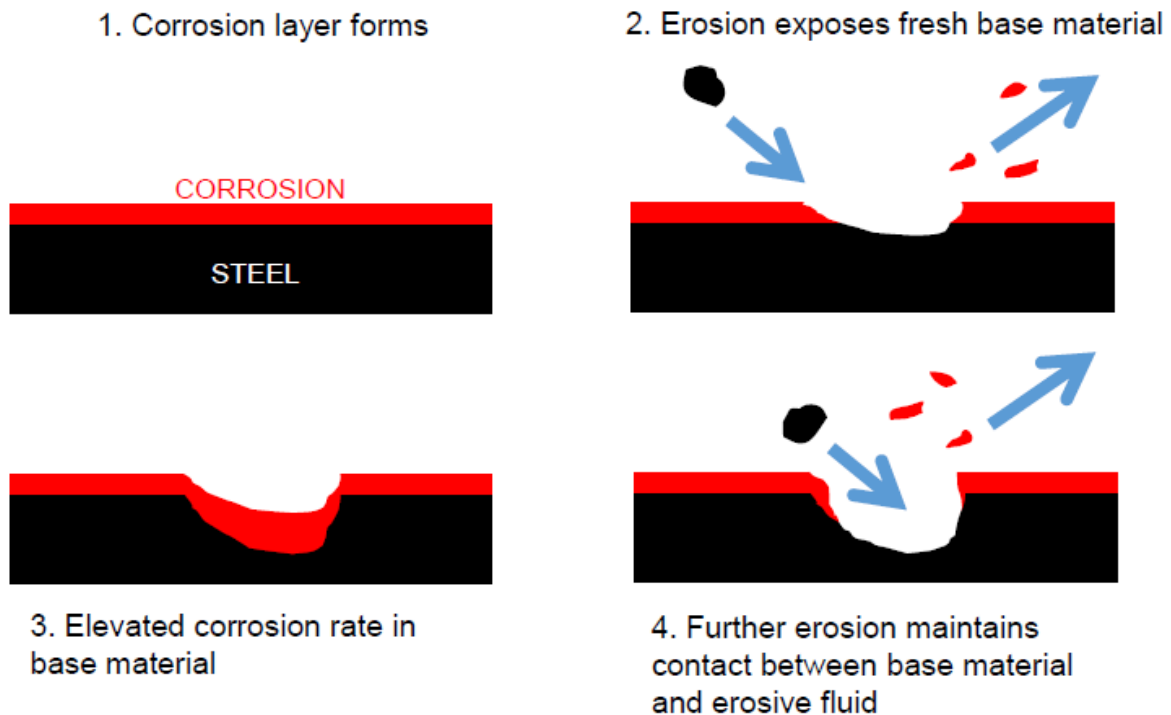
En grunn til at uniform korrosjon kan oppstå er at beskyttende ytre lag er ødelagt. Mest viktig med det, at hvis beskyttende lag er ødelagt og det skal ikke detekteres og vedlikeholdes i godt tid, kan overflaten blir ødelagt til at den blir grov, og derfor kan mere alvorlige korrosjonsformer oppstå, ifølge NACE rapport [28].

Overflatekorrosjon kan behandles ved bruk av katodisk beskyttelse [29], belegg, maling og godt observasjon av objektet [28].

2.2.5 Erosjonskorrosjon

Erosjonskorrosjon er prosessen som beskriver ødeleggelse av metall ved bevegelsen i forhold til miljøet [35]. Godt eksempel på erosjonskorrosjon – bruk av sandpapir på et metallisk objekt. I løpet av denne prosessen objektet blir ødelagt på grunn av at ytre miljøet river av metallpartikler, som fører til deformasjon på overflaten. Dette føres til at metallet skal være mer aktivt, og som følge – mer utsatt for de andre korrosjonstyper. Ytre miljøet kan være forskjellig – fra sand til væske, mens det fortsatt erosjonskorrosjon jo lengre det er bevegelsen er til stede [36]. Rør, metallkonstruksjoner i offshore plattformer og store metallkonstruksjoner er spesielt utsatt for erosjonskorrosjon [37].

Erosjonskorrosjon kan forhindres ved hjelp av riktig materialvalg, blant annet ved å forstørre tykkelsen av objektet/belegg, filtreringssystemer (hvis vi prater om rører), endring av miljøet og geometrien av objektet (rørsystemer ellers offshore systemer) og riktig designvalg [36, 38]. En godt eksempel på hvordan erosjonen skjer er visst på figur 11.



Figur 11. Illustrasjon av prinsippet for erosjon korrosjon [39].

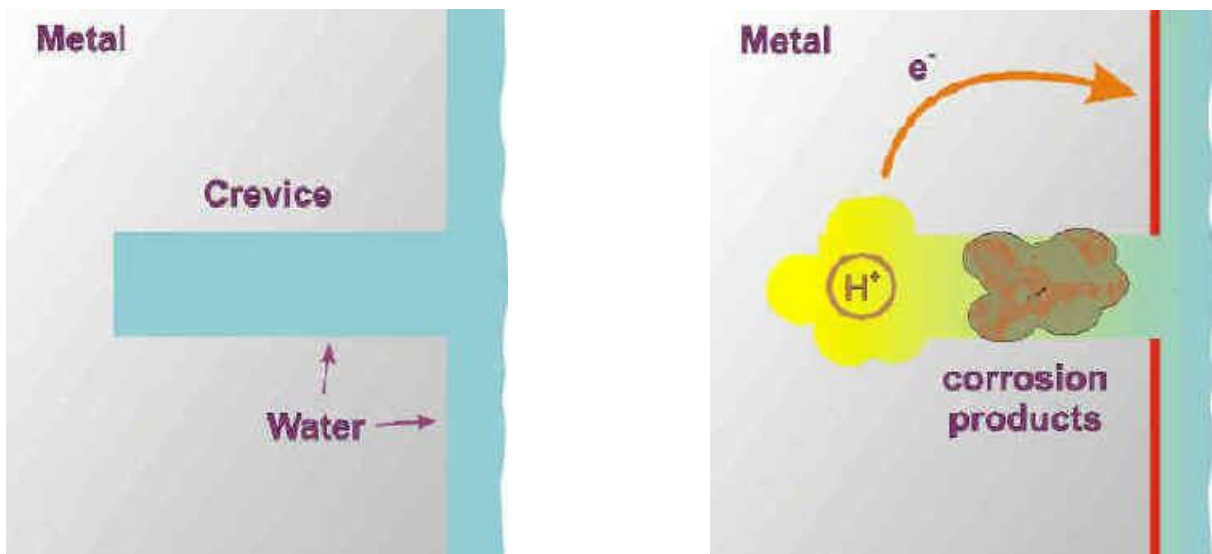
2.2.6 Spalt Korrosjon

Spaltkorrosjon (Crevice Corrosion) – korrosjonsformer som påvirker passive metaller, spesielt rustfritt stål og aluminium, ifølge Bardal [40]. Ett karakteristisk trekk for det spaltkorrosjon er at korrosjonsprosessen skjer i begrensede områder med konstant væske inni ifølge NACE rapporten [41]. Disse områdene som er begrenset kalles for spalter. Det selve korrosjonsprosessen begynnes på grunn av endring av indre miljøet inn i spalt. Bakgrunnen av prosessen er at de spaltene må være åpent nok for at vannet slippes inn, mens ikke tilbake. Med de andre ordene, spaltkorrosjon er et angrep i overflaten til metallet, eller i nærheten til en, eller mellom to sammenføyde overflater. I tillegg til det, spalter kan dannes mellom to metaller og ikke metalliske materialer, og som er karakteristisk – begge materialer blir motstandsdyktige utenfor spalter, sies inn i Corrosion Clinic ©[42]. Oppbygging av spaltkorrosjon fremvist nede steg-for-steg.

Det første steg er når vannet kommer inn i spalten. Hoved ideen bak det at det skjer passivkorrosjon, som er ganske liten, mens dette gir muligheten for at det blir oksygenet brukt bort etter hvert, ifølge rapporten av SINTEF til Statens Vegvesenet [43].

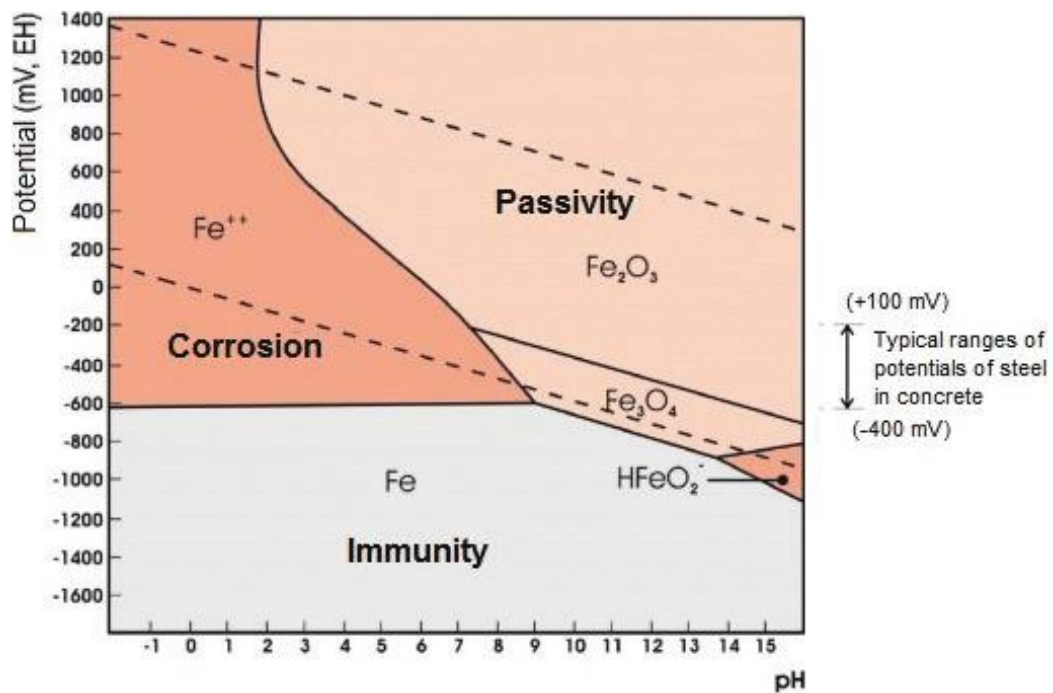
Neste steget er at det dannes oksider inn i spalter. Oksygenet blir brukt opp, så katodereaksjoner skal ikke foregå videre, mens anodereaksjonen skal fortsettes. Dette ubalansert tilstand fører til at indre miljøet skal være ganske aggressivt, som skal føres til videre ødeleggelse av metallet, på grunn av at negative ioner måtte transporteres fra utsiden

av spalten, for at miljøet kommer i balansen [43]. Dette føres til videre produksjon av ioner, som følger at miljøet blir surt, med følgende høy konsentrasjon av kloridioner [41]. Det selve prosessen av spalt korrosjon visst på figur 12.



Figur 12. Bildet #1 viser nødvendig startposisjonen for at spaltkorrosjon oppstår. Bilder #2 (Til høyre) viser korrodert objektet, når selve korrosjonsprosessen er kommet i gang [44, 45].

Jernklorider, som mest vanligst korrosjonsproduktet er surt stoffet, som danner saltsyre. pH blir så lavt, så at stålet skal ikke være passivt, mens starter å korrodere aktivt, som dette følges av Pourbaix-diagrammet på figuren 13 nede.



Figur 13. Fe-H₂O systemet, Pourbaix diagram [46].

2.2.8 Grop Korrosjon (Pitting Corrosion)

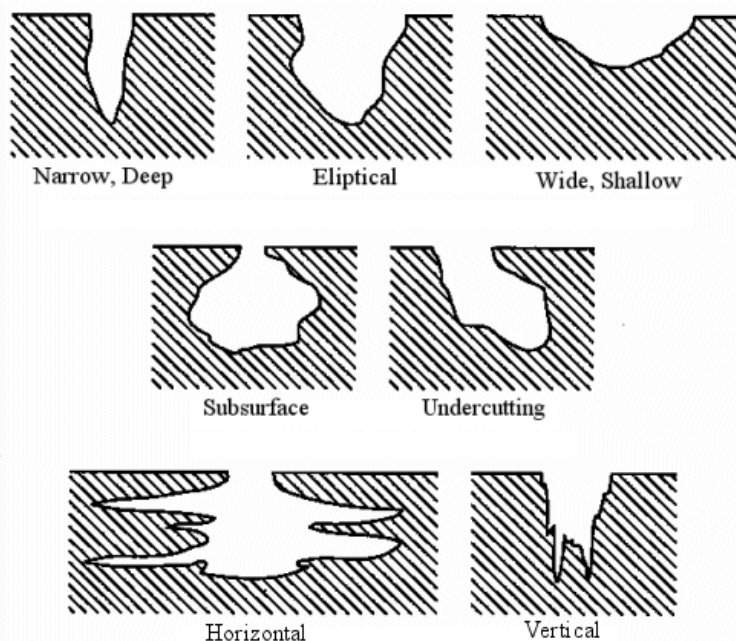
Gropkorrosjon utvikles ganske sammen med spaltkorrosjon, ifølge Bardal [40] og underkapittel 2.2.7 om spaltkorrosjon. Resten av forskjellen ligger i startfasen – gropkorrosjon startes på et overflaten til et objekt, og det trenges ikke spalt eller lukkede rom for at korrosjonen skal oppstå. Gropkorrosjon er en av de mest farligste korrosjonstyper, på grunn av at det er vanskelig å oppdage, og vanskelig å måle. I tillegg til det, er det vanskelig å sjekke hvor stor andel ble ødelagt ved gropkorrosjon (det resten av korrosjon skjer inn i materialet, det bare ett små hullet som er synlig med øye). I tillegg til det, korrosjonsprodukter eller eksterne objekter kan dekke gropene, så det er enda mer vanskelig å oppdage den type korrosjonen i god tid. Grop korrosjon oppstår i tre trinn, ifølge NACE rapporten om grop korrosjon [47]:

Først, skjer ødelegging av oksidlag på toppen av observerende objektet, og etterpå på grunn av mest farlige vannets faktorer som surhet, lav oksidkonsentrasjon (fører til at oksidlag blir mindre og mindre stabilt), og høy konsentrasjon av klorider (gjelder for sjøvannet) skjer utbygging av grop.

Et annet grunn kan være problemer med dekning av objektet – ellers dekning ble ikke installert/malt/brukt riktig, ellers ble det ødelagt.

Sist, men ikke minst – ikke metalliske komponenter, som fører til at hele strukturen til materialet blir ikke stabilt og ikke likt.

Varierende typer av gropkorrosjon fremstilles på figuren 14 nede:



Figur 14. Typer av gropkorrosjon [48].

Gropkorrosjon kan også vokses opp i sveisesoner – indre materialstrukturen kan bli deformert til at den blir mer utsatt for korrosjon. Grunnmetallet er ikke så utsatt til gropkorrosjon, i forhold til sveisesoner, ifølge SINTEF [43].

2.2.9 Andre faktorer som påvirker korrosjon

Hvis en av korrosjonscellens fire bestanddeler fjernes kan ikke materialet lenger korroderes elektrokjemisk. Enten kan elektrolytten fjernes eller så kan anodens elimineres. I de fleste praktiske applikasjoner kan ikke vann eller fukt fjernes fra den nære atmosfæren, men i stedet kan overflaten tildekkes med maling eller ved andre metoder. Når en korrosjonscelle først er aktiv vil det være faktorer som temperatur, pH, relativ luftfuktighet (RH), elektrolyttens natur, selve metallet, og forurensende stoffer som påvirker korrosjonshastigheten. Det som i stor grad bestemmer korrosjonsraten er pH i elektrolytten.

På et metall vil en elektrolytt oppstå etter nedbør, ved smeltene snø, eller dannes når varm fuktig luft kondenserer ved en kaldere overflate [21]. Temperaturen til overflaten som er nødvendig for kondensasjon kalles duggpunktet, og har en sammenheng med den relative luftfuktigheten (RH) og lufttemperaturen. Ved høyere RH vil duggpunktet nærme seg den nåværende lufttemperaturen og vannet vil kondensere på overflaten til det innstilles en likevekt [49].

Helhetlig sett vil effektiv korrosjon foregå ved kritisk RH, som også kan betegnes som en viss tykkelse av elektrolytten. Denne tykkelsen er ifølge Ahmad vil være 15 molekyler tykk ved 55% RH på stål, som øker til 90 molekyler tykk ved 100% RH, med en samtidig økende korrosjonsrate [21]. Hvis vannfilmen er for tykk vil korrosjonsmotstanden øke, fordi det blir vanskeligere for oksygen å løses i elektrolytten ved reduksjon. 50% RH anses ofte som den nedre grense som muliggjør korrosjon [50], men kritisk RH vil senkes ved forurensende stoffer i luften. Støv kan promotere korrosjon ved hydrofile egenskaper, enten ved at det binder seg til korrosive stoffer og absorberes i våte overflater, eller at det deponeres på overflater og adsorberer vann.

Avsettingen av havsalter på overflater er avhengig vindhastighet, løvverk og bygninger, samt høyde og avstand fra havet. Luftbårne vandrdåper som inneholder havsalter dannes ved åpenhavs brytning av bølger (whitecap) eller brytning av bølger mot strandlinjen, slik Cole, Paterson og Ganther opplyser [51] ifølge kildene deres Doyle, Stabenoy [52] og McKay, Garland, Walker [53].

En annen påvirkende faktor med hensyn på elektrolytten er regn og på beslektet vis våtvarigheten (time of wetness; TOW). Det er overveiende enighet om at gasser som NO_x , SO_2 , luftbårne kloridioner, salter, støv og sot har en betydelig innvirkning på korrosjonsrater [20, 50, 54]. NO_x og SO_2 slippes ut fra blant annet industriområder og motortrafikk, som kan

reagere med vanddamp i atmosfæren til HNO_3 og H_2SO_4 , og faller som sur nedbør [20, 21]. Tiden som materialoverflaten er våt avgjør følgelig hvor lenge korrosjonscellen er aktiv. Tross en høyere temperatur som gir en høyere korrosjonsrate, så vil det føre til fordampning av elektrolytten, og slik tar TOW-målet hensyn til det. Ved feil design kan vann samles i groper eller sprekker og danne en stående elektrolytt, og dermed bidra til en langt høyere TOW.

Regn har og positive attributter, og på det vis at det vasker bort deponerte salter og støv fra overflaten. I tillegg til det, er det støv partikler i luften, sammen med høyere vindhastigheter kan forårsake erosjonsskader. Saltavsetning vil foregå i de mest turbulente områdene av en overflate, og det er kanskje samtidig her den høyeste erosjonen vil foregå.

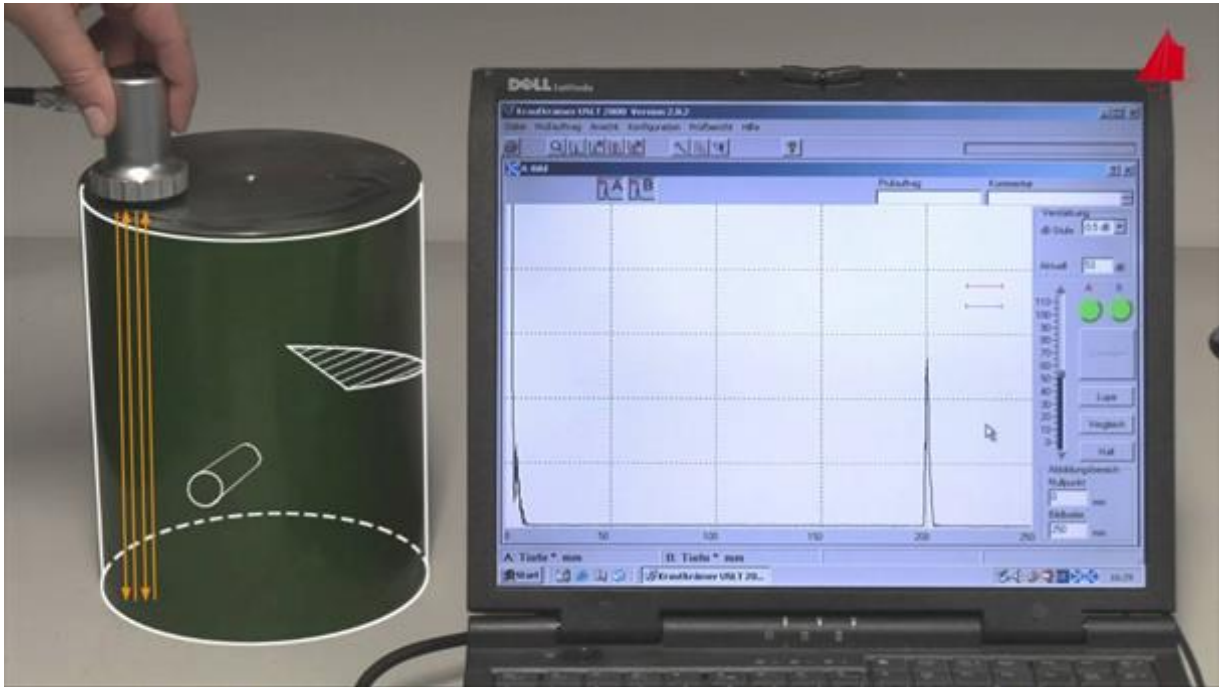
2.3 Ikke Destruktiv Testing – NDT

NDT er en benevning for antall inspeksjonsteknikker som kan brukes til evaluering av materialeegenskaper, komponenter eller prosessenhet generelt. Alle de teknikkene som inngår i NDT brukes til å oppdage, karakterisere ellers måle skader og påvirkning av dem (sprekker eller korrosjon). NDT kan også kalles som NDE (Non Destructive Examination/Evaluation) og NDI (Non Destructive Inspection), ifølge ASNT [55]. Oppgave for NDT-teknikker er å bestemme lokasjon til defekter og bestemme noen karakteristiske trekk for defekter, som størrelse, form og orientering [56]. I tillegg til det, NDT brukes til å gjennomføre observasjon på en sikker, pålitelig og kostnadseffektiv måte, uten å opprette noen skader på observasjonsobjektet. NDT – er motsatt til destruktiv testing hvor den objektet som observeres blir ødelagt under eksperimentell prosess, som Butterfield og Szymanski sier [57]. Prinsippet av UT-testing demonstreres grafisk på Figur 19.

