

Korrosjon i klatreparksystemer

Av Børge Styrvold

Corrosion in climbing park systems

By Børge Styrvold

Oppgavenummer: IMA-B-15-2019

Studenter: Børge Styrvold

Innleveringsdato: 20.05.2019

Intern veileder: Roald Lilletvedt

Oppdragsgiver: Høyt og Lavt Aktivitetspark AS

Kontaktperson: Stein-Ivar Hovland



Institutt for materialteknologi

Forord

Denne oppgaven ble gitt til meg av Høyt&Lavt Aktivitetspark AS. Jeg hadde lenge ett ønske om å kunne skrive en bachelor oppgave i samarbeid med Høyt&Lavt ettersom det ville gi meg en mulighet til å kombinere studiet mitt med deltidsjobben jeg har hatt i flere år nå. En kombinasjon som dette har bidratt til å motivere og inspirere meg under arbeidet med oppgaven. Jeg vil gjerne takke Høyt&Lavt for at jeg fikk skrive oppgave for dem, samtidig som også NTNU og veiledere har vært til stor hjelp med gode råd og hjelp.

Sammendrag

Hensikten med denne oppgaven var å undersøke hvordan korrosjon kan forekomme og påvirke bestemte elementer i en klatrepark. Spesielt var det fokusert på easybraketter og gjengestenger og på hvilke korrosjonsformer som kan true disse delene. Naturlig korrosjon av metaller i treverk vil også bli sett nærmere på i et forsøk på å kartlegge farene ved å forankre metaller i treverk.

I denne oppgaven er det gjennomført en kontinuerlig test av en trestokk av materiale som blir brukt i klatrepark, i salttåkekammer over en periode på 30 dager. Dette forsøket er basert på ASTM G198-17 standarden og Study Report SR244 gjennomført av BRANZ og er en akselerert korrosjon test. Den akselererte korrosjonstesten som er gjennomført består av to undersykluser, en tørr og en våt syklus. Ved siden av denne testen i salttåkekammeret er det blitt testet tykkelsen på sinkbelegg ved stripping av varmegalvanisert belegg etter standarden ASTM A90/A90M. Utleverte deler som har vært brukt i klatrepark og blitt utsatt for korrosjon eller brudd er også blitt analysert, både visuelt og ved hjelp av SEM.

De galvaniserte materialene som brukes i klatrepark har et tykt lag med sink som beskytter stålet mot korrosjon, over 1000 g/m^2 . Gjengestangen er ett slikt galvanisert material, men når det forankres i ett tre kan dette sinkbelegget være en svakhet ettersom det kan utsettes for punktkorrosjon som kan kraftig akselerere ett potensielt brudd av stangen. Easybraketter er satt sammen av flere ulike materialer og den største trusselen de møter er galvanisk korrosjon på skruene som holder easybraketten sammen.

Generelt er tiltakene mot korrosjon i klatreparken ganske gode, men enda bedre utbredt kunnskap rundt temaet kan hjelpe ansatte med å raskere oppdage potensielle problemer før det oppstår alvorlige brudd.

Summary

The purpose of this paper is to take a closer look at how corrosion can occur and affect certain parts in a climbing park. Specifically will it be focused on the easybracket and threaded rods and on what types of corrosion that could possibly threaten these parts. Natural korrosjon of metalls in wood is also something that will be looked in too, as an attempt to asses the dangers of embedding metalls in wood.

In this paper a continuous cyclic test of a log, with metals embedded in it, have been performed in a salt spray corrosion chamber over a period of 30 days. This test is inspired by ASTM G198-17 and Study Report SR244 by BRANZ, and is an accelerated corrosion test. The test is performed in one cycle, which includes a dry cycle and a wet cycle. Besides this accelerated test the thickness of zinc on galvanized parts have been checked by stripping the zinc coating after the ASTM A90/A90M standard. Parts that have been used in climbing parts and had a fracture has been analyzed visually and with SEM.

The galvanized material used in a climbing park have a thick zinc coating, above 1000g/m^2 , that protects the steel from corrosion. The threaded rod is one of these galvanized parts, but when it is embedded in wood pitting corrosion can occur, which significantly increases the dangers of a fracture in the rod. The easybracket is constructed by multiple different parts and materials, and the biggest threat for this part is galvanic corrosion on the screws which keeps the bracket together.

In general, the measures taken against corrosion in climbing parks is pretty good, but better knowledge about the issue among employees could help with preventing potential issues before a serious fracture happens.

Innholdsfortegnelse

1. Innledning	5
1.1 Bakgrunn	5
1.2 Hensikt	5
1.3 Problemstilling	5
1.4 Oppdragsgiver	6
1.5 Materiale utdelt med begreper	6
2. Teori	7
2.1 Korrosjon og korrosjonsvern	8
2.1.1 Galvanisk korrosjon	8
2.1.2 Spaltningskorrosjon	9
2.1.3 Punktkorrosjon	9
2.1.4 Spenningskorrosjon og utmattingskorrosjon	10
2.1.5 Malte overflater	10
2.2 Korrosjon i treverk	11
2.2.1 Naturlige korrosive elementer	11
2.2.2 Tilfeldige korrosive elementer	12
2.2.3 Relativ surhet av ulike treslag	12
2.2.4 Treverk som elektrolytt	12
2.2.5 Korrosjon i treverk i forhold til atmosfærisk korrosjon	13
2.2.6 Kjemi i trær	13
2.3 Varmegalvanisering	14
2.3.1 Korrosjonsvern ved sinkbelegg	14
2.3.2 Avgalvanisering/stripping av sinkbelegg	15
2.3.3 Hvit rust	15
2.4 Effekten av korrosjon på materialets bruddstyrke og duktilitet	16
2.5 Salttåkekammer	17
2.6 SEM	17
2.7 XRF	17
3. Bakgrunn for metode	18
3.1 Salttåkekammer test	18
3.2 Elektrodepotensial	18
3.3 Beregne tykkelsen til sinkbelegg	19
4. Metode	19
4.1 Salttåkekammer test	19
4.2 Stripping av sinkbelegg	20
4.3 SEM	21
5. Resultater	21
5.1 Stripping av galvanisert sinkbelegg	21
5.2 Kontinuerlig test i salttåkekammer	22
5.3 SEM	23
6. Diskusjon	23
6.1 Stripping av galvanisert belegg	23
6.2 Syklisk test i salttåkekammer	24
6.3 SEM og visuell undersøkelse av brukte deler	27
6.4 Innhenting av informasjon fra park	29
7. Konklusjon	30
8. Kilder	31
 Vedlegg 1: HMS Risikovurdering	 33
Vedlegg 2: Populærvitenskapelig artikkel	34

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Høyt og Lavt (H&L) bruker mange ulike typer materiale i kontakt med treverk, og har en interesse av å fullføre en test og bygge videre på kunnskapene som allerede er innad i bedriften om materialer i treverk og påvirkningen korrosjon har på ulike komponenter. Hovedfokuset vil ligge på gjengestenger boret tvers gjennom trær og easybraketten som er satt sammen av flere ulike mindre komponenter.

H&L sto for utdeling av det materialet som var nødvendig for å gjennomføre relevante tester i henhold til den gitte problemstillingen. Det er hovedsakelig blitt brukt mye varmforsinket materiale, det hender også at noe elforsinket og/eller syrefast materiale brukes. Oppgaven er fokusert på hvordan kombinasjonen av de ulike delene H&L bruker i sine klatreparkinnstallasjoner reagerer i kontakt med treverk.

Gjennom Høyt og Lavt vil det være å hente ut erfaringer innad i bedriften enten ved erfaringsoverføring med ansatte med teknisk ansvar i bedriften, eller ved å analysere Stamina Interaktiv. Stamina Interaktiv er ett verktøy som brukes for å få en enkel og god oversikt over utført HMS-arbeid, planlegging og klargjorte dokumenter som gir hjelp med hva som skal gjøres, hvordan og når det skal gjøres. Dette verktøyet hjelper en bedrift med å opprettholde alle kravene for HMS arbeidet i henhold til Arbeidsmiljøloven. [1]

1.2 Hensikt

Hensikten med oppgaven er å se på korrosjon som kan forekomme ute i en klatrepark. Dette inkluderer blant annet korrosjonsformer, skader og hvilket tiltak som er gjort og hvilke tiltak som eventuelt kunne blitt satt til verks for å beskytte mot korrosjon. Hovedfokuset ved denne oppgaven vil være på korrosjon av easybraketter og gjengestenger. I tillegg er det også ønsket å drøfte rundt hvordan korrosjon vill påvirke bruddstyrken til en gjengestang, og eventuelt andre deler.

1.3 Problemstilling:

Kombinasjon av ulike typer materialer og overflatebehandlinger i klatreparkinnstallasjoner og påvirkningen det har ved korrosjon og på bruddstyrke. Ser hovedsakelig på to ulike komponenter: easybraketten, som kombinerer flere små deler og ulike materialer, og gjengestenger gjennom trær.

1.4 Oppdragsgiver

Høyt og Lavt Aktivitetspark AS er ett selskap som driver med utbygging, drift og vedlikehold av klatreinstallasjoner. Klatreinstallasjonene er satt sammen av flere ulike typer materialer og komponenter. De kan enten bygges i en stolpepark eller i ett naturlig skogområde. Når det blir brukt skogområder med levende trær vil det som oftest være til fordel for naturen, ettersom prosessen med å bygge parker er designet for å skade trærne og naturen så lite som mulig [2]. Etter hvert som bedriften har opparbeidet seg mer erfaringer gjennom årene så har det blitt byttet ut sikringsmetoden av løypene fra å surre vaieren rundt treet til å borre gjennom trærne og feste dem med gjengestenger. De aller fleste klatreparker kan som oftest demonteres etter 10 til 30 år uten at skogen har tatt noen skade. Høyt og Lavt har til sammen 15 ulike klatreparker rundt omkring i Norge og flere parker utenfor Norge. [3]

1.5 Materiale utdelt med begreper

Easybrakett – En easybrakett er sammensatt av flere mindre deler. En easybrakett består av en bakplate av rustfritt stål, en malt plate (farget oransje) og skruer med muttere for å holde hele konstruksjonen sammen. Mellom disse to platene vil det gå en vaier av galvanisert stål. En easybrakett er avbildet i figur 1.



Figur 1: En sammensatt easybrakett, uten vaier mellom platene.

Gjengestang M20/M16 – En gjengestang er en stang med gjenger. Blir brukt ved at det borres ett hull tvers gjennom treet, deretter stikkes gjengestangen gjennom hullet. M20 refererer til størrelsen på stangen. I figur 3 er en gjengestang avbildet.



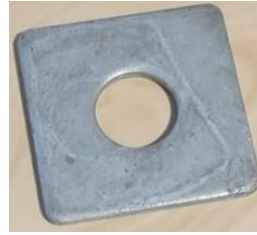
Figur 2: En gjengestang

Ringmutter M20 – En ringmutter er endestykke på gjengestangen. Brukes blant annet til å feste sikringsvaiere fra treet til bakken, dette gjør hele parksystemet mer solid. I figur 2 er det avbildet en ringmutter.



Figur 3: Ringmutter

Firkantskive M20 – Brukes til å holde avstand mellom treet og ringmutteren. Grunnen til at firkantskiven er der er for å unngå unødvendig skade på treet. Firkantskiven er avbildet i figur 4.



Figur 4: Firkantskive



Figur 5: Maillon

Maillon – Brukes til å koble sammen ulike deler, det er en kobling på samme måte som en karabinkrok. Maillon er laget av galvanisert stål. En maillon er avbildet i figur 5.

Talurit klemme - En aluminiumsdel som presses sammen og klemmer vaiere sammen. Talurit klemmen holder endene av en eller flere vaiere sammen. En talurit klemme er avbildet i figur 6.



Figur 6: Talurit klemme

2. Teori

Den stadige økende mengden med bruk av metalliske materialer, større variasjon i valg av materialet i bruk og utviklingen av nye teknologier og sammenføyingsmetoder gjør at stadig nye problemer oppdages og må tas hensyn til. Korrosjon er blitt ett langt viktigere tema å ha kunnskap til i senere år, ettersom det finnes mange problemer relatert til korrosjon som kommer av de materialteknologiske utviklingene i senere år [4]. Det er stor økonomisk gevinst ved å øke den generelle kunnskapen om korrosjon. NACE International, the National Association of Corrosion Engineers, gjennomførte i 2016 en studie som estimerte at verdens korrosjonskostnader var omtrent 3.4% av verdens bruttonasjonale produkt (BNP) i 2013, det vil si 2.5 billioner USD. NACE estimerte at mellom 15% og 35% av disse kostnadene kunne blitt spart årlig ved å bruke tilgjengelig kunnskap om korrosjon og korrosjonskontroll. Disse tallene inkluderer i tillegg ikke kostnader som individuell sikkerhet eller miljøkonsekvenser [5].

Kunnskap til ulike typer korrosjon, behandlinger mot og av korrosjon, og korrosjonskontroll metoder vil være viktig. Det finnes mye informasjon og ulike typer, men i denne oppgaven vil det fokuseres på de mest relevante typene korrosjon, behandlinger og kontroll for en aktivitetspark som Høyt og Lavt. Hovedfokuset vil ligge på to typer elementer, gjengestenger og easybraketten og på hva slags korrosjon skader som realistisk kan oppstå med disse elementene i miljøet de brukes, og på hvordan korrosjon vil påvirke bruddstyrke.

2.1 Korrosjon og korrosjonsvern

Mange ulike korrosjonsformer kan forekomme, og alle formene av korrosjon har ulike kjennetegn og ulike krav som må oppfylles for at den spesifikke typen korrosjon skal oppstå. Generell korrosjon, eller jevn/uniform korrosjon, er den vanligste formen for korrosjon. Ved avvik fra forutsetningen for generell korrosjon vil andre typer korrosjon kunne oppstå. Slike avvik kan skyldes blant annet de følgende tre avviksgrunnene, men også andre avvismekanismer kan finne sted:

1. Konstruktiv utforming, overflatens makrogeometri
2. Kombinasjonen av metall og miljø
3. Overflatetilstanden til materialet, hovedsakelig renhet og ruhet, samt passive lag som dannes på overflaten av metaller.

Disse faktorene fører blant annet til ulike avvik i korrosjonsangrepets geometri og de synlige trekkene ved typene korrosjon i sammenlikning med den generelle korrosjonen. Det er praktisk å skille mellom ulike korrosjonsformer ved hjelp av utseendet på korrosjonsangrepet. Fordelen med denne måten å skille mellom korrosjonsformer er at det vil være mulig for ett trent øye å indentifisere korrosjonsformer ut ifra visuell inspeksjon av korrosjonskader, enten under lupe eller med det blotte øye. [4]

De ulike korrosjonsformene har karakteristiske årsaker, og dermed kan en finne indikasjoner til korrosjonsårsaken allerede etter en visuell inspeksjon. Utenom generell korrosjon er det mange ulike typer korrosjon som kan oppstå, men de mest relevante vil være galvanisk korrosjon, spaltkorrosjon, punktkorrosjon, spenningskorrosjon og korrosjonsutmatting.

Med hensyn til de utdelte delene fra Høyt&Lavt vil noen av de ulike korrosjonsformene være mer relevante for en av de utdelte delene og andre former vil være relevante for andre deler. Hvilken korrosjonsformer som er mest aktuelle for de ulike delene vil diskuteres nærmere i diskusjonsdelen.

2.1.1 Galvanisk korrosjon

Galvanisk korrosjon refererer til korrosjonsskade som blir forårsaket av at to, eller flere, ulike metaller og/eller materialer kobles sammen i en korrosiv elektrolytt, som for eksempel vann. Når et galvanisk par dannes vil ett av metallene i paret danne anoden, dette metallet som danner anoden vil korrodere raskere enn det ville gjort alene. Det andre metallet danner katoden og vil korrodere saktere. Det edleste metallet i den metalliske koblingen vil være katoden. I figur 7 er det illustrert hvordan galvanisk korrosjon kan fremstå.

Rustfrie stål kan virke som både anode og katode i en galvanisk celle, dette skyldes rustfrie stål sin evne til å danne passive lag



Figur 7: Galvanisk korrosjon mellom skruehode og bakplate [22]

på overflaten sin i kontakt med oksygen eller andre oksiderende medier, som nitrider og sulfider. Disse passiviserende filmene kan bli ødelagt og i syrer vil stålet korrodere raskt. Før en velger ett rustfritt stål for bruk i ett bestemt miljø, må en vite om dette miljøet vil føre til at det rustfrie en ønsker å bruke er i passiv tilstand eller i aktiv tilstand. Eksempler på galvanisk korrosjon er på stål rør med messingsbeslag, mellom rørene og platene i varmevekslere, og inne i horisontale stabilisatorer i fly. [6]

2.1.2 Spaltkorrosjon

Spaltkorrosjon er en lokalisert form for korrosjon som forårsakes av avsetninger av støv og gjørme på metalloverflaten, eller ved forekomst av hulrom og hull mellom tilstøtende flater. Denne korrosjonsformen er vanligvis forbundet med stillestående mikromiljøer som oftest oppstår i sprekker. Spaltkorrosjon kan finne sted under skruehoder, i isolasjonsmaterialer, i gjenger og i klemmer. Faktorer som kan påvirke spenningskorrosjon kan for eksempel være spalttyper, karakteristikken til den passiviserende filmen og masseoverføringen inn og ut av spalten. Mekanismen til spaltkorrosjon er komplisert, og ofte forenkles mekanismen i bøker. En enkel mekanisme for spaltkorrosjon eksisterer ikke, men de fleste mekanismene heller er basert på flere ulike typer konsentrasjonsceller.

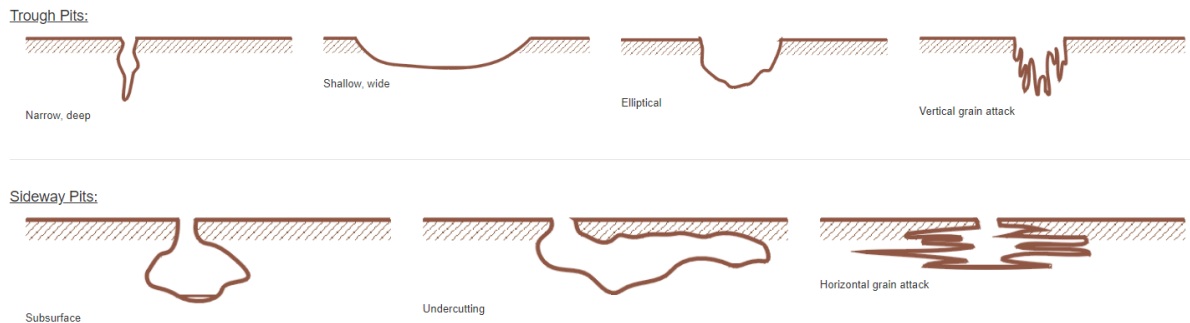
Ett eksempel på en slik konsentrasjonscelle er metall-ion konsentrasjonsceller hvor forskjellen av metall-ioner mellom spalten og utsiden danner en korrosjonscelle. Det er i tillegg mulig at en høy konsentrasjon av oksygen på overflaten og en lav oksygenkonsentrasjon inne i spalten skaper differensielle luftingskorrosjonsceller (differential aeration cell på engelsk), en slik celle initierer spaltkorrosjon. [6]

2.1.3 Punktkorrosjon

Punktkorrosjon, som spaltkorrosjon, er en lokalisert korrosjonsform hvor hull dannes i materialet, denne formen er også kjent som pitting. Pitting regnes generelt som en farligere korrosjonsform enn generell korrosjon ettersom det er vanskelig å oppdage, forutse og unngå denne typen korrosjonsangrep. Gropene som dannes ved pitting dekkes ofte av korrosjonsprodukter. Ulike typer punktkorrosjon er illustrert i figur 8. Metaller som danner passiviserende filmer, som aluminium og stål, er mer utsatt for punktkorrosjon. Punktkorrosjon er den farligste korrosjonsformen, da den forårsaker feil ved gropdannelse med minimalt vekttap på hele strukturen. Dette er en vanlig og stor feil i kjemisk prosessindustrier. Alvorligheten ved punktkorrosjon kan godt illustreres ved det faktum at hele systemet som oftest må byttes ut når denne type skade oppdages.