NDT observasjon kan utføres under eller etter produksjon, og på utstyr som er i bruk i nåtid. Det er ønskelig å velge NDT-metoden ved å bestemme hva slags observasjons trengs på utføre. Under produksjon NDT brukes for vurdering av tilstand til utstyr, overvåke skademekanismer og bestemme utstyret levetiden [55-59], ifølge ASNT.

2.3.1 Ultralyd

Ultralyd testing, opererer med høyfrekvens lyd, for målinger. UT-test brukes vanligvis for felteteksjon og evaluering av objektet, måle defekter, karakterisere materialet som observeres. Vanligvis det brukes puls ellers ekko-inspeksjonsmetoder. Vanligvis det brukes puls ellers ekko-inspeksjonsmetoder ifølge Krautkrämer [60]. Hvordan foregår selve måling og prinsippet for det er visst på figur 15.



Figur 15. Prinsippet for bruk av ultralyddeteksjon [61].

Vanlig UT-systemet består vanligvis av pulser/mottaker, svinger og skjermenheter. Det som kalles som pulser eller mottaker, er en enhet som produserer høyspenning-elektrisk bølger. Denne prosessen skaper høyfrekvent lydenergi, som går gjennom materialene i form av bølger, som EN ISO sier [58]. Hvis bølgen treffer diskontinuiteten (for eksempel, defekt), da er det en del av energien skal reflekteres tilbake. Denne refleksjon detekteres, og transformeres til elektrisk signal, og det vises på skjermen. Prosessen av refleksjon av ekko tar tid, og denne tiden er avhengig av materialets motstand og avstanden som signal tilbakelagt. Fra signalet er det mulig å få informasjon om plassering, størrelse og retning av defekt, ifølge Auld og EN ISO. [58, 62, 63].

Den informasjonen som står ovenfor, er en forenklet guiden til NDT-metoden for UT-testing. Videre skal det observeres viktige kapitler som er relevant i prosjektet, blant annet inspeksjonen, målemetoder, osv [60, 64]. UT-testing er avansert NDT-metoden. Fordeler og ulemper blir fremvist i Tabell 3:

Fordeler	Ulemper
Kan detektere feiler som er på overflaten og underjord.	Man må ha tilgang til overflaten for gjennomføring av UT-test.
Dybdebegrensninger er mye høyere enn ved bruk av de andre NDT metoder.	UT-testing krever mer kunnskap i forhold til de andre NDT-metoder.

Ved puls-ekko teknikk kreves tilgang bare til en side av objektet.	Noen lineær feiler kan ikke bli detektert hvis dem orientert parallelt med lydstråling Referansestandarder kreves for kalibrering.
Nøyaktig.	Vanskelig å observere materialer med grov, med uvanlig form, små objekter, objekter som er uvanlig tynne, og ikke homogene objekter.
Trenges ikke mye forberedelse til gjennomføring av måling.	Grovkornede materialer er vanskelig å analysere på grunn av lav lydoverføring og signalstøy.
Får resultat umiddelbart.	
Har forskjellige bruksområder, for eksempel – tykkelsesmåling.	

Tabell 3. Fordeler og ulemper med UT-testing.

2.3.2 Bølgelengde

Kort fortelling om bølgelengde, som er viktig å kunne for forståelse av hele prinsippet av NDT/UT testing.

I bakgrunn av UT-testing ligger prinsippet av deteksjon av bølgelengde. Hvis det er fast lydshastighet, da er det endring av frekvensen skal fremstille en fast endring i bølgelengden til denne lyden. Denne lengden har en stor effekt på sannsynligheten av oppdagelse av diskontinuiteten. En enkel måte å undersøke det på er å huske at diskontinuiteten må være større enn halvparten av bølgelengde, for å bli oppdaget, det kommer ut fra fagarbeid av Cartz og Krautkrämer [60, 64].

Man kan ikke benytte med målinger ved å ta bare en måling. Poenget med det er at bølgefrequensen kan påvirke resultatene på ugunstig måte. Derfor må det tas flere målinger for å få bedre resultat. For å komme til optimalfrekvens, holdes balanse mellom positive og negative resultater. I tillegg til det, må konstruksjon, tykkelse og størrelse/type av diskontinuiteten vurderes. Det finnes en ulempe som kan påvirke sluttresultat – når bølgefrequensen øker, da lyden begynner å spre seg fra kornstruktur og fra små ufullkommenheter i materialet. Jo større korn, jo lavere frekvensen som trenges for bruk til undersøkelse av objektet, som står i Principles of UT (EN ISO) [58]. I tillegg til alt som står ovenfor, det finnes andre faktorer som påvirker ultralydens evne til å lokalisere defekter, som pulslengde, type og spenning av krystallen, egenskaper til krystall, støttematerialet, svingediameter, og instrumentets mottakerkrets.

2.3.3 Ultralyd gel

Ultralyd gelen er en væske som øker overførsel av ultralyden til prøven. Poenget med det er at det skjer akustisk impedans misforhold – mellom luft og faste stoffer er vanligvis stor. Det fører til at nesten alle energien reflekteres tilbake, og i tillegg til det er det ganske liten del av energien overføres til selve observasjonsobjektet. Gelen er erstatningsstoff for luften, og derfor hjelper å få bedre resultat, ved å forstørre andel av lydenergien som overføres direkte til prøven.

Når man ønsker å ta presise målingene, brukes ganske ofte nedsenkningsteknikk. Ved dette teknikken, er både UT-hode og objektet nedsenkes i væske, vanligvis vann, dette hjelper å holde jevn kobling mellom apparatet og objektet ved bevegelse, som står i «Acoustic Fields» [62].

2.3.4 Normalt Stråleinspeksjon

Puls-ekko metoden kan brukes til å finne diskontinuitet/defekt i struktur, dette kan utføres ved å finne tiden som kreves for at ultralyden kommen gjennom materialet, reflekteres fra annen side av objektet, eller defekt og kommer tilbake. Derfor er tiden som går deles med to, og multipliseres med lydhastighet i objektet. Dette kan vises i likninger 5 nede:

$$d = \frac{vt}{2} \text{ (Likning 5)}$$

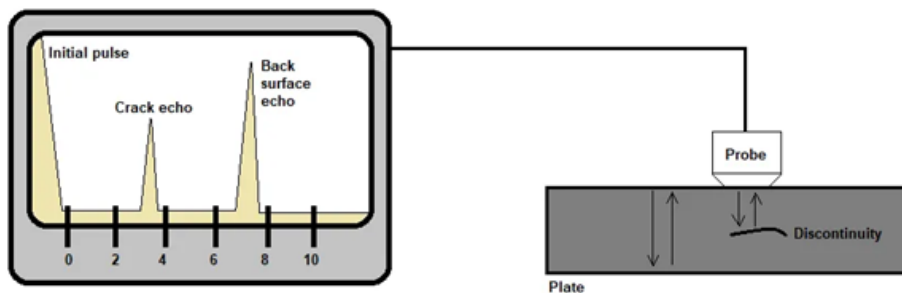
Eller ved likning 6:

$$v = \frac{2d}{t} \text{ (Likning 6)}$$

- D – avstand fra overflaten til defekt
- V – hastighet av lyden i material
- T – tiden

Vanlig tykkelsesmåler fungerer ved frekvens 500kHz – 100 MHz. Høyere frekvenser anbefales å bruke for å forbedre analysen i tynne, ikke-dempende og ikke-spredende materialer. Prinsippet av måling illustreres på Figur 16.

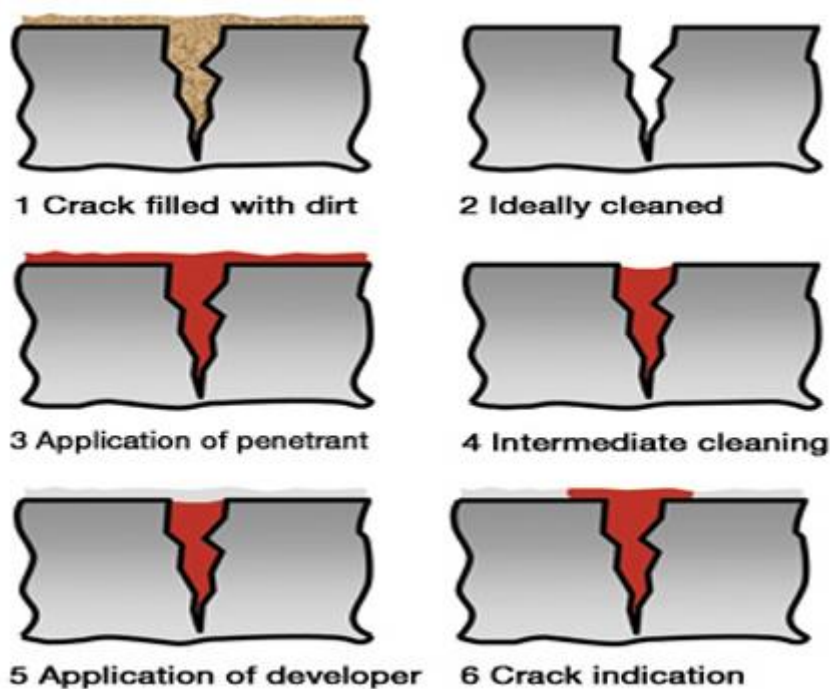
Hvis det trenges å måle tykkelsen, dette kan utføres uten tilgang til begge sider av objektet. Det er mulig å måle de fleste materialer som brukes i industrien, blant annet metaller, plast, keramikk, glass, kompositter og epoksyer. Det er også mulig å gjennomføre prosessmåling i løpet av produksjon, for eksempel valset metall eller ekstrudert plast. Det er også mulig å finne ut tykkelsen av enkelt lag eller belegg i flerlagsobjekter. For å jobbe ute er det moderne håndholdte måler er i bruk, på grunn at de er enkle i bruk, og presise [64].



Figur 16. Illustrering av bruk vanlig 90 grader hoder [65].

2.3.5 Penetrant testing

Penetranttesting er metoden som kan brukes for å finne feil i overflaten av objektet som inspiseres. Metoden er basert på prinsippet om kapillærvirkning, som sier at en væske kan bli trukket inn i en ren overflatefeil. Etter tidsperioden resten av penetrantvæske skal fjernes, og nå startes observering. Prosessen ser lik ut med trekkpapir prinsippet – dette trekkes væsken fra defekt for å bestemme lokasjon. Kontrast væsker, eller penetranter kan brukes bare med hvitt lys, i tillegg til det kan det brukes fluorescerende væsker – de kan brukes under mørk miljøet og oppdages ved bruk av UV [64]. Forbruk og pros/cons ble i det største delen satt opp baseres på Migun og Prokhorenko sin «Introduction to capillar theory» [66]. Figur 17 er en grafisk forklaring på hvordan penetrant testing fungerer:



Figur 17. Prinsippet for penetrant testing [67].

Fordeler og ulemper i forhold til penetrant testing blir fremvist på Tabell 4 under:

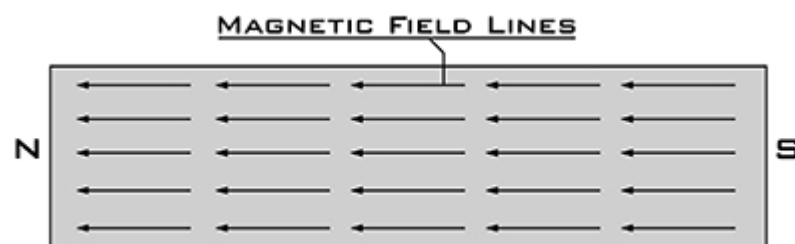
Fordeler	Ulemper
Høy følsomhet for små defekter.	Kjemisk bearbeiding av overflaten kan være nødvendig.
Lite materialbegrensninger, uavhengig av metalliske egenskaper, magnetisme og ledende egenskaper.	Objektet må rengjøres etter testing.
Raskt.	Relativt mye steg som må kontrolleres.
Lave kostnader.	Ruheten av overflaten kan påvirke resultat.
Resultat kommer umiddelbart, ved hjelp av visuell inspeksjon.	Krever rent overflaten uten belegg.
Utstyr er ganske lett å bruke og er lett å oppbevare.	Kan ikke brukes med materialer med porøs overflaten.
Materialer og utstyr er rimelige i forhold til de andre NDT metoder.	Kan oppdages bare overflatedefekter.

Tabell 4. Fordeler og ulemper til penetrant testing [66, 68, 69].

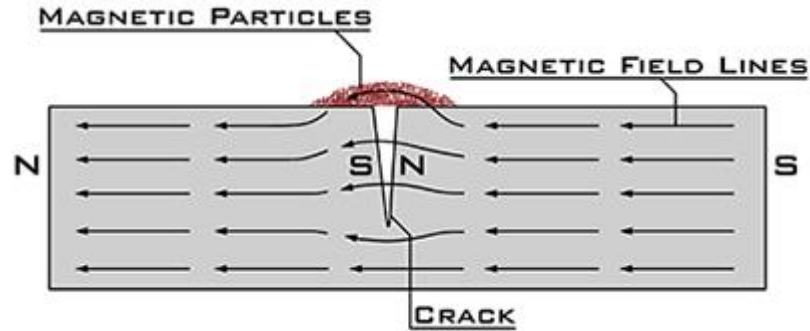
2.3.6 Magnetpulver testing

Magnetpulver testing (Magnetic particle inspection, MPI) er NDT metode som kan også brukes for å finne defekter på overflaten av materialet. MPI regnes som raskt, relativt enkelt i bruk, og i forskjellen mellom penetranttesting – ikke kritisk til overflatebehandling. Derfor MPI regnes som mest brukt NDT metoden i dag.

Hovedprinsippet for MPI er bruk av magnetiske felter og små magnetiske partikler for å finne defekter. Det som er viktig her: objekt som observeres må være laget av ferromagnetisk materialet (materialet som kan magnetiseres for at inspeksjonen skal være effektivt). Metoden brukes vanligvis til å observere ganske spredt spekter av objekter: blant annet støping, sveising og pynt. Metoden brukes også i begrenset miljøet, undervannsteknologi er et eksempel [64, 70]. Figur 18 og 19 demonstrerer prinsippet som ligger i bakgrunn for MPI og ble satt i av Worman [71].



Figur 18. Prinsippet for MPI testing [71].



Figur 19. Prinsippet for MPI testing [71].

Tabellen 5 under fremstiller fordeler og ulemper til MPI-testing. Dette listet ble satt opp baseres på Betz og Lovejoy [72, 73]:

Fordeler	Ulemper
Rask og ikke-komplisert.	Kan ikke brukes på ikke-ferromagnetiske materialer (austenittisk rustfritt stål, som eksempel).
Resultat kommer umiddelbart.	Noen ganger trenger strøm.
Billig i forhold til andre metoder, som radiografi.	Magnetfeltet kan være ikke sterkt nok for å gi godt resultat.
Kreves ikke totale rensing av objektet.	Kan ikke brukes hvis malingsbelegg er for tykt.
Kan brukes til stedet utenfor og på enkelt verksted.	Sannsynlig å få ikke relevant resultat – vanskelig å tolke resultat riktig.
Viser mest alvorlige defekter, der hvor er de mest belastninger.	Kan oppstå røyk- eller brannproblem, på grunn av noen malinger og suspensjoner som brukes.

Tabell 5. Fordeler og ulemper med MPI-testing.

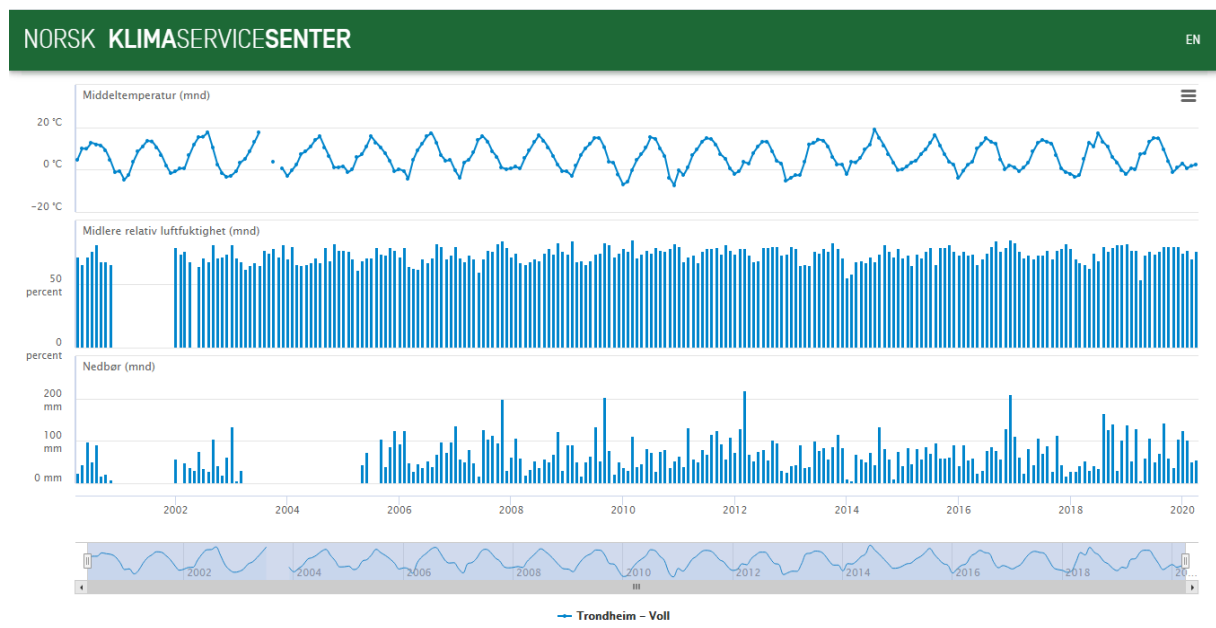
3 Eksperimentelt Arbeid

Teorien som ble satt opp ovenfor danner et godt fundament til den videre analysen. Målet med dette kapittel er å beskrive forskningsdesignet, antakelser som ble tatt, datainnsamling, dataanalysen og metodeevaluering.

3.1 Lokale forhold i Trondheim

Trondheim er Norges tredje største by etter innbyggertall, og likt som mange andre byer i Norge og resten av verden ligger den ved kysten og i det som kan kalles kystnært miljø. Det finnes ingen allmenn definisjon på hva et kystnært miljø innebærer, men ifølge Small og Nicholls er et kystnært miljø ikke lenger enn 100km fra nærmeste kyst, og heller ikke mer enn 100 meter over havoverflaten (moh) [74]. Denne definisjonen kom de frem til i sammenheng med en studie om global befolkningsestimering i kystnære områder, og i året 2017 bodde nesten 40% av verdens befolkning i et såkalt kystnært miljø, altså innen 100km fra nærmeste kyst og ikke mer enn 100moh [75].

Videre vises en historisk oversikt for midlere temperatur, midlere relativ luftfuktighet (RH) og nedbørsmengde for hver måned de siste 20 årene ved en målestasjon på Voll i Trondheim. Temperaturen svinger naturligvis i sesongmessige sykluser. De dataene fremstilles grafisk på figur 20. I tillegg til det, det samme figur ble lagt i vedlegg 1.



Figur 20. Middeltemperatur, midlere RH, og nedbørsmengde i Trondheim siste 20 årene [76].

Dette informasjon kreves for videre forståelse av eksperimentell delen. I løpet av forsøket ble det bestemt å undersøke tre forskjellige områder (markert på kartet). Disse områdene visst i figur 21. Poenget med det er at hver av de tre områder er i forskjellige miljøet. Det kommer til at på alle de tre forskjellige stedene er forskjellige bakgrunn til korrosjon. Område 1 er plassert

på høyden, ganske utsatt for vind og sjøbris. Området 2 er ligger ved elv og område 3 plassert i byen. Derfor skal det fremstilles begrenset korrosjonstyper, som er aktuelt for de tre steder.



Figur 21. Kartutsnittet er hentet fra Google Maps [77]. De merkende områdene er der det skal undersøkes i den eksperimentelle delen.