Generelt er miljøene som bidrar sterkest til pitting marine miljøer med ioner som for eksempel Cl^- , Br^- og I^- . I større konsentrasjoner har disse ionene en tendens til å forårsake gropkorrosjon. Groper dannes i samme typer miljøer både for stål og aluminium, ved spor av Cu^{2+} eller Fe^{3+} i vann vil lag av disse ionene legge seg på metalloverflaten og dette vil initiere

gropkorrosjon. Ett metall må være passivt for at gropkorrosjon skal kunne oppstå. Den passive filmen brytes ned og ødelegges lokalt, og dette tapet av passivitet fører til initiering av gropkorrosjon på metalloverflaten. Når det passive laget ødelegges vil det dannes en lokal korrosjonscelle, ettersom det dannes en anode hvor den passive filmen er forsvunnet. [6]



Figur 8: Ulike typer punktkorrosjon som kan oppstå, illustrerer hvordan skaden under overflaten kan være stor til tross for liten skade på selve overflaten [23]

2.1.4 Spenningskorrosjon og korrosjonsutmatting

Spenningskorrosjon og korrosjonsutmatting er korrosjonstyper som oppstår ved kombinasjon av spenninger og korrosive miljøer. Spenningskorrosjon vil dannes ved strekkspenninger, og korrosjonsutmatting skjer ved sykliske spenninger. Disse spenningen kan være påført direkte, eller så kan de være i form av restspenninger. Restspenninger kan oppstå ved kald deformasjon og forming, sveising, varmebehandlinger eller sliping. Korrosjonsutmatting forårsaker brudd ved at den beskyttende passive filmen brytes ned under utmattelsesprosessen, som fører til akselerert korrosjon. Ett mer korroderende miljø gjør at en lavere belastning kreves for å få utmattingskorrosjon. Ved spenningskorrosjon vil det meste av overflaten forbli uberørt, men med noen små, tynne og fine sprekker som trenger seg inn i materialet. [6]

2.1.5 Malte overflater

Den mest populære formen for korrosjonsvern er bruk av maling på metalloverflaten. Et tykt og ugjennomtrengelig belegg vil forhindre at ioner kommer inn til metalloverflaten. For eksempel er epoksy-malinger basert på at de skal være ugjennomtrengelig. Korrosjonsbeskyttende maling som brukes mot atmosfærisk stress utnytter korrosjonshemmende eller passiverende pigmenter for å fremme dannelsen av et lag som fungerer som en barriere over anodiske områder, dette passiviserer overflaten. Malingsbelegg beskytter ståloverflaten katodisk når den inneholder en tilstrekkelig mengde sinkstøv. [7]

2.2 Korrosjon i treverk

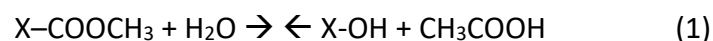
Tre er et naturlig korrosivt, og ved behandling kan treverk gjøres enda mer korrosivt. Trær og treverk inneholder eddiksyre, og i motsetning til de fleste andre korrosive stoffer er eddiksyre en såkalt VOC [8]. VOC står for Volatile Organic Compounds, eller Flyktige Organiske Forbindelser på norsk, og er en fellesbetegnelse på forbindelser som lett kan danne gasser. Problemer med korrosjon i treverk vil hovedsakelig oppstå i tre områder:

1. Inne i beholdere laget av treverk ved damp korrosjon. (ikke relevant)
2. Ved kontakt i landbaserte strukturer gjennom angrep av treverkets naturlige syrer og eventuelle kjemikalier brukt i behandlingen av treverket.
3. I kontaktpunkter i en nedsenket struktur, hvor galvaniske mekanismer dominerer.

[9]

2.2.1 Naturlige korrosive elementer i treverk

Hovedbestanddel av trær er cellulose, et polysakkarid. Cellulose er et polymer laget av sukker molekyler satt sammen i lange kjeder. Hver enkelt av disse sukker enhetene inneholder mildt basiske hydroksylradikaler, OH, som er den nøytrale versjonen av hydroksid ionet OH⁻. Hydroksylradikaler er meget reaktive og har deretter kort varighet [2]. Radikaler beskriver ett molekyl hvor ikke alle bindingene er i bruk. Når disse hydroksylradikalene blir kombinert med eddiksyre radikaler dannes det ester (organisk salt) grupperinger. Disse ester grupperingene kan kombineres med vann for å gi frie hydroksylradikaler og eddiksyre, gitt ved følgende kjemisk formel, hvor X er en sukkerenhet i kjeden:



Dette er en likevekts likning, noe som fører til at fuktigheten i treverk alltid er sur, men ettersom eddiksyren er flyktig og kan forsvinne så vil reaksjonen bevege seg sakte mot høyre til enhver tid. Raten av utslippet av eddiksyren avhenger av typen tre. I et gitt tre så avhenger formeringen av eddiksyre av temperaturen og fuktighetsinnholdet i treet, og mengden utslipp til atmosfæren varierer med geometrien av treet/treverket. Det er små mengder av andre syrer i tillegg til eddiksyren i trær, men deres effekt kan sees bort ifra i sammenlikning med effekten til eddiksyren.

I tillegg til eddiksyre inneholder tre fra 0,2 til 4% mineral aske som hovedsakelig består av kalsium, kalium og magnesium i form av karbonater, fosfater, silikater og klorider. Aluminium, jern og natrium er også tilstede i mindre mengder. [9]

2.2.2 Tilfeldige korrosive elementer

I noen tilfeller kan det være et høyere innhold av klorider i trær enn det er naturlig. Trær og treverk kan absorbere salt. Dette er i all hovedsak sannsynlig at skal skje nær kysten ved tåke fra havet eller kontakt med saltvann, enten fra bølger eller annen kontakt.

2.2.3 Relativ surhet av utvalgte treslag

Disse treslagene er valgt ut ettersom de representerer de treslagene som normalt blir brukt av Høyt og Lavt i deres klatreparker. Gran og furu er de treslagene som oftest blir brukt i klatreparken, men også noe bjørk, osp og eik brukes. Ved lagring under ekstreme forhold kan pH verdien av fuktig treverk bli langt surere. I tabell 1 vises pH verdier og faren for dampkorrosjon i noen relevante treslag.

Tabell 1: Treslag med typiske pH verdier [9]

Treslag	Typiske pH verdier	Fare for dampkorrosjon
Eik	3.35, 3.45, 3.85, 3.9	Høy
Bjørk	4.85, 5.05, 5.35	Høy
Furu	5.2 til 8.0	Moderat
Gran	4.0, 4.45	Moderat
Bøk	3.85, 4.2	Ganske høy

Ved å gjennomføre ett forsøk ved å lagre forskjellige typer felte trær ved 48 °C i to år ble det observert at alle treslagene produserte eddiksyre under forsøket. Den generelle konklusjonen var at selv etter at ett tre er blitt felt kan det produsere eddiksyre i tiår etter treet er blitt felt. [9]

2.2.4 Treverk som en elektrolytt

Å forstå mikrostrukturen og kjemien i treverk er viktig i jakten på å skaffe seg forståelse rundt hvorfor og hvordan metall korroderer i trær. Treverk er ett anisotropisk cellulært materiale med lange, hule og trange celler som er orientert i retning fra røttene til kronen i det levende treet. Til tross store forskjeller i mikrostrukturen til trær på tvers av slekter og arter så er celleveggen i alle typer trær satt sammen av tre strukturelle polymere: cellulose, hemicellulose og lignin. Det er omtrent like store mengder av disse tre polymerne.

Gitt den porøse mikrostrukturen og gunstige kjemien så skulle en ikke tro at treverk skulle være et utfordrende miljø med hensyn på korrosjon. Treverk har komplekse interaksjoner med vann som betydelig påvirker det fysiske, mekaniske og kjemiske egenskapene, inkludert korrosjon. Trær har en sterk affinitet for vann, og har potensiale til å holde på opp til 200% av sin egen tørre vekt som vann. [10]

Den viktigste variabelen som kontrollerer korrosjon av metaller forankret i treverk er fuktighetsandelen i treverket. Ved fuktighetsandel under 15%-18% vil metaller ikke korrodere. Om fuktighetsandelen er over 18% vil korrosjonsrate øke sammen med fuktighetsandelen. Til tross for viktigheten av fuktighet i treverk med hensyn på korrosjon er det blitt gjort svært lite forskning for å utforske rollen fuktighet har på korrosjon

2.2.5 Korrosjon i treverk i forhold til atmosfærisk korrosjon

Korrosjon av metaller forankret i treverk har flere forskjeller fra tradisjonell atmosfærisk korrosjon, forskjeller som har en betydning både når det kommer til valg av materiale og levetid for metaller i treverk. De største forskjellene er:

1. Galvanisert stål korroderer raskere enn karbonstål når det er i kontakt med treverk.
2. Langsiktig korrosjonskinetikk er ulikt i treverk enn i atmosfæriske forhold.

Begge disse forskjellene kan hovedsakelig forklares ved at korrosjonsproduktene for metaller som dannes ved atmosfæriske forhold er ulike fra produktene når metall er i kontakt med treverk, altså vil metallet ha ulik passivering i de to miljøene/atmosfærene.

Ved korrosjon i atmosfæriske forhold vil sink oksideres til å forme hydrosinkitt $[Zn_5(CO_3)_2(OH)_6]$ og sinkspatt/smithsonitt ($ZnCO_3$), som vil passivere overflaten, altså danner disse sinkproduktene danne en passiv film på overflaten som vil beskytte metallet fra videre korrosjon. Stål vil i samme forhold danne goethitt ($\alpha\text{-FeOOH}$). Hydrosinkitt og sinkspatt gir bedre beskyttelse for det underliggende metallet enn hva goethitt gjør, og dette er grunnen til at sink korroderer saktere enn stål i atmosfæriske forhold. I visse forhold, som i saltvann eller i forhold med flyktige syrer (som det er mye av i trær i form av eddiksyre) vil det dannes andre korrosjonsprodukter og sink kan korrodere raskere enn stål. Zelinka [10] testet korrosjonsproduktet fra spikere av stål og som var varmegalvaniserte som hadde blitt testet treverk. Det ble ikke funnet noe sinkspatt på den galvaniserte spikeren. I stedet for sinkspatt ble det observert namuwite $[Zn_2(SO_4)(OH)_6\cdot 4H_2O]$, simonkolleite $[Zn_5(OH)_8Cl_2\cdot (H_2O)]$ og i noen tilfeller hydrosinkitt. Denne mangelen på ett beskyttende passivt film forklarer hvorfor galvaniserte spikere korroderer raskere i treverk enn spikere av stål.