Mastene som er plassert på de tre stedene er datert fra 1979 til 1988, og resten ble laget av stålet spesielt S355. I underkapittel 2.1.1 er fremstilt kort info om hva dette stålet er, og hvilke spesifikasjoner har akkurat den typen stålet. Alt info ble delt av Trondheim kommune.

Det er tre utvalgte lokasjoner der undersøkelsene skal gjøres, og dette har blitt gjort i samråd med kommunen basert på mastenes alder, tilstand, og en forventning om det korrosive miljøet rundt mastene. I tabellen 6 under er lokasjonene oppgitt og en kvalitativ beskrivelse av faktorer som kan påvirke korrosjonsmiljøet gitt. Alle de tre lokasjonene strøs med en blanding av 97 wt% grus og 3 wt% NaCl (kilde: Trondheim kommune).

Nr.	Lokasjon	Beskrivelse
1	Marie Wexelsens Veg (Persaunet)	Lunt, ligger ikke rett ved sjø eller elv
2	Guttorms gate (Øya)	Ligger ved elv, vannes
3	Møllebakken (Fagerlia)	Ligger i en høyde, utsatt for sjøbris og vind

Tabell 6. Karakteristisk miljø for hvert byområde.

3.2 Teoretiske antakelser

Videre tolkning og analyse av resultater skal baseres på gjennomsnittlig resultater av data som ble fremvist i figur 20. Med dette antar vi at temperaturendring i løpet av året er fra -5 til 20°C, og dette endring har tendens til å skiftes opp – til intervallet fra 0 til 18°C [78]. Videre er det relativt luftfuktighet settes opp stabilt rundt 75%, og gjennomsnittlig nedbørmengde eksisterer

i intervallet fra 75 til 100 mm, og har en lav tendens til å gå opp [78]. På grunn av disse tendenser er for lave for å ha stor og synlig påvirkning på korrosjonsprosesser, ble det bestemt at endringene i klimaet tas ikke i prosjektet som korrosjonsfaktor.

3.3 Forskningsdesign

I løpet av prosjektet, ble det spørsmål om selve prosessen og om hvordan hele prosessen skal foregå – derfor ble det bestemt å ta alt som knytter til selve prosessen sette sammen under tittelen «forskningsdesign». Hensikten med prosjektet er å analysere lyktestolper i Trondheim med tanke på korrosjonsprosessen. I løpet av prosjektet ble det gjennomført kvantitative målinger av veggtykkelsen til lysmaster på forskjellige lokasjoner i Trondheim kommune, i tillegg til lokasjon og kvalitativ beskrivelse av korrosjonsmiljøet. Disse målingene vil så benyttes til å gjøre kvalitative beretninger om tilstanden i lysmastene. Dette eksperimentell arbeidet har som hensikt å fullføre kvantitative målinger. Veggtykkelsen skal måles på grunn av det sier noe om hvor korrosivt miljøet er for mastene, og eventuelt hvor mye av veggen som har blitt korrodert vekk, hvis det er tilfellet. Dette prosjektet skal inkludere gjennomgang av korrosjonsprosessene baseres på visuell inspeksjon og statistisk data, som er fremstilt med tall.

3.4 Innsamling av teori

Teoriinnsamling ble basert ved å ta opp mest relevant informasjon for gjennomføring av forskningsprosessen, og tolkning av resultater som skal representeres etterpå. Det ble brukt bøker, nettartikler og rapporter. I tillegg til det, ble det brukt flerspråklige kilder, som ble skrev på fransk, tysk, russisk, engelsk og dansk. Kildene ble vurdert med tanke på pålitelighet, og informasjon som kan være usikkert ble dobbeltsjekket. I tillegg ble det brukt allmennskjente kilder, som fungerer som håndbok til dem som jobber med korrosjon og materialteknologi. Sånt valg av kilder, dobbeltsjekk og diskusjon rundt det som ble skrev er de faktorene som gir høyt troverdighet til teorien.

3.5 Metodevalg

Gruppen ble satt opp foran en problemet – hvilket metoden skal brukes for å sjekke korrosjonen, og hvordan er det bedre å sjekke tilstand på en godt fremstilt måte? Gruppens valg ble satt opp på NDT-metoder, som magnetpulvertesting (kapittel 2.3.6), penetranttesting (2.3.5) og ultralyd test (2.3.1).

I teoriseksjoner ble det fremvist tabellarisk forklaring om fordeler og ulemper til hver av de undersøkelsesmetoder. Det første som gruppen tenkt på var MPI, mens dette ideen ble bortkastet på grunn av ulemper – det kan ikke brukes på austenittiske ståler og i tillegg til det, er det kan være vanskelig å tolke resultater. Det andre ideen som ble bortkastet var penetranttesting – på grunn av at det kreves å ta kontroll over alle steger av målingsprosessen, dette kan være enkelt på laboratoriet, mens ikke utendørs. Den viktigste ulempen med begge

de metodene – de gir ikke noen data som kan fremstilles med tall. Ultralyd testen krever ikke så mye forberedelser og gir presist data umiddelbart. I forhold til MPI og PT, ultralyd testen kan gjennomføres relativt enkelt uten tilgang til laboratoriet, og det er nøyaktig. Derfor ble det valgt ultralyd testen.

3.6 Strategien av UT-testing

Det er naturlig å anta at det kan være noe tildekkende smuss på en lysmast som har stått ute i 30-40 år. Eksempler på dette kan være støv eller salt fra vegen som fester seg til masten, eller muligens korrosjonsprodukter som har rent nedover masten. I ultralydmålinger er det viktig å ha god kontakt med underlaget, så det bestemmes at masten skal rengjøres med vann på de delene av masten som skal måles.

Først ble det bestemt å gjøre tre type målinger på hver mast. Den første måletypen vil gå ut på å bestemme veggtykkelsen i masten over bakken og det er kun den første meteren som vil undersøkes da, dette gjøres med 0° lydhodet. Den andre måletypen vil måle de nederste 10 cm av masten som står over bakken, dette gjøres også med 90° graders lydhodet. Den siste måletypen vil benytte seg av 70° graders lydhodet og vil måle den delen av masten som er nede i bakken, og målingen gjøres 10 cm over bakken.

På den første målingen skal veggtykkelsen bestemmes. Det skal gjøres så mange målinger at det kommer fram en tydelig veggtykkelse ved å ta gjennomsnittet av alle målingene, eller at det ikke observeres noen markant forskjell mellom målingene. For regelhetens skyld skal det gjøres minst 5 slike målinger på tilfeldige steder på masten, og så gjøres en vurdering om det er en bemerkelsesverdig forskjell i målt veggtykkelse, for så å gjøres 5 nye målinger på nye tilfeldige steder på masten. Hvis det observeres store forskjeller i målingene på masten kan dette antyde enten korrosjon på innsiden av masten, dårlig kontakt med underlaget, som igjen kanskje kan antyde korrosjon, men under målingen.

Den andre måletypen vil ha som hensikt å måle om det er redusert veggtykkelse i stolpen rett ved bakkenivået, da det er naturlig å anta at det her kan samle seg både mye vann og salt. Her skal det vinkelrette lydhodet brukes til å sjekke om det er korrosjonsskader til stede. Målingen vil gjøres rundt stolpen de ti nederste centimeterne, og metoden her blir å måle så langt ned som det lar seg gjøre innenfor dette området.

Lyktestolpene som benytter seg av typen jordstikk metoden, å stikke lysmasten rett i jorden, står omtrent en til halvannen meter ned i bakken. På grunn av de forskjellige korrosjonsmetodene som kan virke inn på et material under de forholdene som finnes for nedstikks-lysmastene, er det også verdifullt å kunne vite noe om veggtykkelsen og tilstanden til masten under bakken. Dette måles ved å bruke 70 graders lydhodet. Det bør som ved

målemetode to forsøkes å måle så langt ned som det tillater seg, og dette innenfor de ti nederste av lysmasten over bakken.

Her er retningslinjer for hvordan målingene skal foregå. Det bør ikke måles på en korrodert overflate, som er tildekket med korrosjonsprodukter eller smuss, ujevne flater eller flater som forhindrer at lydhode får god kontakt (sveis, innsnevring, skrueforbindelser), eller maling. Mastene er malt for en grunn og på de fleste mastene sitter malingen på, det betyr at det må gjøres målinger på en malt overflate, og selv om dette ikke gir den beste kontakten med lydhodet bør målingene fortsatt bli presise nok til at vegttykkelsen trygt kan bestemmes. Det skal heller ikke måles vegttykkelse for deksel som sitter på masten, i tillegg til at det umiddelbare området rundt dekselet bør unngås å måles.

3.6.1 Materialer

Materialene som er brukt i det eksperimentelle arbeidet er ført opp under.

- Ultralydapparat, Sonatest Prisma.
- Kontaktgel for lydhodene.
- Vann til rengjøring.
- MSEB 4 67429 (lydhoden med dual-crystal systemet, 90 grader vinkel).
- General Electric MWB 70-4(E) (monokrystall, 70-grader vinkel, lydhode)

Hvordan selve apparat ser ut er vist på figuren 22 nede.

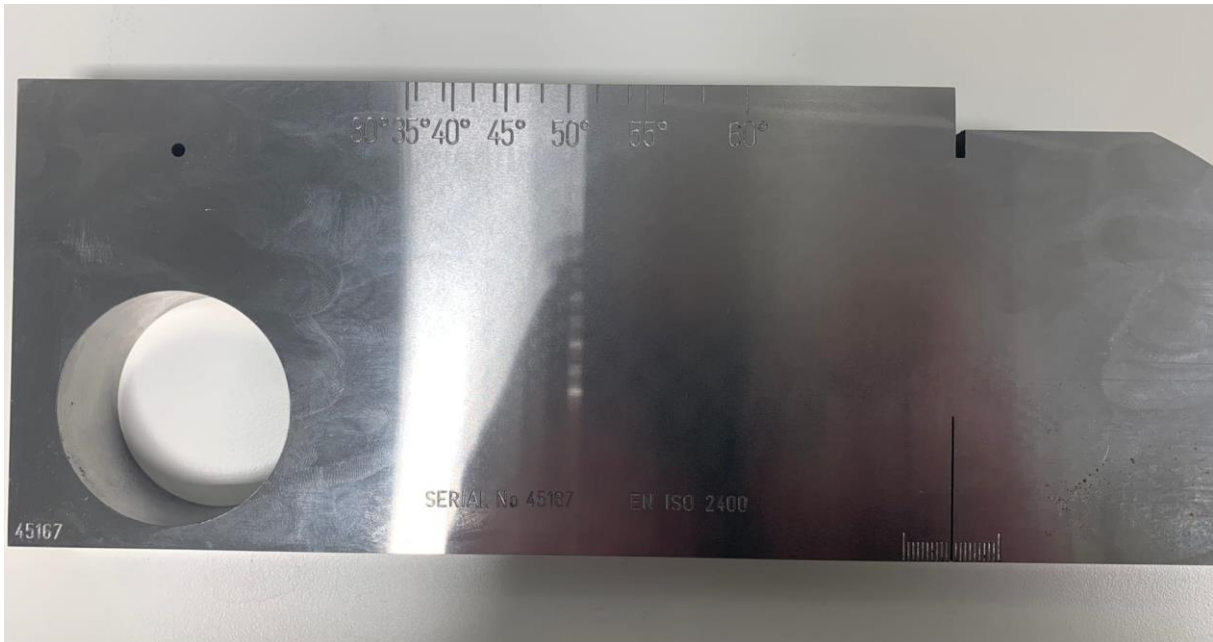


Figur 22. UT-apparat med dual-crystal 90° lydhode.

3.6.2. Kalibrering av apparat

Før selve forsøket ble satt i gang, ble apparatet sett tilbake til innstillinger fra 2014 – den tiden, når den ble kalibrert i det første gang. Selve kalibrering ble gjennomført på metalblokk som var

i komplett med selve apparatet. Dette blokk visst på figur 23. Etterpå, når resultatene som apparat viser skal være de samme som i realiteten, da gruppen ble enig at apparat er klar til bruk.



Figur 23. Kalibreringsblokk. Kalibrering foregår i forhold til standarden EN ISO 2400.

3.6.3 Antakelser og prøvemålinger

I løpet av februar/mars, og april/mai ble det gjennomført målinger. Ifølge resultater til de målinger, ble det bestemt at det første forsøk ble feil, på grunn av feil kalibrering og innstillinger av selve apparatet. De første målinger ble ganske like, og resultat var rundt 22-24 mm som er ikke realistisk i det hele tatt. Akkurat i den tiden, var ikke noen informasjon tilgjengelig om hvor tykk lykttestolpene måtte å være (rundt omkring), så derfor ble alle målinger gjennomført feilt, og derfor det eksperimentell delen av oppgaven ble heller ikke relevant, og ubrukelig for kvalitative analysen.

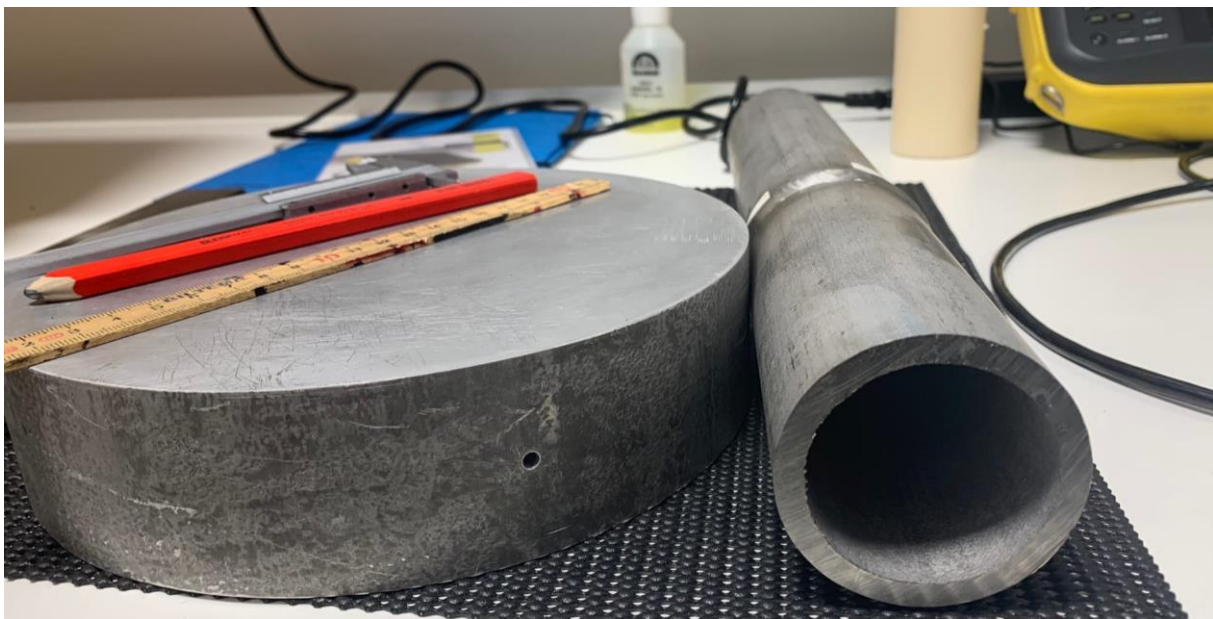
Videre, ble det problematisk å oppfølge hele tiden den basiske metoden – i noen lykttestolper ble det heller ikke mulig å gjennomføre alle slags målinger: noen av dem ble utilgjengelig for måling, på noen andre ble alt for mye rust/maling. Det først som ble kuttet er måletypen #3 – på de resten av mastene ble det nesten umulig å måle, og resultatene på de som ble målt ble umulig å tolke.

Det andre som ble problematisk var å gjennomføre måletypen #2 – ved å måle rundt lykttestolpen 10 cm over bakken. Det kommer til å være problematisk, på grunn av at dette type måling krever godt kontakt med masten så derfor på noen av mastene dette testen kom til å

være ikke relevant. I tillegg til det, en solid del av lyktestolpene er ødelagt mye mer nede, rett over bakken.

På grunn av det som ble satt overfor, ble det bestemt å gjennomføre bare målinger som kommer i det første steg av metoden, og å basere videre analysen bare på den data som handler om tykkelsen. Det ble gjennomført fem måling på forskjellige høyde av masten (første måling – ca. 1 meter over bakker, det siste – rett over bakken). Ut ifra de målinger ble det satt opp en liste, fant up gjennomsnittlig verdi for hver eneste masten og for området generelt.

I tillegg til det, ble det problemet med å kalibrere apparat riktig – i løpet av de første måneder, ble det hovedproblemet at apparat viser riktige data på kjente objekter, mens utenfor laboratoriet dataene som apparat visst kommer til å være irrelevant. Derfor ble det bestemt å nullstille innstillinger av apparatet og å sjekke om det fungerer på de kjente objekter som er vist i figur 24, med vanskelig geometri. De beste og mest realistiske resultater apparat visst ved innstillinger for «flat» objekter, ikke for «pipe».



Figur 24. Objekter som ble brukt som kalibreringsblokker i tillegg til den første på figur 23.

Uansett, ble det bestemt å ta målinger på nytt en gang til, og dette ble gjennomført i begynnelsen av juli. Etterpå data ble sortert i Excel, og behandlet med tanke på tendens. Det som ligger bak denne ideen, er at hvis det finnes konstant feil på alle de malingene, så selve forhold mellom alle de malingene blir da riktig, og derfor blir det mulig å bruke dataene videre i kvalitative analysen.

3.7 Datainnsamling

Først ble det bestemt å gå gjennom lysmaster som er plassert på Guttorms gate. Rett på Guttorms gaten ble det problematisk å måle lyktestolpen #2, derfor ble det bestemt å erstatte

den utilgjengelige lysmasten med det likt lyktestolpen som plasseres på Gattes gate, på grunn av at den ble utilgjengelig. Det tilsvarende lyktestolpe er på figur 25 til høyre:



Figur 25. Til venstre - det nyeste bildet av masten #2 (Guttorms gate). Til høyre - liknende masten fra Gattes gaten.

Videre ble det Møllebakken som objektet for inspeksjon – hovedproblemet der var at i februar og mars ble det umulig å gjennomføre målinger, på grunn av snøen som forhindrer nederst delen av masten, derfor målinger ble utsatt til begynnelsen av juli – og akkurat Møllebakken var det område som var mest vanskelig å måle. Figuren 26 illustrerer hva slags situasjonen skjer på Fagerlia.



Figur 26. Bildet til venstre og til høyre representerer det samme lysmasten i februar og juli.

Det letteste delen var inn på Marie Wexelsens Veg – det eneste som var karakteristisk der er at på bunnen av lyktestolper ble det litt for mye rust og støv – dette kan påvirke målinger, pga det var nødvendig å måle på forskjellige plass av masten. Uansett lysmastene på Marie Wexelsens veg ble rensset og målt.

3.8 Dataanalyse

Alle resultater som ble samlet inn skal analyseres ved hjelp av statistiske teknikker hvis det er kvantitative målinger, og tolkes i tekstform videre når det kommer til å være kvalitativt analysen. Videre skal legges mest vekt på progresjon av korrosjonsprosesser og bestemme og sortere korrosjonstyper. Hovedoppgaven blir da å finne noen karakteristiske trekk for hvert område, samt med utarbeidelse av noen forslag til å forbedre situasjonen i byen.

3.9 Metodeevalueringen

3.9.1 Reliabilitet

Reliabiliteten på kvantitative delen av forsøket skal presiseres og kontrolleres ved å behandle mere data for å øke nøyaktighet av målinger. For å øke reliabilitet for kvalitative delen av oppgaven, ble det bestemt å begrunne alle påstander ved fremvisning av alle steg frem til slutten gjennom hele kapitler 4 og 5 av teksten [79].

3.9.2 Overførbarhet

Opgaven handler om tall og tolkning/betraktning av taller – selv om tolkning og kvalitative analysen vanligvis har liten overførbarheten, akkurat på dette forsøket alt kvalitativt baseres

på kvantitativt. Siden i sentrum av gruppen undersøkelse er en prosess i forhold til tiden, er overførbarheten til prosessen er høyt, på grunn av at prosjektet handler om metallkonstruksjoner, korrosjon, miljøet og kjemien [79].

3.9.3 Usikkerhet og feiler

Maskin/apparat feiler - feil som kommer på grunn av usikkerhet i de brukte måleinstrumenter og karakteriseres med ufullkommenhet av driftsprinsippet, unøyaktighet ved gradering av skalaen, enhetens unøyaktighet.

Teoretiske - feil som oppstår ved ikke riktige teoretiske forutsetninger under målinger.

Metodiske feil - feil forårsaket av ufullkommenhet av metoden, samt forenklingene som ble lagt i grunn til metoden.

Subjektive/personlige feiler - feiler på grunn av uoppmerksomhet, konsentrasjon, beredskap og andre egenskaper til operatøren.

Alle disse usikkerhetene kan spille sin egen rolle i alle slags forsøk som gjennomføres manuelt i løpet av forskningsprosessen og utarbeiding av noen nytt, ifølge Measurement Association [49].

4 Resultater

De tre lokasjonene det har blitt gjort forsøk på er Marie Wexelsens gate, Guttorms gate, og Møllebakken. Alle de resultatene skal fremstilles i tabeller 7,8 og 9 nedenfor:

Forsøk	Lyktestolpe	5	1	2	3
1		4,61	8,20	8,17	10,73
2		4,73	8,7	8,23	10,47
3		4,98	8,52	8,04	8,45
4		4,62	8,31	7,92	8,71
5		4,67	8,12	7,94	8,41

Tabell 7. Guttorms gate, Øya. Resultater gitt i mm.

Forsøk	Lyktestolpe	19	20	21	22	23	24
1		5,8	6,52	5,8	5,61	5,05	4,86
2		5,74	6,56	6,06	4,62	4,92	4,92
3		5,93	6,31	5,93	5,45	4,86	4,73
4		5,88	6,18	6,25	4,95	4,74	4,69
5		5,79	6,14	6,17	4,51	4,76	4,71

Tabell 8. Møllebakken, Fagerlia. Resultater fremstilt i mm.

Forsøk	Lyktestolpe	1	2	3	4	5
1		5,68	5,49	6,06	4,98	4,98
2		5,87	5,68	5,51	4,92	4,82
3		5,72	5,87	5,43	5,43	4,95
4		5,49	6,06	5,41	4,91	4,84
5		5,52	5,11	5,36	4,87	4,83

Tabell 9. Marie Wexelsens Veg, Persaunet. Resultater fremstilt i mm.

Med blå ble det markert lysmastene som har forskjellen med de resten av lysmaster, på grunn at dette kan påvirke resultater.

Det blir vedlagt mer detaljerte og bedre fremstilte data i vedlegg 3 med bilder som skal brukes som referanser etterpå.

4.1 Kommentarer til målinger.

Det ble bestemt å kommentere målinger som gruppen fikk, de kommentarer som gruppen har hatt i løpet av målingsprosessen ble samlet nede.

4.1.1 Guttorms gate

På Guttorms gate er lyktestolpe #2 ble utilgjengelig, derfor, for å ta nødvendig data for presist resultat, ble det gjennomført målinger på likt lyktestolpe i [Gautes gate](#). Ved hjelp av mediedokumentasjon ble det bestemt at det er bare lyktestolpene [1](#), [2](#) og [3](#) har de samme mastene og de samme korrosjonsfaktorer og progresjon av korrosjonspåvirkning.

I tillegg til det, [masten #5](#) er markert med blå på grunn at den er nyere enn de andre, derfor data fra denne lyktestolpen kan påvirke beregningen av resultat til hele gate i større nivået. Fortsatt, data som ble tatt ifra dette lyktestolpen skal fortsatt brukes videre i analyse og tolkning/betrakningskapittel.

4.1.2 Møllebakken

På Møllebakken er det lyktestolpen #25 ble utilgjengelig for å måle, og det var ikke nabostolper som kan erstattes det med, så derfor det ble bestemt å fjerne den masten bort fra forsøket. Noen grunn til at Møllebakken ble det vanskeligste området, hovedsakelig i betraktning: først må noteres at lyktestolpene [23](#), [24](#), [25](#) ble lagt ut ved bruk av forskjellige teknologier enn de andre, og ble satt etter at [19](#), [20](#), [21](#), [22](#) ble satt opp.

Selv om det ble ikke mulig å måle masten #25 ved bruk av apparat, ble det gjennomført visuell inspeksjonen, og derfor bestemt at dette masten skal brukes videre i kvalitativt analysen av dette byområdet. I tillegg til det, må det presiseres at noen lyktestolper er galvanisert, og noen av dem er ikke galvanisert, og noen av dem ble produsert ved bruk av forskjellige teknologiske løsninger, ifølge informasjonen fra Trondheim kommune. Dette kan påvirke statistiske analysen til hele byområdet, så derfor de faktorer må huskes når det skal det sluttresultater settes. Forskjellen er markert på tabeller 8 ovenfor ved hjelp av blå farge.

4.1.3 Marie Wexelsens Veg

I Marie Wexelsens veg er det alle lyktestolpene fra [1](#) til [5](#) ble lagt i samme tiden og ved bruk av de samme teknologiske løsninger, bortsett fra det #1 (den første lyktestolpen er ikke galvanisert), derfor der er ikke noe synlig forskjellen mellom dem. Derfor ble den markert på tabellen 9 med blå farge. Uansett, alle uvanlige lysmastene skal fortsatt brukes i videre beregninger og analysearbeid, som det ble sagt over. Ellers der er det alle lyktestolpene ble lagt av det ene teknologi, sett inn i det samme tiden, og derfor alle mastene der nesten likt ut.

5 Diskusjon, tolkning, analyse

5.1 Plassering

I løpet av dette forsøket ble det bestemt å måle på Øya, Møllebakken og Persaunet – de tre områdene som representerer forskjellige deler av byen, undersøke tilstanden til de mastene, og sette en teori som forteller om hva slags korrosjon påvirker mastene på alle de områder.

Det finnes karakteristiske trekk for hvert av disse områder inn i byen:

Øya (Guttorms gate) plassert ved elven, derfor det kan være logisk å forutsi at mastene som skal være plassert der blir mer utsatt for våt korrosjon. I tillegg til det, er Øya som ligger nærmest til sentrum av byen – dette spiller stor rolle med tanke på trafikken og hvordan veg kan påvirke korrosjonen.

Møllebakken (Fagerlia) er utplassert på høyden, utsatt for sjøbris og vinden. Fagerlia er utplassert på kanten av byen, relativt høyt over havet, derfor blir det logisk å forutsi at mastene som ble bygd opp der blir mer utsatte for erosjon- og tørr korrosjonen. Relativt mindre trafikken i forhold til Øya kompenseres ved vann (snø, is og regn) som kommer ut fra fjell nede til byen.

Marie Wexelsens Veg (Persaunet) i forhold til de øverste, er utplassert på et relativt mild og tørr området, som er ikke utsatt for noen spesielt miljøet, som kan påvirke korrosjonen. I tillegg til det, er Persaunet som ligger mye lang borte fra Fagerlia og Øya, derfor forskjellen mellom de to områder og Persaunet må være mye større. Trafikken er relativt lavt, på grunn av at det selve Marie Wexelsens veg er en små gågate, hvor er det nesten ingen trafikk, og i tillegg til det, er dette gate utplassert til siden av de større veiene, med de andre ordene – det er ikke mye biler som gjennomkjører frem og tilbake akkurat på den gata.

5.2 Mastene

På Guttorms gaten plassert hovedsakelig lysmaster som ble produsert i 1986 – 1987 (både armatur og stolpe), ifølge dokumentasjon fra Trondheim kommune. Også fra kommune kom informasjon om at det er bare en mast som ble galvanisert. Ut ifra analysen, ble det bestemt at det er lykestolpen #5 som er [galvanisert](#) – akkurat denne masten ser mye bedre ut enn noen andre, selv om armaturen og selve stolpen blir ett år gammelt enn de andre.

I Møllebakken er de varierende mastene, med forskjellige egenskaper, som er ikke tilsvarer informasjonen fra Trondheim kommune. Ifølge infohefte som ble utdelt av Kommunen, følger at alle lysmastene har:

- Det samme armaturtypen: BGP352
- Det samme utbyggelsesåret for armaturen (2013) og til selve stolpen (1979)
- Ingen av lysmastene er galvanisert

Dessverre, er det mastene [#24](#) og [#23](#) samt med [#25](#), ser ut ganske forskjellig i forhold til de resten – mye mindre synlig rust, mye mindre ødelagt den ytre dekning. I tillegg til det, gruppen fikk informasjonen fra en mann som bodde der fra 1985~ år, at lysmastene ble byttet etterpå, rundt omkring 1986-1988 taller.

På Marie Wexelsens Veg er det alle lysmastene ble satt opp på det samme året (1988), alle av dem ble lagt av Trolla armaturen, (samt som lysmastene i Guttorms gaten), og det er bare [masten #1](#) som er ikke galvanisert, de resten er da delvis galvanisert.

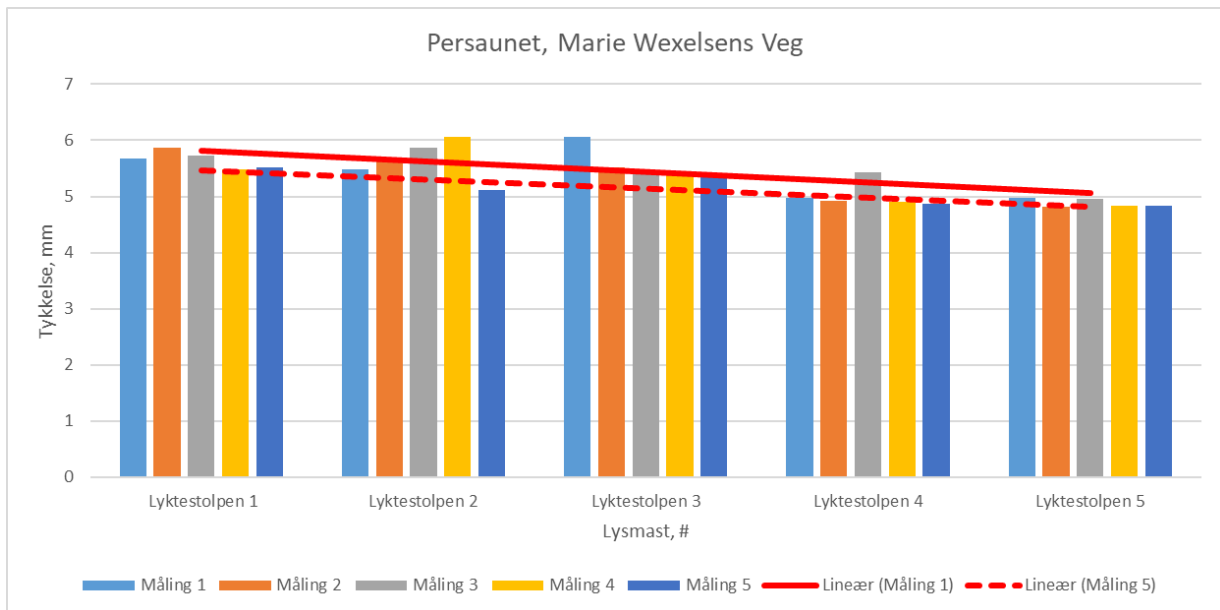
5.3 Korrosjonfare

5.3.1 Korrosjonstyper som er aktuelle for hvert av de byområder

De typiske korrosjonstypene ble beskrevet [her](#). I teorikapittel ble det fremvist de korrosjonstyper som er mer eller mindre relevant for metallkonstruksjoner i bymiljøet. I løpet av forsøket ble alle tre byområder påvirket av stålkorrosjon. Dette ble bestemt etter at det ble fant ut korrosjonsprodukter av rød/brunt farge på største delen av lysmaster, som er [bevis](#) til stålkorrosjon. Mest alvorlige tilfeller kan undersøkes på Fagerlia, dette kan ses ut fra tilknyttet [vedlegg](#).

Det ble satt en hypotese at de resten av korrosjonstyper skal være ellers tørr eller våt korrosjon. Før forsøket ble det feil bestemt at resten av lysmastene skal være påvirket av tørr korrosjon, mens i realitet ble det bevisst motsatt. Tørr korrosjon kan karakteriseres som prosessen som foregår når det er [ikke noen varm/fukt tilstede](#), og at det er gasser som påvirker konstruksjoner mest. Derfor, hvis det er tørr korrosjon som spiller det største rollen i byområdet, da må lykttestolpen korroderer relativt jevnt over hele byen.

Ifølge data som ble fant ut ved hjelp av UT-testing, ble det oppdaget at hver eneste lykttestolpen har mer eller mindre tendens til å korrodere i nedre delen av masten – jo nærmere til bakken, jo lavere tykkelsen. Dette kan bevises ved å se på diagrammer som er i [vedlegg 3](#), blant annet de som representerer [alle enkle målinger til hver eneste masten](#), ellers dette forskjellen er fremvist på de samme diagrammer ved hjelp av trendlinjer. Diagrammet til Persaunet visst på figur 27.



Figur 27. Trendlinje for måling 1 er alltid større enn trendlinje for måling 5.

De andre diagrammer kan sjekkes i [vedlegg 3](#). Akkurat på dette diagrammet trendlinjer for måling 1 og 5 står for bevis for at første måling (på toppen av masten), viser høyere tall enn den siste målingen (som gjennomføres nær bakken). Ut ifra resultater, kan sies at alle områdene i byen er påvirket av våt korrosjon likt. Dette kommer ut ifra teorien, som sier for at våt korrosjon skjer, det kreves kontakt med vann/elektrolytt. De nedre deler av alle lyktestolper i alle byområder er nesten hele tiden i kontakt med vannet, så derfor er de nedre delen av lysmaster er hele tiden tynnere enn den øverst – på grunn at den nedre delen korroderer raskere.

Galvanisk korrosjon er korrosjonstype som kan være ekstremt alvorlig i bymiljøet i forhold til metallkonstruksjoner. Dette korrosjonstypen oppstår når to forskjellige metaller kommer i kontakt med hverandre. [Ifølge teorien](#), akkurat dette typen av korrosjon kan skje over hver eneste lyktestolpe, ifølge tegningen av lysmasten som ble visst på figur 8. Hver eneste kontakt av forskjellige metaller er et sted hvor galvanisk korrosjon kan oppstå. Et godt eksempel på det er lyktestolpen #4 på Marie Wexelsens gate – der man kan se med en gang at galvanisk korrosjon begynner der hvor stålet kommer i kontakt med sink. Selve korrosjonsområdet visst på figur 28.



Figur 28. Lyktestolpen #4, Marie Wexelsens gate. Området som er markert med rødt viser hvor oppstår galvanisk korrosjon.

Uniform korrosjon er da en korrosjonstype som karakteriseres med en jevn fortykning av ytre lag av materialet, ifølge [teori](#). I sammensetning til det, uniform korrosjon er en ganske relevant korrosjonstype i forhold til de andre, på grunn av at påvirkning av dette korrosjonstyper ble oppdaget over hele byen. En av de beste eksempler over hvordan fungerer uniform korrosjon er da et [lyktestolpen #1](#), som er utplassert på Marie Wexelsens gate. Dette er et godt eksempel over hvordan ser ut uniformt korrosjon, spesielt på det venstre siden – der er lag av maling tynnere, og man kan observere rusten som begynner til å oppstå.

I løpet av planlegging til forsøket, ble det en påstand at erosjonskorrosjon skal spille et stort rolle. Gruppen hadde tenkt om at akkurat den korrosjonstypen som skal være viktigst når skal foregår observasjon av lysmastene som er utplassert på Møllebakken – tanker bak det var at selve Fagerlia-området ble utplassert på høyden over det andre delen av byen, og derfor lysmastene som satt der blir påvirket med sterkt vind og sjøbris. Den påstand ble bevisst bare halvveis – det var sant at erosjonskorrosjon eksisterer oppe på Fagerlien, mens resultatet er neglisjerbart – erosjonskorrosjon gir ikke noen påvirkning over lysmasten. Eneste som det skjer – litt mørkere område, sammen som er på bildet av lysmasten #24 som er utplassert på Møllebakken. I forhold til data, det mørkende området som ble påvirket av erosjon visst nesten ikke noen forskjell (± 0.02 mm) i forhold til ikke påvirkende området, derfor kan det sies at erosjonskorrosjon spiller ikke noen rolle i byområdet. Dette fenomenet fremstilt på figur 29.



Figur 29. Masten #24, Møllebakken. Det mørkende området er et synlig bevis for påvirkning av erosjon.

Grop- og spalt korrosjon er en av de korrosjonstyper som spiller de største rollene inn i bymiljøet, i tillegg til det – de to korrosjonstyper tett ganske nært med våt korrosjon. Ut ifra [teorien](#), vet vi at det som er viktig for at de to korrosjonstyper skal oppstå – ødelagt ytre lag av maling/dekning/oksidlag og elektrolytten (vann, som vanlig). Det skjer nedbrytning av beskyttende lag som dekker metallisk objektet, det kan oppstå spalt eller grop, vannet kommer inn mens kan ikke komme tilbake. Et godt eksempel på det er de gamle og ikke-galvaniserte lyktestolpene ifra #19 til #22 i Møllebakken og #1 på Marie Wexelsens Veg som viste på figur 30 nede:



Figur 30. Spaltkorrosjon under maling, masten #1, Marie Wexelsens veg. Til høyren - spaltet ble ødelagt, og man kan se korrosjonsprodukter.

Et godt eksempel også er et lyktestolpen fra [Gautes Gate](#) og [lyktestolpen #3](#) i Guttorms gaten. Ut ifra synlig analysen kan man si at spalt/grop korrosjon er en av de korrosjonstyper som

spiller stort rolle i dagens bymiljø. Spesielt tilfelle for at de korrosjonstyper oppstår – dårlig overflatebehandling (dårlig maling).

De andre faktorer som må telles med, er nedbør, TOW, avstand til de viktigste veier inn i byen, og plassering av selve gata. Også spiller en stor rolle kjemiske midler som brukes av Trondheim kommune for å opprettholde veier i god og sikker stand. Dessverre, Trondheim kommune fortsatt bruker NaCl (som er aggressivt middel) og MgCl, som er ikke så aggressivt, mens koster mere enn vanlig NaCl, ifølge informasjon fra Trondheim Kommune. Dette blanding av salter bruker Trondheim kommune for å salte de større vegene, mens i tillegg brukes grus på de mindre.

Et problem er at det kan brukes ellers NaCl med MgCl i forskjellig proporsjonalitet, eller om dette har blitt brukt som en miks eller hver for seg - det er ukjent, eller om en veg saltes en dag med NaCl og neste dag med MgCl. Det er mulig å anta at det oppstår noen situasjoner som påvirkes av både saltingen og grus-strøingen. Først og fremst så saltes de større vegene, og fra dem går det mindre veger til eksempelvis boligstrøk eller til private områder. Det er mulig å anta at biler drar med seg salt inn på disse mindre vegene med dekkene eller understellet av bilen, så derfor er dette kan være en mulig kilde til salt-deponering.

En definitiv kilde til salt-deponering på mindre områder kommer fra grus-strøingen som også inneholder omtrent 3wt% salt, ifølge informasjon fra Trondheim kommune. Et godt eksempel på hva som kan følge til salt-deponering er: Når vegen brøytes så strøs den gjerne samtidig, og det kan kanskje antas at hvis det har snødd en dag så vil det snø igjen i nær fremtid. Det som kan tenkes er at grusen som ble strødd vil brøytes til sidene ved neste anledning, og saltet vil kanskje følge med og bli liggende i brøytekanter, der hvor lysmastene plassert.

Alle de situasjoner påvirker korrosjonsraten direkte: blanding av salt og vann krever lavere temperatur for å være is, i tillegg til det, salt gjør miljøet rundt lysmaster mye mer aggressivt. Ut ifra dette økes RH til miljøet rundt lysmastene, det også øker korrosjonsraten.

5.3.2 Spesielle tilfeller som påvirker korrosjon

Hver eneste området har sitt egen miljøet og sin egen tilstand som gjør at resultatene blir såne som de blir.

En av de faktorene er da plassering av gata – det beste eksempel på det er da hovedveien i Møllebakken (der, hvor står lysmastene #25, #22-#19). Det er nesten ikke noe trafikk i de små gågaten (der hvor står mastene #23 og #24), og i tillegg til det, den hovedgaten har ganske stor bøyning – den er utplassert på siden av fjellet, så i løpet av år alt mulig nedbør kommer nede akkurat på denne gaten. I tillegg til det – i vinteren snøen ryddes der relativt dårlig, som fører til at mye snø bare legger rundt mastene gjennom hele vinteren. Og sist mens ikke minst

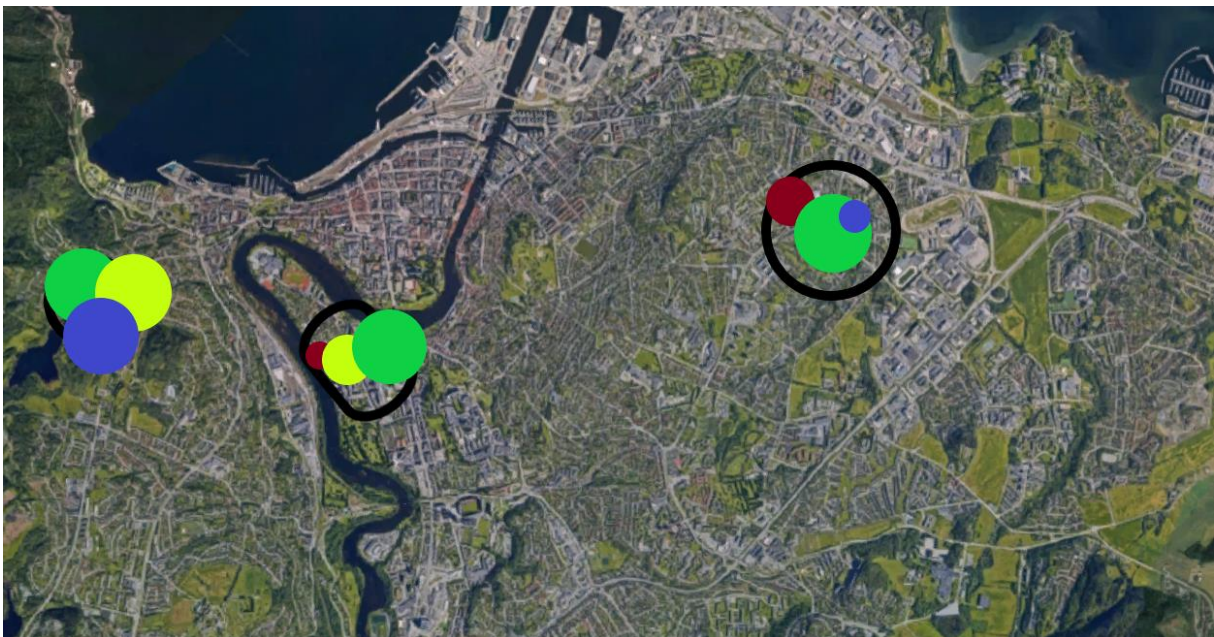
– det er en av de relativt aktive gater i Fagerlia, i forhold til motortrafikken – og som det ble sa, den veien dekkes med salt og den salten etterpå deponeres til sider av veien – akkurat der, hvor står lysmastene.