Passivering innen atmosfærisk korrosjon sørger for ett fall i korrosjons rate over tid, dette kan beskrives ved formelen

$$\Delta W = Kt^n \quad (2)$$

Hvor ΔW er forandringen i vekt, K er den konstante korrosjonsraten over ett år, t er tid og n er en eksponent som kontrollerer kinetikken og som er mindre enn eller lik enhet. Korrosjon av metaller i treverk derimot viser en konstant hastighet med tiden, altså er $n=1$. [10]

2.2.6 Kjemi i trær

Kun i en enkel bit av treverk kan det være mer enn 700 ulike ekstrakter av kjemikalier som kan løses i vann eller med andre løsningsmidler, disse kunne i teorien hatt en effekt på

korrosjon på metaller forankret i treverk. Til tross for det store antallet med ekstrakter som potensielt kunne påvirket korrosjon er det veldig få av disse forbindelsene som er assosiert med korrosjon. Det er hovedsakelig tre forbindelser som er med å påvirke korrosjon på metaller forankret i treverk: organiske syrer (f.eks. eddiksyre), tanniner (garvestoffer) og fenoler med to eller tre hydroksyl grupper ved siden av. I solid treverk, som trær, er det hovedsakelig organiske syrer og tanniner som er skrevet om i litteratur. [10]

2.3 Varmegalvanisering

Varmegalvanisering er en prosess for å skape ett legeringsbelegg av sink på deler av stål ved å senke delene ned i ett sinkbad. Denne galvaniseringen involverer en serie med komplekse diffusjonsprosesser, grunnleggende metallurgiske reaksjoner og termodynamiske transformasjoner. Det endelige resultatet av prosessen med å galvanisere stål er påvirket av flere faktorer. Tykkelsen på belegget, strukturen og designet på delen som galvaniseres er blant faktorene som kan påvirke resultatet. [11]

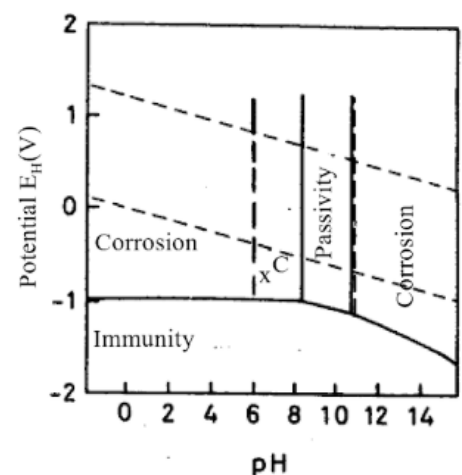
Deler som skal galvaniseres blir utsatt for kjemisk forbehandling for å oppnå en ren metallisk overflate og for å aktivisere overflaten. Metaller er materialer med lav overflateenergi og kan ikke fuktes med lim, altså er det nødvendig å gjennomføre en overflatebehandling for å oppnå en overflatespenning lik det du får fra ett lim. I tillegg til kjemisk behandling kan overflater behandles med for eksempel plasma eller med stråling. [12] Komponentene vil først bli avfettet og deretter beiset. Beising fjerner blant annet korrosjonsprodukter og oksider, samt potensielt andre løselige forurensninger fra overflaten. Før komponentene senkes ned i sinkbadet brukes en fluks, enten ved en tørr prosess eller i en våt prosess. En fluks innen metallurgi vil si et kjemisk rengjøringsmiddel, flytemiddel eller ett rensmiddel. Ved en tørr prosess påføres fluksen ved at komponenten ved nedsenkning i et fluksbad og deretter blir komponenten tørket. I en våt prosess vil fluksen bli spredt ut over en del av sinkbadets overflate. [11]

2.3.1 Korrosjonsvern ved sinkbelegg

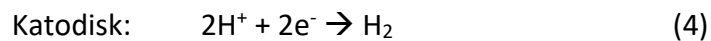
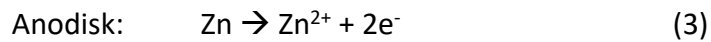
Ved bruk av belegg hindres korrosjon ved en av tre måter:

1. Belegget virker som en barriere, hvor korrosjonsmediet blir hindret fra å komme i kontakt med det vernede materialet.
2. Ett katodisk vern hvor belegget brukes som en offeranode.
3. Passivering av overflaten.

Pourbaix diagrammet for sink i vann ved 25°C er vist i figur 9. Sink vil ved pH verdier under 8 ha følgende kjemiske reaksjoner:



Figur 9: Pourbaix diagram for Zn i vann ved 25°C. [4]



For pH verdier mellom 8.5 og 11 vil det dannes $\text{Zn}(\text{OH})_2$, altså vil dette være ett passivt område. Dette passive området vil utvides om vannet inneholder CO_2 , ettersom ved kontakt med CO_2 vil det kunne dannes ett basisk sinkkarbonat som beskytter godt. Dette gir god beskyttelse i landlige miljøer, lite aggressiv havatmosfære og mot regnvann som ikke er for surt. Kalkinnhold i hardt vann gir også et beskyttende lag mot korrosjon. Hardt vann beskriver vann med høyt innhold av kalsium og magnesium. I motsetning til kalk- og CO_2 -innhold vil forskjellige saltløsninger, som klorider, kunne danne løselige korrosjonsprodukter som vil motvirke passivering. Klorider i sjøvann og i marin atmosfære har som oftest ikke en like kraftig effekt som andre klorider, ettersom det er kalk- og magnesiumsalter i vannet. Sink vil også korrodere mye raskere ved høyere temperaturer, så dette må tas høyde for. [4]

2.3.2 Avgalvanisering/stripping av sinkbelegg

Alle metaller har ett elektrodepotensial, og alle disse standardpotensialene kan finnes i spenningsrekka. Reduksjon/oksidasjons-reaksjonen til sink er for eksempel $\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Zn}$ og har ett standard elektrodepotensial på -0.76V . Disse standardpotensialene gir innsikt i hvordan ulike metaller vil reagere i kontakt med hverandre. En liste over noen redoksreaksjoner og de tilhørende elektrodepotensialene er oppgitt i Tabell 2. I kontakt med hverandre vil ett materiale fungere som katode og ett som anoden. På katoden vil det skje en reduksjons reaksjon, og anoden vil ha en oksidasjon. Katoden vil være det metallet med det laveste elektrodepotensialet. [4]

2.3.3 Hvit rust

Hvit rust er ett kompleks hydrert sinkkarbonat eller sinkhydroksid. Det er korrosjonsprodukt av sink som er formet under spesifikke forhold. To av de vanligste grunnene for hvit korrosjon er som følger:

1. Innstrømning av vann, grunnet regnvann, mellom overflater side om side i en stabling av galvanisert eller malt stål, i plater/komponenter eller inne i viklinger i en galvanisert spiral, som for eksempel vaiere som brukes i klatrepark.
2. Kondens inne i spiralen/vaiere, i stabler av plater eller komponenter. Denne kondensen skylles hovedsakelig raske forandringer i temperatur.

Det er viktig å notere at hvit rust er gjennomsiktig når det er våt, så frem til stålet har tørket er ikke den hvite rusten nødvendigvis synlig.

Grunnet det tilsynelatende store volumet av hvit rust vil det ofte misvisende fremstå som ett omfattende korrosjonsproblem. I de aller fleste tilfeller vil ikke hvit rust indikere noen alvorlig nedbrytning av det galvaniserte sinkbelegget, og det er ikke nødvendigvis en indikator på at levetiden på produktet vil være redusert heller. Med mindre det skulle være planlagt å legge på ett beskyttende lag med maling senere, kan en trygt ignorere overflatisk hvit rust. I de fleste tilfeller vil overflatisk hvit rust som er utsatt for naturlige og akseptable miljøforhold gradvis trekke seg inn i materialet igjen og til slutt forsvinne for godt. Store forekomster kombinert med andre korrosjonsfenomener må derimot vurderes forsiktig. Hvit rust er generelt noe en må ta høyde til når en jobber med galvanisert stål. [13]

2.4 Effekten av korrosjon på ett materiales bruddstyrke og duktilitet

I all hovedsak vil ikke korrosjon svekke eller påvirke ett materialets bruddstyrke betraktelig, men korrosjon vil redusere duktiliteten til ett materiale og øke sprøheten. Dette kan gjøre at materialets feilmodus endres fra ett duktilt brudd til ett sprøtt brud. I tillegg til denne overgangen til en mer aggressiv type brudd vil korrosjon også føre til ett redusert tverrsnitt og stresskonsentrasjoner som kan sterkt påvirke lastbæreevnen til det aktuelle elementet, og også bæreevnen til hele systemet. [14]

Den største korrosjonsfaren for en gjengestang sin bruddstyrke og duktilitet vil være korrosjonsutmatting og spenningskorrosjon. Når metaller er utsatt for både korrosive miljøer og gjentatt stress vil bruddstyrken synke betydelig, ett fenomen kjent som korrosjonsutmatting. Spenningskorrosjon finner sted når metaller utsettes for spesifikke skadelige miljøer, mens korrosjonsutmatting kan finne skje når som helst. Selv på rustfrie stål med passiviserte overflater hvor det ikke er noe synlig rust er det ikke mulig å hindre korrosjonsutmatting. Generelt vil en svekkelse av bruddstyrke i korroderte metaller skje på grunn av hakk fra korrosjonsgroper, men en slik svekkelse av bruddstyrke vil ikke være like stor som svekkelsen som skjer ved korrosjonsutmatting. Korrosjonsutmatting er ofte observert i vann, saltvann, sure løsninger og kan også forekomme i luft. Fuktigheten i luften kondenserer på metalloverflaten, spesielt i enden av sprekker, og forårsaker dermed utmattingskorrosjon.

Brudmekanikken for korrosjonsutmatting er ulik den til spenningskorrosjon, inkludert hydrogen sprøhet som finner sted under en forlenget belastning eller ved restspenninger. I de fleste tilfeller vil spenningskorrosjon føre til sprekker som vokser langs korn grensene i metallet, mens korrosjonsutmatting fører til brudd som ikke følger korn grenser. Materialer med høy styrke blir mer populært og under gjentatt spenninger har det blitt rapportert alvorlige ulykker hvor spenningskorrosjonsmekanismer har oppstått. [15]

2.5 Salttåkekammer

Et salttåkekammer er ett kammer som brukes til akselerert test av ett materiales motstand mot korrosjon, kvalitetskontroll av metaller eller til forberedelser av testprøver for videre tester. I ett salttåkekammer vil det være mulig å kontrollere blant annet sykluser som prøven utsettes for i testkammeret. Variabler som temperatur, pH-verdier, salttilsats, fuktighet og lengde på ulike deler av testen. Salttåkekammeret brukes til sykliske korrosjonstester, som er ment til å skape skader som kan sammenliknes med korrosjonsskader som kan forekomme naturlig i ulike miljøer. Det finnes mange ulike typer tester som kan gjennomføres i ett korrosjonskammer, og en mengde innstillinger som kan forandres på for å simulere en stor mengde ulike miljøer for å oppnå relevante resultater for ønsket testmiljø.