I løpet av analyse av Guttorms gate ble det noen faktorer i tillegg – det selve gaten ligger i sentrum av byen, den gaten plassert relativt nært til bruene og inngang til sentrum som betyr at i nærheten er ganske aktivt trafikk. I tillegg til det, er Øya plassert ganske nært til Nidelven – høyere RH kan også påvirke korrosjonen.

Det tredje området, Persaunet er ikke utsatt for noen spesielle tilfeller, og derfor dette område brukes som lakmuspapiret i sammenlikning.

5.3.3 Generelt vedtak om korrosjon i forhold til byområder.

Gjennom et synlig analysen av alle lysmastene i alle tre byområder, ble det bestemt korrosjonstyper som påvirker dem. Første resultater ble fremstilt grafisk på kartutsnitt i figur 31 nede:

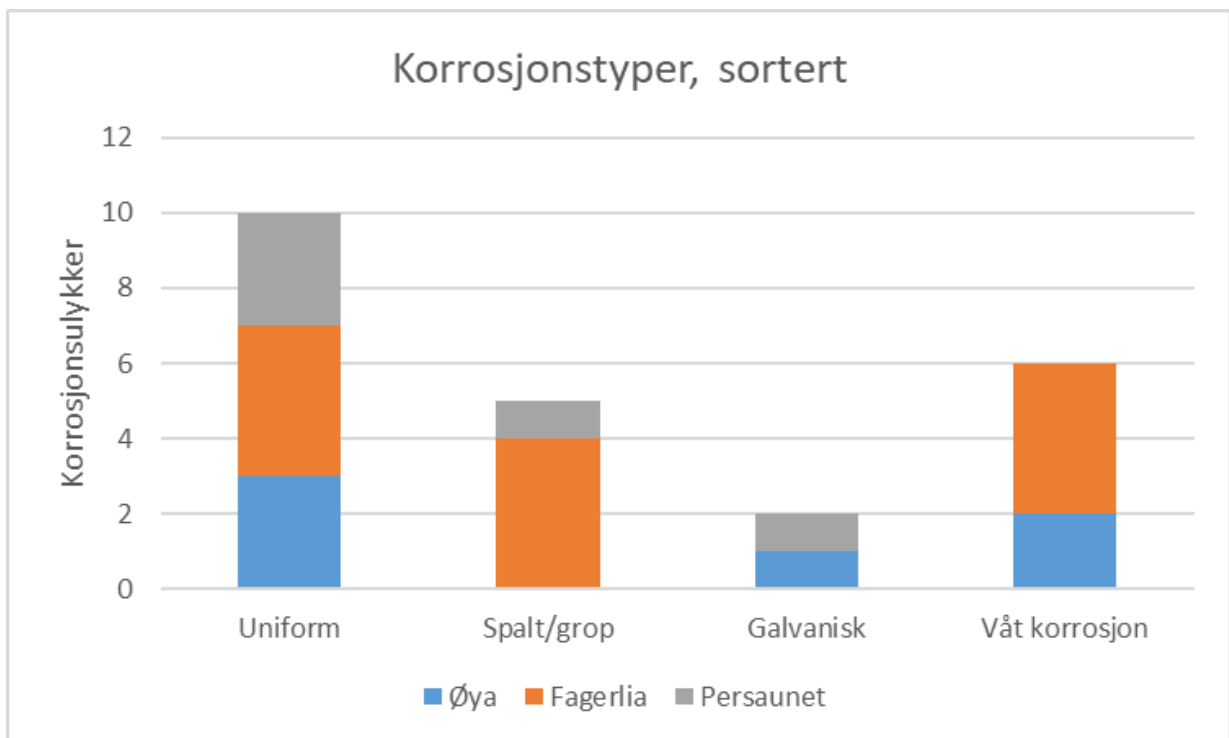


Figur 31. Kartutsnitt med representasjon av korrosjonstyper.

Størrelse av sirkelen definerer antall korrosjonsulykker (jo større – jo mer korrosjonsulykker av en bestemt korrosjonstype). Fargen til sirkel bestemmer korrosjonstyper:

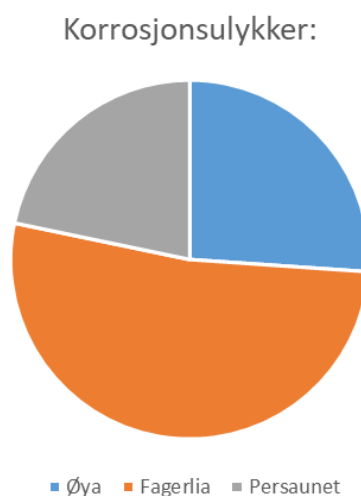
- Rødt – galvanisk korrosjon
- Gul – våt korrosjon
- Grønt - uniform korrosjon
- Blå – Spalt/grop korrosjon

Ut ifra grafisk representasjon kan bestemmes at det mest spredt korrosjonstype er uniform korrosjon. Minst spredt – galvanisk. Det samme data kan representeres mer nøyaktig på figur 32 nede:



Figur 32. Korrosjonstyper i forhold til byområdet.

Både diagram og kartutsnittet samt med beregninger, kan sjekkes i [vedlegg 4](#). I tillegg til det, ble det satt opp et diagram en som skal vise hvor er det mest korrodert byområdet. Gruppen fikk sånn fordeling ved å summere hver eneste korrosjonsulykke på hver eneste byområdet. Ut ifra det, fikk gruppen svaret at det er Fagerlia som er mest korrodert byområdet. Dette informasjonen kan også fremstilles ved hjelp av sirkeldiagram på figur 33, for bedre klarheten.



Figur 33. Grafisk representasjon av korrosjon i forhold til byområdet.

5.3.4 Masten. Byområder.

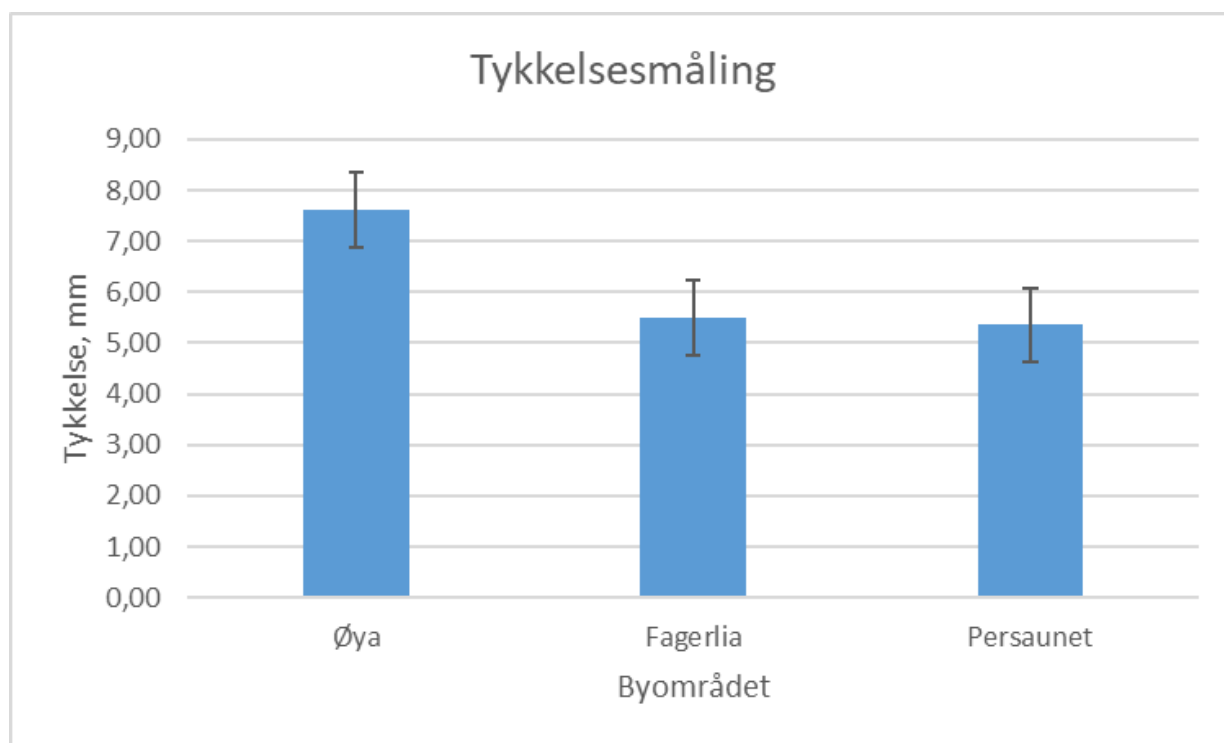
For å finne ut, hvilken del av byen som ble observert i undersøkelse er mest korrosjonsmotstandig ble det bestemt å finne ut gjennomsnittlig tykkelsen i hvert byområde, og videre bestemme avviket. Logikken som ligger bak det er at de moderne lyktestolper skal sette gjennomsnittlig tykkelsens ned (på grunn at for å lage lysmasten av nye typen kreves mindre metall), og avviket kan fortelle om stabiliteten i forhold til korrosjonsmotstand.

I forhold til tykkelsens, ble det gjennomført serie av fem målinger på hver lyktestolpe (som det ble sagt i kapittel 4), mens etterpå ved hjelp av dataverktøy som Microsoft Mathematics og Excel ble det gjennomført en analyse av de målinger. Algoritme for analysen er:

- Finne ut gjennomsnittlig tykkelsen på hvert av lyktestolpen
- Finne standardavviket på den tykkelsen, ifølge målinger
- Bestemme relativt standardavviket som fremvises i prosent
- Beregne gjennomsnittlig summen av alle målinger
- Beregne standardavviket til den tallet
- Finne ut standardavviket i prosent, som skal være viktig fremstilling av byområdet.

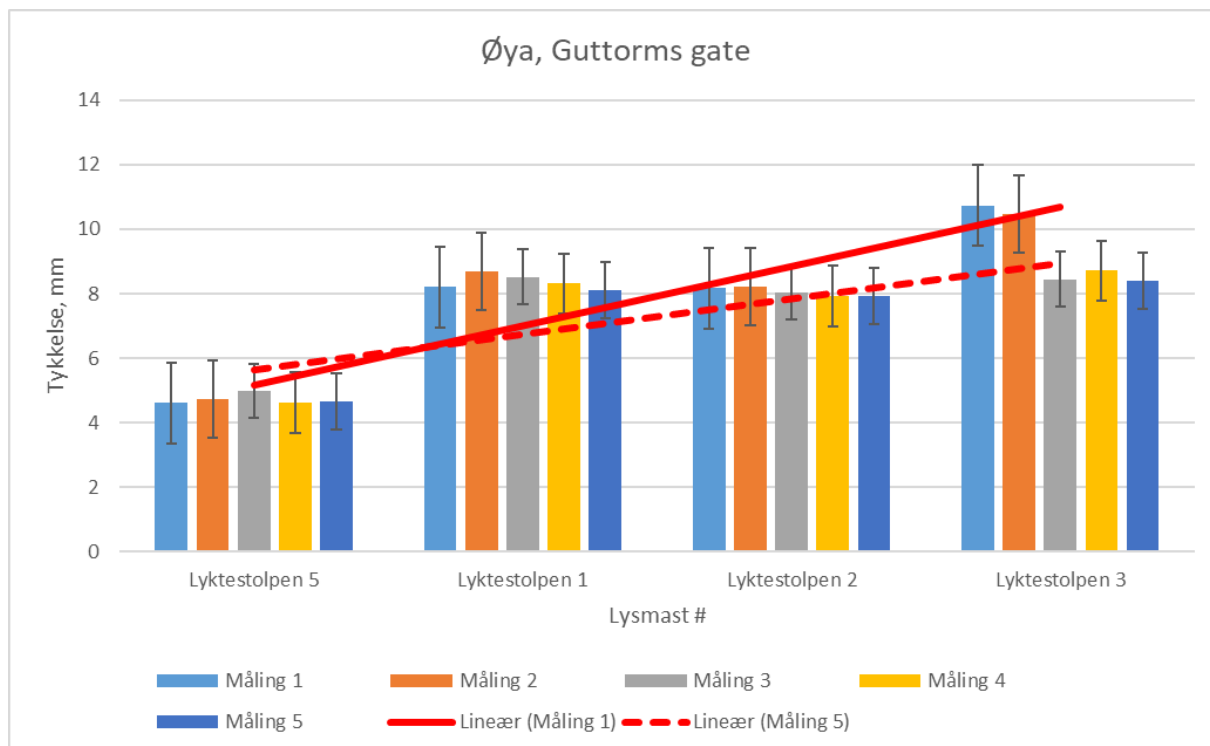
Hvordan ser det ut visst i [vedlegg 3](#), samt med beregninger.

Til slutt ble det satt opp et diagram hvor fremstilles data grafisk i figur 34 for bedre forståelsen:



Figur 34. Tykkelse, gjennomsnittlig. Byområder.

Ifølge dette diagrammet kan det sies at tykkelsen av det mest tykte vegger i lysmastene er på Øya – nesten 7,5 mm. Mens det må huskes at de resten av dem ble satt opp ved bruk av de gamle teknologisk løsning – jo mere tykkelsen, jo lenge korroderer objektet, så jo lengre objektet blir i bruk. De resten av de lysmastene som er utplassert på Øya er ikke galvaniserte, og den ene ble lagt ut av den nye teknologi – og dette man ser ut med en gang på diagrammet til Guttorms gaten. Tilsvarende diagram vist på figur 35.

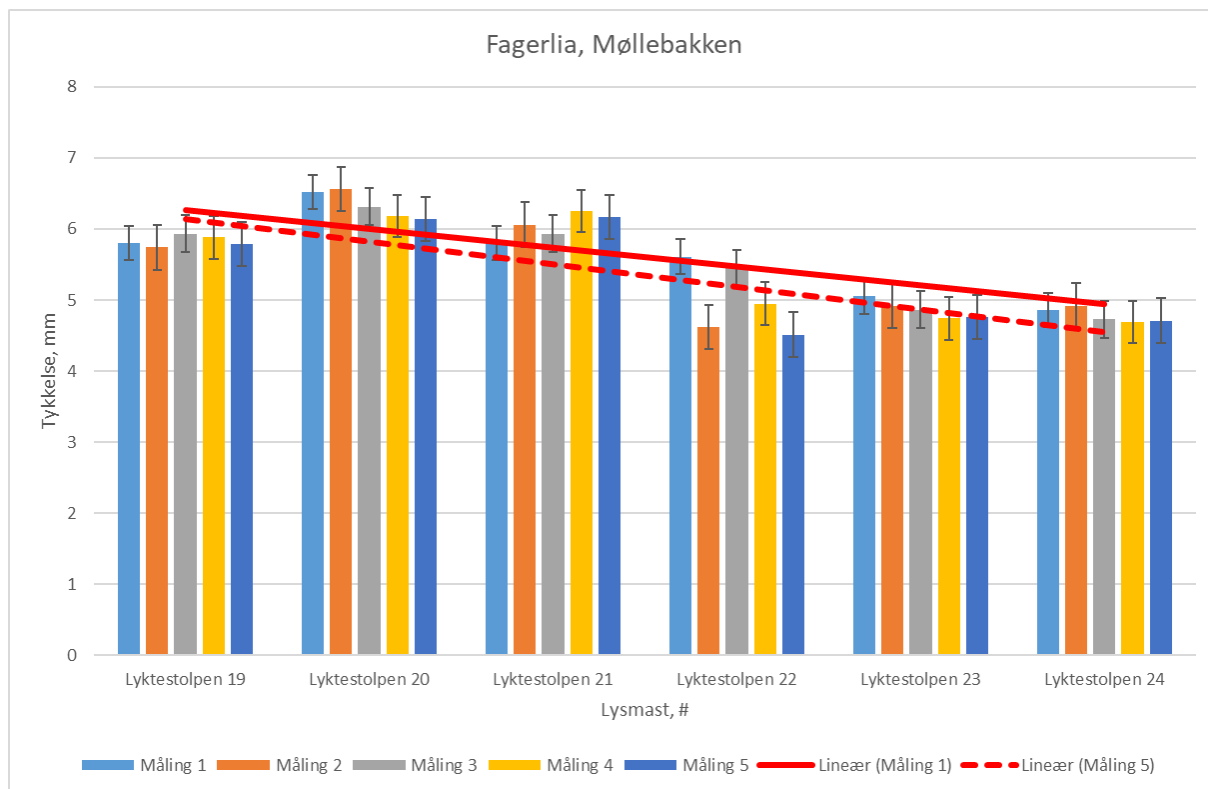


Figur 35. Måling av lyktestolper i Guttorms gate.

Mer detaljert diagrammet kan sjekkes i vedlegg 3. Lyktestolpen # 5 ser mye penere ut, har lav avviket, og mindre tykkelsen som ser ut stabilt over de fem målinger.

De to andre byområder ligger relativt nært hverandre i forhold til det gjennomsnittlig tykkelsen, mens det finnes noen begrensende fakta i forhold til Fagerlia:

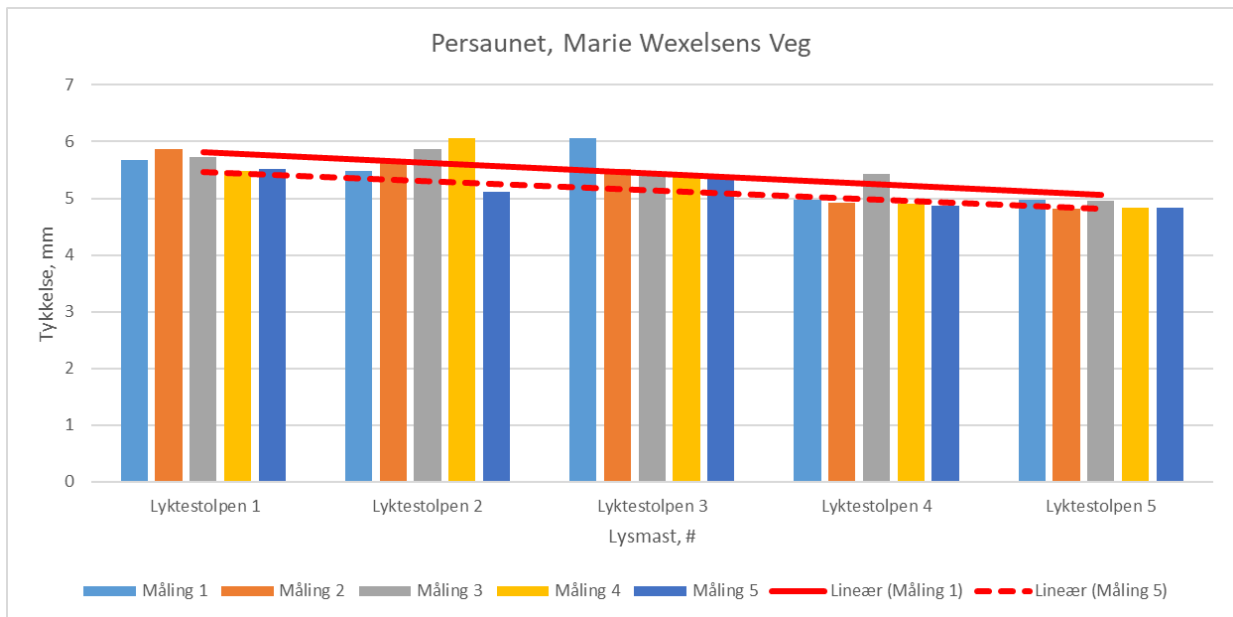
Fra en mann som bodd der fra 1985 gruppen fikk informasjonen at lyktestolpene #23, #24 og #25 ble erstattet i slutten av 1980 tallene. Dessverre det er ikke noe mer presist informasjon som kan utdeles fra Trondheim Kommune, mens ut ifra målinger og visuell inspeksjon kan man anta at de nye lysmastene tilhører det samme typen som lysmasten #5 som er utplassert på Guttorms gate. De ses ut fra diagrammet, bortsatt fra lysmasten 25 – dessverre det var ikke noe mulighet til å måle den stolpen, ellers erstatte dette stolpe med et alternativt som er plassert i nærheten. Derfor ble det bestemt at dette stolpe skal ikke inngå i kvantitativt analysen.



Figur 36. Møllebakken. Tykkelsesmåling.

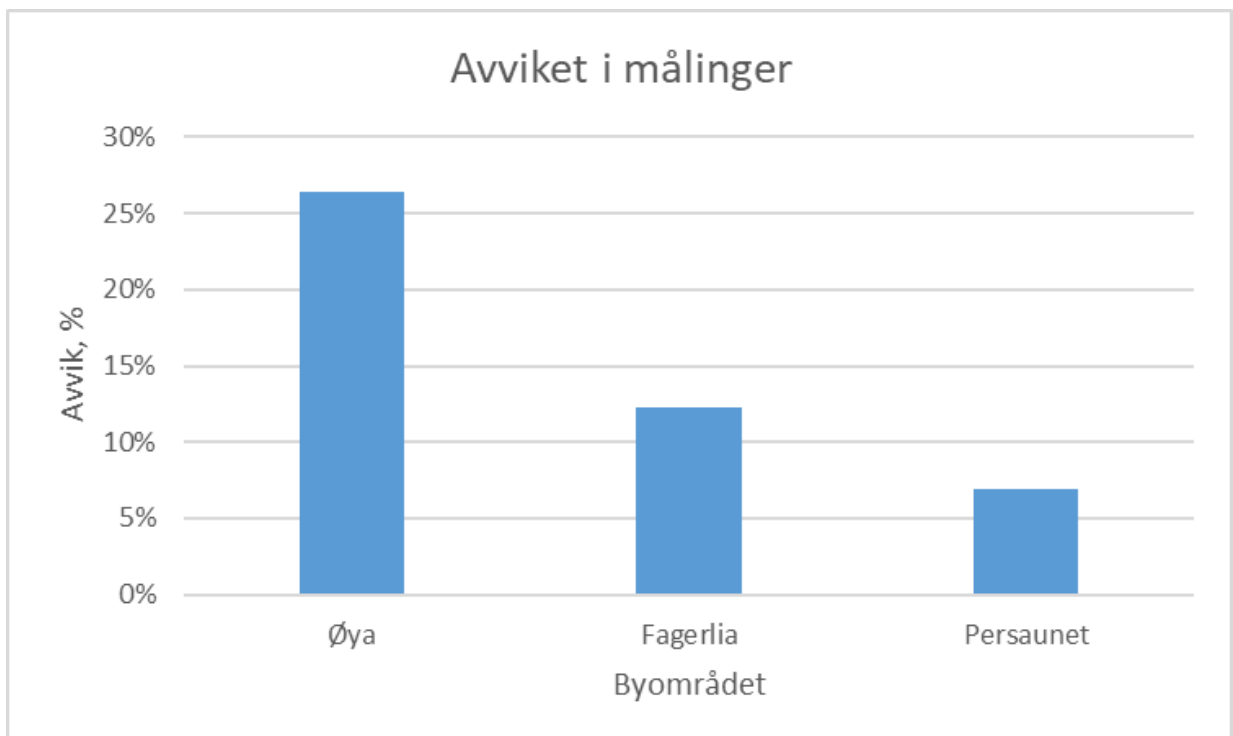
Ifra grafisk fremstilling av data på figur 36 ser man at data som ble tatt av lysmast #23 og #24 er mye mer homogene enn målinger på de andre, samtidig er generell tykkelsen er relativt lavt til de gamle lysmastene. Utfra data, kan det sies at lyktestolpene #19-#22 inkludert, er mest korroderte i forhold til alle tre byområder – gammelt teknologisk løsning som har metalltykkelsen i logikken bak det, dårlig behandling av de lyktestolper (maling, bilder på det er satt opp i [vedlegg 2](#)), samt med det som står i kapittel 5.3.1 fører til at de lyktestolper er de første i køen til å erstatte.

Persaunet kan karakteriseres med ordet «systematisering» – lysmastene som er plassert der har det likt teknologi bak seg, de ble satt i drift på det samme tiden, og derfor resultater her er nesten like, det ser man med en gang på diagrammet i figur 37.



Figur 37. Persaunet, tykkelsen

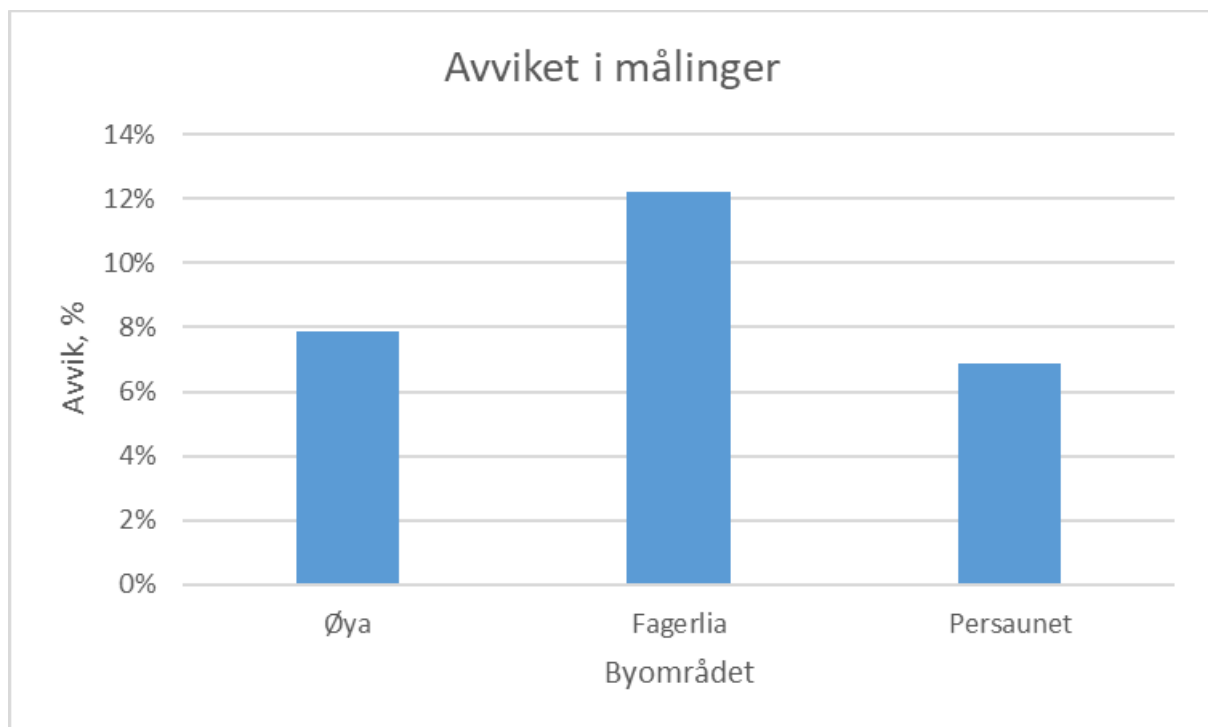
Det eneste lyktestolpen som er ikke galvanisert på Marie Wexelsens Veg er mast #1 – det finnes fra diagrammet (har større gjennomsnittlig tykkelsen enn de andre), bilde (ser mer korrodert ut enn de andre) og informasjon fra Trondheim kommune, mens de resten er delvis galvanisert. Derfor er resultatet fra Marie Wexelsens veg ser mer troverdig ut – på grunn av dataresultater og visuell inspeksjon det ble mindre usikkerheten. I tillegg til analysen av tykkelsen, ble det satt opp et diagram på figur 38 som fremstiller avviket i målinger grafisk:



Figur 38. Avvik i forhold til byområdet.

Utfra analysen, ser vi at avviket lavest på Persaunet, og høyest på Øya – resten av dette avviket på Øya avgjøres av lyktestolpen #5, som er nyest. Den neste er Fagerlia/Møllebakken, på grunn av at der er utplassert to forskjellige typer lyktestolper, og derfor er resultatene er spredt, og det minst avviket fremvist på Persaunet – homogent miljø gir mest homogent resultat (7%).

For å dobbeltsjekke resultat, skal det fjernes lyktestolper #5 for å få mer relevant resultat som fremstilles ved hjelp av stolpediagram på figur 39:



Figur 39. Avvik, redigert.

Resultatet fra Øya blir redusert fra 26% til 8%. Da er det største avviket er fra data fra Møllebakken/Fagerlia.

Ifølge data, avviket og generelle tendenser, gruppen bestemt at Persaunet – minst utsatt for korrosjon området i byen. Resultater stemmer med de resultater som gruppen fikk i det forrige analysen.

5.3.5 Behandling av lysmaster.

Alle lyktestolper som ble undersøkt og delt i grupper med hensikten på byområder ble sortert nå med tanke på behandlingsmåten: om masten er galvanisert, ikke galvanisert og delvis galvanisert. På grunn av det, ble alle tallene sortert i forhold til behandling, etterpå ble de lagt ut i et Excel-ark. Hvordan ser hele arken ut kan sjekkes [her](#).

Det finnes mastene av alle de typer på alle tre byområdene, derfor kan sies at hver eneste typen av lysmast ble påvirket av hver eneste karakteristisk miljøet. Ut ifra det ble bestemt å

finne ut gjennomsnittlig tykkelse til hvert av typen – det høyeste verdien er da tilhører til lysmastene som ble ikke galvanisert - 8,59mm. Det stemmer til historiske perspektiv av teknologiske løsninger bak lysmastene og korrosjonsbeskyttelsen – gamle lysmastene hadde ikke noen med moderne korrosjonsbeskyttelsesmåter, som den nyeste lyktestolper fra Vik Ørsta™, hvor det brukes de nyeste teknologiske løsninger, blant annet deres moderne CombiCoat © - som er Vik Ørsta sin egen teknologisk måte for å gjennomføre forsinking.

I den gamle tiden, var det ganske populært tenkemåte at for å forbedre livstiden til et objekt som er utsatt for korrosjon er nødvendig å forstørre tykkelsen: jo tykkere objektet, jo lengre den korroderer. Så derfor de gamle og ikke galvaniserte lyktestolper har større tykkelse. I tillegg til det, ble det undersøkt at de resten av de lysmastene ble dekket med maling mye ganger, spesielt på Fagerlien ([eksempel](#)). Det var en relativt lykkelig løsning for å beskytte korrodert overflaten, mens de fortsetter å korrodere likevel, på grunn av de andre faktorer som miljøet, temperatur, og RH. Noen av de faktorer kan være en grunn til at det skjer spalt- og groppkorrosjon, spesielt på grunn av dårlige maling som passer ikke til å utendørs forbruk og til å brukes på metalliske objekter.

Et annet grunn til at sånn situasjonen oppstått kan være dårlig forbehandling – på de noen lysmaster ble det observert at noen av de malingslag ble satt rett på rust – helt uten overflateforberedelse. Som følges ut ifra det, dårlig overflatebehandling kan være et annen faktor til at korrosjon begynner eller øker: i volumet mellom malingslag og selve korrodert metall kan komme vann, dette volumet derfor skal være fullt av korrosjonsprodukter, og hvis der skal vannet stå utvikles korrosjon. I tillegg til det, er det viktig å notere om at lyktestolper står der i løpet av mye år – hvis vannet skal komme inn i metallet i sommeren og være der frem til vinteren, da er det samme vannet skal være is. Derfor kan metallet ødelegges enda mer.

Så, hvis tykkelsen kan ikke være en synonym for korrosjonsmotstandighet, på grunn av forskjellig produksjonsåret og teknologiske løsninger (blant annet: større tykkelsen betyr ikke bedre korrosjonsmotstand), derfor ble det bestemt at videre analysen skal baseres på avviket – tanke som ligger bak dette valget er at: jo bedre korrosjonsmotstand for en type av lysmast, jo mindre blir avviket.

Ifølge beregning av standardavviket, ble det fant ut at det verste korrosjonsmotstandige egenskaper tilhører til mastene som er ikke galvanisert. Det kan også bevises med et bilder som er lagt i [vedlegg 2](#) – spesielt mastene som er utplassert på Møllebakken. Også er viktig å notere at resten av ikke galvaniserte lysmastene er utplassert på Øya og Fagerlia. De minste avviket tilhører de mastene som er galvaniserte: dette resultat ble ikke forventet, på grunn av

de galvaniserte mastene ble satt ut på helt forskjellige plass, med forskjellige miljøet – mens tykkelsen fortsatt er nesten det samme.

Det minste avviket kan regnes da som et bevis på at lysmastene som er galvanisert og behandlet på riktig måte har de beste korrosjonsmotstandige egenskaper, uansett hvilken type korrosjon de skal være påvirket.

Videre måtte å noteres at nesten alle lysmastene (bortsatt fra #1) i Persaunet er delvis galvaniserte – og fortsatt avviket ligger mye nærmere til gruppen «galvanisert» enn til «ikke galvaniserte». Ut ifra forsøket kan da gruppen komme med et forslag at det beste korrosjonsbestandig middelet er galvanisering og overflatebehandling – akkurat de løsninger kan hjelpe å forsinke følsomhet til korrosjonsmiljøet nesten i 11,40 ganger som likning 7 viser:

$$\frac{1,52}{0,13} = 11,40 \text{ ganger, (Likning 7)}$$

1.52mm – standardavviket for ikke galvaniserte lysmaster

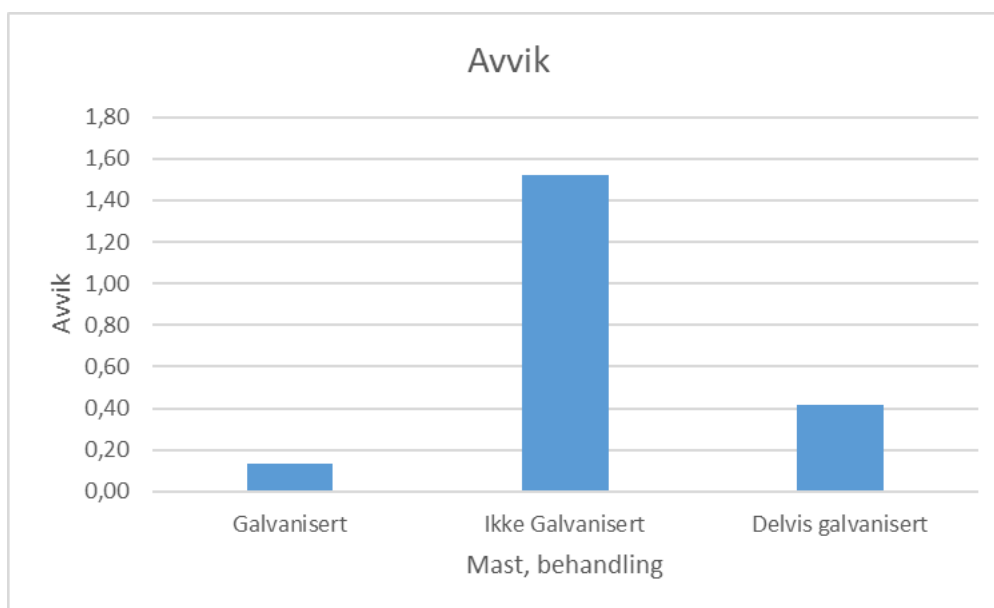
0.13mm – standardavviket for galvaniserte lysmaster

som kommer ut ifra beregning. Hvis det er umulig på grunn av tekniske og/eller økonomiske faktorer å bruke bare galvaniserte mastene, da kan det brukes delvis galvaniserte mastene – bruk av delvis galvanisering kan forsinke følsomheten til korrosjon i 3,68 ganger, som likning 8 viser:

$$\frac{1,52}{0,41} = 3,68 \text{ (Likning 8)}$$

0,41mm – standardavviket for delvis galvaniserte lysmaster.

De selve avviker ble satt opp i et diagram som er plassert nede på figur 40:



Figur 40. Avviket i mastene.

6 Konklusjon

Problemstillingen av oppgaven var å kartlegge korrosjon i Trondheim. I løpet av arbeidet med dette prosjektet, ble det oppdaget noen karakteristiske trekk som kan utdype selve problemstillingen og gi noen forslag til behandling av situasjonen.

Baseres på forsøket og videre analysen, ble det bestemt at alle lysmastene har en felles trekk, uansett om de er beskyttet mot korrosjon eller ikke, og helt uavhengig av miljøet – jo nærmere til bakken, jo mer fortynnelse av metallet. Dette kommer ifra analysen av målinger fra alle tre byområder.

Videre, det ble bestemt at mest vanlig korrosjonstype i Trondheim kommune – uniform korrosjon. I alle tre byområder ble det oppdaget lyktestolper som er ødelagt av akkurat dette korrosjonstype. Mest ødelagt området er Fagerlia, spesielt Møllebakken, på grunn av plassering og selve geografi av gaten. Dette ble bestemt ved hjelp av analysen av tilstand til lyktestolpen og tykkelsen.

I tillegg til det, ble det bestemt at det beste forbehandling for lyktestolpen er galvanisering – de lysmastene som ble behandlet ved hjelp av galvanisering visste minst korrosjonsødeleggelse. I tillegg til det, er det enklere å gjennomføre vedlikeholdet over de galvaniserte lysmastene – avviket i målinger gjennom alle galvaniserte stolper i alle deler av byen ble det minst, dette betyr at de korroderer med nesten samme raten.

Det selve hensikten med dette oppgaven var å finne ut hvilke faktorer som kan påvirke korrosjon i lysmaster i Trondheim kommune. Selv om det ble undersøkt tre forskjellige byområder med tre forskjellige miljøet, ble det fant ut at ekte naturlige faktorer som vind, sjø eller elven i nærheten påvirker alle byområder likt, derfor kan det sies at i vår tilfelle bare teknologiske faktorer som spiller rolle. Dette ble fant ut ved hjelp av analysen, som visst at alle hypoteser som handler om at naturfaktorer spiller en stor rolle ble feilt.

Baseres på arbeidsprosessen og problematiske momenter som ble oppdaget i løpet av arbeidet ble det utarbeid noen forslags til Trondheim kommune. Det anbefales å gjennomføre mer grundig og detaljert undersøkelser, som skal baseres hovedsakelig på vedlikeholdet. En av de største problemer som ble oppdaget i løpet av arbeidsprosessen er informasjonsmangel, det var vanskelig å komme i gang med gjennomføring av alle ideer som gruppen har hatt i begynnelsen. For bedre og raskere behandling av analyseringen knyttet med vedlikeholdet kreves detaljerte forklaringer, derfor anbefales å lage databasen hvor skal registreres alle handlinger som ble gjennomført med lysmaster.

I forhold til selve lyktestolper, er det sterk anbefales å bytte alle korroderte lyktestolpene til nye med en gang, de nye lyktestolpene måtte å ha identisk behandling, på grunn av lettere

vedlikehold og undersøksprosessen. Den beste behandlingen mot alle slags korrosjon er galvanisering – lysmastene som ble galvanisert (helt eller delvis) visst mye bedre resultater enn de som var ikke galvanisert i det hele tatt.

7 Forslag til videre arbeid

Baseres på resultatene og karakteristiske trekk som ble bestemt i løpet av arbeidet, kan det være aktuelt å fordype prosjektet for å få mer presise og relevante resultater, samt kunne være greit å undersøke problemet fra forskjellige faglige synsvinkler.

Dette problemet kan behandles ved hjelp av kjemien – det kunne tas jordsmonnsprøver med hensikten på pH og saltkonsentrasjon. Videre, det kan tas mere målinger i løpet av lang tid (1-2 år, 4 ganger per år). Disse målinger kan være en solid data grunnlag for undersøkelse av korrosjon, blant annet baseres på mere data kan det oppdages korrosjonsraten av hver lyktstolpe. Et forslag til kan være å spørre om et utrangerte lysmast som ble i bruk før, og dette masten kan analyseres ved hjelp av destruktive tester inn på labben, blant annet salttåkekameraet, og da blir det bedre mulighet å undersøke korrosjon på inn og utsiden av prøven. I tillegg til det, kan dette prosjektet gjennomføres med tanke over kjemiske prosesser – det brukes forskjellige kjemisk aktive stoffer i industrien, blant annet NaCl og MgCl, derfor kan det være relevant å undersøke avhengighet mellom korrosjonsraten og saltkonsentrasjon. Ut ifra dette, kan det prognoseres restlevetiden til masten.

Det anbefales også å gjennomføre et grundig analysen av den delen av masten som står under bakken – hovedproblemet at Trondheim kommune har ikke presis informasjon over hvilket masten er med solid betongfundament og hvilket lysmasten bare satt rett inn i grusen uten beskyttelsen. Dessverre det ble ikke mulig å bestemme det ved hjelp av UT-testing.