2.6 SEM

SEM, Sekundær Elektron Mikroskopi, bruker en elektronkanon til å bestråle prøveoverflaten med emitterte elektroner. Denne strålen bruker magnetiske linser og aperturer til å fokusere på vei ned mot prøven. Elektroner kan emitteres ved varme i en prosess som heter termisk emisjon, eller ved felt emisjon, hvor et elektrisk felt brukes for å emittere elektroner. Når elektronene treffer prøven vil sensorer plukke opp tilbakesprettene elektroner, sekundærelektroner og røntgenstråler fra prøven og bruke disse signalene til å danne ett bilde prøven. Hull i en prøve, eller groper, vil være mørkere avbildet på grunn av kanteffekten. Ett elektron som treffer en overflate høyere opp på prøven vil ha en kortere vei å reise til sensoren, og dermed plukker sensoren opp flere av disse sekundærelektronene enn de gjør for elektronene som må reise lenger før de kan registreres. Flere telte elektroner gir en lysere pixel på bildet som datamaskinen danner under en SEM-analyse. [16]

2.7 XRF

XRF er en analyse metode som kan brukes til å bestemme den kjemiske sammensetningen til alle typer materialer. Det hender også at XRF kan brukes til å bestemme tykkelse og sammensetningen til belegg. Denne metoden er rask, presis og ikke-destruktiv, og krever som oftest ikke spesielt store prøver eller forberedelser av disse prøvene. XRF fungerer ved at røntgenstråler produseres og brukes til å bestråle prøven. I de fleste tilfeller er kilden som produserer disse røntgenstrålene ett røntgenrør. Elementene, altså de ulike atomene, i prøven vil sende tilbake røntgenstråler med energinivåer som kjennetegner hvert av de ulike atomene. Ved å måle alle de returnerte røntgenstrålene er det mulig å bestemme hvilke elementer som er tilstede i prøven. Mengden av hvert element i prøven måles ved intensiteten av hvert av de karakteristiske energinivåene på røntgenstrålene. [17]

3. Bakgrunn for metode

3.1 Salttåkekammer test

SR244 rapporten i 2011 av BRANZ, en uavhengig og upartisk forskning, test og konsulentorganisasjon innenfor bygg og anleggsbransjen basert i New Zealand, har utviklet en akselerert metode for å se på korrosjon i metall i trær. Ved å analysere grunnleggende informasjon som årlig nedbør og antall regndager ble hentet ut fra tilgjengelige databaser. Analysen av været var gjort i New Zealand, noe som åpenbart gjør det mer komplisert å bruke de samme temperaturene for Norge, som er langt kaldere både om vinteren og sommeren. På tross av de åpenbare forskjellene i temperatur mellom Norge og NZ så er det ikke umulig å bruke de samme temperaturene i tåkekammeret. Høyere fuktighet i tre vil føre til mer korrosjon, og gjennom vinteren i Norge vil det være relativt lite fuktighet, med hensyn på at det er kaldt. Det er generelt vanskelig å kunne gjennomføre en test på korrosjon i tre både på lab og ute i virkeligheten. I virkeligheten vil det aldri være mulig å få til nok tester i jevne forhold med hensyn på nedbør, temperatur og lokasjon, med andre ord er det meget vanskelig å få til en presis test ute i virkeligheten ettersom det ikke er mulig å få til like parametere. På laboratoriene vil det være mulig å gjennomføre en litt mer presis test, men nok en gang vil det være vanskelig å simulere virkelige forhold. [18]

3.2 Elektrodepotensial

Tabell 2: Standard elektrodepotensial E_0^0 ved 25°C [24]

Elektrodereaksjon	Elektrodepotensial E_0^0 (V)
$\text{Cl}_2 + 2\text{e}^- = 2\text{Cl}^-$	1,36
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- = 2\text{H}_2\text{O}$	1,23
$\text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{H}^+ + 2\text{e}^- = 3\text{Fe}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	0,98
$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- = \text{Fe}^{2+}$	0,77
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2$	0
$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Fe}$	-0,44
$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Zn}$	-0,76
$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- = \text{Al}$	-1,66

Ett eksempel på en redoksreaksjon vil vi kunne illustrere ved å dyppe sink i en løsning med hydrogenioner. Dette vil føre til en typisk korrosjonsprosess med en anodisk reaksjon, oksidasjon, ($\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Zn}$) på delen som fungerer som anoden, og en katodisk reaksjon, reduksjon, ($2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2$) på det området som virker som katoden. Ved større forskjeller i standard elektrodepotensial vil reaksjonshastighet være høyere. Ved stripping av galvaniserte biter er det disse redoksreaksjonene som gjennomføres. Mye informasjon rundt slik stripping av sink er gitt i ASTM standarden A90/A90M, og prosessen på dette vil bli gått nærmere gjennom i 3.2, fremgangsmetode for stripping av galvanisert belegg. [19]

3.3 Beregne tykkelsen til sinkbelegget

Tradisjonelt skal tykkelsen til sinkbelegget på galvanisert stål rapporteres som g/m². Dette gjøres ved å bruke følgende formel:

$$C = [(W_1 - W_2)/A] * K \quad (6)$$

I denne likningen vil C være vekten (massen) av belegget gitt ved g/m². W₁ vil være den originale vekten til materialet, og W₂ vil være vekten etter strippingen er gjennomført. A er arealet av overflaten og K vil være en konstant for å gjøre arealet om til m² fra for eksempel mm².

4. Metode

4.1 Salttåkekammer test

Testen som skal gjennomføres i salttåkekammeret er basert på Standarden ASTM G198-17 [20] og på BRANZ Study Report SR 244 [18].

ASTM G198-17 beskriver en våt/tørr syklus som skal inneholde 48 timer med tåke, og mellom 72 og 120 timer med tørketid. Bunnen av tåkekammeret skal inneholde vann etter undersyklusen med tåke, og dette vannet skal tørke naturlig under tørkeperioden. Testen som beskrives i denne standarden anbefales å gjennomføre kontinuerlig gjennom hele testperioden. Kammeret skal være stengt utenom avbrytelser på mindre enn 10min for å undersøke og for å omorganisere testprøvene. Disse avbrytelsene bør ikke skje mer enn en gang i døgnet. Testen skal originalt gjennomføres over 120 dager, men det vil ikke være mulig i denne omgangen. [20] Dette er grunnen til at det ble funnet og utarbeidet en 30 dagers syklisk test ved hjelp av BRANZ Study Report SR 244.

Denne testen er gjennomført i ett enkelt steg, altså i en kontinuerlig syklus. En syklus består av to undersykler: vannspraying ved 25°C i 6 timer og luftvarming ved 35°C i 18timer. Totalt skal det gjennomføres 30 sykluser, til sammen 720timer, eller 30 dager.

Fremgangsmåte

Prøven som skulle inn i salttåkekammeret ble preparert ved at en tømmerstokk ble boret tvers igjennom før den ble penetrert av en gjengestang. Easybraketten med en vaierbit vil bli festet i ringmutteren på enden av M20 gjengestangen som går igjennom tømmerstokken med en maillon. I tillegg til M20 gjengestang og easybraketten vil vaier med en aluminium talurit klemme tas med i testen, denne holdes på plass med en enkel plassholder. M16 gjengestang vil også bli med, denne er satt inn i et eget hull, boret tvers gjennom stokken. Stokken med alt av metall montert er avbildet etter den er satt inn i salttåkekammeret i figur 10.



Figur 10: Stokken med alt av metall ferdig montert plassert i salttåkekammeret før testen starter

Stokken med metallene ble satt inn i salttåkekammeret og innstillingene for syklusen ble satt inn i salttåkekammeret. Testen skal gå i 30 dager. Testen skal sjekkes regelmessig for å se etter at ingenting har gått galt med prøven. Etter 30 dager skal testen tas ut, og visuell analyse og bilder av prøven blir gjennomført. Tømmerstokken med knekkes slik at metallbitene kan fjernes uten at eventuelle korrosjonsprodukter blir skadet/fjernet/ødelagt.

4.2 Stripping av sinkbelegg

Samtidig som den sykliske testen foregår i salttåkekammeret er det gjennomføres en test på gjengestengene (M20 og M16), ringmutter, firkantskiven og på begge de to typene vaier utlevert av Høyt og Lavt. Dette ble gjort for å etablere tykkelsen/vektprosenten på det varmforsinkede belegget på de ulike komponentene. Denne testen vil gjennomføres ved å legge komponentene i en HCl-løsning. For å finne ut hvilken av materialene som var galvanisert så ble det brukt XRF for å identifisere de ulike materialene.

Forbered HCl løsningen i ett avtrekksskap. Bland like mengder med HCl og deionisert vann. Ekstremt viktig at syren helles i vann og ikke motsatt. Gjennomfør blandingen i et rolig tempo, ikke ta alt av syren opp i beholderen med en gang.

Forbered bitene som skal stripes for belegg. Gjengestangen må kuttes i mindre biter.

Vask prøvene med ett løsemiddel, rens prøvene deretter med alkohol og tørk dem godt.

Bestem massen av prøvene til nærmeste 0.01g, eventuelt til nærmest 0.1g ved prøver over 125g. Gjennomfør tre til fem målinger av massen til hver enkelt prøvebit og regn ut gjennomsnittet av disse målingene for den mest presise masseberegningen.

Senk hver prøve ned i HCl-løsningen og la de ligge frem til hydrogendannelsen gir seg, dette tar normal mellom 15 og 30 sekunder. Temperaturen på HCl-løsningen skal aldri være høyere enn 38°C!

Vask prøvene under rennende vann eller ved å dyppe dem i varmt vann. Tørk prøvene.

Vei prøvene på nytt tre til fem ganger og regn ut snittet på massen etter belegget er fjernet.

4.3 SEM

Det er også blitt utlevert ett gjengestang av H&L som har røket uten at årsaken er kjent. Dette bruddet vil bli analysert og vurdert ved SEM-analyse. Forhåpentligvis kan det hjelpe med å identifisere type brudd og gi litt mer informasjon rundt hva som har forårsaket bruddet.

5. Resultater

5.1 Stripping av galvanisert sinkbelegg:

Strippingen av det galvaniserte belegget viste at alle komponentene som er galvaniserte hadde minste 1% av sin egenvekt lagt til ved galvanisering. Delen med mest sink var firkantskiven som brukes mellom ringmutteren og treverket. I figur 11 er det visst forskjellen mellom en avstandsholder og en ringmutter som er galvanisert i forhold til en strippet avstandsholder og ringmutter. Resultatene i tabell 3 er visst ved vekt% sink, og ikke med den tradisjonelle g/m².



Figur 11: Til venstre kan en se firkantskiven og ringmutteren galvanisert, til høyre er begge delene strippet for sink belegget.

Tabell 3: Viser vekt% av sink på galvaniserte deler som brukes i klatrepark som er relevante til dette forsøket.

Del	Vekt før (g)	Vekt etter (g)	Vekt% sink
M20 Gjengestang	73,0548	71,6755	1,88%
M16 Gjengestang	36,8494	35,9643	2,40%
Ringmutter	372,30	367,18	1,375%
Firkantskive	96,4293	93,2710	3,275%
Vaier M20	19,5131	18,9882	2,69%
Vaier M16	32,2571	31,8329	1,32%

Om en skulle oppgitt resultatet i g/m² vil det være nødvendig å bruke formel 6 fra teori del 2.3.3, denne formelen brukes her for å beregne g/m² for firkantskiven:

$$C = [(W_1 - W_2) / A] * K$$

$$A = A_{\text{plate}} - A_{\text{hull}} = 5,7\text{cm} * 5,7\text{cm} - \pi * (1,2\text{cm})^2 = 32,49\text{cm}^2 - 4,52\text{cm}^2 = 27,97\text{cm}^2$$

$$C = (3,16\text{ g} / 27,97\text{ cm}^2) * 10^{-4} = \underline{1129,78\text{ g/m}^2}$$

Og for gjengestang M20:

$$C = [w_1 - w_2 / A] * K$$

$$A = \pi r^2 = \pi * 1,8\text{ cm} * 1,8\text{ cm} = 10,18\text{ cm}^2$$

$$C = (73,0548 - 71,6755) / 10,18\text{ cm}^2 * 10^{-4} = \underline{1354,9\text{ g/m}^2}$$

Sinklagene er over 1000g/m², noe som tilsvarer et sink lag på over 140µm. Dette er ett tykt sinklag som gir god beskyttelse til de galvaniserte delene.

5.2 Kontinuerlig test i salttåkekammer

Testen i salttåkekammeret ble fullført den 11.04.2019 etter å ha stått i 732 timer. Prøven ble tatt ut av kammeret fire timer inn i tørkesyklusen, og metalldelene var dermed tørre og klare til å bli vurdert og tatt bilder av. Det var tydelig å se at det hadde blitt produsert mye hvit rust, og da spesielt på de sinkbelagte vaierne. Tydeligst kunne en se ett tykt lag av hvit rust på vaierne som ble holdt sammen med talurit klemmer av aluminium, men også



Figur 12: Easybrakett etter 30 dager i salttåkekammeret, kan se korrosjon av skruene samt hvit rust på vaieren.



Figur 13: Gjengestang etter 30 dager i treverk i salttåkekammer som har opplevd korrosjonsskade på øvre gjenger som mangler sinkbelegg.

på vaieren gjennom easybraketten var det lett å se hvit rust, dog i mindre mengder. Skruene som holdt easybraketten sammen var kraftig korrodert, dette er tydelig visst i figur 12. Inne i treverket hadde gjengestengene holdt seg ganske godt, noe hvit rust kunne observeres, men i mindre mengder enn på vaierne. Det var derimot ett lite området på M20 gjengstangen hvor det var påbegynt dannelse av en annen type korrosjonsprodukter enn hvit rust. Sinkbelegget virket til å være forsvunnet på deler av de øvre gjengene. I disse områdene hvor sinkbelegget manglet er det dannet en annen type korrosjonsprodukt på gjengestangen. Dette er visst i Figur 13, hvor det er brunfargede toppgjenger på M20 gjengstangen etter den sykliske testen.

5.3 SEM – Sekundær Elektron Mikroskopi

Resultatene fra denne testen var svært skuffende med hensyn på å prøve å identifisere typen brudd som hadde skjedd på gjengestangen utdelt fra Høyt&Lavt ettersom bruddflaten hadde blitt kraftig utsatt for korrosjon. Det ble allikevel tatt bilde av bruddflaten og det er blitt forsøkt å diskutere rundt de resultatene som var mulig å finne på bruddflaten. Ut ifra bildene tatt med SEM og visuell inspeksjon uten mikroskop kan det se ut som at bruddet ble initiert i ett område før det raskt knakk i to. Bruddet ble mest sannsynlig startet av korrosjonsangrep på gjengene. SEM bildet er visst i figur 14.



Figur 14: Bruddflate fra park, avbildet ved SEM

6. Diskusjon

6.1 Stripping av galvanisert belegg

Strippingen av sinkbelegget var en ganske enkel prosess uten noen nevneverdige problemer i gjennomføringen av forsøket. Det var overraskende store mengder sink på de ulike delene, spesielt firkantskiven som hadde en vektprosent av sink på 3,275% var høyere enn forventet.

Disse 3,275% tilsvarer omtrent 3,16 gram. Tradisjonelt sett når en gjennomfører stripping av sinkbelegg rapporteres vekten av belegget som g/m^2 , dette følger standarden A90/A90M.

Firkantskiven har altså ett tykt belegg. De andre delene som ble testet har også relativt høyt vekttap etter stripping, som en kan se i tabell 3. Disse tykke lagene med sink fungerer veldig godt til å beskytte materialer mot rust skader i ett naturlig miljø og det vil ta mye lenger tid før disse galvaniserte delene blir utsatt for alvorlige korrosjonskader.

Etter stripping av delene var overflatene rene og fine når de ble tatt ut av hydrogenbadet, men etter delene hadde fått tid til å tørke hadde det dannet seg brune felter. Dette var spesielt lett å se på firkantskiven og på ringmutteren, som er avbildet i figur 15. Slike brune felter som dette er mest sannsynlig tilfeller av generell korrosjon som er oppstått på det nå ubeskyttede metallet når det ble utsatt for høyere temperaturer under tørking. Jevn korrosjon som dette er ikke noe stort problem. Skulle det være planlagt å gjenbruke denne delen igjen måtte den uansett blitt galvanisert for andre gang, og før en kan galvanisere ett materiale må det vaskes i en lik type hydrogenbad som ble brukt til å strippe materialet i første omgang. I et slikt hydrogenbad vil denne typen jevn korrosjon på overflaten av stålet bli vasket bort uten problemer.



Figur 15: På innsiden av ringen og i gjengene er det dannet brune områder etter sinkbelegget ble strippet.

I gjenger, som det er på ringmutteren, kan det oppstå litt mer problematiske korrosjonsproblemer. Spaltkorrosjon eller punktkorrosjon i dette området vil svekke materialet kraftig og det vil være vanskelig å sjekke om disse typene korrosjon er oppstått. Korrosjonsprodukter kan dekke over sprekker og hull/groper, så disse produktene må vaskes av før en ordentlig inspeksjon av gjengene kan gjennomføres. Grunnen til at dette delforsøket ble gjennomført var hovedsakelig for å undersøke hvor store mengder sinkbelegg som var på de ulike galvaniserte delene som brukes ute i klatrepark.

6.2 Syklisk test i salttåkekammer

Da den sykliske testen skulle bli startet var det originalt en ide om å skape ett surt miljø under den våte undersyklusen. Dette skulle oppnås ved å tilsette små mengder med eddiksyre i vanntanken som ble brukt til å lagre væsken som skulle pumpes inn i salttåkekammeret. Tanken bak å skape ett litt surt miljø var å akselerere korrosjonsangrep samt og skape ett realistisk miljø med hensyn på byer. Den var ønskelig å oppnå en pH verdi på rundt 5,8 for å simulere pH verdien i luft og noenlunde sur nedbør. Eddiksyre var tiltenkt å bruke ettersom denne syren finnes naturlig i trær og er hovedgrunnen til at trær kan

klassifiseres som ett korrosivt miljø. Det første forsøket på å oppnå den ønskede pH verdien var en komplett fiasko. 25mL eddiksyre ble tilsatt i vanntanken, vanntanken inneholdt 70 liter vann, og dette ga en pH verdi på 3,8. En slik pH verdi var ikke mulig å bruke, så hele tanken på 70 liter måtte tømmes ut før ett nytt forsøk ble gjort. I det andre forsøket ble det tilsatt 2 mL eddiksyre til 70 liter vann, men også denne gangen var løsningen for sur med en pH verd på 4,2. Neste forsøk ble å helle ut 60 av de 70 literne fra tanken med vann blandet med 2mL eddiksyre. Med kun 10 liter av den forrige blandingen igjen i tanken ble det fylt på 60 liter med vann igjen før en ny test av pH verdien i tanken ble gjennomført. Dette tredje forsøket ga en pH verdi på 4,8, noe som fortsatt var altfor surt i forhold til hva som var tiltenkt. En vurdering av hele situasjonen ble gjort og det ble bestemt at testen skulle gjennomføres med rent vann uten tilsetninger av eddiksyren.

Ved å gjennomføre forsøket naturlig uten tilsetninger for å manipulere pH verdier eller saltnivåer vil syklusene mer minne om de naturlige værsyklusene som en finner i naturen. Dessuten er eddiksyre allerede tilstede i selve trestokken, så dermed vil det være et annerledes miljø for gjengestengene som går gjennom treverket enn hva det vil være for delene på utsiden i ett mer atmosfærisk miljø. For klatreparker ved kysten kunne det også vært aktuelt å tilsette små verdier av klorider for å simulere ett mer marint miljø, men ettersom de fleste Høyt&Lavt parker ligger i innlandet ble ikke dette vurdert som interessant for dette forsøket.

Den sykliske testen gjennomført i dette forsøket ble gjort på 738 timer, noe som tilsvarer 30 dager og 18 timer. Testen ble avsluttet fem timer inn i den tørre undersyklusen, noe som ble gjort bevisst for at prøven skulle være tørr og korrosjonsproduktene skulle være så tydelige og enkle å observere som mulig. Når salttåkekammeret ble prøven avbildet, dette bilde er visst i figur 16.



Figur 16: Prøven avbildet rett etter testen er avsluttet og salttåkekammeret er blitt åpnet

Straks salttåkekammeret ble åpnet opp var det enkelt å se at hvite lag hadde lagt seg på vaierne, maillonen og på ringmutteren. Ett slikt hvitt lag hadde også lagt seg på firkantskivene, men dette var ikke like tydelig å se med en gang som det var på resten av delene. Dette hvite belegget hadde merkbart kun angrepet delene som var galvanisert. Denne typen korrosjon som hadde oppstått her er kjent som hvit rust og er en vanlig korrosjonsform på sink. Hvit rust er ikke en spesielt farlig korrosjonsform, så til tross for at ett slikt hvitt belegg kan se skummelt ut er det ingen grunn til å behandle det. Som oftest vil det hvite rustbelegget forsvinne naturlig i et normalt miljø. Grunnen til at det er blitt dannet hvit rust på de galvaniserte delene er mest sannsynlig de store temperaturendringene mellom våt og tørr syklusene under testen i salttåkekammeret. Under våt syklusen var det temperatur på rundt 25°C og ved tørr syklus var temperaturen 35°C. Disse raske, og relativt store, endringene i temperaturen skapte kondens blant annet inne i vaierne, og dette førte til dannelsen av sinkhydroksider.

Prøven ble så tatt ut av salttåkekammeret og demontert. Ved siden av den tydelige hvite rusten var det ett par andre tilfeller av synlig korrosjon. Ett tilfellet var på skruene i easybraketten, og ett annet tilfelle var små korrosjonsskader på de øvre gjengene på M20 gjengestangen. Det er to ulike typer korrosjon som har skjedd på disse delene.

Skrueene på easybraketten har blitt utsatt for galvanisk korrosjon, som en kan se i figur 17. De skruene som blir brukt på easybraketten ble sjekket med XRF for å identifisere type legering de er, men resultatene var ikke troverdige. Allikevel så kan det antas at de er av ett uedlere materiale enn det rustfrie stålet platene av easybraketten er laget av, med hensyn på den galvaniske korrosjonen de er utsatt for. Bakplaten på easybraketten er 304 rustfritt stål. 304 er ett edlere materiale enn legeringen som skruene er, noe som fører til galvanisk korrosjon. Skruene vil i dette tilfellet danne anoden og korrosjonsraten deres vil øke betraktelig. Det er ikke gjennomført XRF test på mutterne som er festet på oversiden av den malte platen, men ettersom korrosjonsproduktene er dannet på skruen og ikke på mutteren kan en anta at mutteren er av et edlere metall enn de wolfram legererte skruene. Galvanisk korrosjon er den mest utbredte korrosjonsformen i klatreparker, ettersom alle easybraketter vil være utsatt for denne type korrosjon på skruene sine. Under skruehodene kan det også være mulig at det oppstår spaltkorrosjon. Største trusselen for at spaltkorrosjon skal initieres vil fort være ved ulike oksygenkonsentrasjoner i spalten under skruehode og i luften utenfor spalten. I tillegg kan parker som ligger nærmere sjøen kunne få klorider fraktet med luften, disse kloridene kan også initiere



Figur 17: Easybrakett etter 30 dager i salttåkekammer

spaltkorrosjon, selv om dette er noe mer usannsynlig. Den malte overflaten var hovedsakelig uberørt under denne testen, og det er først hvis malingen skulle bli skrappt av braketten at denne delen skal kunne være i risiko for korrosjon. Når denne testen ble gjennomført i salttåkekammeret burde det vært laget ett hakk eller en skade på det malte laget slik at en kunne sett nærmere på hva slags skade en kunne forventet om malingsbelegget ble skadet.

Spaltkorrosjon kan også være ett aktuelt problem for gjengestenger, og da kanskje spesielt i gjengene innad i koblingen mellom gjengestangen og ringmutter. Dette er et typisk stillestående mikronivå som realistisk kan ha problemer med spaltkorrosjon, men dette er ikke blitt observert i dette forsøket.

I gjengestangen ble det observert skader på de øvre gjengene hvor det virket som det galvaniserte belegget hadde blitt fjernet og latt stålet være ubeskyttet. Disse små ubeskyttede områdene på toppen av noen få gjenger virket å være angrepet av korrosjon. Dette var avbildet i resultatdel 5.2 i figur 13. Om dette laget med sink er blitt fjernet ved korrosjon eller om gjengstangen rett og slett ble skadet når det ble satt inn i trestokken er vanskelig å vurdere. Det var ikke skade på gjengestangen før den ble satt inn i prøven, og med tanke på at gjengestangen var tatt inn og ut av stokken ett par ganger før den ble satt inn for å gjennomføre testen uten å ta skade så vil denne observerte skaden være vanskelig å forklare. Mest sannsynlig vil sinkbelegget ha blitt skadet når gjengstangen ble satt inn i stokken for siste gang, til tross for at sinkbelegget ikke hadde tatt noen form for skade etter å ha blitt tatt inn og ut av stokken flere ganger tidligere. Ved at sinkbelegget har blitt skadet vil nå en del av stålet være ubeskyttet og er i risiko for å bli utsatt for korrosjon. Det ubeskyttede stålet vil danne en anode, og sinket fungerer som en katode, dermed vil dette være ett område som er utsatt for galvanisk korrosjon. Mer kritisk derimot at den passiverende filmen som sinklaget dannet for å beskytte stålet nå er ødelagt, og det faktum at det passive laget er ødelagt gjør at gjengestangen er i fare for at groppkorrosjon kan oppstå. Skulle det dannes groper i gjengstenger som allerede er under sykliske spenninger vil levetiden til materialet synke. Det er ikke umulig at dette er hva som har skjedd med gjengstenger som har røket i klatreparken allerede.

6.3 SEM og visuell undersøkelse av brukte deler

Ved siden av forsøket i salttåkekammeret ble det også gjennomført en visuell analyse av deler som har vært brukt i klatrepark, samt noe bruk av SEM på en bruddflate. SEM analyse var planlagt å bli brukt for å studere en bruddflate for å prøve å etablere typen brudd og grunnen til at bruddet skjedde. Dessverre var gjengstengene som hadde gått til brudd ute i park ikke vært lagret separat fra andre metaller/materialer, noe som hadde ført til at overflatene var kraftig angrepet av korrosjon

Ved å se på SEM bildene er det tydelig å se groper, så punktkorrosjon har funnet sted en gang etter bruddet gikk mens gjengstangen lå på lager. Denne punktkorrosjonen er vanskelig å se uten SEM ettersom hullene er dekket av korrosjonsprodukter som en kan se i figur 14 i resultat del 5.3. Korrosjonsproduktene saboterer muligheten for å vurdere noe rundt selve bruddet, men i figur 18 er det enda mulig å se noen kjennetegn på selve bruddflaten som kan beskrive hvilken type brudd som kan ha skjedd. Ved å bruke «Fracture Features» av N.W. Sachs [25] som en håndbok til ulike kjennetegn i bruddflater er det mulig å evaluere hva slags brudd som har skjedd. Det kan se ut som bruddet startet i det innsirklede området i figur 18, utenfor denne røde sirkelen er det tett i tett med strekker på langs av overflaten. Denne mengden med streker viser hvor overbelastningssonen er, den delen som raskt ryker fra hverandre og som danner den endelige feilen.



Figur 18: Bruddflate fra park, den røde sirkelen viser hvor det ser ut som bruddet startet

Gjengestenger gjennom trær kan også bli utsatt for spaltkorrosjon. Spaltkorrosjon kan ofte oppstå i gjenger ved endringer i kjemien i spalten. Trær inneholder naturlig eddiksyre, og eddiksyre vil naturligvis kunne forandre miljøet i spalter til ett surt miljø. I tillegg til risikoen for spaltkorrosjon vil ikke nødvendigvis sink klare å danne det passive sjiktet av hydrosinkitt og sinkspatt innesperret i treverk som det normalt danner ved atmosfæriske forhold. Sinkspatt vil ikke dannes i like stor grad i treverk, og dette skaper en mangel på ett beskyttende lag på galvaniserte stål som festes i treverk. Galvaniserte spikere og skruer har for eksempel visst seg å korrodere raskere enn motparten av rent karbonstål når det har vært testet i treverk.

En gjengestang i klatreparken vil uansett om den er utsatt for korrosjon eller ikke ha en belastning fra sikringsvriere mellom trærne og bakken. Disse belastningene står i vinkel til bakken og vil belaste gjengstengene deretter. Ved korrosjon og svekkelse av styrken på stangen, spesielt på gjengene på oversiden, kan føre til at bruddstyrken blir såpass redusert at det går ett brudd.



Figur 19: En maillon som har stått festet i en rustfri plate og har stått i strekk

En maillon, som er galvanisert, har stått stramt og holdt på plass en brakett av rustfritt stål ute i park. Dette har skapt slitasje på innsiden av maillon og i festepunktet på braketten. I figur 19 er det mulig å se slik slitasje og også at det er dannet noen korrosjonsprodukter rundt kontaktflaten. Slik slitasje som dette er sannsynligvis oppstått ved at maillon og platen har stått med for stor belastning over en lang periode. Dette har ført til at metallet er deformert. Slike stresskader som dette kan føre til utmattingskorrosjon. I en skarp kobling mellom maillon og platen vil det være naturlig at det galvaniserte laget som beskytter maillon skrapes av gjennom den konstante strekkspenningen den er under. Det vil i tillegg være bevegelser frem og tilbake

på en slik kobling i en klatrepark. En slik kobling kan fort bli utsatt for nok bevegelse og press til at det dannes groper som enklere kan danne utmattingsprekker.

6.4 Innhenting av informasjon fra park

De aller fleste problemer som oppstår med korrosjon i en klatrepark vil bli tatt hånd om under årlig kontroll av løyper, selv om de kanskje oppdages under en månedlig eller daglig kontroll av løypene. Innrapporteringsystemet som brukes for skader og hendelser i parken er ikke godt nok tatt i bruk under årlig kontroll når korrosjonskader oppdages, så dermed har det meste av informasjon rundt korrosjonsangrep som har funnet sted i parken kommet gjennom erfaringsoverføring. De forsøkene som er blitt gjort i denne oppgaven har gitt resultater som en kunne forvente, med noen naturlige mangler. For eksempel gnidningskorrosjonen på maillon som står i spenn med en plate er ikke blitt påvist i denne testen, da ingen maillon var festet opp på en slik måte. Generelt ble ikke Stamina Interaktiv brukt mye til å se etter korrosjonserfaringer i park, hovedsakelig fordi innrapportering av korrosjon i dette verktøyet er sjeldent.

7. Konklusjon

I denne oppgaven er det blitt sett på ulike korrosjonsformer som kan oppstå i klatreparksystemer hvor det kombineres ulike typer materialer og behandlinger. Easybraketter vil hovedsakelig være truet av galvanisk korrosjon på skruene som brukes for å holde konstruksjonen sammen. Gjengstenger vil være mer utsatt for korrosjon derimot, ettersom denne delen er utsatt for flere ulike faktorer enn hva easybraketter vil. En gjengstang vil være innebygd i trær, og trær ett levende element som kan inneholde meget store mengder med vann og det vil være eddiksyre naturlig i trær som gjør treverk til et surt miljø. Dette mikromiljøet inne i treverket og i spaltene i gjenger og bolter kan fort utsettes for korrosjon, enten i form av spalkorrosjon eller punktkorrosjon. Ved korrosjonskader på en gjengstang inne i ett tre vil sprekker og skader kunne dannes uoppdaget, og gjengstangen vil kunne gå til brudd uten forvarsel. Korrosjon på gjengstangen vil redusere bruddstyrken og sannsynligheten for brudd øker med korrosjonsraten. Dessverre er denne type korrosjonsangrep vanskelig å forutse eller motvirke, så det er viktig med jevnlig fysisk kontroll og sjekk av gjengestengene i parksystemer. I tillegg til easybraketten og gjengestangen testet i forsøket er det også blitt vurdert korrosjonskader på andre utdelte deler fra Høyt&Lavt som har vært i bruk ute i park. Generelt er de delene som blir brukt av klatreparken godt egnet til bruk, men det er viktig å gjennomføre regelmessig kontroller for å sjekke etter korrosjonskader.

8. Kilder

- [1] – https://www.staminahelse.no/hms-system/hms-interaktiv/?gclid=CjwKCAjwzPXIBRAjEiwAj_XTEXjNJT2p9Ka8LkrVezotmNIRhYJZqcAhh0QT-98lw3DO00qZLn44rBoCBz4QAvD_BwE, hentet 09.02.2019
- [2] – Helle, Per. "Bruk Av Skog Til Klatrepark." news release, 04.07.2016, 2016.
- [3] – <https://hoytlavt.no/>, hentet 09.02.2019
- [4] – Korrosjon og korrosjonsvern, Eivind Bardal, 2. utgave, 1994, Tapir akademisk forlag
- [5] – International Measures of Prevention, Application and Economics of Corrosion Technologies Study, NACE International, 01.03.2016, hentet ut 23.01.2019
- [6] - Ahmad, Zaki. "Chapter 4 - Types of Corrosion: Materials and Environments." In *Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control*, edited by Zaki Ahmad, 120-270. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2006.
- [7] – Teknos Oy. "Handbook for Corrosion Protection." (20.04.2019 2013)
- [8] – <http://www.npi.gov.au/resource/acetic-acid-ethanoic-acid> , hentet 12.03.2019
- [9] - "Corrosion of Metals by Wood." Guides to practice in Corrosion Control, hentet 15.02.2019,
http://resource.npl.co.uk/docs/science_technology/materials/life_management_of_materials/publications/online_guides/pdf/corrosion_of_metals_by_wood.pdf
- [10] - Zelinka, Samuel L. "Corrosion of Metals in Wood Products." In *Developments in Corrosion Protection* 2014.
- [11] – Kuklík, Vlastimil, and Jan Kudláček. "2 - Hot-Dip Galvanizing." In *Hot-Dip Galvanizing of Steel Structures*, edited by Vlastimil Kuklík and Jan Kudláček, 7-16. Boston: Butterworth-Heinemann, 2016.
- [12] – <http://www.metalsurfacetreatment.com/164-2/> - "An Overview of Surface Activation." 2016, hentet 03.04.19, 2019
- [13] – Steel, Tata. "White Rust on Galvanized and Galvanized Pre-Painted Steel." https://www.tatasteelconstruction.com/en_GB/services-and-downloads/Download-zone/SAB-downloads/SAB-brochures-and-colorcards/SAB-Brochures-and-Colorcards: Tata Steel, 10.4.2019 2018.
- [14] – "Effect of Corrosion on a Material's Tensile Strength and Ductility ", 2016, accessed 27.03.2019, 2019. <https://www.corrosionpedia.com/effect-of-corrosion-on-a-materials-tensile-strength-and-ductility/2/5976>
- [15] – Milne, I., R. O. Ritchie, and B. Karihaloo. "4.13.1 Introduction." In *Comprehensive Structural Integrity, Volumes 1-10*: Elsevier.
- [16] – William D. Callister JR. and David G. Rethwisch, *Materials Science and Engineering*. John Wiley & Sons Pte Ltd, 2011. 9th edition

- [17] – Brouwer, Peter. "Xrf Theory." (20.04.2019 2003). PANanalytical.
- [18] – LI Z.W, Marston NJ and Jones MS. "Timber Corrosion Test Methodology." Study Report. *BRANZ Study Report SR 244* (2011): 1 - 49.
- [19] – *Standard Test Method for Weight [Mass] of Coating on Iron and Steel Articles with Zinc or Zinc-Alloy Coatings*. 2018. ASTM A90/A90M
- [20] – *Standard Test Method for Determining the Relative Corrosion Performance of Driven Fasteners in Contact with Treated Wood*. ASTM G198-17
- [21] – «Fracture Features» av N.W. Sachs, ASM International, DOI: 10.1361/15477020522924

Figurer

Figur 7 - [22] - <https://www.nace.org/resources/general-resources/corrosion-basics/group-1/galvanic-corrosion>, hentet 20.04.2019

Figur 8 - [23] - <https://www.nace.org/resources/general-resources/corrosion-basics/group-1/pitting-corrosion>, hentet 20.04.2019

Figur 9 – [4] - Korrosjon og korrosjonsvern, Eivind Bardal, 2. utgave, 1994, Tapir akademisk forlag

Tabell:

Tabell 1 – [9] - "Corrosion of Metals by Wood." Guides to practice in Corrosion Control, hentet 15.02.2019,
http://resource.npl.co.uk/docs/science_technology/materials/life_management_of_materials/publications/online_guides/pdf/corrosion_of_metals_by_wood.pdf

Tabell 2 – [24] - Blackman, Allan G. and Gahan, Lawrence R. . "Aykwar and Findlay's Si Chemical Data/ Allan Blackman; Lawrence Gahan." In *Aykwar and Findlay's Si Chemical Data 7th Edition*, edited by John Wiley & Sons Australia Ltd, 155-59, 2014.

Vedlegg 1 – HMS Risikovurdering

Intro	Organisering	Eksisterende tiltak	Risikoanalyse	Tiltak	Evaluering etter tiltak	Sluttresultat
Endelig resultat						Hjelp
I tabellen under er hver uønsket hendelse merket med det endelige resultatet av risikovurderingen.						
	Konsekvensområde	Resultat	Resultat etter tiltak			
▲ Farekilde: Fjerne varmforsinkede belegg [55592]						
▲ Uønsket hendelse: Innhalering av gass [0]						
	Helse	● Risiko må vurderes				
▲ Uønsket hendelse: Sprut av syre [0]						
	Helse	● Risiko må vurderes				
▲ Farekilde: Forberede HCl (1(HCl)+1(deionisert vann)) [55590]						
▲ Uønsket hendelse: Gassdannelse [0]						
	Helse	● Risiko må vurderes				
▲ Uønsket hendelse: Sprut [0]						
	Helse	● Risiko må vurderes				
▲ Uønsket hendelse: Varmedannelse [0]						
	Helse	● Risiko må vurderes				
▲ Farekilde: Kutte gjengestang [55591]						
▲ Uønsket hendelse: Hørselskader [0]						
	Helse	● Akseptabel risiko				
▲ Uønsket hendelse: Kutteskader [0]						
	Helse	● Akseptabel risiko				
▲ Uønsket hendelse: Sprut fra materiale som kuttes [0]						
	Helse	● Akseptabel risiko				
▲ Farekilde: SEM analyse [55594]						
▲ Uønsket hendelse: Skade ved preparasjon av prøven [0]						
	Helse	● Akseptabel risiko				
▲ Farekilde: Test i salttåkekammer [55593]						
▲ Uønsket hendelse: Lekkasje [0]						
	Helse	● Akseptabel risiko				
▲ Uønsket hendelse: Søle eddiksyre [0]						
	Helse	● Risiko må vurderes				
Endelige vurderinger (må fylles ut før lukking) *						
Fyll ut begrunnelser og kommentarer til restrisiko, samt om usikkerhet ved vurderingen (f.eks. om den er av generell art, om vurderingen er basert på få personer etc.).						
<p>Arbeidet er vurdert med hensyn på at det kun er en person på gruppa, men det er også tatt høyde for at en person aldri vil være på laben og jobbe uten at noen andre er til stede. Ved å gjennomføre forsøk som kan danne gasser må risikoer vurderes videre, men ved å jobbe i ett avtrekkskap vil det ikke være noen problemer. Viktig med gode hansker for å unngå sprut på klær og hud.</p>						

Vedlegg 2 – Populærvitenskapelig rapport

Korrosjon i klatreparksystemer

I klatreparker som Høyt og Lavt brukes det en stor mengde metaller koblet til treverk ute i naturen. Disse metallene er utsatt for flere ulike korrosjonsformer som kan svekke materialets styrke, noe som kan føre til alvorlige skader i klatreparksystemet. Dette prosjektet ønsket å se nærmere på korrosjonsproblemer som kan oppstå i klatreparker ved å gjennomføre en akselerert syklisk test i et salttåkekammer.

Forsøket som ble gjennomført i dette prosjektet besto av å sette noen materialer som brukes i klatrepark inn i en trestokk, og deretter gjennomføre en tretti dagers lang syklisk test av den sammensatte trestokken. Den sammensatte stokken er vist i figur 1. To sykluser foregikk i løpet av disse tretti dagene, en tørr og en våt syklus. Det ble brukt vanlig vann i salttåkekammeret uten tilsatte salter eller syrer/baser. Planen var originalt at det skulle bruke surt vann ved å tilsette små mengder eddiksyre, men det ble ett mer naturlig forsøk ved bruk av rent vann.



Figur 10: Trestokken med metallbitene som brukes i klatrepark monterert og plassert i salttåkekammer

Etter tretti dager i salttåkekammeret var det dannet ett lag med hvit rust på de galvaniserte stål bitene, galvanisk korrosjon på skruene i easybraketten (figur 2) og på gjengestangen som har stått gjennom trestokken (figur 3). Malingsbelegget som dekker den øvre platen av easybraketten var ikke påvirket av korrosjon, og i ett senere forsøk burde det lages ett hakk eller en skade i malingsbelegget for å se hva slags skader som kan oppstå ved ødelagt malingsbelegg.



Figur 12: Galvanisk korrosjon på skruene i en easybrakett etter test i salttåkekammeret



Figur 11: Skade på gjengestang som har stått i treverket i salttåkekammeret

Korrosjon i klatrepark er vanskelig å oppdage og kunnskapen rundt korrosjon er variert blant ansatte. Eneste måten å behandle korrosjon i klatreparksystemer er ved nøye observasjon og kontroll av parken. Den største faren for klatrepark når det kommer til korrosjon er punktkorrosjon på gjengestenger inne i treverket, da dette vil være umulig å oppdage før det går brudd på materialet. Punktkorrosjon vil kunne skje om laget med sink blir skrappt av eller ødelagt i ett lokalt område. Den hvite rusten på de galvaniserte metalledene som er observert i denne testen er oppstått på grunn av høye temperaturer og raske temperaturendringer i salttåkekammeret. Galvanisk korrosjon på skruene i easybraketten er heller ikke spesielt farlig, til tross for at det ikke nødvendigvis ser så fint ut.

I dette prosjektet har det blitt testet hva slags korrosjonskader som kan oppstå i ett klatreparksystem. Videreutvikling av forsøket vil være å sette easybraketten under en konstant belastning for å skape ett enda mer realistisk test. Generelt er det viktig å fortsette med jevnlig kontroll av klatreparken hvor skader rapporteres inn og blir behandlet på riktig måte.