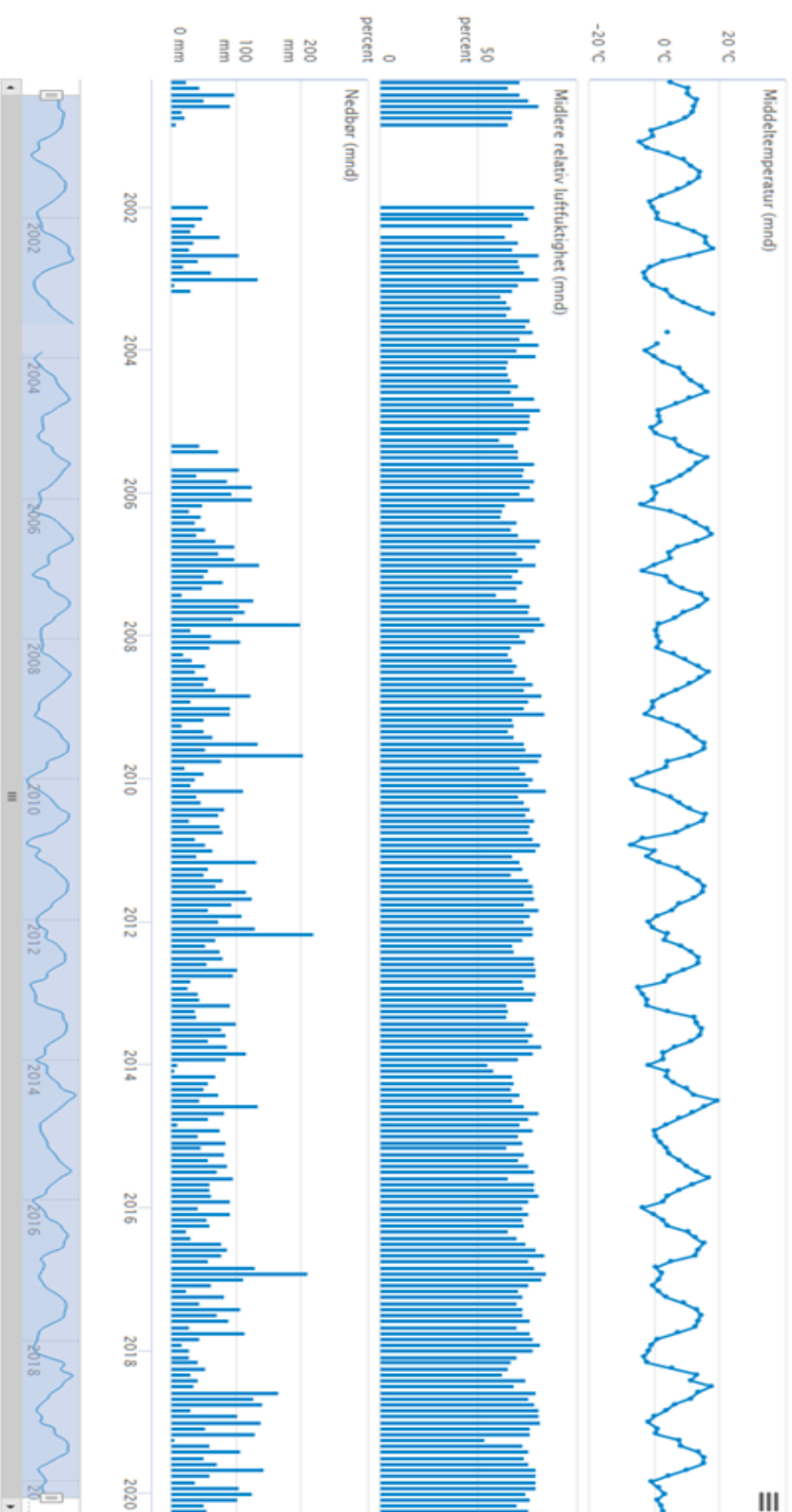
Det siste forslaget til prosjektet, er å gjennomføre forsøket med tanke på økonomien – hovedsakelig, hva blir det enklest og billigst løsning for å beholde lysmasten i god tilstand. Blir det bedre å erstatte alle gamle mastene med de nye galvaniserte med en gang og spare penger videre eller kanskje det blir mer lønnsomt å bestille gamle type av lysmastene som er billigere mens med lavere levetiden.

Referanser

1. Data, O.W.i., *Natural Disasters*. 2019.
2. International, N., et al., *International Measures of Prevention, Application, and Economics of Corrosion Technologies Study*. 2016: p. iii.
3. Ianuzzi, M., *Corrosion Definition*. 2013.
4. Edward F. Wente, J.N., E.F. Wondris, *Steel*, in *Encyclopædia Britannica*. 2019, Encyclopædia Britannica.
5. Britannica, T.E.o.E., *Stainless steel*, in *Encyclopædia Britannica*. 2018, Encyclopædia Britannica, inc.
6. Cunat, P.-J. *Alloying Elements in Stainless Steel and Other Chromium-Containing Alloys*. 2004.
7. Aalco. *Stainless Steels Alloying Elements*. Ferrous and Non-Ferrous Metals Stockist 2019 [cited 2020 24 April]; Available from: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=13089>.
8. Davis, J.R., *Alloying: Understanding the Basics*. 2001: ASM International.
9. Galvanizing, C., *The Galvanizing Process*.
10. Association, A.G. 2020 [cited 2005 17 August]; Available from: <https://galvanizeit.org/hot-dip-galvanized-steel-for-parking-structures/hot-dip-galvanizing>.
11. Mann, C.a., *The Best Way To Protect Steel From Corrosion*. 2019.
12. Bardal, E., *Korrosjon og korrosjonsvern*. 1994, Trondheim: Tapir.
13. American Hot Dip Galvanizers Association & Zinc Institute, I., *Inspection Manual for Hot Dip Galvanized Products*. USA.
14. Transportation), N.N.C.D.o., *Guide to Inspection of Hot Dip Galvanized Products (Guardrail Products)*. 1995: North Carolina.
15. Langill, T.J., *Inspection of Hot Dip Galvanized Articles*. 2001: NACE International.
16. Roberge, P.R., *Handbook of Corrosion Engineering*, ed. R. Esposito. 1999: McGraw-Hill.
17. association, A.G. *Steel Corrosion*. Available from: <https://galvanizeit.org/corrosion/corrosion-process/steel-corrosion>.
18. Francis, R., *Galvanic Corrosion: A Practical Guide for Engineers*. 2001: NACE International.
19. Ahmad, Z., *Chapter 1 - Introduction to Corrosion*. 2006, Elsevier Ltd. p. 1-8.
20. Cicek, V., *Factors Influencing Corrosion*. 2014, Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, NJ, USA. p. 25-33.
21. Zaki, A., *Chapter 10 - Atmospheric Corrosion*. 2006: Elsevier Ltd. 550-575.
22. Cicek, V., *Corrosion Mechanisms*. 2014, Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, NJ, USA. p. 35-42.
23. Wales, U.o.N.S. *Dry Corrosion*. 2020; Available from: <http://www.materials.unsw.edu.au/tutorials/online-tutorials/1-dry-corrosion>.
24. Tro, N.J., *Chemistry - A Molecular Approach, 4th edition*.
25. International, N. *Galvanic Corrosion*. Available from: <https://www.nace.org/resources/general-resources/corrosion-basics/group-1/galvanic-corrosion>.
26. Association, G. *Galvanic corrosion*. Available from: <https://www.galvanizing.org.uk/galvanic-corrosion/>.
27. Clinic, C. *Galvanic Corrosion, Bimetallic Corrosion or Dissimilar Metal Corrosion: Causes and Prevention; Galvanic Corrosion Recognition*. Available from: https://www.corrosionclinic.com/types_of_corrosion/galvanic_corrosion.htm.
28. International, N. *Uniform Corrosion*. Corrosion Basics; Available from: <https://www.nace.org/resources/general-resources/corrosion-basics/group-1/uniform-corrosion>.
29. Guide, T.M.C. *Uniforme corrosion* Available from: https://www.cdcorrosion.com/mode_corrosion/corrosion_uniform.htm.

30. AS, S. *Uniform Corrosion (General Corrosion)*. Available from: <https://www.materials.sandvik/en/materials-center/corrosion/wet-corrosion/general-corrosion/>.
31. jette55. pixabay.com.
32. La-Niece, S., *Metal Plating and Patination: Cultural, technical and historical developments*. 2013: Elsevier Science.
33. Britannica, T.E.o.E., *Statue of Liberty*, in *Encyclopædia Britannica*. 2020, Encyclopædia Britannica, inc.
34. shproteg/Fotolia, *Detail of the head and crown of the Statue of Liberty, New York City*, Image, Editor., Encyclopædia Britannica.
35. Rui, J., *Korrosjon*, in *Bedriftsblogg*. 2014.
36. Roberge, P.R., *Corrosion Testing Made Easy: Erosion-Corrosion*. 2004: NACE Press Book.
37. Doctors, C. *Erosion Corrosion*. 2020; Available from: <https://corrosion-doctors.org/Forms-Erosion/erosion.htm>.
38. International, N. *Erosion, Corrosion Basics*. 2020; Available from: <https://www.nace.org/resources/general-resources/corrosion-basics/group-2/erosion>.
39. Louise Mearns, D.H., Richard Carroll, Alistair Crichton, Jack Fraser, Phil Ligertwood, John MacDonald, Ali Moncur, Caroline Scott, Geraint Rhys-Davies, Konstantinos Vatopoulos, Neil Barton, *Guidelines on sand erosion and erosion-corrosion management*. First ed. 2017, London: Energy Institute. 14.
40. E.Bardal, *Corrosion and Protection*. 2003, London: Springer.
41. International, N. *Corrosion Basics, Crevice Corrosion*. Available from: <https://www.nace.org/resources/general-resources/corrosion-basics/group-1/crevice-corrosion>.
42. Clinic, C., *Different types of corrosion, Crevice Corrosion*
43. Knudsen, O.Ø., *Korrosjonsbeskyttelse i tunneler*. 2015.
44. NACE, *Crevice 1*, C. 1, Editor.
45. NACE, *Crevice 2*, C. 2, Editor.
46. ResearchGate, C.I.f.R.C.-S.F.o.
47. International, N. *Pitting Corrosion*. Available from: <https://www.nace.org/resources/general-resources/corrosion-basics/group-1/pitting-corrosion#:~:text=or%20cup-shaped-,Pitting%20corrosion%20is%20a%20localized%20form%20of%20corrosion%20by%20which,products%20often%20cover%20the%20pits>.
48. G46-94, A., *Standard Guide for Examination and Evaluation of Pitting Corrosion*. 2018, ASTM International. p. 8.
49. Association, M. *Usikkerheten av målinger. Klassifisering*. 2017; Available from: https://info.metrologu.ru/spravochnik/metrologiya/izmereniya/klassifikaciya_pogreshnostey_izmereniy.html.
50. Revie, R.W. and H.H. Uhlig, *Atmospheric Corrosion*. 2008, Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, NJ, USA. p. 191-204.
51. Cole, I.S., D.A. Paterson, and W.D. Ganther, *Holistic model for atmospheric corrosion Part 1 - Theoretical framework for production, transportation and deposition of marine salts*. Corrosion Engineering, Science and Technology, 2003. **38**(2): p. 129-134.
52. Spillane, M.C., et al., *Oceanic whitecaps and their role in air - sea exchange processes*. 1986: p. 209-218.
53. McKay, W.A., et al., *Atmospheric Environment*. 1994: p. 3299-3309.
54. Zaki, A., *Chapter 4 - Types of Corrosion: Materials and Environments*. 2006: Elsevier Ltd. 120-270.
55. ASNT, *Codes and Standards Bodies Involved in NDT Industry*. 2016.
56. ASNT, *Recommended Practice No. SNT-TC-1A: Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing*. 2016.
57. Butterfield, A.J. and J. Szymanski, *NDT*. 2018, Oxford University Press.

58. EN, B., *Non-destructive testing. Ultrasonic testing. General principles*. 2014.
59. EN, B., *Founding. Ultrasonic examination. Steel castings for general purposes*. 2003.
60. Josef Krautkrämer and H. Krautkrämer, *Ultrasonic Testing of Materials*. 4 ed. 1990, Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Hardcover: 677 pages.
61. News, N., *Basic Principles of Ultrasonic Testing*. 2014
62. Auld, B.A., *Acoustic Fields and Waves in Solids, Vol I & II, 2 edition*. 1990: Krieger Publishing Company.
63. ISO, B.E., *Non-destructive testing. Ultrasonic thickness measurement*. 2019.
64. Cartz, L., *Nondestructive Testing: Radiography, Ultrasonics, Liquid Penetrant, Magnetic Particle, Eddy Current* 1995: ASM International. Hardcover: 229 pages.
65. SZUtest, *NDT – Non Destructive Testing Methods, UT-ultrasonic testing and thickness measurement*. 2019.
66. Prokhorenko Peter, M.N., *Introduction to Capillary Testing Theory*. 1988, Minsk: Nauka i Tekhnika Publishing House.
67. Technologies, N., *Liquid Penetrant Testing*.
68. Tracy, N.A., P.O. Moore, and A.S.f.N. Testing, *Liquid Penetrant Testing*. 1999: American Society for Nondestructive Testing.
69. Larson, B., *Study of the Factors Affecting the Sensitivity of Liquid Penetrant Inspections*. 2002, Center for Aviation Systems Reliability, Iowa State University: Washington, D.C. 20591. p. 59.
70. Halmsaw, R., *Introduction to the Non-Destructive Testing of Welded Joints*. 1996, Cambridge: Woodhead Publishing. 128.
71. Worman, J., *Magnetic Particle Examination*. 2011
72. Betz, C.E., *Principles of Magnetic Particle Testing*. 1973: Magnaflux Corporation.
73. Lovejoy, M.J., *Magnetic Particle Inspection: A practical guide*. 1993: Chapman Hall.
74. Small, C. and R.J. Nicholls, *A Global Analysis of Human Settlement in Coastal Zones*. Journal of Coastal Research, 2003. **19**(3): p. 584-599.
75. Nations, U., *The Ocean Conference, Factsheet: People and Oceans*. 2017.
76. Klimaservicesenter, N. 2016; Available from:
<https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/article.xhtml?uri=klimaservicesenteret/klimaprotfiler/klimaprofil-sor-trondelag>.
77. Copernicus, M.T. 2020, Google.
78. NRK, M.i., *Historikk for været*. 2000-2020.
79. Andreas Ørnes, S.S., *Risikostyring i Polar Quality AS*. 2014.



Vedlegg 2 (bilder av mastene)

Guttorms Gate

Lyktestolpe 5



Vik Ørsta, den nye masten.

Lyktestolpe 1



Lyktestolpe 2



Lyktestolpen fra Gattes Gate.



Lyktestolpe 3



Møllebakken
Lyktestolpen 19



Lyktestolpen 20



Lyktestolpen 21



Lyktestolpen 22





Lyktestolpen 23



Lyktestolpen 24



Lyktestolpen 25



Marie Wexelsens Veg

Lyktestolpen 1



Lyktestolpen 2



Lyktestolpen 3



Lyktestolpen 4



Lyktestolpen 5



Vedlegg 3

Tabeller og Excel beregninger. Alle beregninger i mm.

1. Øya, Guttorms gate

	Lyktestolpen 5	Lyktestolpen 1	Lyktestolpen 2	Lyktestolpen 3	
Måling 1	4,61	8,20	8,17	10,73	
Måling 2	4,73	8,7	8,23	10,47	
Måling 3	4,98	8,52	8,04	8,45	
Måling 4	4,62	8,31	7,92	8,71	
Måling 5	4,67	8,12	7,94	8,41	
	(nye lyktestolpe som ble laget av Vik Ørsta)				
	Gjennomsnittlig tykkelse:				
	4,72	8,37	8,06	9,35	
	Standartavvik:				
	0,15	0,24	0,14	1,15	
	Relativt St.Avvik:				
	3%	3%	2%	12%	
	Gjennomsnittlig sum:				
	7,63				
	Standartavvik:				
	2,01				
	Relativt St.avvik:				
	26%				

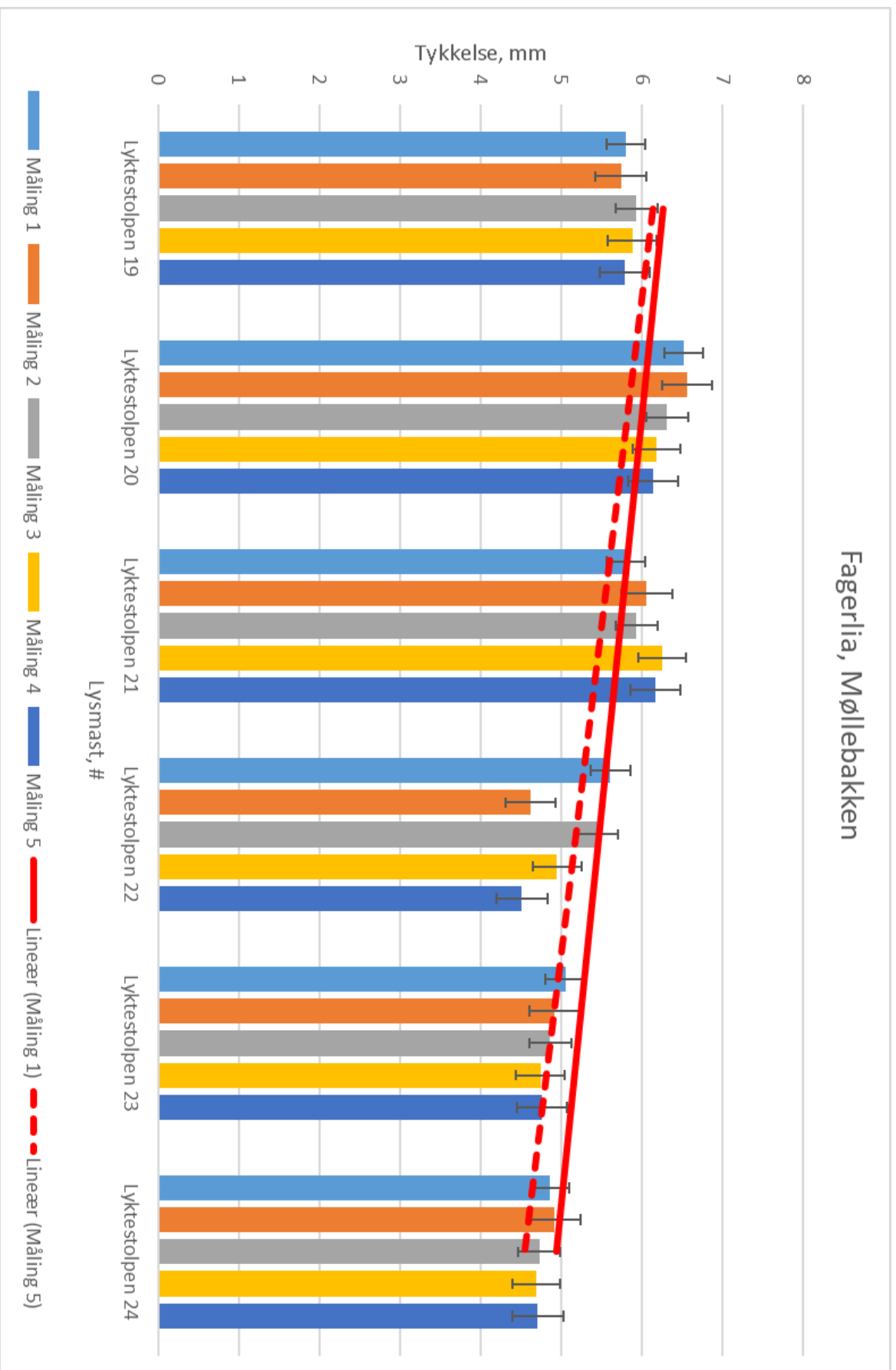
Øya, Guttorms gate



2. Fagerlia, Møllebakken

	Lyktestolpen 19	Lyktestolpen 20	Lyktestolpen 21	Lyktestolpen 22	Lyktestolpen 23	Lyktestolpen 24	Lyktestolpen 25
Måling 1	5,8	6,52	5,8	5,61	5,05	4,86	
Måling 2	5,74	6,56	6,06	4,62	4,92	4,92	
Måling 3	5,93	6,31	5,93	5,45	4,86	4,73	
Måling 4	5,88	6,18	6,25	4,95	4,74	4,69	
Måling 5	5,79	6,14	6,17	4,51	4,76	4,71	
	Gjennomsnittlig tykkelse:						
	5,83	6,34	6,04	5,03	4,87	4,78	
	Standardavvik:						
	0,08	0,19	0,18	0,49	0,13	0,10	
	Relativt St.Avvik:						
	1%	3%	3%	10%	3%	2%	
	Gjennomsnittlig sum:						
	5,48						
	Standardavvik:						
	0,67						
	Relativt St.Avvik:						
	12%						

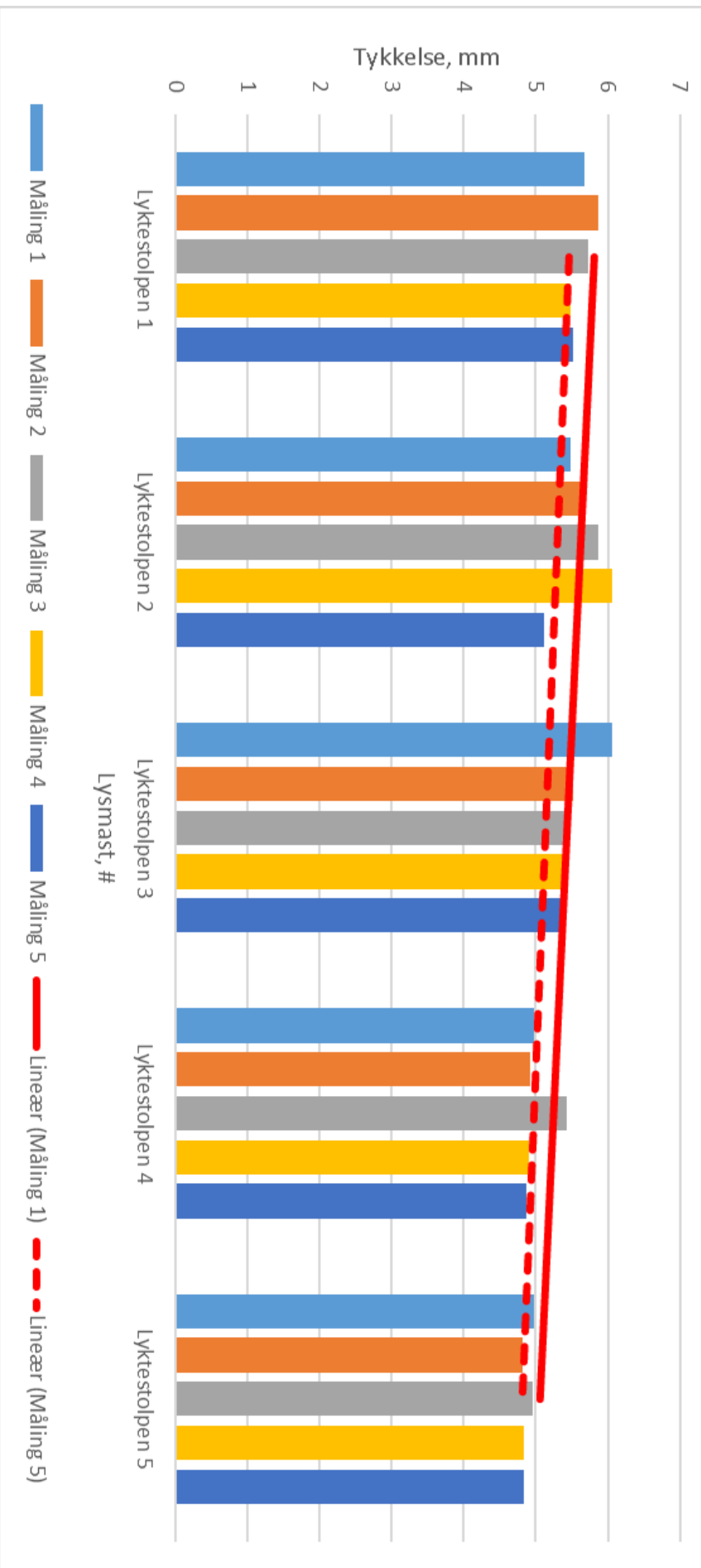
Fagerlia, Møllebakken



3. Persaunet, Marie Wexelsens Veg

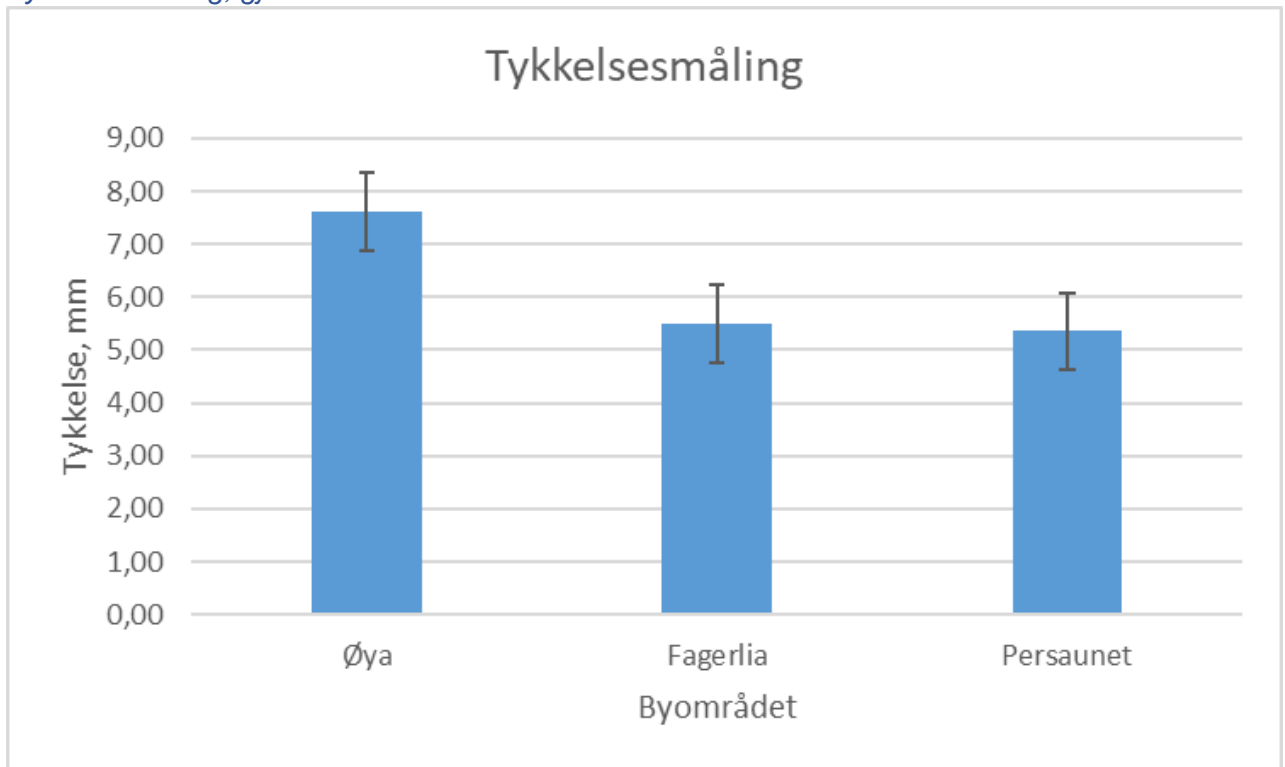
	Lyktestolpen 1	Lyktestolpen 2	Lyktestolpen 3	Lyktestolpen 4	Lyktestolpen 5
Måling 1	5,68	5,49	6,06	4,98	4,98
Måling 2	5,87	5,68	5,51	4,92	4,82
Måling 3	5,72	5,87	5,43	5,43	4,95
Måling 4	5,49	6,06	5,41	4,91	4,84
Måling 5	5,52	5,11	5,36	4,87	4,83
	Tykt lag (maling)				
	Gjennomsnittlig tykkelse:				
	5,66	5,64	5,55	5,02	4,88
	Standartavvik:				
	0,16	0,37	0,29	0,23	0,08
	Relativt St. Avvik:				
	2,75%	6,48%	5,19%	4,61%	1,54%
	Gjennomsnittlig sum:				
	5,35				
	Standartavvik:				
	0,37				
	Relativt St.avvik				
	7%				

Persaunet, Marie Wexelsens Veg

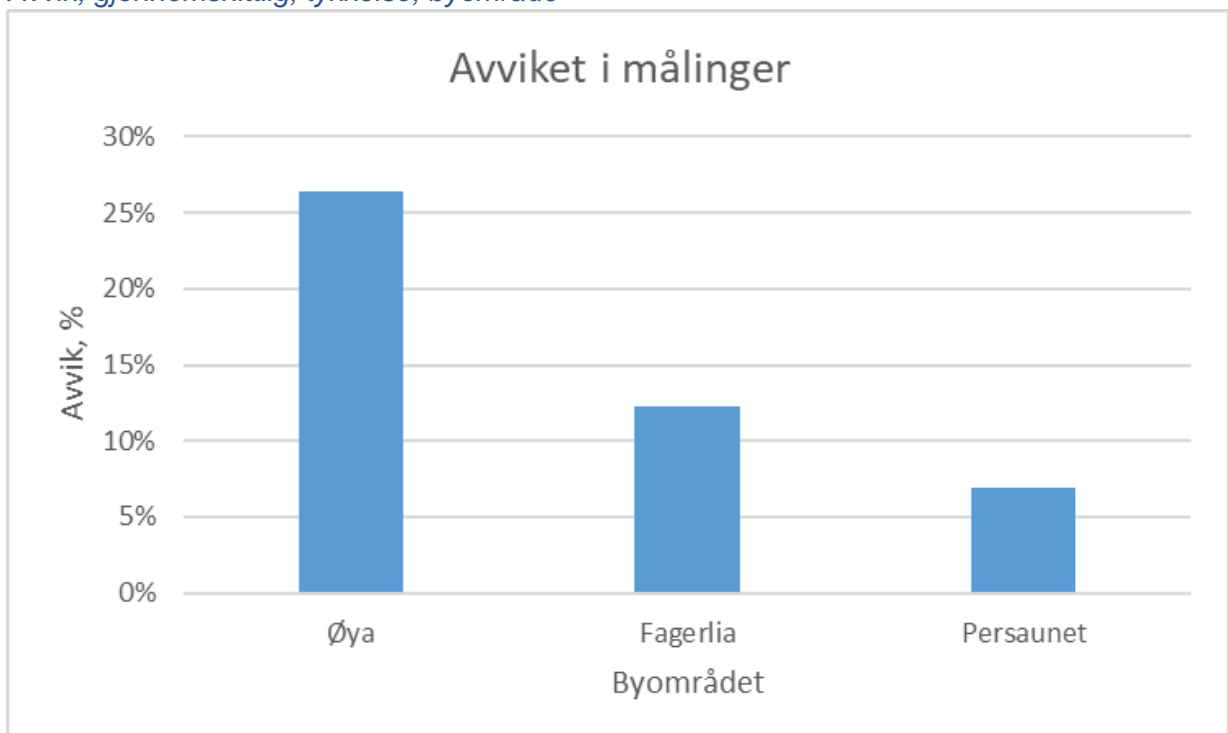


4. Sammensetning av byområder

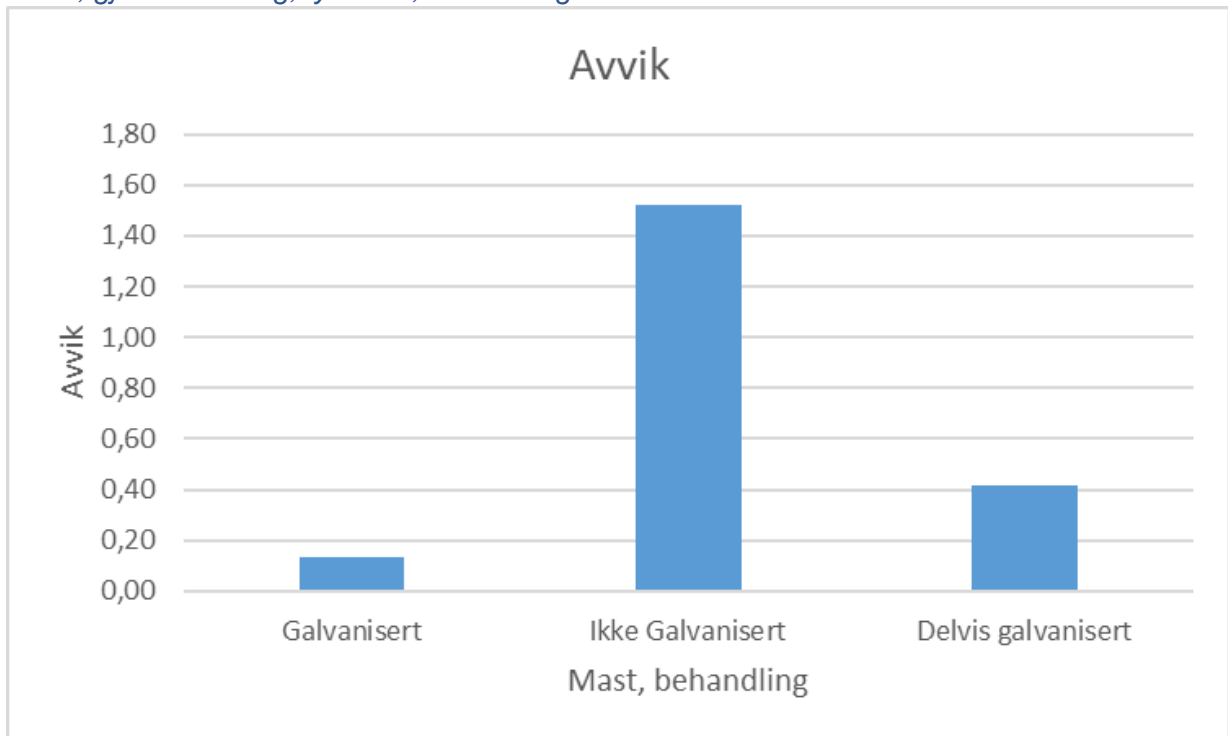
Tykkelsesmåling, gjennomsnitt



Avvik, gjennomsnittlig, tykkelse, byområde



Avvik, gjennomsnittlig, tykkelse, behandling

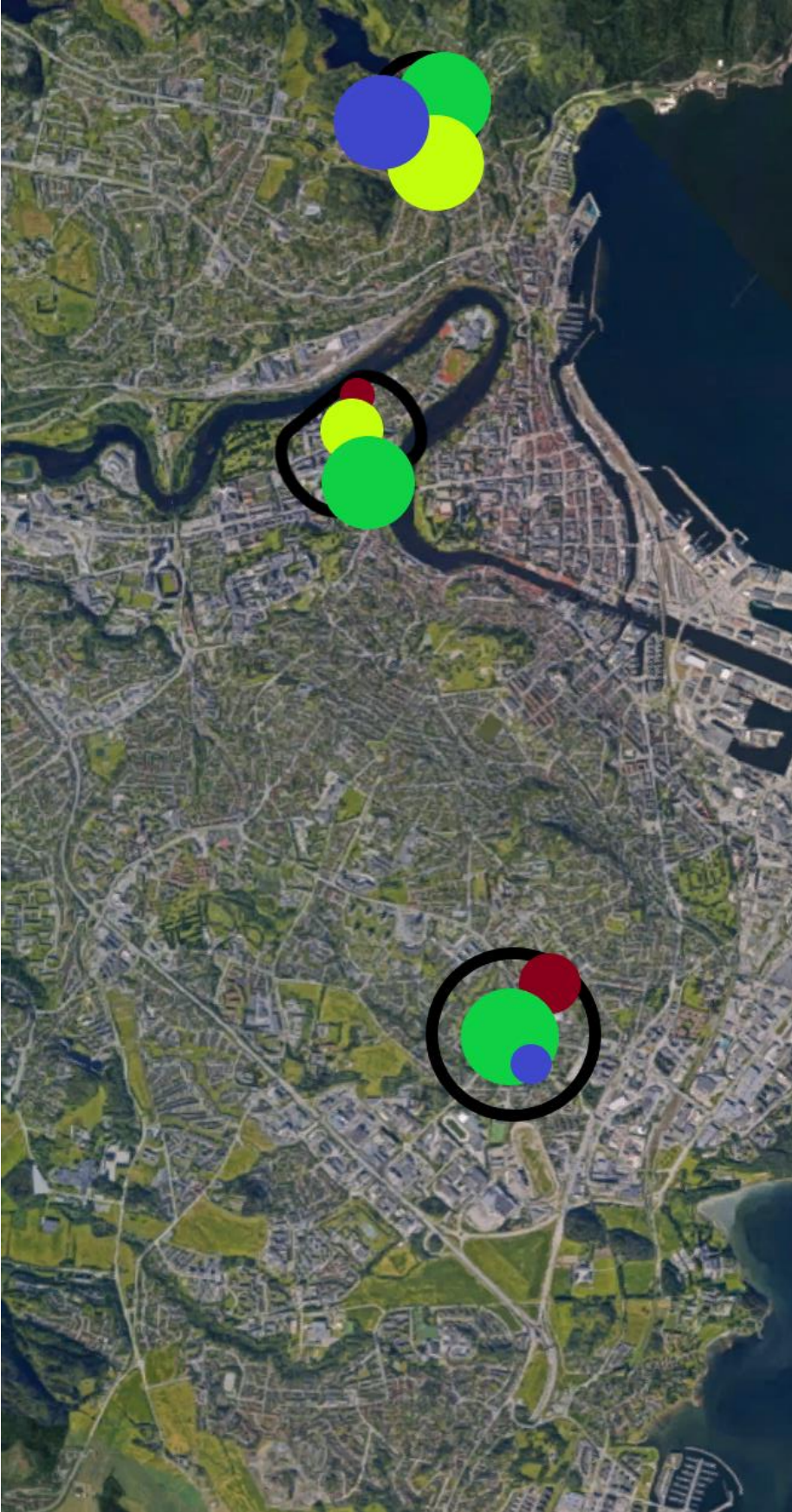


Data til behandlingstyper, mm:

Galvaniserte	Ikke Galvaniserte	Delvis galvaniserte
4,61	8,2	5,49
4,73	8,7	5,68
4,98	8,52	5,87
4,62	8,31	6,06
4,67	8,12	5,11
5,05	8,17	6,06
4,92	8,23	5,51
4,86	8,04	4,98
4,74	7,92	4,92
4,76	7,94	5,43
4,86	10,73	5,43
4,92	10,47	5,41
4,73	8,45	4,91
4,69	8,71	5,36
4,71	8,41	4,87
	5,8	4,98
	5,74	4,82
	5,93	4,95
	5,88	4,84
	5,79	4,83
	6,52	
	6,56	
	6,31	
	6,18	
	6,14	
	5,8	
	6,06	
	5,93	
	6,25	
	6,17	
	5,61	
	4,62	
	5,45	
	4,95	
	4,51	
	5,68	
	5,87	
	5,72	
	5,49	
	5,52	
Gjennomsnittlig verdi:		
4,79	8,59	5,41
St.avvik for		
Galvanisert	Ikke Galvanisert	Delvis galvanisert
0,13	1,52	0,41

Vedlegg 4

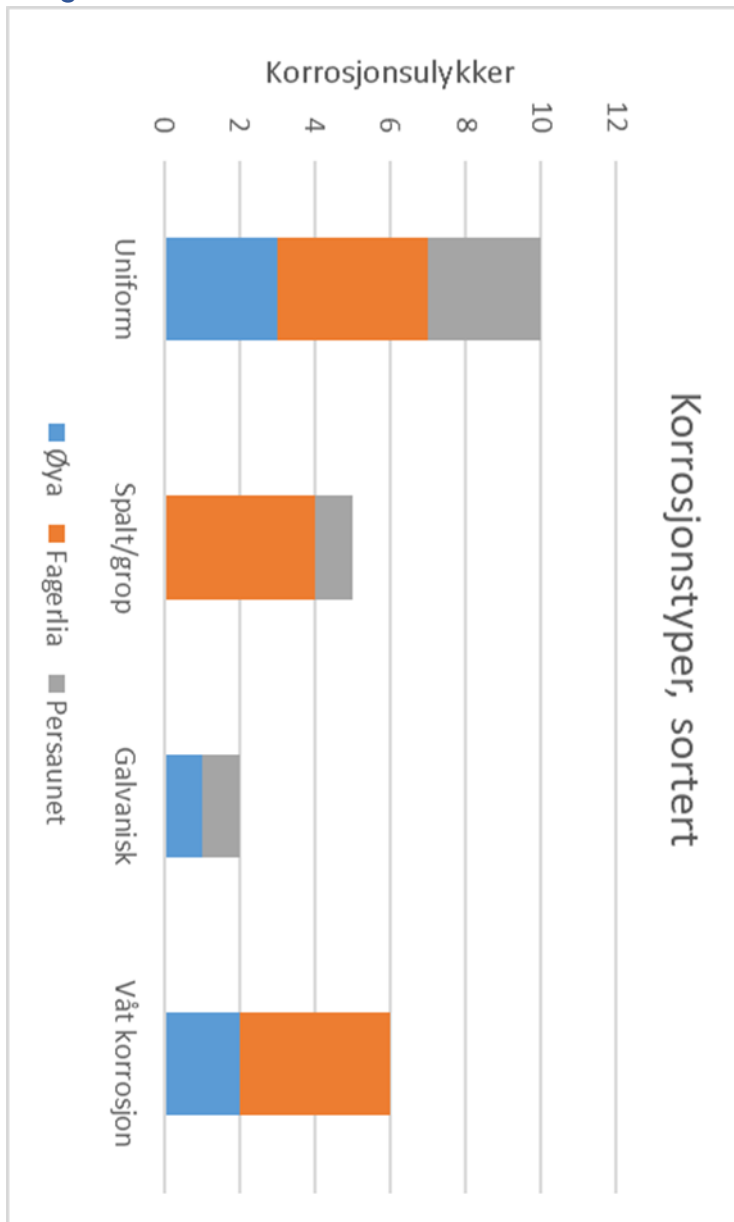
Kartutsnitt



Utregninger (mm):

	Øya	Fagerlia	Persaunet
Uniform	3	4	3
Spalt/grop	0	4	1
Galvanisk	1	0	1
Våt korrosjon	2	4	0

Diagram:



Boblediagram og utregning for sum (mm):

	Øya	Fagerlia	Persaunet
Korrosjonsulykker:	6	12	5

Korrosjonsulykker:

