

Bestandighetsegenskapene til hvit betong sammenlignet med grå betong i tilsvarende fasthetsklasse

Forsøk av fryse/tine-nedbrytning med avisingsalter.



Julianne Sundklakk

Veileder

Rein Terje Thorstensen (Universitetet i Agder)

Universitetet i Agder, 2023

Fakultet for teknologi og realfag
Institutt for ingeniørvitenskap

Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring

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

1.	Jeg/vi erklærer herved at vår besvarelse er vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen: - ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands. - ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt. - ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt. - har alle referansene oppgitt i litteraturlista. - ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse.	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å betrakte som fusk og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. Universitets- og høgskoleloven §§4-7 og 4-8 og Forskrift om eksamen §§ 31.	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert.	<input checked="" type="checkbox"/>
5.	Jeg/vi er kjent med at Universitetet i Agder vil behandle alle saker hvor det forligger mistanke om fusk etter høgskolens retningslinjer for behandling av saker om fusk.	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av kilder og referanser på biblioteket sine nettsider.	<input checked="" type="checkbox"/>

Publiseringsavtale

Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgava. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten (Åndsverkloven. §2).

Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage Aura og på UiA sine nettsider med forfatter(ne)s godkjenning.

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

Jeg/vi gir herved Universitetet i Agder en vederlagsfri rett til å gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering: JA NEI

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?
(Båndleggingsavtale må fylles ut) JA NEI

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over? JA NEI

Er oppgaven unntatt offentlighet?
(inneholder taushetsbelagt informasjon. Jfr. Offl. §13/Fvl. §13) JA NEI

Forord

Kjære mamma, du er dypt savnet.

Jeg vil begynne med å takke Hermann, pappa og Mathias for all støtte gjennom denne reisen, det betyr så mye.

Videre vil jeg takke Rein Terje som har vært der for meg og hjulpet meg til å oppnå drømmen om å bli sivilingeniør. Tusen takk til Rita for så god hjelp og støtte. Labbarbeid er ikke alltid så enkelt alene, men dere stiller alltid opp.

Bak denne oppgaven ligger det så mye mer enn bare akademisk prestasjon. Her har målet ikke bare vært å bli sivilingeniør i bygg, men også å bygge meg selv opp igjen! Derfor betyr denne oppgaven ekstra mye. Ved byggingeniørutdanningen ved UiA bygges mennesker.

Jeg er ekstremt takknemlig for denne muligheten og alt Universitetet i Agder er og står for! Tusen takk for alle menneskene på bygg som har lært meg like mye om å bygge mennesker som å bygge konstruksjoner!

Takk!

Grimstad, 4. juni 2023

Julianne Sundklakk

Summary

The basis of this master thesis is the new planned «Knubben» harbor bath in Arendal. The architects from Snøhetta had decided to build the construction in white concrete. White concrete is currently a material that is not widely used compared «traditional» gray concrete. The construction is planned located in the harbor basin close to Arendal and will therefore be exposed to a harsh environment. There are therefore strict requirements to the concrete to ensure structural integrity and reduce deterioration. It is therefore interesting to see whether the durability of the white concrete similar to gray concrete of same quality. The following research question has been formulated:

How are the durability properties of white concrete compared to gray concrete in the same strength class?

The white and gray concrete is produced in the construction lab at UiA. The main focus is to test the deterioration mechanism frost/deterioration. The freeze/thaw resistance of white concrete is compared to gray concrete. The following test method is used: SN-CEN/TS 12390-9:2016. Testing hardened concrete — Part 9: Freeze-thaw resistance with de-icing salts — Scaling

The results show that the durability of the concrete is dependent on several factors. The results from the freeze/thaw- test can not sufficiently answer the research question. The findings of this thesis prove that there is insufficient basis to conclude on the white concrete durability compared to grey «traditional» concrete, due to inadequate scaling test results defined per the standard.

Innhold

Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring	i
Puliseringsavtale	ii
Forord	iii
Summary	iv
1 Innledning	1
2 Samfunnsperspektiv	2
3 Kunnskapsbakgrunn	4
3.1 Betongens bestandighet	4
3.2 Bestandighetsklasser for betong	4
3.3 Nedbrytningsmekanismer	5
3.4 Fysisk nedbrytning: frostnedbrytning av betong	5
3.4.1 Osmotiske effekter	6
3.4.2 Hydraulisk trykk	6
3.5 Luftinnførende tilsetningsstoff	7
3.6 Kloridinntrenging	7
3.7 Prøvemethoder	7
4 Forskerspørsmål	8
5 Case og Materialer	9
5.1 Case	9
5.2 Materialer	11
5.2.1 Betongresepter	11
5.2.2 Materialer brukt til fryse/tine- forsøk	12
6 Metode	13
6.1 Generelt	13
6.2 Litteraturstudie	13
6.3 Sikring av representative testresultater	14
6.4 Prosedyre for blanding av betong	14
6.5 Konsistens: synkmål og synkutbredelse	15
6.6 Ferskdensitet til betongen	16
6.7 Luftinnhold	16
6.8 Støping av prøvestykker	17
6.9 Trykkfasthet for terninger	18
6.10 Densitet for herdet betong	19
6.11 Fryse/tine-motstand med avisingsalter - Avskalling	20
6.11.1 Endelig resultat bergening	25
6.12 Sliping av betongprøver	26
6.13 RCT-test: Rapid Chloride Test	27
7 Resultat	29
7.1 Resultat fra litteraturstudie	29

7.1.1	Properties of White Portland Cement Concrete	29
7.1.2	A review on the deterioration of mechanical and durability performance of marine-concrete under the scouring action	33
7.1.3	Freeze–thaw field exposure and testing the reliability of performance test temperature cycle for concrete scaling in presence of de-icing salts	35
7.2	Resultat fra laboratorieforsøk	38
7.2.1	Resultat fra tester på fersk betong	38
7.2.2	Resultat trykkfasthet og densitet	39
7.2.3	Resultat fra fryse/tine- test og trykktesting	39
7.2.4	Resultat fra fryse/tine-forsøk eter 56 sykluser på overflaten til betongen . . .	40
7.2.5	Resultat for RCT-test	41
7.3	Resultat fra spesialiseringsprosjekt høst 2021	43
8	Diskusjon	44
8.1	Hva er sammenhengen mellom nedbryting av fryse/tining og betongens trykkfasthet?	44
8.2	Hvordan er fryse/tine-motstanden med avisningsalter til hvit betong?	44
8.3	Hvor dyp er kloridinntrengingen i betongen etter fryse/tine-forsøk?	45
8.4	Hvordan er bestandighetsegenskapene til hvit betong sammenlignet med grå betong i samme fasthetsklasse?	47
8.5	Svakheter	48
9	Konklusjon	49
10	Anbefalinger	50
	Referanser	51
11	Vedlegg	53

Figurliste

2.1	Bærekraftsmål 9.1 [5].	2
2.2	FNs bærekraftsmål	2
3.1	Bestandighetsklasser til betongen [3].	5
3.2	Trykkreduksjon mot en luftpore når vann i en kappilærpore fryser [2, s.30]	7
5.1	Forslag til nye «Knubben» i Arendal, av Snøhetta [10].	9
5.2	Bilde av tilslag, sement og pigment brukt i den hvite betongen.	11
5.3	Bilde av produkter brukt til prøvene	12
6.1	Figur illustrerer hvordan man måler synkmål [14].	15
6.2	Synkutbredelse [15].	16
6.3	Luftporebøtte med forklaring av komponentene.	17
6.4	Egenprodusert støpeform 150 x 150 x 150 mm.	18
6.5	Densitet til betongterning	19
6.6	Oppsett i «herdekammer».	21
6.7	Produksjon av prøvestykker.	21
6.8	Butyltape på prøvestykker.	22
6.9	Butyltape på prøvestykker uten elektrikertape.	22
6.10	vannmetning av prøvene	22
6.11	Isolering av betongprøve.	23
6.12	Temperaturområdet i frysekammer [8].	23
6.13	Fryseskap med betongprøver.	24
6.14	Avskalling på grå betongrøve fra fryseskap	24
6.15	Oppsett for sliping.	26
6.16	RCT-utstyr.	28
7.1	Trykkfasthet for blanding 0 med grå, Sinai og Royal sement [17].	30
7.2	Trykkfasthet for blanding 1 med grå, Sinai og Royal sement[17].	30
7.3	Sammenligning av trykkfasthet for vanlig mot hvit tilslag for blanding 0 [17].	31
7.4	Sammenligning av trykkfasthet for vanlig mot hvit tilslag for blanding 1 [17]	31
7.5	Sammenligning av trykkfasthet for hvit betong med pigment mot hvit betong kun hvitt tilslag med blanding 0 [17]	32
7.6	Sammenligning av hvit betong med ulike tilsetninger[17]	32
7.7	Nedbrytningsmekanismer på betong i maritimt miljø[19]	33
7.8	Testoppsett for prøvene ute i felten på Mont Aigoual [20].	36
7.9	Mengde avskalling fra laboratorietest for prøvestykker [20].	37
7.10	Ferskegenskapene til hvit og grå betong.	39
7.11	Overflaten til den hvite betongen etter 56-sykluser.	40
7.12	Overflaten til den grå betongen etter 56-sykluser.	41
7.13	Kalibreringskurve	42
8.1	Sammenligning av trykkfasthet og avskalling.	44
8.2	Kloridprofil for den hvite betongen	46
8.3	Kloridprofil for den grå betong	46
8.4	Motstand mot kloridinntrengning for hvit og grå betong. Merk: grå betong er produsert av Ribe og har annet tilslag enn betong produsert på labb.	47

Tabelliste

3.1	Eksponeringsklasser for betong [3].	4
5.1	Betongkvalitet for prosjektet [9].	9
5.2	Betongresept for hvit betong.	11
5.3	Betongresept for grå betong.	11
6.1	Søkeord anvendt i litteraturstudiet	14
7.1	Betongresept som ble brukt av Abuzaid, Rofael et al. [17].	29
7.2	Sammenligning av trykkfasthet for hvit betong med pigment mot hvit betong med kun hvitt tilslag for blanding 0 [17].	31
7.3	Betongresept [1 kg/ m ³] og betongens egenskaper [20].	36
7.4	Ferskeegenskapene til hvit og grå betong.	38
7.5	Resultater trykktesting.	39
7.6	Resultater fra fryse/tine-test og trykkprøver.	39
7.7	Resultat med kalibreringsvæske	41
7.8	Resultat for kloridinnhold av betongvekt for hvit og grå betong.	42
7.9	Resultat for trykkfasthet i tidlig fase for hvit og grå betong.	43
7.10	Resultat fra NT Build 492: kloridmigrasjonstest	43

1 | Innledning

Betong er et av de mest brukte og viktigste bygningsmaterialene vi har sammen med stål og tre. I Norge produseres det rundt 5 millioner m³ [1] per år. Betong har mange gode egenskaper som gjør det til et allsidig materiale. Betong tåler store krefter, og det er formbart da det kan støpes i de fleste former og dimensjoner. Betong er et sammensatt materiale bestående av tilslag, sement, vann, tilsetningsstoffer og tilsetningsmaterialer. Sammensetningen av delmaterialene og de tilhørende egenskapene bestemmer kvaliteten til herdet betong. Dette påvirker igjen betongens fasthet og bestandighet [2].

Norcem (nå Heidelberg Materials) som er Norges ledende produsent av sement, uttrykker at «god betong er bestandig». Med det mener de at en betongkonstruksjon skal ha den levetid den er dimensjonert for, uten at det må utføres unødvendig og kostbart vedlikehold [3]. For byggherren er det viktig at betongens forutsatte styrke og utseende holder seg over tid. Dette er en av betongens styrker, men det krever riktig sammensetningen og utførelse av betongen. Dersom sammensetning og utførelse ikke er gjort riktig kan det føre til nedbrytning over tid, og behov for reparasjon [3].

Betong brukes i mange ulike og nye områder, derfor vil den utsettes for forskjellige miljøpåkjenninger. Samtidig er det krav til kostnadseffektivitet og miljø. Dette fører til nye produksjons- og produktkrav, som gir et økt behov for å spesialtilpasse betongreseptene [3]. For å ha en betong som også er bestandig for fremtiden er det viktig at en ser på miljøbelastningen betongen skal utsettes for [3]. Den kritiske belastningen bestemmer nødvendig kvalitet og tilhørende betongresept.

Nye prøvemeter og nytt avansert prøveutstyr, i tillegg til felterfaringer fra skadet betong, har gitt bedre grunnlag i å forstå årsak/virkning i nedbrytningsprosessene. I dag finnes det god materialteknisk kunnskap, som gjør det mulig å komponere betong som kan motstå mange av nedbrytningsmekanismene [3].

Denne oppgaven ser på bestandighetsegenskapene til hvit betong, med fokus på den fysiske nedbrytningsmekanismen fryse/tining. Nærmere bestemt fryse/tining av hvit betong sammenligne med grå betong av tilsvarende kvalitet. Konstruksjoner som er eksponert for frysing og tining er ubeskyttede flater som er i et fuktig miljø eller er i direkte kontakt med vann. Dette kan være regn, sjøvann, snø, vannsprut, is eller avisingsalter. Eksempler på utsatte konstruksjonsdeler er dekker, plater, yttervegger, trapper, sider på bruer eller brygger [4].

Litteraturen om frostnedbrytning av betong er svært omfattende. Det er flere teorier og hypoteser for nedbrytning på grunn av frost, men mye er også uklart. En vet som regel hvilke materialer og miljøfaktorer som styrker betongens forstmotstand, som gir godt grunnlag for å produsere tilfredstillende betong [1]. I dag har en god kunnskap om hvordan grå betong reagerer mot nedbrytningsmekanismer. Nye krav til materialer og mer fokus på estetikk, gir rom for videre utvikling og forskning på nye materialer. For hvit betong det ikke forsket like mye på bestandighet, men den må oppfylle de samme kravene som den tradisjonelle grå betongen. Derfor er det behov for mer forskning på området.

2 | Samfunnsperspektiv

FNs bærekraftsmål 9 tar for seg industri, innovasjon og infrastruktur. Det er nødvendig i framtiden å bygge solid infrastruktur for å fremme inkluderende og bærekraftig industrialisering og innovasjon. Infrastruktur er en av de underliggende faktorene som er nødvendig for at et samfunn skal fungere [5].

Delmål nr. 9.1 ser på å utvikle solid infrastruktur av høy kvalitet på en bærekraftig måte. Dette er viktig både regionalt, men det er også viktig med grensekryssende infrastruktur, da dette fremmer økonomisk utvikling, se Figur 2.1 [5].

Hvit betong er mindre brukt enn tradisjonell grå betong. Bruk av hvit betong gir rom for ny utforming av konstruksjoner med tanke på estetikk og bruksområder. Det er imidlertid utført lite forskning på bruken av hvit betong. For å ta vare på de ressursene vi har er det viktig med riktig bruk av materialer. Materialteknologi er et forskningsfelt som tar for seg egenskapene til materialer. Det er viktig med kunnskap på dette området for å optimalisere bruken til hvert enkelt materiale.



Figur 2.1: Bærekraftsmål 9.1 [5].

Det naturlig å sette oppgaven inn i sammenheng mellom bruk og forvaltning av naturressurser, etter FN bærekraftsmål nummer 12 ser en på ansvarlig forbruk og produksjon. Dette handler om å gjøre mer med mindre ressurser [6].

Spesifikt passer bærekraftsmålene 12.2 og 12.5, se Figur 2.2a og 2.2b. Mål nummer 12.2 handler om bærekraftig forvaltning av naturressurser. 12.5 tar for seg å redusere mengden avfall som produseres, ved forebygging, reduksjon, materialgjenvinning og ombruk [6].



(a) Bærekraftsmål 12.2 [6].



(b) Bærekraftsmål 12.5 [6].

Figur 2.2: FN's bærekraftsmål

I utsatte miljø, slik som ved maritime påkjenninger, er det derfor essensielt at disse materialene har tilstrekkelig ytelse, både på kort og lang sikt da dette vil ha stor betydning for konstruksjonens livsløp. Ved å forsikre seg om materialets bestandighet, vil en ha bedre oversikt over ytelsesevnen til materialet. Målet er å bruke materialet på en slik måte at en kan forvalte naturressursene på best mulig måte. I tillegg til å redusere avfallsmengde ved eventuell dekonstruksjon/riving.

Denne oppgaven tar for seg klimapåkjenninger på betong i maritimt miljø og undersøker effektene av disse for betongens bestandighet.

3 | Kunnskapsbakgrunn

I kunnskapsbakgrunn presenteres relevant litteratur for å kunne gi tilstrekkelig grunnlag for valgt tematikk. Kildene brukt er en kombinasjon av fagbøker og litteratursøk.

3.1 Betongens bestandighet

Betongens bestandighet forteller hvor god motstand betongen har mot nedbrytning. For å oppnå god bestandighet krever det valg av riktige materialer, sammensetning av betongen og at arbeidene blir utført riktig [1]. Motstandsdyktigheten mot nedbrytende krefter handler i stor grad om motstandsevnen til å transportere fukt og aggresiver, altså tettheten/porøsiteten til betongen. Det er det tetteste materialet som er mest bestandig [3]. Den parameteren som har størst innvirkning på betongens bestandighet er masseforholdet. Faktoren man bruker mest er vann/sementforholdet (v/c-tallet). Et v/c-tall på 0,40 ansees som det ideelle forholdet. Med et v/c-tall på 0,40 regner man at det er nok vann slik at all sementen reagerer, som vil si at en får omdannet all sementen til sementlim. Dersom man har mindre vannmengder vil ikke all sementen reagere og en får sementkorn i betongen som ikke har reagert med vann. Ved høyere vanninnhold vil det føre til overskuddsvann. Overskuddsvann vil kunne danne kontinuerlige kapillærporer. Dette muliggjør en kraftig økning av væske- og gasstransporten, og dette gir større nedbrytningsfare [3].

3.2 Bestandighetsklasser for betong

Valg av betong til en konstruksjon blir definert etter hvilke miljøpåkjenninger betongkonstruksjonen vil bli utsatt for [3]. Dette kalles for eksponeringsklasser. Tabell 3.1 viser de forskjellige eksponeringsklassene, oppgitt i standarden NS-EN 206:2013+A2:2021[7]. En konstruksjon vil alltid være utsatt for flere nedbrytningsmekanismer samtidig, med et unntak for eksponeringsklassen X0. Tabell 3.1 er en forenklet modell fra NS-EN 206:2013+A2:2021, som viser hvilken bestandighetsklasse som tilhører eksponeringsklassen, altså hvilken betongsammensetning som kan brukes. For å motstå eksponering mot tinesalter (XS3), er det bestandighetsklassene MF40 og M40 som er tilstrekkelig motstandsdyktige [3].

Klassifisering av konstruksjoner ut fra miljøbelastning	
Grad av belastning angis med nummer. For en mer detaljert oversikt av klasseinndelingen og beskrivelse av miljø, samt eksempler på hvor eksponeringsklassene kan forekomme, henvises det til NS-EN 206:2013+NA:2014	
EKSPONERINGSKLASSER	
X0	Ingen risiko for korrosjon eller angrep
XC1-4	Korrosjon framkalt av karbonatisering
XD1-3	Korrosjon framkalt av klorider som ikke stammer fra sjøvann
XS1-3	Korrosjon framkalt av klorider fra sjøvann
XF1-4	Fryse-/tineangrep
XA1-4	Kjemisk angrep
XSA	Særlig aggressivt miljø

Tabell 3.1: Eksponeringsklasser for betong [3].

Bestandighetsklassene med tilhørende eksponeringsklasser og materialkrav Valg av bestandighetsklassene etter nasjonalt tillegg til NS-EN 206:2013+NA:2014						
EKSPONERINGSKLASSE	BESTANDIGHETSKLASSE					
	M90	M60	M45	MF45 ³⁾	M40 ⁴⁾	MF40 ^{3,4)}
X0	X	X	X	X	X	X
XC1, XC2, XC3, XC4, XF1		X	X	X	X	X
XA1, XA2 ¹⁾ , XA4 ²⁾ , XD1, XS1			X	X	X	X
XF2, XF3, XF4				X		X
XD2, XD3, XS2, XS3, XA3 ¹⁾					X	X
XSA ¹⁾	Betongsammensetning og beskyttelsestiltak fastsettes særskilt. Betongsammensetningen skal minst tilfredsstille kravene til M40					
Største masseforhold v/(c+ Σ k p)	0.90	0.60 ⁵⁾	0.45	0.45	0.40	0.40
Minste luftinnhold i fersk betong	-	-	-	4%	-	4%
Minste effektive bindemiddel- mengde (c+ Σ k p) kg/m ³)	225	250	300	300	330	330
Tillatte sementer	STD FA ANL FA ANL IND	STD FA ANL FA ANL IND	STD FA ANL FA ANL IND	STD FA ANL FA ANL IND	STD FA ANL FA ANL IND	STD FA ANL FA ANL IND
<p>1) Om det i eksponeringsklasse XA2, XA3 eller XSA er mulighet for kontakt med sulfater i konsentrasjoner høyere enn nedre grenseverdien for XA2, skal det i produksjonsunderlaget presiseres at det skal anvendes sulfatbestandig bindemiddel. (Tabell NA.13 i NS-EN 206:2013+NA:2014)</p> <p>2) For konstruksjoner utsatt for husdyrgjødsel, skal det i produksjonsunderlaget presiseres at det skal anvendes minst 4% silikastøv.</p> <p>3) For bestandighetsklasse MF45 og MF40 skal det anvendes frostsikkert tilslag.</p> <p>4) Bindemidlet skal minst inneholde 6% silikastøv.</p> <p>5) For STD FA og ANL FA er største masseforhold i M60 henholdsvis 0,54 og 0,55.</p>						

Figur 3.1: Bestandighetsklasser til betongen [3].

3.3 Nedbrytningsmekanismer

Som svært mange andre bygningsmaterialer blir betong utsatt for ulike påkjenninger. Nedbrytningen som følge av disse påkjenningene vil føre til redusert levetid for en konstruksjon. Disse nedbrytningsmekanismene deles inn i ulike grupper: kjemiske, fysiske, elektrokjemiske eller biologiske. Dette fører igjen til ulike typer skader på betongen som følge av langsiktige nedbrytningsmekanismer [1], [2]. Dette kan være armeringskorrosjon, sprekker, riss, avskallinger, kalkutfelling, rustutslag og oppløsning av sementpastaen [2]. For å kunne lage en bestandig betong, men også kunne gjøre riktige utbedringstiltak og eventuelt rehabilitering av betongen, er det viktig å ha kunnskap til de ulike skadetyperne og årsaken til skadene. I praksis virker ofte flere nedbrytningsmekanismer samtidig og kan dermed være med på å frosterke hverandre [1].

3.4 Fysisk nedbrytning: frostnedbrytning av betong

I Norge er frostskader et mindre problem sammenlignet med armeringskorrosjonsproblematikk. Frostskader skjer oftest i forbindelse med salt, altså tinesalter og saltvann fra sjøen. Dersom vannet ikke inneholder salt, har en sjeldent problem med frostskader [1]. Frostskader starter generelt i overflaten på betongen i form av «flak» som skaller av, etterhvert vil nye avskallinger «spise» seg innover i betongen [2].

Det er flere hypoteser rundt frostpregning, men ingen gir en fullverdig forklaring på hva som i praksis skjer for betong som utsettes for frost. Det er større enighet om hvilke materialer og miljøfaktorer som påvirker frostbestandigheten til betongen [3].

En skiller mellom to forskjellige typer frostskader, avskalling og volumnedbrytning. Avskalling skjer i hovedsak i tilfeller med saltvann. Volumnedbrytning skjer først og fremst ved påkjenning av vann uten salt [1].

Betong er et porøst materiale der poreinnholdet ligger på 120-180 liter porer per m². En del av disse porene vil bli fylt med vann når betongen utsettes for vann i korte eller lengre perioder. Det er spesielt i overflaten av betongen dette skjer [1]. Dette gjelder for tilfeller ved regn, snøsmelting eller for konstruksjoner som står i «skvalpesonen» [3].

Avskalling er progressiv, som vil si at det sprer seg langsomt innover fra overflaten. I hovedsak er dette et estetisk problem, som kan være lett å få øye på, men kan være kritisk i de tilfeller der en får tap av armeringsoverdekning på en bærende konstruksjonsdel. Volumnedbrytning er til forskjell ikke synlig i tidlige stadier og oppstår sjeldnere, men konsekvensene er ofte mer alvorlige/verre [1].

Når vann fryser til is øker volumet med ca 9% [2], [4]. Avhengig av vannfyllingen av betongens porer vil en få oppsprekking og avskalling. En vil få hydraulisk trykk i vannet som er i porene, noe som fører til strekkspenninger i betongen. Hvis disse strekkspenningene overskrider strekkapasiteten i betongen vil det føre til skader [1].

Hvor stor isdannelse en får i betongen ved frysing ved en gitt temperatur avhenger av to hovedfaktorer: porestruktur og vannmetningsgrad. Porestrukturen til betong varierer i størrelse fra nm til mm [4]. Ved vannmettet betong, vil en liten pore fryse til is ved en lavere temperatur enn en større pore. For betong (vannmettet, uten luftporetilsetning) med masseforhold 0,40 vil ca 10% av vannet fryse ved -20 °C. For betong med masseforhold på 0,70 vil ca 30% av vannet fryse [1], [4]. Med tanke på frostbestandighet er det derfor gunstig med lavt masseforhold. Når en ser på betongens vannmetningsgrader det porene i kapillærporesystemet som fylles med vann. Luftbobler som dannes ved bruk av luftinnførende tilsetningsstoff antas å være permanent fylt med luft [1].

Betong som utsettes for et miljø med saltholdig vann krever høyest luftprosentverdi [1]. I dag sier erfaring at rundt 4-6 % med små runde luftporer med diameter fra 0,03-0,3 mm beskytter mot frostnedbrytning, inkludert frost fra saltvann. I tillegg er finhetsgraden på porestruktur av den herdede sementpastaen med lavt v/c-forhold, og gode herdeforhold viktig for å forhindre nedbrytning [4].

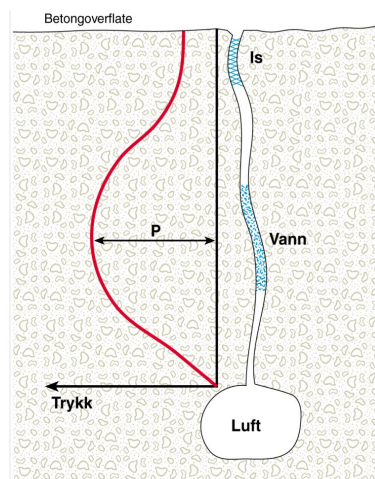
De to viktigste hypotesene for å forklare frostnedbrytning av herdet betong er: Osmotiske effekter og hydraulisk trykk [2].

3.4.1 Osmotiske effekter

Når en får isdannelse i en pore i betongen fører dette til økt innhold av i ioner i det resterende vannet, dette gjelder spesielt for saltholdig porevann. Ionene som er oppløst i vannet nær isfronten har vanskeligere med å flytte på seg i poresystemet enn vannmolekylene. For å utjevne forskjellene i ionkonsentrasjonen i porevannet, skjer det en transport av vann mot isfronten. Dette fører til at et hydraulisk trykk bygges opp i poresystemet, som vil gi strekkspenninger i betongen, og det kan oppstå riss. Saltvann frosterker denne effekten. Hastigheten på temperaturendringen har også en effekt. Sakte nedkjøling resulterer i større avskalling enn ved rask nedkjøling. [1].

3.4.2 Hydraulisk trykk

Ved overgangen fra vann til fryst fase vil vannet i kapillærporene utvide seg. Dette fører til at ikke-fryst vann blir presset innover i betongens poresystem foran frysefronten, se figur 3.2. Det er relativt lav permeabilitet i betong, som gjør at det vil bygge seg opp et hydraulisk trykk i poresystemet. Dermed vil det bygges opp strekkrefter i betongen, hvis betongens strekkfasthet er for lav til å stå i mot disse kreftene, vil betongen sprekke opp. Dette betyr i praksis at den fryser i stykker. Hvis luftboblene ligger tett nok, vil vannet bli presset inn i luftboblene. Dette fører til at det hydrauliske trykket blir mye mindre enn om luftboblene ligger lengre fra hverandre [1].



Figur 3.2: Trykkreduksjon mot en luftpore når vann i en kappilærpore fryser [2, s.30]

3.5 Luftinnførende tilsetningsstoff

Luftinnførende tilsetningsstoff blir brukt i betong som skal være frostmotstandig. Det er små luftbobler i betongen med liten avstand som beskytter best mot frost. Fra boka «Betong- regelverk, teknologi og utførelse» utgitt av Byggenæringens forlag, står det at denne teorien stemmer godt for grovporøse materialer som teglstein og betong der masseforhold er høyere enn ca 0,45. Men det gir ikke en like god forklaring rundt dagens kunnskap om isdannelse og porestruktur for høykvalitetsbetong med et masseforhold mindre enn ca.0,45 [1, s.229].

3.6 Kloridinntrenging

Betongkonstruksjoner som er utsatt for klorider i form av sjøvann eller salting om vinteren vil i bruksituasjonen ha klorider som trenger inn i betongen over tid. For betongkonstruksjoner som står i sjøvann, vil klorider trenge inn ved en diffusjonsprosess. Kloridinntrenging avtar med økende betongkvalitet, altså ved lavere masseforhold (v/c -tall) [1].

3.7 Prøvemethoder

Det er to ulike tester som brukes til å se på betongens bestandighet mot frost i laboratoriet. Den europeiske referansetesten SN-CEN/TS 12390-9, som ser på fryse/tining med eller uten avisingsalter, der en måler skaden [8]. Den andre testen er en indirekte test der en måler luftpore- innholdet, «Protective pore Factor (PF)» og «air void spacing (L)» [4].

For SN-CEN/TS 12390-9 måles skaden på betongen i avskallet fra overflate etter 56 sykluser i $[\text{kg}/\text{m}^2]$ Betongens frysemotstand dømmes etter dårlig, $S_{56} > 1 \text{ kg}/\text{m}^2$ til veldig bra motstand mot avskalling med avisingsalter på $S_{56} < 0,1 \text{ kg}/\text{m}^2$. Forbehandlingen av prøvestykkene er veldig viktig for sluttresultatene for testen. Betongprøven er mettet med vann på overflaten til en hver tid under fryse/tine- forsøket, dette samsvarer ikke med de fleste betongkonstruksjoner i praksis [4].

4 | Forskerspørsmål

På bakgrunn av at hvit betong er et materiale som er mindre brukt enn grå «tradisjonell betong» er det blitt utarbeidet følgende forskerspørsmål:

Hvordan er bestandighetsegenskapene til hvit betong sammenlignet med grå betong i samme fasthetsklasse?

- Hvordan er fryse/tine-motstanden med avisningsalter til hvit betong?
- Hvor dyp er kloridinntrengingen i betongen etter fryse/tine-forsøk?
- Hva er sammenhengen mellom nedbryting av fryse/tining og betongens trykkfasthet?

5 | Case og Materialer

5.1 Case

Denne oppgaven bygger videre på forfatter sitt spesialiseringsprosjekt høsten 2021 i Byg 515 ved Universitetet i Agder [9]. Spesialiseringsoppgaven baserte seg på det planlagte prosjektet «Knubben» i Arendal, se Figur 5.1. Knubben er et samarbeid mellom arkitektkontoret Snøhetta og flere lokale aktører på Sørlandet. I utgangspunktet var det planlagt å restaurere den eksisterende konstruksjonen som har ligget brakk i mange år. Under Snøhetta sitt mulighetsstudie ble det bestemt at anlegget trengte modernisering for å kunne bli et flerbruksanlegg, dvs. til mer enn svømmeaktiviteter. Inspirasjonen til den nye «Knubben» kommer fra holmer og skjær langs norskekysten. Konstruksjonen skal forestille en steinblokk formet under den siste istiden, og vil bestå av horisontale lag Som er ment å etterligne konturlinjene på et kart for å representere terrenget så nøyte som mulig [10].



Figur 5.1: Forslag til nye «Knubben» i Arendal, av Snøhetta [10].

Tabell 5.1: Betongkvalitet for prosjektet [9].

Betongkvalitet		
Eksponeringsklasse	Bestandighetsklasse	Trykkfasthet
XS3	MF40	B45

Prosjektet skiller seg ut ved at det er fokus på å utfordre materialbruken [10]. Arkitektene har bestemt at «Kubben» skal utføres i hvit betong. Konstruksjonen står i et maritimt miljø med tøffe værutfordringer. Konstruksjonen skal lages med plasstøpt betong. Kaidekke, skjørt og områder i «skvalpesonen» skal utføres i kvalitet vist i Tabell 5.1.

Som forlengelse av dette sees et behov for mer kunnskap om hvordan hvit betong står seg i et maritimt miljø. Det finnes lite forskning på området. Derfor er det interessant å se på den hvite betongen mot «vanlig» grå betong. Hvit betong produseres på samme måte som tradisjonell betong, men det er viktig å bruke rent utstyr for å unngå misfarging. Materialene som er brukt for å lage den hvite betongen er vist i tabellen 5.2 og bilde av delmaterialene i 5.2.

Spesialiseringsoppgaven var en laboratorieoppgave der betongens motstand for kloridinntrenging ble testet. For denne masteroppgaven tas arbeidet videre med testing på lab, der betongens

motstandsevne for nedbrytning skal testes. Testingen består av fryse/tine-forsøk, der hvit betong blir sammenlignet opp mot grå betong av tilsvarende kvalitet.

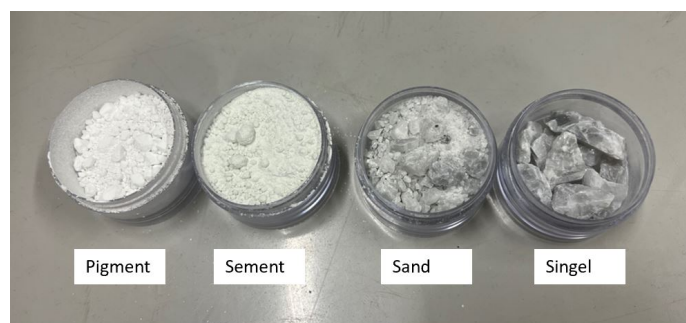
5.2 Materialer

5.2.1 Betongresepter

Tabell 5.2: Betongresept for hvit betong.

Resept hvit betong MF40	kg/m ³	g/37L
Hvit sement CEMII/A 52,5 R	500	18500
Visnes kalk marmor sand 0-8	1000	37000
Visnes kalk marmor singel 0-15	800	29600
Titandioksid	8.3	307.1
Vann	183.3	6782.1
Dynamon SX-23	3	111
Mapeair 25 1:19	1	37
Viscostar 3K-N	1	37
v/c-tall	0.37	

Materialer brukt i den hvite betongen er vist i Tabell 5.2. Tilslaget som er brukt til å lage den hvite betongen er vist i Figur 5.2, sammen med hvit sement og pigment.



Figur 5.2: Bilde av tilslag, sement og pigment brukt i den hvite betongen.

Tabell 5.3: Betongresept for grå betong.

Resept SV: standard MF 40	kg/m ³	g/37L
Norcem STD. F.A	444.6	16449.6
Mikro silika	16.3	602.6
Reddal 0-8	926.2	34270.0
Reddal 10-20	609.2	22541.3
Vann	158.5	5864.4
Dynamo SX-23	4.0	147.2
Mapeair 25 1:19	3.6	131.6
v/c-tall	0.36	
v/b-tall	0.34	

Materialer brukt i den grå betongen er vist i Tabell 5.3.

5.2.2 Materialer brukt til fryse/tine- forsøk

Under er det listet opp produkter som er brukt i produksjon av prøvestykker til laboratorietesten etter SN-CEN/TS 12390-9:2016 - Fryse/tine-motstand med avisingssalter - Avskalling.

I standarden er det forklaring på krav til materialene som skal brukes, men det er ikke en spesifikk forklaring på hvilken type produkt som skal brukes.

Forfatter tok utgangspunktet i en lignende norsk masteroppgave som har gjennomført tilsvarende fryse/tine- forsøk: «Betong med høyt flygeaskeinnhold: frostbestandighet og luftporestruktur» [11]. Her ble det brukt butyltape fra Sitko og lim fra Casco med produktnavn «Marin & Teknisk Lim og Fug».

Forfatter ringte produsenten Casco og fikk tilbakemelding på at «MultiTech» var nytt produkt som erstatter «Marin & Teknisk Lim og Fug». Det ble også bekreftet over telefon at «MultiTech» egnet seg som lim til fryse/tine-forsøk.

- Gummibånd: Isola - Butylbånd Outdoor Dim: 50 mm x 15 m, tykkelse 1 mm, se Figur 5.3a.
- Lim: Casco - MultiTech 300 ml se Figur, 5.3b.
- Isopor: tykkelse 20 mm.
- Saltvann: 97% kranvann og 3% av massevekt med NaCl.



(a) Rull med butylbånd fra Isola



(b) MultiTech lim fra Casco.

Figur 5.3: Bilde av produkter brukt til prøvene

6 | Metode

6.1 Generelt

Bilder og tabeller som ikke har oppgitt kilde er forfatter sine egne.

6.2 Litteraturstudie

Et litteraturstudie har blitt gjennomført for å se på tidligere forskning på området.

Kurset «Academic Information Seeking» ble utført for å få et grunnlag til hvordan man burde gjennomføre et godt litteratursøk. Kurset er laget av Technical University of Denmark, og er tilgjengelig gjennom læringsplattformen Coursera [12]. Kurset gir kunnskap om hvordan man kan søke etter relevant informasjon og basere oppgaven på akademiske artikler. Som en del av kurset får en tilgang til en «log book». Denne brukes til å samle relevante søkeord og begreper. Deretter brukes disse til å gjøre litteratursøk i en database. Resultatene med hvilke søkeord som er brukt og antall treff skrives ned i tabellen for søkehistorikk i «log book», finnes i vedlegg 1.

Det ble anbefalt å bruke Web of Science, Scopus eller ScienceDirect, som søkemotorer for litteraturstudiet. Det ble gjennomført noen generelle søk etter artikler om hvit betong i Web of Science og Google Scholar, i tillegg til Oria. Etter å ha gjennomført slike søk der det ble brukt ulike søkeord, kombinasjoner av søkeord og strategier gjennom prøving og feiling, ble dette starten for utviklingen av søkestrategien som ble brukt videre.

Søkemotoren Scopus ble valgt til å gjennomføre søk etter kriterier oppgitt i «log book». Grunnen til at Scopus ble valgt er at det er en anerkjent database for akademiske artikler. Den har i tillegg et brukergrensesnitt som gjør det lett å avgrense/raffinere søkeresultatene. Kriterier for å avgrense søket tar utgangspunkt i oppsettet i «log book». Språk er satt til engelsk og norsk. Det er valgt en avgrensning slik at kun publiseringer de siste 5 årene er tatt med i søket. Hensikten med denne avgrensningen er å se på den mest oppdaterte forskningen innen feltet, da sement er et produkt som utvikles over tid, slik at eldre forskning ikke nødvendigvis er aktuell for dagens sementtyper. Det akademiske nivået på artiklene er satt til: papers, vitenskapelige artikler, fagbøker og masteroppgaver.

I «log book» setter en også opp kriterier for hvordan artikler har blitt valgt, dette er listet opp under.

Kriterier for utvalgelse:

- Litteratur som er akseptert gjennom peer review
- Innen de første 5 treffene
- Tittelen på artikkelen skal inneholde valgte søkeord

Kriterier for avvisning:

- Case studier
- Litteratur som ikke har lesetilgang gjennom Universitetet i Agder

Tabell 6.1: Søkeord anvendt i litteraturstudiet

Nr.	Søkeord
1	"white concrete"
2	Durability AND freeze-thaw AND marine-concrete
3	Freeze-thaw AND resistance AND with AND de-icing AND salts AND scaling

Søkeord som ble brukt og har gitt treff for valgte rapporter er vist i Tabell 6.1. Bakgrunnen for valg av søkeordene i tabellen er å finne artikler som omhandler bestandigheten til hvit betong i maritimt miljø og å se på fryse/tine-problematikk. Det ble gjennomført et tilfeldig søk med bruk av "white concrete", her var det viktig å bruke anførselstegn slik at søkemotoren ikke ser på «white» og «concrete» som to ord, da dette ikke ville gi de treffene en var ute etter.

Durability AND freeze-thaw AND marine-concrete ble brukt for å finne litteratur for betong utsatt for værhardt klima, der det viste seg at «marine-concrete» ga bra treff på lignende scenario betongen i denne oppgaven skal eksponeres for.

Freeze-thaw AND resistance AND with AND de-icing AND salts AND scaling er dirkete fra den engelske tittelen fra SN-CEN/TS 12390-9:2016, som er standarden for testing av fryse/tine-motstand med avisingssalter på herdet betong.

Introduksjonen/abstrakt ble lest for å identifisere om valgte nøkkelord var inkludert, dersom dette var tilfelle ble konklusjonen lest, for å se om dette var en rapport verdt å bruke tid på. Dette gir et overordnet bilde av rapporten. Deretter ble endelig valg gjort dersom alle kriteriene nevnt over stemte. De valgte artiklene ble organisert med referansehåndteringsverktøyet Mendeley, og gjør det lett å holde oversikt over litteraturen. Det ble skrevet et sammendrag av de valgte artiklene. Disse blir presentert som resultater fra litteraturstudiet gjengitt i resultatkapittelet.

6.3 Sikring av representative testresultater

For å sikre representative resultater er det støpt 3 betongklosser (hvit og grå) per trykktest. Gjennomsnitt beregnes, samt standardavvik. Resultatene fra alle testene og beregningene samles i et regneark, se vedlegg 3.

6.4 Prosedyre for blanding av betong

Produksjon av betong ble utført på bygglabben ved universitetet i Agder den 11.10.2022 og 13.10.2022. Utgangspunktet for betongresepten er resepten for hvit betong brukt i spesialiseringprosjekt 2021 [9]. For den grå betongen er det gjort tilpasninger på betongresepten etter tilgang på materialer på labben.

Mengden blandet betong ble bestemt ut i fra tilgang på materiale. For første blanding gjennomført den 11.10, ble hvit betong blandet først. Denne dagen var det feil på luftporebøtten, som medførte at kvaliteten på betongen ikke ble som ønsket. Derfor ble en blandet ny betong den 13.10.2022. Det var kun nok materiale til en hvit blanding igjen. Derfor ble det valgt 37 L som størrelse på blandingen, da dette var maks mengde mulig, som også var nok til alle prøvestykkene som skulle lages.

Nødvendig utstyr:

- Verneutstyr: vernesko, vernebukse, maske, hørselvern og briller
- Betongblander med lokk 150 L av merket Zyklos
- Termometer

- Vekt
- Stoppeklokke
- Beholdere til tilsetningsstoff

Blandeprosedyren tar utgangspunkt i Statens vegvesen håndbok R210, «411 Fremstilling av betong i laboratoriet» [13]. Først skal alt nødvendig utstyr finnes frem og deretter veies materiale opp. Blandemaskinen fuktes med vannslange, slik at den er overflatefuktig. Deretter tilsettes det tørre materialet i rekkefølgen: 1) sand, 2) stein, 3) sement, pigment, og silica. Materialet tørrblandes i 60 sekunder. Så tilsettes væsken i denne rekkefølgen: 50% av vannet tilsettes i løpet av 30 sekunder. Så tilsettes luftinnførende stoff (L-stoff), sammen med resten av vannet i løpet av 60 sek. Etter dette skal maskinen blande i 30 sekunder. Maskinen skal så stå og hvile i 120 sekunder, før SP-stoffet tilsettes i løpet av 30 sekunder. Det resterende vannet brukes til å få med alt SP-stoffet. Maskinen kjøres videre i 90 sekunder. Deretter måles den ferske betongens temperatur med et termometer og noteres. Direkte etter blanding sjekkes betongens konsistens se kapittel 6.5.

6.5 Konsistens: synkmål og synkutbredelse

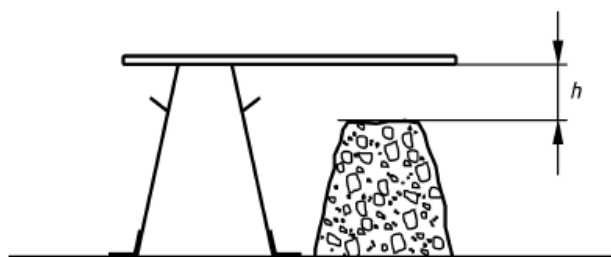
For å bestemme betongens konsistens tas det utgangspunkt i i Håndbok R210 «412 Konsistens; synkmål» [13]. Testen skal gjøres umiddelbart etter at betongen er ferdigblandet.

Nødvendig utstyr:

- Synkkjegle
- Plateunderlag
- Stålstang med avrundede ender
- Tømmestokk
- Bøtte
- Liten spade

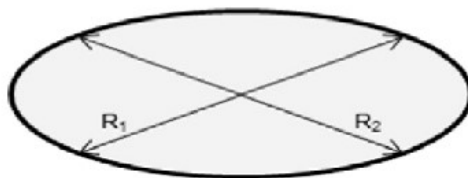
Før testen starter skal synkkjeglen og underlaget fuktes. Den ferske betongen fylles i en bøtte. Deretter stiller man seg med en fot på hver siden av synkkjeglen, for å holde kjeglen nede. Den ferske betongen fylles i kjeglen med spaden i tre like tykke lag. Mellom hvert lag skal det, med en stålstang, støtes 25 ganger. I det første laget skal stålstangen treffe underlaget. I de neste lagene skal stangen kun trenge gjennom det nye laget og møte toppen av det underliggende laget.

Etter støtingen er ferdig, tørkes overflødig masse rundt kjeglen og toppen strykes av. Deretter løftes kjeglen opp i en kontinuerlig loddrett bevegelse i løpet av 2-5 sekunder. Kjeglen settes så ved siden av betongen. Deretter legges stålstangen på toppen av synkkjeglen og avstanden ned til betongen måles med tommestokk, se figur 6.1.



Figur 6.1: Figur illustrerer hvordan man måler synkmål [14].

Etter at synkmål er målt, bruker man en tommestokk for å måle synkutbredelsen. Først måles bredden av betongen på det bredeste og noterer dette som R_1 . Så måler man på nytt, denne gangen vinkelrett på det første målet, se figur 6.2. Dette noteres som R_2 . Synkutbredelsen regnes ut ved hjelp av formel 6.1.



Figur 6.2: Synkutbredelse [15].

$$SU = \frac{R_1 + R_2}{2} \quad (6.1)$$

6.6 Ferskdensitet til betongen

For å bestemme betongens konsistens tas det utgangspunkt i håndbok R210 «414 Densitet av fersk betong» [13].

Nødvendig utstyr:

- Beholder med kjent volum (minimum 5 L)
- Vekt
- Stålstang med avrundede ender
- Liten spade

Til denne testen ble samme beholderen som til luftporetesten brukt, se figur 6.3. Først veies beholderen tom. Deretter blitt beholderen fylt med betong i 3 lag, der hvert lag støtes 25 ganger med stålstangen. Stangen skal ikke støtes ned i bunnen av beholderen og det skal støtes ned til toppen av forrige lag. Deretter stryker man av overflødig betong, og rengjør beholderen på utsiden for betong. Så settes beholderen på vekta igjen, og vekten noteres. Der betongens densitet ρ [kg/m³] beregnes ved formel 6.2:

$$\rho = \frac{(m_2 - m_1)}{V} \quad (6.2)$$

Hvor:

m_1 = beholderens vekt i kg

m_2 = beholder og den ferske betongens masse i kg

V = beholderens volum gitt i m³

6.7 Luftinnhold

For å bestemme luftinnhold i den ferske betongen tas det utgangspunkt i metode fra håndbok R210 «415 Luftinnhold, trykkmetoden» [13].

Nødvendig utstyr:

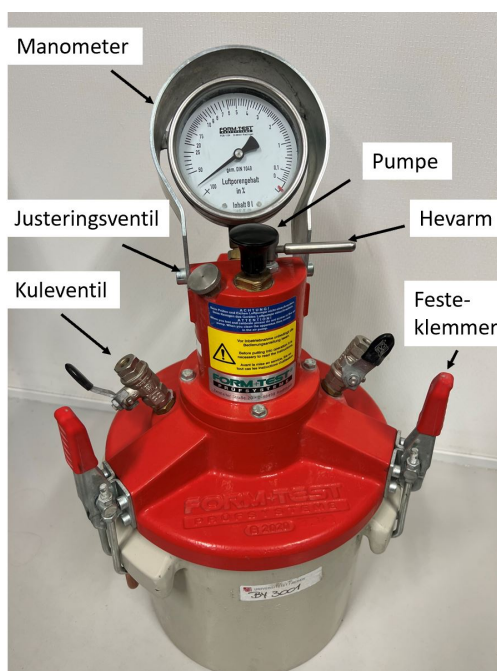
- Luftporebøtte
- Stålstang med avrundede ender

- Stålstang med skarpe kanter
- Liten spade
- Tørkepapir
- Flaske med vann

Forberedelse: Luftporebøtta, som vist i 6.3, settes på et plant underlag, og fylles med betong i tre lag. Hvert lag skal støtes 25 ganger med stålstangen. Støtene skal ikke treffe bunnen av beholderen, eller ned i underliggende lag. Når dette er gjort brukes en slett stålstang til å stryke av overflødig masse, slik at det øverste laget blir plant med kantene til beholderen. Den overflødig betongen på toppen strykes med den rette stålstangen i en sagende bevegelse. Deretter tørkes sidene rene. Det er viktig at kanten av beholderen blir grundig rengjort, slik at det blir helt lufttett. Derfor brukes det papir til å tørke kanten.

Gjennomføring: Overdelen festes så på og begge kuleventilene åpnes. Deretter fylles det vann inn i den ene kuleventilen med vannflasken helt til vannet som kommer ut av den andre ventilen er fri for luftbobler. Underveis dunkes det på siden av beholderen for å løsne eventuelle bobler som sitter langs kanten. Så stenges kuleventilene når det ikke er synlige bobler i vannet som kommer ut av ventilen. Justeringsventilen på luftkammeret stenges, og trykket pumpes opp. En skur forsiktig på justeringsventilen, slik at manometeret står på null og dunker lett på trykkmåleren skal man få trykkmåleren til å stå i null. Trykket slippes inn i beholderen ved å trykke på hevarmen og holder i 15- 20 sekunder. En leser av verdien til nærmeste 0,1%, når pilen til manometeret står i ro.

Etter utførelse: Etter testen åpner man kuleventilene forsiktig, tar av overdelen og resttrykket slippes ut. Det er viktig å vaske overdelen raskt etter testen, slik at ikke noe betong setter seg fast i utstyret [13], [14].



Figur 6.3: Luftporebøtte med forklaring av komponentene.

6.8 Støping av prøvestykker

Fremgangsmåte for metoden brukt til utstøping av prøvestykker tar utgangspunkt i håndbok R210 «416 Støping av prøvestykker» [13].

Nødvendig utstyr:

- Former (terninger 100x100x100 mm, terninger 150x150x150 mm og sylindre 100ø x 200)
- Smøreolje
- Stålstav med rette kanter
- Vibreringsbord
- Plast for tildekking av prøvestykker
- Liten spade
- Mørtelbøtte
- Tørkepapir
- Tusj
- Gaffateip

Forberedelse: alle formene som skulle brukes ble funnet frem. Former på størrelse 150 x 150 x 150 mm var ikke tilgjengelig utstyr på labben. Disse produsert av forfatter av kryssfinerplater, vist i Figur 6.4. Deretter ble disse smurt med smøreolje.

Gjennomføring: Den ferske betongen fylles over i en mørtelbøtte og formene fylles opp med en spade. Deretter vibreres prøvene på vibreringbord til det ikke frigjøres luftbobler fra betongen, og tilslaget dekkes av et tynt lag med mørtel. Det er viktig å passe på at prøven ikke vibreres for mye, slik at betongen separerer eller en vibrerer ut tilsatt luft. Stålstangen brukes til å fjerne overflødig masse og det tørkes langs kantene på formen med papir. Prøvene dekkes med plast og står stå i romtemperatur ($\pm 20^{\circ}\text{C}$). Hver form ble merket med prøvedato og nummer med gaffateip.

Etter utførelse: Etter 24 timer ble betongprøvene fjernet fra formene og markert med produksjonsdato og prøvenummer. Så ble prøvestykkene lagt i vannbad på $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$.



Figur 6.4: Egenprodusert støpeform 150 x 150 x 150 mm.

6.9 Trykkfasthet for terninger

Denne metoden brukes til å bestemme trykkfastheten til betongen. Det tas utgangspunkt håndbok R210 «421 Trykkfasthet, terninger og sylindre» [13].

Nødvendig utstyr:

- Trykkprøvingsmaskin
- Betongterninger 100 x 100 x 100 mm

Betongterningene tas opp fra vannbadet rett før prøveutførelse. Vann tørkes av prøvene, før de veies. Deretter måles prøvens densitet etter metode forklart i kapittel 6.10. Betongprøvene skal testes når de fremdeles er fuktige. Prøven plasseres i midten av trykkflaten i maskinen. Deretter startes maskinen, og det belastes til brudd. Resultatet fra trykktesten leses av på skjermen og noteres.

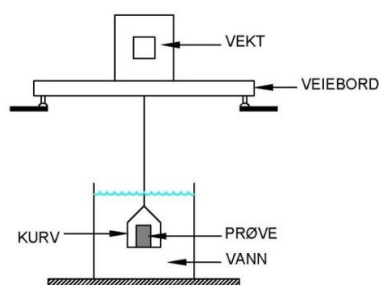
6.10 Densitet for herdet betong

Denne metoden brukes til å bestemme densiteten til betongen, med utgangspunkt i R210 «422 Densitet» [13]

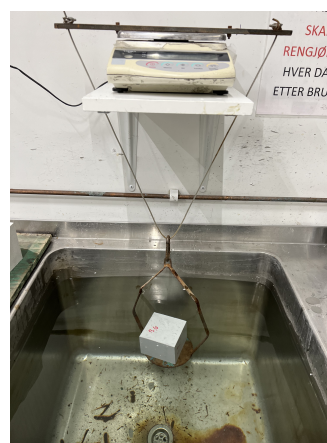
Nødvendig utstyr:

- Betongterninger
- Vekt
- Tørkepapir
- Veieutstyr til veiing under vann

Betongprøvene tørkes av med fuktig klut og veies, dette noteres som m_1 . Deretter nullstilles vekten når kurven er nedsenket i vann. Prøven plasseres på kurven, og vekt noteres som m_2 når den viser en stabil verdi. Utstyret for veiing i vann er illustrert i Figur 6.5a og Figur 6.5b.



(a) Illustrasjon av veiebord [13].



(b) Veiing av betongterning i vann.

Figur 6.5: Densitet til betongterning

Densiteten $[\rho]$ oppgis i $[\text{kg}/\text{m}^3]$, og avrundes til nærmeste $10 \text{ kg}/\text{m}^3$. Densiteten regnes ut med følgende formel:

$$\rho = \frac{m_1}{V} \quad (6.3)$$

Volumet regnes ut med formel:

$$V = \frac{(m_1 - m_2)}{\rho_w} \quad (6.4)$$

Hvor:

V = oppgis i dm^3

m = masse i gram

ρ_w = vannets densitet ($1000 \text{ kg}/\text{m}^3$)

6.11 Fryse/tine-motstand med avisingssalter - Avskalling

Denne metoden brukes til å se på betongens motstandsevnene mot fryse/tine- avskalling med saltvannsløsning. Standarden som er fulgt er SN-CEN 12390-9:2016 [8].

Nødvendig utstyr:

- Betongterninger 150 x 150 x 150 mm
- Vannbad (20 ± 2)°C
- Klimakammer med temperatur (20 ± 2)°C. Relativ fuktighet skal være på (65 ± 5)% fordampningshastighet fra fri vannoverflate på (45 ± 15) g/(m²h). CO² nivået skal måles, og dokumentet og et daglig gjennomsnitt skal ligge i området på (300-1000) ppmv for å tillate karbonatisering.
- Diamantsag til betong
- Tørkepapir
- Gummibånd ($3 \pm 0,5$) mm tykk. Det må være motstandsdyktig mot saltløsning og være elastisk i en temperatur ned mot -27 °C.
- Lim for å lime gummibåndet til betongen.
- Målestokk
- Elektrikertape
- Sparkelpåfører
- Isopor (20 ± 1)mm tykk
- Dekkplast 0,1 -0,2 mm tykk
- Ionebyttet vann
- Frysevæske med 97% massevekt med kranvann og 3% massevekt NaCl
- Frysekammer fra Schleibinger Geräte
- Temperaturlogger
- Beholder til avskallet materiale
- Filterpapir
- Syntetisk børste
- Sprayflaske med vann
- Tørkeskap (110 ± 10) °C
- Vekt med nøyaktighet $\pm 0,05$ g
- Digitalt skyvelære

Forberedelse: Testen krever fire betongprøver, som lages fra hver sin betongterning. Første dagen med utstøping av prøvene lagre terningene i formene og er beskyttet mot uttørking med plastduk. Luftfuktigheten skal være (20 ± 2)°C.

Etter 24 timer (± 2) fjernes prøvene fra formene og has i vannbad. Etter 7 dager fjernes prøvene fra vannbadet og settes i klimakammeret. Bygglabben på UiA har ikke klimakammer, derfor ble prøvene plassert på et lagerrom for etterligne kravene i standarden så godt som mulig, se Figur

6.6a. Prøvene sto i $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, luftfuktigheten, og CO_2 nivået ble overvåket, se Figur 6.6b. Avvik: Luftfuktigheten var ikke innenfor kravet. Prøvene lagres til fryse/tine- testen startes.



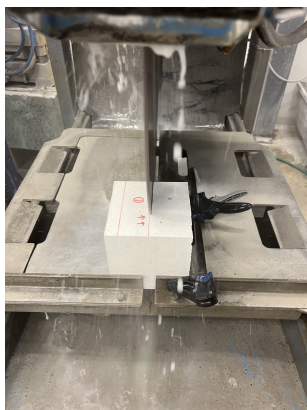
(a) Betongterninger i «herdekammer».



(b) Måler til temperatur, luftfuktighet og CO_2 .

Figur 6.6: Oppsett i «herdekammer».

Ved dag 21 (± 1) blir prøver på tykkelse med $50 (\pm 2)$ mm blir saget fra betongterningene. Det sages vinkelrett på toppflaten, slik at testoverflaten blir i midten av terningen, vist i Figur 6.7a.



(a) Saging av betongprøve.

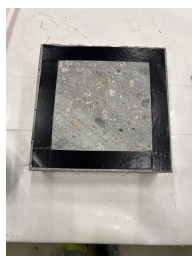


(b) Prøvestykker i «herdekammer»

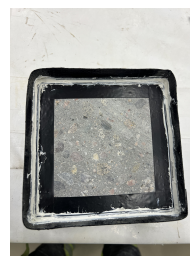
Figur 6.7: Produksjon av prøvestykker.

Direkte etter saging vaskes prøvene med kranvann og en tørker av overskuddsvann med fuktig tørkepapir. Prøven måles med skyvelæret for å sjekke dimensjonene. Deretter plasseres prøven tilbake i klimakammeret. Prøvens testoverflate skal stå vertikalt med minst 50 mm mellomrom, se Figur 6.7b.

Når prøven er $25 (\pm 1)$ dag, festes gummibåndet rundt alle overflatene, bortsett fra testoverflaten. Det brukes maskeringsteip langs kanten på prøveoverflaten når det skal limes en fug mot betongoverflaten og butylbåndet, se Figur 6.8a og 6.8b. Sparkelspaden brukes til å smøre limet til underflaten og på sidene. Det måtte brukes butylbånd to i høyden, for å oppnå at kanten på båndet var $20 (\pm 1)$ mm fra betongoverflaten, se Figur 6.9b. Derette settes prøven tilbake i herdekammeret.

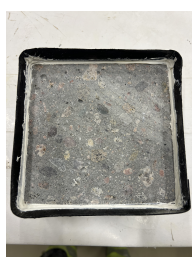


(a) Betongprøve med elektriketape .



(b) Betongprøve ferdiglimpt med tape

Figur 6.8: Butyltape på prøvestykker.



(a) Betongprøve klar uten elektriketape.



(b) Siden av beongprøve med butyltape.

Figur 6.9: Butyltape på prøvestykker uten elektriketape.

Når betongen er 28 dager gammel helles et lag med 3 mm dypt ionebyttet vann på overflaten med en temperatur på $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$. Det ble brukt 70 ml med vann, se Figur 6.10a og 6.10b. Vannet skal være på i 72 (± 2) timer, der vannlaget vedlikeholdes på 3 mm.



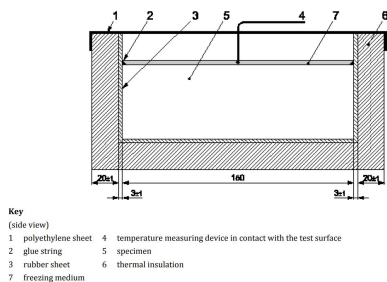
(a) 70 ml ionebyttet vann helles på prøven.



(b) Ionebyttet vann på betongflaten

Figur 6.10: vannmetning av prøvene

Under frysing skal alle flatene bortsett fra overflaten være isolert, med isopor, se Figur 6.11a, og 6.11b.



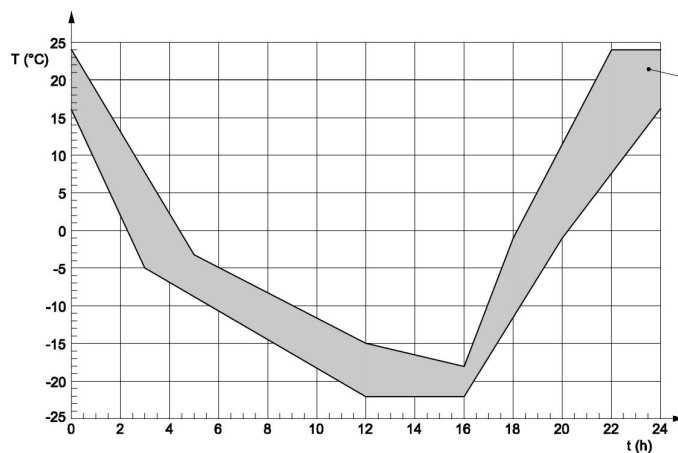
(a) Illustrasjon av hvordan prøven skal isoleres etter standard 12390-9 [8].



(b) Ferdig isolert betongprøve

Figur 6.11: Isolering av betongprøve.

Gjennomførelse: Når prøvene er 31 dager gamle, har man på saltvannet. Saltvannet skal ikke helles på innen 15 minutter før prøvene plasseres i frysekammeret. Frysevæsken blir forhindret i å fordampe fra dekkeplasten som en ser i Figur 6.11b. Prøvene plasseres i frysekammeret, og fryse/tine-syklusen startes for 56 sykluser. Temperaturen i frysevæsken på minst en prøve skal måles. Temperaturen skal holde seg innenfor temperaturen vist i Figur 6.12 og skal aldri under -27 grader.



Key
1 temperature range at the centre of the test surface

Figur 6.12: Temperaturområdet i frysekammer [8].



Figur 6.13: Frysenskap med betongprøver.

Det er viktig at betongprøvene plasseres på samme plass i fryseskabet hver gang. Det er anbefalt i standarden at de tomme plassene ikke står tomme, så det ble plassert restprøver på disse plassene, se Figur 6.13.

Etter 7, 14, 28, 42 og 56 sykluser ble prøvene sjekket for avskalling. Dette skjer under tinefasen på prøvene.



Figur 6.14: Avskalling på grå betongrøve fra frysenskap

Følgende prosedyre ble fulgt:

1. Tykkelsen på saltvæsken ble sjekket. Dersom prøven har mindre enn 1 mm, på grunn av lekkasje, fordamping eller gjennomtrenging skal prøven forkastes for videre testing.

2. Avskallet materiale samles opp i en beholder med filterpapir. Prøvene sprayes med vannflaske, i tillegg til å børstes. Børsten som ble brukt er vist bilde av i Figur 6.14.
3. Nytt lag med 3 mm med saltvann blir helt på betongflaten. Det ble brukt 70 ml.
4. Prøven flyttes tilbake i skapet.
5. Beholderen med avskallet materiale blir tørket i tørkeskap
6. Prøvene skal inspiseres visuelt for sprekker, avskalling av tilslag og fordamping fra testoverflaten i tillegg til lekkasje med væsken.

Avvik: for det hvite betongen var det mindre enn 1 mm med væske på overflaten til betongen for alle prøvene. De skulle egentlig ha blitt forkastet, men valgte å ikke forkaste prøvene for å fullføre fryse/tine- testen.

Etter utførelse: Masse til avskallet betong blir regnet ut etter n fryse/ tine- sykluser blir bestemt etter formel 6.5.

$$S_{s,n} = m_{\text{før}} + (m_{v+s(+f)} - m_{v(+f)}) \quad (6.5)$$

Hvor:

$S_{s,n}$ = massen til avskallet materiale etter n fryse/tine- sykluser til nærmeste 0,1 gram.

$m_{\text{før}}$ = masse til tørket materiale fra tidligere syklus

$m_{v+s(+f)}$ = tørket materiale i beholder og filterpapir avrundet til nærmeste 0,1 g.

$m_{v(+f)}$ = massen av tomt beholder og filterpapir til nærmeste 0,1 g.

Etter gjennomført test skal prøvene visuelt sjekkes på bunnflaten, med eller uten gummibånd. Denne informasjonen kan være nyttig for å vurdere sprekker eller gjennomtrening av frysemediet, noe som forårsaker utilstrekkelige avskallingsresultater.

6.11.1 Endelig resultat bergening

Fra SN-CEN/ TS 12390-9:2016 beregnes $[S_n]$, som er den kumulative mengden av avskallet materiale per arealenheter etter n sykluser gitt i kilo per kvadratmeter $[\text{kg}/\text{m}^2]$ med følgende formel:

$$S_n = \frac{m_{s,n}}{A} \cdot 10^3 \quad (6.6)$$

Hvor:

S_n = er masse av avskallet materiale i forhold til test overflaten etter n-sykluser i kg/m^2

$m_{s,n}$ = er den kumulative massen av tørket avskallet materiale etter n-fryse/tine sykluser bestemt av formel 6.6

A = arealet av testoverflaten som har vært i kontakt med vann. Beregnet etter avstand fra limkant og avrundet til nærmeste 100 mm^2 .

Gjennomsnittet for de fire prøvene etter 56 sykluser brukes for å evaluere avskallingsmotstanden. Bunken til prøven skal sjekke uten gummiånd for skader.

Visse betongkvaliteter kan være sårbare for gjennomtrenging av fukt som samles ved bunnflaten. Som følge av dette kan man få tørr betongoverflate, som gjør at en kan få mangelfulle resultater for avskalling, skade på bunnflate eller indre oppsprekking. Derfor skal slike observasjoner rapporteres, og skal fjernes fra beregning av gjennomsnitt.

6.12 Sliping av betongprøver

Betongprøvene som slipes er de som har vært brukt til fryse/tine-forsøk. Disse har blitt lagret i plastpose og lufttett plastboks etter endt fryse/tine-forsøk.

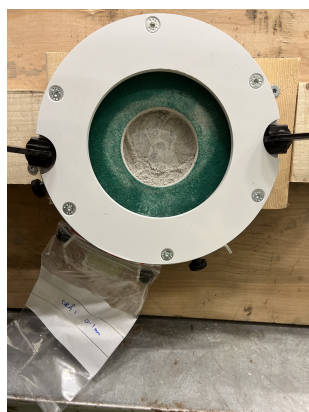
Prosedyren som er fulgt for sliping av prøver er instruksjonsmanualen som følger med «Profile Grinder» fra Germann Instruments. Dette utstyret kan brukes til å samle inn betongpulver i små dybdeintervaller, slik at en nøyaktig kan bestemme kloridprofiler. På nettsiden til Germann Instruments står det at en kan bruke denne fremgangsmåten sammen med RCT-test [16]. Fremgangsmåte for RCT-test er vist i kapittel 6.13.

Nødvendig utstyr:

- Fres
- Guide til fres
- Unbrakonøkkel
- Plastposer
- Jigg til å feste betongprøve
- klemmer
- Børste
- luftkompressor
- maske

Forberedelse: Det ble laget en egen test- jigg for betongprøven som skulle slipes, da utstyr for 150 x 150 x 150 kloss ikke ble laget lengre. Det ble brukt medfølgende klemmer som vanligvis blir skrudd fast i betongflaten som skal testes. Betongprøven plasseres i jiggen. Støtten til fresen plasseres på betongprøven, og festes med klemmene. Fresen settes i støtten og kalibreres.

Gjennomføring: Etter kalibrering kjører en fresen med klokken i guiden. Deretter børstes betongpulveret i plastposen marker med prøvenummer og intervall. Et intervall er 1 mm, og det ble bestemt å ta 5 mm ned i betongen. Deretter stiller man på fresen, slik at den freser 0,5 mm dypere i prøven. Hvert lag må altså freses to ganger for å gå 1 mm ned i betongen, før en bytter pose. Mellom intervallene blir betongrestene fjernet med trykkluft, før en gjentar prosessen med neste intervall.



(a) Guide til fres med betongpulver og plastpose.



(b) Utførelse av sliping.

Figur 6.15: Oppsett for sliping.

6.13 RCT-test: Rapid Chloride Test

Nødvendig utstyr:

Fremgangsmåte for metoden som er brukt er instruksjonsmanualen som følger med RCT-utstyret fra Germann Instruments. Denne testen brukes for å bestemme kloridprofiler for betongen av betongens prosentvekt.

- RCT-klorid elektrode
- Elektrometer
- «Electrode wetting agent» (EWA)
- Sprayflaske med ionebyttet- vann
- Tørkepapir
- Skje
- Kalibreringsvæsker
- små beholdere med oppløsningsvæske
- Kalibreringsark for herdet betong
- Vekt
- Plastposer med betongprøve

Utstyret som er brukt for denne testen er vist i Figur 6.16.

Forberedelse: Først markeres beholderene med prøvenavn. 1,5 gram med betongprøve veies og has over i beholderne. Den svarte gummikorken på RCT-klorid elektroden fjernes, og klargjøres ved at EWA fylles på i det lille hullet i elektroden, opp til nivå med hullet. Det er viktig at en ikke får luftbobler. Deretter trykker man på toppen av elektroden og slipper ut litt væske, slik at enden er fuktet. Så fyller man på med mer EWA. Elektroden sprayeres med vann og tørkes, også på enden. Det er viktig å ikke komme borti tuppen, da den er svært følsom og kan fort bli ødelagt. Derfor er det lurt å ta papiret forsiktig borti vanddråpen på enden, uten at den treffer elektroden. Deretter slippes litt EWA ut og fylle på. Elektroden kobles til elektrometeret. Elektrometeret skrues på. Det er nå klart til bruk.

Gjennomføring: Videre har en elektroden i kalibreringsvæskene. En starter med den klare væsken på 0,005 % Cl⁻-ioner. Målingen skal ligge på rundt 105 mV. Elektroden tørkes av, sprayeres med vann og tørkes av igjen. Deretter fortsetter man med neste kalibreringsvæske. Lilla med 0,020 % Cl⁻-ioner (ca. 80 mv), så grønn/blå 0,050 % Cl⁻-ioner (ca.55 mV) og rosa væske med 0,500 % Cl⁻-ioner (ca. -2 mV). Målingene kan variere noe avhengig av elektrode, i tillegg til at det kan bli påvirket av temperatur med 2-3 mV. Det viktigste er at referanseområdet til grafen er ca. 100 mV.

Etter kalibreringen ristes beholderne med betongprøvene i 5 minutter. Elektroden sprayeres med vann og tørkes. Det tømmes ut litt EWA og fylles på med ny, slik at elektroden er fri for klorider fra kalibreringsvæsken på enden. Elektroden settes i første prøve og røres forsiktig rundt. Det er viktig at elektroden ikke kommer borti betongpulveret. Så fortsetter man med resten av prøvene. Deretter gjentar man målingene for prøvene en gang til.

Etter utførelse: Etter alle prøvene er testet, måler en kalibreringsvæskene på nytt. Utstyret vaskes og tas fra hverandre.

Deretter tar en gjennomsnittet av før og etter prøvene og tegner inn grafen på kalibreringsarket. Det tas gjennomsnitt av de to målingene for betongprøvene, så brukes grafen til å lese av prosent-kloridinnhold av betongvekt for betongprøvene. Resultatet presenteres i kapittel 7.2.5.



Figur 6.16: RCT-utstyr.

7 | Resultat

7.1 Resultat fra litteraturstudie

I dette kapitlet presenteres resultatene fra gjennomført litteraturstudie. Overskriften til underkapitler er artikkeloverskriften til valgt artikkel.

7.1.1 Properties of White Portland Cement Concrete

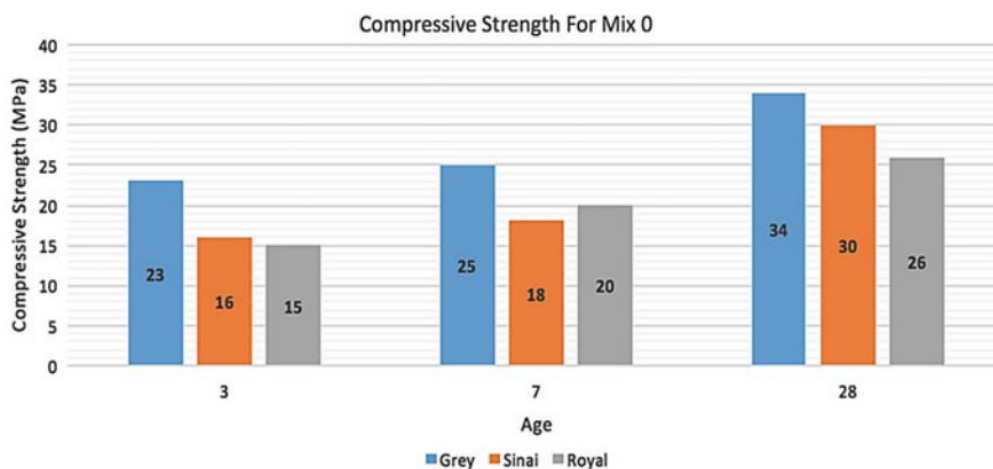
Abuzaid, Rofael et al. har satt i gang et initiativ for å gjennomføre videre forskning på hvit sement betong (white cement concrete). Det har blitt sett på egenskaper til den hvite betongen og bruksområder for dette materialet. Abuzaid, Rofael et al. forklarer at dette er et materiale som ikke blir mye brukt, og kan være med på å gjøre byggenæringen mer bærekraftig. Det ble utført tester på herdet betong for å se på hovedegenskaper som styrke, synk, luftinnhold og avbindingstid på hvit sement betong, i tillegg til betongens fargeegenskaper. Den hvite sement betongen er sammenlignet mot vanlig Portland sement betong [17].

Tabell 7.1: Betongresept som ble brukt av Abuzaid, Rofael et al. [17].

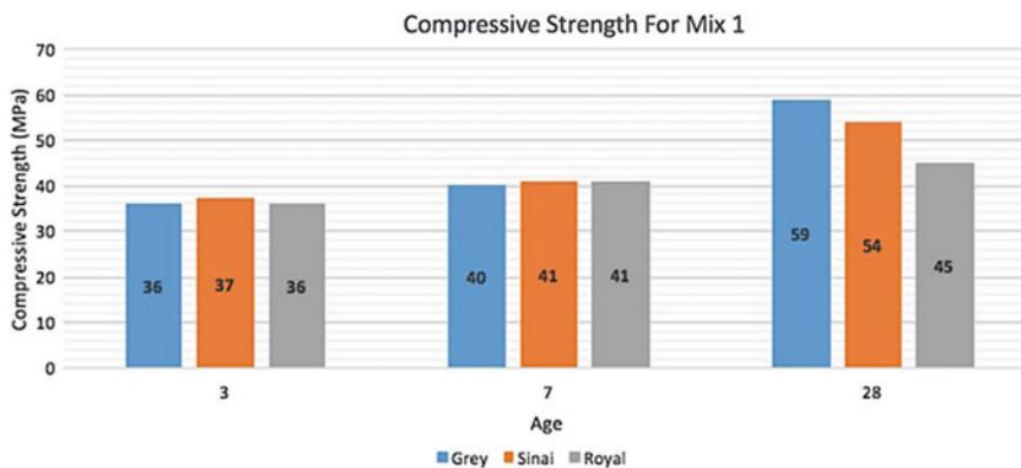
Components	Mix design 0 for 350 kg/m ³	Mix design 1 for 450 kg/m ³
Cement	350	450
Water	167	158
Coarse aggregates	1180	1128
Fine aggregates	656	627
Silica fume	–	18
Super plasticizer	–	7.2

Det ble testet to ulike betongblandinger, der en inneholder SP-stoff, se Tabell 7.1

Trykkfasthet for de tre ulike sement-typene, med blanding 0 og blanding 1 vist i Figur 7.1 og 7.2.

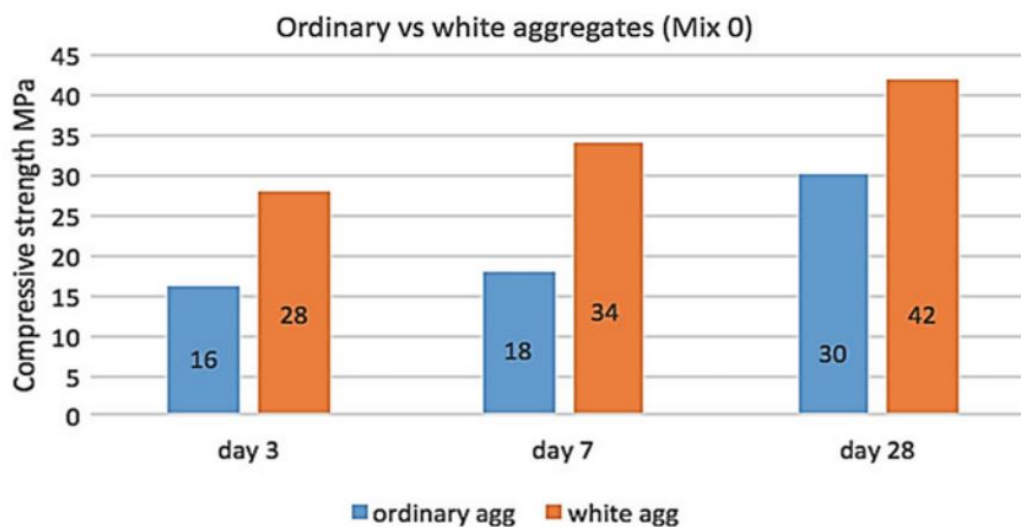


Figur 7.1: Trykkfasthet for blanding 0 med grå, Sinai og Royal sement [17].

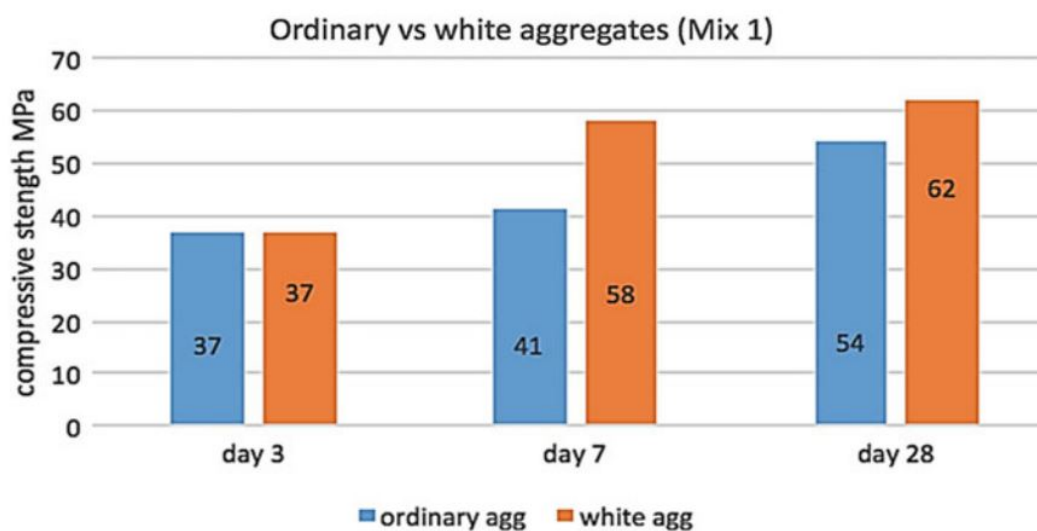


Figur 7.2: Trykkfasthet for blanding 1 med grå, Sinai og Royal sement[17].

Testresultatene for trykkfasthet i Figur 7.1 og 7.2 viste at de to hvite sementtypene hadde veldig like egenskaper, derfor har det kun blitt utført videre tester med Sinai sement. Det ble utført test på trykkfasthet der en har testet med to forskjellige tilslag «vanlig» og «hvitt», for blanding 1 og blanding 2, vist i Figur 7.3 og 7.4.



Figur 7.3: Sammenligning av trykkfasthet for vanlig mot hvit tilslag for blanding 0 [17].



Figur 7.4: Sammenligning av trykkfasthet for vanlig mot hvit tilslag for blanding 1 [17]

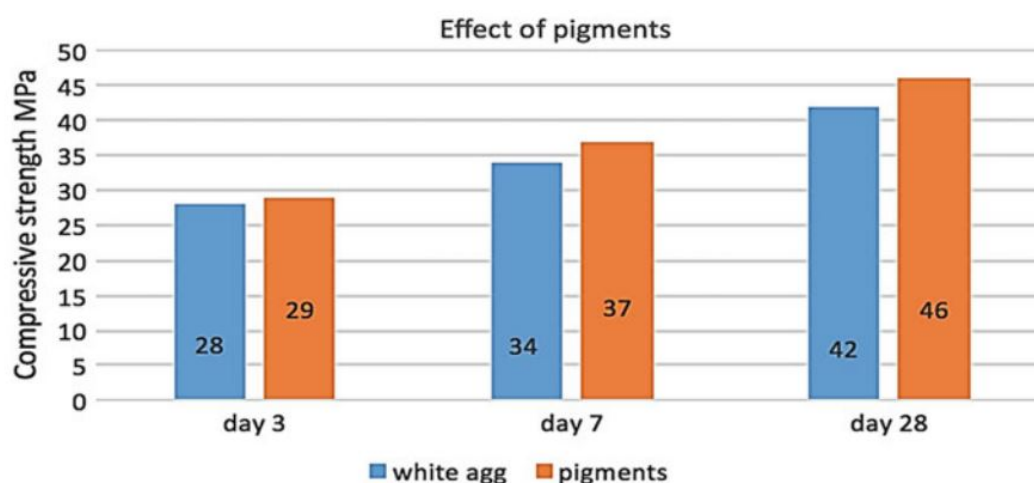
Det ble også utført en test der en sjekket om det å tilsette pigment hadde noe effekt på trykkfastheten.

Tabell 7.2: Sammenligning av trykkfasthet for hvit betong med pigment mot hvit betong med kun hvitt tilslag for blanding 0 [17].

Components	Design (Mix 0) 8%
Cement	350
Water	167
Coarse aggregates	1180
Fine aggregates	656
Pigment	5% 17.5 8% 28 10% 35

Betongresepten er vist i Tabell 7.2, og det er brukt blanding 0.

Resultatet for trykkfastheten for betong der det kun er brukt hvitt tilslag, mot hvit betong tilsatt pigment er vist i Figur 7.5.



Figur 7.5: Sammenligning av trykkfasthet for hvit betong med pigment mot hvit betong kun hvitt tilslag med blanding 0 [17]

Under labarbeidet med den hvite sementen blir Abuzaid, Rofael et al. oppmerksom på at prøvene er veldig sensitive til hvilke ingredienser som blir tilsatt. Hvitfargen på betongen endres etter tilslag og tilsetningsstoffer, derfor ble det utført forsøk som viser endringen i farge, vist i Figur 7.6



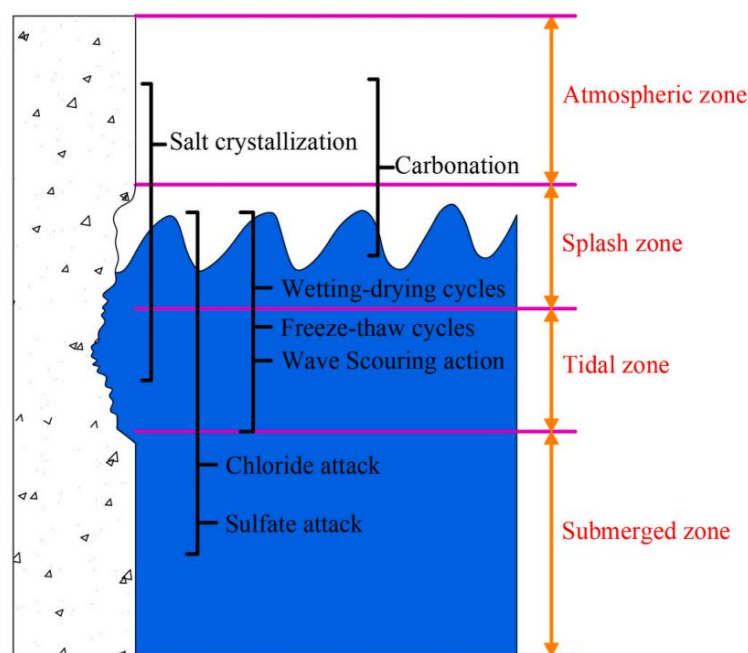
Figur 7.6: Sammenligning av hvit betong med ulike tilsetninger[17]

Oppsummert konkluderer Abuzaid, Rofael et al. med at ved å bruke pigment får en høyere trykkfasthet enn uten. Det fine tilslaget sammen med den hvite sementen er det som er avgjørende og bidrar til høy grad av hvithet. Abuzaid, Rofael et al. viser til at resultatene fra forsøkene støtter bruken av hvit betong kan brukes i konstruksjonsbetong, der den oppfyller krav til egenskaper. Det blir anbefalt til videre forskning at det er behov for mer analyse av hvilke delmaterialer som påvirker styrken, samt flere blandinger og testserier. I tillegg til forskning på bestandighet og langtids tester for å se på betongens ytelsesevne.

7.1.2 A review on the deterioration of mechanical and durability performance of marine-concrete under the scouring action

Skuring¹ er en av hovedårsakene til nedbrytning av «maritim betong», altså betong som er direkte utsatt for maritimt miljø i skvalpe-/ tidevannssonen. Nedbrytning av maritim betong kommer av en sammenheng mellom skurevirkning og kjemisk nedbrytning som kloridangrep og sulfat og karbonatisering, i tillegg til fysisk nedbrytning som følge av eksempelvis saltkrystallisering, fryse/tine-sykluser (F/T-sykluser), tørkesyklus og påføring av ytre laster. Sammenhengen er illustrert i Figur 7.7. Ma, Zhang et al. har gjennomført et studie der de undersøker effektene ved skuring i kombinasjon med flere miljøfaktorer og hvordan det påvirker de mekaniske egenskapene og bestandigheten til maritim betong. Nedbrytningsmekanismer på maritim betong blir undersøkt. Det blir sett på koblingen mellom skurings-effekten og hvordan kjemiske- og fysiske faktorer påvirker ytelsen til maritim betong. Det blir også undersøkt hvordan en kan begrense svekkelse i betongens ytelse under ulike miljøfaktorer [19].

Levetiden til konstruksjoner i maritim betong avhenger av betongens mekaniske ytelse og bestandighet. Nedbrytningsproblematikken oppstår ofte som følge av miljøfaktorer, spesielt i utfordrende miljøer. Betongen i tidevannssonen blir kjemisk belastet fra sjøvann gjennom tørkesyklus og fryse/tining, kombinert med fysisk belastning fra skurebevegelsen. I skvalpesonen er betong mer utsatt for tørkesyklusene til sjøvann, i tillegg til at en kan få noe karbonatiseringsproblematikk. Dette forverrer derfor nedbrytningen av maritime betongens og dens mekaniske ytelse. [19].



Figur 7.7: Nedbrytningsmekanismer på betong i maritimt miljø[19]

I kalde klima vil fryse/tine-problematikk med sjøvann være et tema for konstruksjoner i maritimt miljø. Dette vil gi økt avskalling på betongflaten og intern nedbryting, som vil påvirke betongens mekaniske ytelse. Kjemiske endringer forårsaket av sjøvann fører til infiltrasjon av ulike skadelige ioner og oppløsning av kalsium, dette vil gi en nedbrytning på betongoverflatestrukturen, noe som gjør den spesielt utsatt for avskalling ved is- eller bølgeskuring [19].

¹Scouring action- oversatt til norsk betyr skuring. Det vil si sediment-erosjon i skvalpe-/ tidevannssonen som oppstår grunnet vann i bevegelse som møter konstruksjonen[18].

Effekten av fryse/tine- syklus vil akselerere skader på maritim betong påvirket av skurebevegelse. Ma, Zhang et al. viser til studier med massetapsraten som følge av skuring etter F/T- sykluser. Der massetapet for betongen var større på fryste prøver enn for prøver som ikke var fryst. Antallet F/T-sykluser har en betydelig effekt på slitestyrken til betong. Sementpastaen mellom tilslaget ble skadet av ekspansjonstrykk og infiltrasjonstrykk under F/T-sykluser, som fører til mikrosprekker gjennom vekslende tester med skuring og F/T-sykluser. Sementpastaen mellom tilslaget løsnet lettere under skurebevegelse. Som et resultat av dette ble bindingen svekket mellom det grove tilslaget og semetlimet og resulterte i avskalling [19].

Under skuring vil F/T-syklusen bidra til klorid-diffusjon (Cl^- -diffusjon) i betongen. Ma, Zhang et al. viser til en felttest der F/T-sykluser hadde en stor effekt på diffusjon av Cl^- i betong under maritimt tidevannsmiljø. Testen viste at konsentrasjonsgrensen for Cl^- i betongen økte raskt, diffusjonskoeffisienten økte gradvis, mens konveksjon-effekten avtok gradvis. I tillegg økte Cl^- diffusjonskoeffisienten og overflatekonsentrasjonen med klorider betydelig med graden av frysing. F/T-syklusene fremkalte en vedvarende migrasjon av Cl^- fra det ytre til den indre delen av betongen ved å absorbere saltløsningen og fylle porene [19].

Skurebevegelsen fremskynder frysningsskade med salter. Betongen har et stort antall mikroporer der det kan lagres en større mengde vann i betongen fra skuring. F/T-sykluser fører til at en får frostsprenging, som genererer mikrosprekker. Mikrosprekkene vokser gradvis inn under kontinuerlige skurebevegelser, som bidrar til hulrom. Skurebevegelser gjør slik at det fine tilslaget løsner fra betongens overflate, som fører til at en får overflatebrudd i betongen, som igjen fører til at det er lettere for klorider å trekke inn i betongen fra sjøvannet [19].

Effekten av koblingen mellom skuresyklus og F/T-sykluser forverrer nedbrytning av betongoverflaten. Områdene som blir skadet av frysing blir fjernet og ny «fersk» overflate blir skadet som følge av nye skurebevegelser. Maritim betong blir utsatt for Cl^- -angrep under effekten av F/T-sykluser og skuresykluser, derfor må tiltak til for å redusere skadene på maritim betong som følge av de kombinerte effektene av sjøvann med skuresykluser og kloridangrep under de kalde årstidene [19].

Oppsummert konkluderer Ma, Zhang et al. nedbrytning av den maritime betongen forverres som følge av skuring sammen med fysisk nedbrytning. De fysiske nedbrytningsfaktorene til betong er en kobling av effekter som temperatur og fuktighet og ekstern belastning. Nedbrytning av den maritime betongen oppstår som følge av temperaturrendringer forårsaket av krystalliseringsstrykk, frostsprenging og indre poretrykk. Dette fører til endringer i de indre porene i maritim betong. Dette kommer som følge av skurebevegelsen på betongens overflate som gir en avskallingseffekt, som igjen gir mikrosprekker inne i betongen, slik at porene kobles sammen. Dette øker skadene på den maritime betongen. Koblingen av flere fysiske mekanismer forverrer ytterligere skaden på maritim betong[19].

Videre beskriver Ma, Zhang et al. at problemområdet med erosjon i det maritime miljøet på betong har økende relevans, og at det er behov for mer forskning på området. Maritime konstruksjoner er belastet med komplekst og dynamisk miljø som blir påvirket av en samlet effekt fra fysiske og kjemiske mekanismer, derfor er det nødvendig med flere undersøkelser der en ser på nedbrytning under skuring med disse faktorene[19].

For å simulere miljøproblemene ved skuring av sjøvannsbølger, kan de eksisterende testene kun gjennomføres for en enkelt miljøfaktor, og det er vanskelig å få til simuleringsmiljøet med koblingseffekten av flere faktorer. I tillegg blir de fleste testene utført innendørs, og det anbefales å kjøre en kombinasjon med innendørs og utendørs tester[19].

Temperaturstigninger er relatert til skureprosessen, enten det er tørkesykluser, F/T-sykluser eller saltkrystallisering. Disse endringene i temperatur påvirker det indre poretrykket, krystalliseringskraften og is-ekspansjon av maritim betong, som igjen påvirker hvor mye av den maritime betongens overflate nedbrytes. Det er behov for mer forskning på effekten av

sjøvannsskuring på maritim betong under temperatur- og fuktighetsvariasjoner i den maritime skvalpe-/tidevannssonen [19].

7.1.3 Freeze–thaw field exposure and testing the reliability of performance test temperature cycle for concrete scaling in presence of de-icing salts

S. Al Haj Sleiman, L. Izoret et al. ser på sammenhengen mellom fryse/tine- forsøk under laboratorieforhold og i praksis. For bestandighet og hensyn til bærekraftige konstruksjoner er motstand mot fryse/tine-nedbryting, med eller uten avisingsalter, et viktig forskningsområde innen byggebransjen for land der en har kalde vinterforhold. Nedbryting av betongen som følge av fryse/tining, spesielt med avisingsalter, kan gi større rom for følgekonskvenser i nedbrytning fra kjemisk nedbrytning. Dette kan være nedbrytning med klorider og sulfater på den nedbrutte betongoverflaten eller sprekker i betongen fra frost. Dette gir betydelig utslag på bestandigheten til en konstruksjon [20].

Betong som blir utsatt for fryse/tining kan få to typer skader, indre skader og overflateavskalling. Avskalling er en type nedbrytning der flak kontinuerlig løsner fra den eksponerte betongoverflaten. Indre skader kommer av hydraulisk-, osmotisk-, og krystalliseringsstrykk fra vann i faseendring og is-formering i porene. S. Al Haj Sleiman, L. Izoret et al. viser til at luftporer spiller en stor rolle for om det er rom til ekspansjon. Teorier og modeller til å forklare overflateavskalling på betong er begrenset. Effekten ved at luftporer beskytter betongen fra avskalling er det heller ikke en tydelig forklaring på [20].

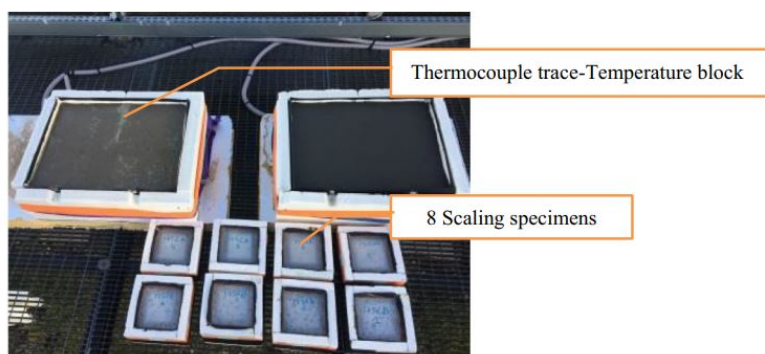
S. Al Haj Sleiman, L. Izoret et al. viser til testobservasjoner der størst skade som følge av avskalling skjer ved ca. 3% salt av massevekt. Dette er grunnlaget til at det er blitt vanlig praksis å bruke 3% saltinnhold i standarder for å se på betongens motstand mot avskalling, som i CEN/TS 12390-9 [20].

Det er flere faktorer som ikke blir tatt hensyn til i en fryse/tine- test, som tørkesykluser, aldringsprosessen til betong eller karbonatisering. Disse faktorene kan føre til endringer i mikrostrukturen, dette kan ha en effekt som ikke bør ignoreres for betongens avskallingsmotstand [20].

Etter standard testmetode for fryse/tining skal det være et lag med løsning, som fornyes, på toppen av prøvestykket. S. Al Haj Sleiman, L. Izoret et al. observerte at tørre prøvestykker som følge av fordampning eller lekkasje hadde lite avskalling. I praktisk sammenheng vil ikke betong ha et konstant lag med saltløsning. Betongen vil være utsatt for tørkesykluser som kan endre metningsgraden og betongens mikrostruktur [20].

Temperaturintervallet for fryse/tine- testen er per standard [+20°C/ -20°C], samsvarer ikke med de reelle miljøforholdene, selv for områder med værhard vinter. S. Al Haj Sleiman, L. Izoret et al. har i sin rapport fokus i å se på påliteligheten til temperaturintervallet i teststandarden for fryse/tine-test med avisingsalter. Videre er det observert gjennom felttester at fryse/tine- avskalling skjer i mildere klima, enn under laboratoriet. For å undersøke hvor repeterbar testmetoden er er det sett på prøvestykker laget i laboratoriet, mot prøver satt ut i felt [20].

Metoden som ble bruk i studiet var at to store betongblokker, sammen med betongprøver tilsvarende som for standard laboratorietest ble plassert på Mont Aigoual meteorologiske stasjon i Frankrike. Prøvestykkene er vist i Figur 7.8. Til å sammenligne ble det laget betongprøver med samme betongresept og testet etter CEN/TS 12390-9. Betongresept og egenskaper er vist i Tabell 7.3. Alle prøvene hadde samme herdetid ved prøvestart. Temperaturen på saltløsningen og de avskallede massene har blitt målt, og sammenlignet mot feltmålingene. De to store blokkene ble brukt til observere temperaturen, og avskalling ble målt på betongprøvene. Betongblokkene og avskalling ble av-iset regelmessig og de avskallede massene ble målt hver 7 dag under vinterperioden 2019-2020 [20].



Figur 7.8: Testoppsett for prøvene ute i felten på Mont Aigoual [20].

Tabell 7.3: Betongresept [1 kg/ m³] og betongens egenskaper [20].

Components	Composition	Properties	
Cement CEM II/A 42,5 LL (kg·m ⁻³)	320	Air entrained	5%
0/4 sand aggregates (kg m ⁻³)	537	Slump	150 mm
0/1 sand aggregates (kg m ⁻³)	249	Apparent density	2090 kg/m ³
4/10 gravels (kg m ⁻³)	310	Tensile strength	3 MPa
10/20 gravels (kg m ⁻³)	641	Compressive strength	32,6 MPa
Water reducer super plasticizer		Water porosity	14,1%
Water/cement ratio	0.5	Chloride ions diffusion coefficient	2,3 × m ² /s
Air entrained	5%	Spacing factors	281 ^a , 270 ^b μm

^aCorresponds to the spacing factor at 1 cm from the mould bottom face

^bSection in the inner part of the concrete specimen (representing the spacing factor at the sawn face)

S. Al Haj Sleiman, L. Izoret et al. viser til at europeiske tester, slik som CEN/TS 12390-9, ser en på saget testoverflate. Bakgrunnen for dette er at de første millimeterene på betongen vil skalle av de første årene etter eksponering. Den franske testen XP P18420 kutter ikke betongprøven, men tester bunnflaten til prøvestykket. S. Al Haj Sleiman, L. Izoret et al. kommenterer at dette er en diskusjon på europeisk skala, da testoverflaten vil ha en betydning for betongens respons på grunn av forskjellig sammensetning, mikrostruktur og forskjell i sementpasta. Det er viktig med resultater som har samme sammenligningsgrunnlag [20].

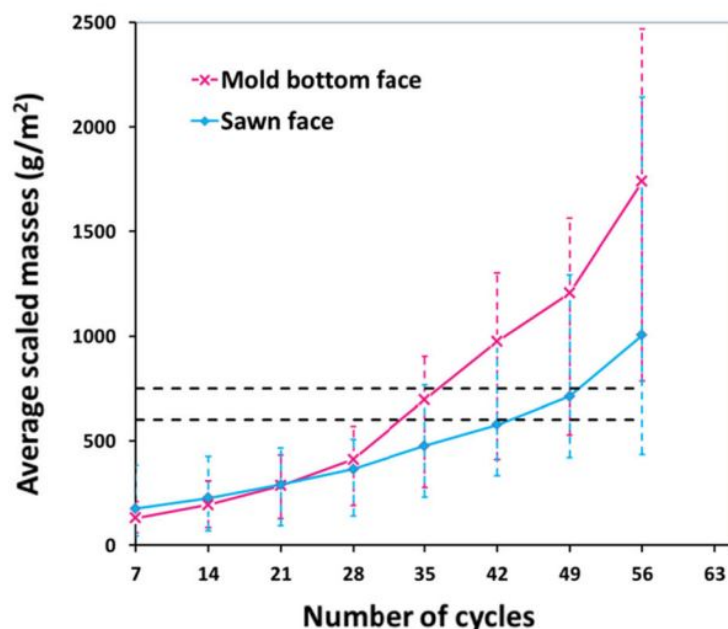
Resultatet viser at det ikke er en korrelasjon mellom fryse/tine- syklusene mellom prøvene på Mont Aigoual og temperatursyklusen brukt i labforsøket. Prøvene ute felten viste målinger i område +5°C/ -5°C på betongoverflaten [20]. Det ble ikke registrert temperatursyklus på +20°C/ -20°C ute i felten, som brukes i standard-testen.

Videre ser en at temperatur-loggen for betongprøvene ute i felt er en kombinasjon av ulike faktorer. Svingninger i betongtemperaturen kommer av solstråling, temperaturen i luften og vekslings mellom natt og dag. I tillegg under visse værforhold vil betongflaten kunne være kaldere enn lufttemperaturen [20].

Gjennomsnittet for de fire prøvestykkene for avskalling er plottet i Figur 7.9 for både saget overflate som test CEN/TS 12390-9 og bunnflate per XP P18420. Gjennomsnittet for avskalling etter 56 sykluser viser for bunnflate 1739 g/m² og saget overflate er 1004 g/m². Resultatet for bunnflaten kan forklare med at det er mer sementpasta som dekker overflaten. Det er ikke definert kriterier for avskalling i CEN/TS 12390-9 etter 56 sykluser. I den franske standarden XP P18-420 er akseptnivået mellom 600-705 g/m² for 56 sykluser og [+20°C/ -20°C] med avisingsalter, dette er vist som de

svarte linjene i Figur 7.9 [20].

S. Al Haj Sleiman, L. Izoret et al. viser at avskalling avhenger av mengden sementpasta på overflaten, som også gir en indikasjon på at sterkere tilslag hindrer avskalling. I tillegg er det et stort avvik i resultatene for testoverflate med samme betong. Det er nødvendige med en samsvart metodikk i hvilken testoverflaten en bruker, for å oppnå sammenligningsbare resultater [20].



Figur 7.9: Mengde avskalling fra laboratorietest for prøvestykker [20].

Målinger fra laboratorietesten viser at temperaturen inne i «klimakammeret», for to prøver plassert to ulike plasser, kunne temperaturen i saltløsningen variere med ca. 10 °C. S. Al Haj Sleiman, L. Izoret et al. argumenterer for at det bør stilles spørsmål til påliteligheten til de eksisterende metodene med disse høye avvikene fra resultatene for temperatur og avskalling. Avskallingen på prøvene som har vært ute i felt er mye lavere enn for prøvene testet i laboratoriet. Temperaturene i klimakammeret ligger på +20°C/ -20°C mot Mont Aigoual lå syklusene i +5°C/ -5°C, som er i svært frostutsatt område [20].

Videre er det sett på andre studier som har tatt for seg en sammenheng mellom laboratorietester og felttester. Deriblant et studie i Sverige der en ser på forskjellig betongtyper med ulike bindemiddel etter 10 års eksponering. Prøvestykkene ble plassert ved en motorvei mellom Gøteborg og Borås, der prøvene ble utsatt for eksponering mot avisingsalter. Laboratorietesten som ble utført er SS 13 72 43, kjent som Borås-metoden, som samsvarer med CEN/TS 12390-9. Etter ti år med vintereksponeering, viste funnene liten eller ingen synlig skade på prøvene. Uavhengig av hva resultatene fra laboratoriet viste. Det ble heller ikke observert sprekker. Det ble rapportert at de mest vanlige syklusene lå i området [+5°C/ -10°C] eller i [+5°C/ -5°C]. Resultater fra laboratorietesten viste betydelige nivå med avskalling, dette var avhengig av sementtypen som ble brukt, v/c-tall og prosentinnhold med luft [20].

Gjennom studiet viser funnene ingen god korrelasjon mellom laboratorieresultatene og feltresultat, etter 10 år med eksponering for betong med god/middels kvalitet. Resultatene viste at testmetoden kunne brukes til å skille mellom god og dårlig betongkvalitet for motstand mot frysing med avisingsalter. S. Al Haj Sleiman, L. Izoret et al. viser til en manglende sammenheng mellom laboratorietesten og felttestene som avhenger av flere faktorer. Prøver som feiler i laboratorietesten kan ha en god levetid. Prøver i standard-testen har en større vannmetningsgrad enn prøvene i felt. I

praksis for konstruksjoner som bruer vil betongoverflater være utsatt for tørkesykluser som følge av sol og regn. Observasjonen tilsier at metningsgraden som blir brukt, aldri vil bli nådd under reelle forhold, og testen gir urealistisk skade på materialet [20].

S. Al Haj Sleiman, L. Izoret et al. forklarer et en av grunnene til manglende sammenheng mellom labttesten og felttest er ulik temperatursyklus. Under studien vintersesongen 1997-1998 ble det aldri rapportert temperatur ned mot -20°C , heller ikke en syklus på $[+20^{\circ}\text{C}/ -20^{\circ}\text{C}]$ [20]. Med bakgrunn i at det er registrert forskjellig temperatur på ulike plasser i frysekammeret og en manglete representativitet i praksis for fryse/tine- forhold, selv under ekstreme værforhold. Det kan derfor være aktuelt å vurdere en annen fryse/tine-syklus for land med moderate til værhardt klima. I tillegg burde avkjølingshastigheten ikke overskrive 2°C i timen, da det er raskere enn hva man kan forvente i felten. En ser også at tinetiden kan være rundt det dobbelte av frysetiden.

I konklusjonen hevder S. Al Haj Sleiman, L. Izoret et al. at det er manglende representativitet mellom praksis og eksisterende testmetode. Blant annet gir metningsgraden i testen et urealistisk bilde av nedbrytningen og av tørkesyklusen som oppstår i praksis med miljøpåkjenninger. Aldring av betongens overflate og karbonatisering er andre faktorer som burde bli hensyntatt når man sammenligner feltresultater mot laboratorieresultater.

S. Al Haj Sleiman, L. Izoret et al. stiller seg kritisk til fryse/tine- testen i klimakammeret, da det kan være forskjell på resultatet for prøvene avhengig hvor de er plassert i klimakammeret. Denne spredningen i de termiske forholdene kan være en årsak til utfordringene med hvor repeterbart avskallingsresultatene er med denne testen, da det er oppdaget store ulikheter i avskalling for laboratorieprøvene. Testen viser seg også uegnet til å kunne bestemme avskalling for alle typer betong. Det var kun betong av veldig god kvalitet eller betong i dårlig kvalitet som ga utslagsgivende resultat.

7.2 Resultat fra laboratorieforsøk

Resultatene som presenteres i dette kapitlet er egenproduserte resultater gjennom forsøk utført på bygglabben.

7.2.1 Resultat fra tester på fersk betong

Tabell 7.4: Ferskeegenskapene til hvit og grå betong.

(a) Ferskeegenskaper hvit betong.

Støp 13.10 hvit betong	Målinger
Temp	20,1 °C
Synk	230 mm
Synkutbredelse	345 mm
Luft	5,3 %
Fersk densitet	2343,8 kg/m ³

(b) Ferskeegenskaper grå betong.

Støp 13.10 grå betong	Målinger
Temp	20,1 °C
Synk	250 mm
Synkutbredelse	355 mm
Luft	6,5 %
Fersk densitet	2286,2 kg/m ³

Måleresultatene for ferskeegenskapene til betongen er vist i 7.4a og 7.4b.



(a) Synk hvit betong.



(b) Synk grå betong.

Figur 7.10: Ferskegenskapene til hvit og grå betong.

Figur 7.10a og 7.10b viser bilde tatt av synk og synkutbredelse for den hvite og grå betongen.

7.2.2 Resultat trykkfasthet og densitet

Tabell 7.5: Resultater trykktesting.

PRØVE	28-døgnsfasthet		Dag 7 - fryse/tine		Dag 14 - fryse/tine		Dag 42 - fryse/tine		Dag 56 - fryse/tine	
	Trykkfasthet [Mpa]	ρ [kg/m ³]	Trykkfasthet [Mpa]	ρ [kg/m ³]	Trykkfasthet [Mpa]	ρ [kg/m ³]	Trykkfasthet [Mpa]	ρ [kg/m ³]	Trykkfasthet [Mpa]	ρ [kg/m ³]
Hvit 1	57.4	2387	62.8	2390	58.8	2369	56.2	2365	62.8	2400
Hvit 2	57.4	2396	61	2391	56.5	2375	57.6	2367	59.7	2381
Hvit 3	55.8	2382	51.4	2389	59.3	2374	50.6	2369	54.9	2389
Grå 1	65.9	2296	69	2292	65.1	2265	72.5	2277	65.6	2283
Grå 2	66.1	2300	71.6	2289	66.1	2288	68.3	2305	70.6	2278
Grå 3	65.9	2287	72.6	2281	68.2	2282	67.4	2237	80.7	2281

Resultatene fra trykktesting sammen med tilhørende resultat for densitet for herdet betong er vist i Tabell 7.5

7.2.3 Resultat fra fryse/tine- test og trykktesting

Tabell 7.6: Resultater fra fryse/tine-test og trykkprøver.

Døgn	Gjennomsnitt S_n [kg/m ²]	Gjennomsnitt MPa
7 hvit	0.0002	58.40
14 hvit	0.0075	58.20
28 hvit	0.0102	-
42 hvit	0.0128	54.80
56 hvit	0.0153	59.13
7 grå	0.0330	71.07
14 grå	0.0731	66.47
28 grå	0.1164	-
42 grå	0.1333	69.40
56 grå	0.1441	72.30

Tabell 7.6 viser gjennomsnittlig S_n fra de fire prøvestykkene for dag 7, 14, 28, 42 og 56 etter fryse/tine- teststart for den hvite og grå betongen. Resultatet fra trykktesten de samme dagene er

også vist, med unntak av 28-døgn. Årsaken til dette er at det ble testet trykkfastheten etter 28-døgn fasthet. Det var kun nok prøvestykker til 5 trykktester, derfor ble 28-døgn for sammenligning mot frys/tine valgt bort. Det var mest interessant å se på trykkfastheten til betongen ved start og slutt for fryse/tine-forsøket.

7.2.4 Resultat fra fryse/tine-forsøk etter 56 sykluser på overflaten til betongen

Etter 56-sykluser ser en forskjell i overflatestrukturen på den hvite og grå betongen vist i Figur 7.11 og 7.11.



Figur 7.11: Overflaten til den hvite betongen etter 56-sykluser.



Figur 7.12: Overflaten til den grå betongen etter 56-sykluser.

7.2.5 Resultat for RCT-test

Resultatene som er presentert i dette kappitelet er fra «Rapid Chloride Test». Avlest resultat viser mengden klorid oppgitt i prosent av betongvekt.

Tabell 7.7: Resultat med kalibreringsvæske

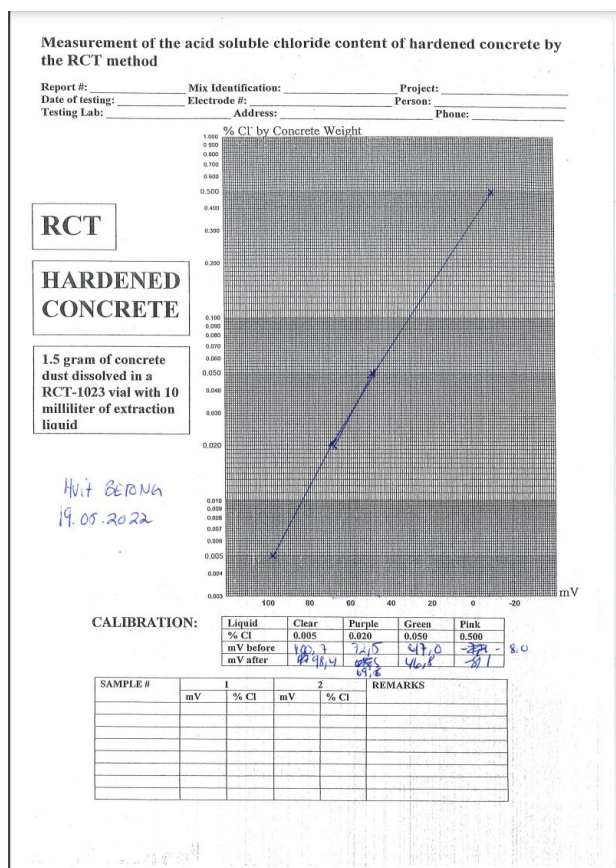
(a) Kalibreringsresultater hvit betong

Væske	Klar	Lilla	Grønn	Rosa
% CL	0.005	0.020	0.050	0.500
mV før	100,7	72,5	47	-8
mV etter	98,4	69,5	46,8	-8,1
Gjennomsnitt	99,55	71	46,9	-8,05

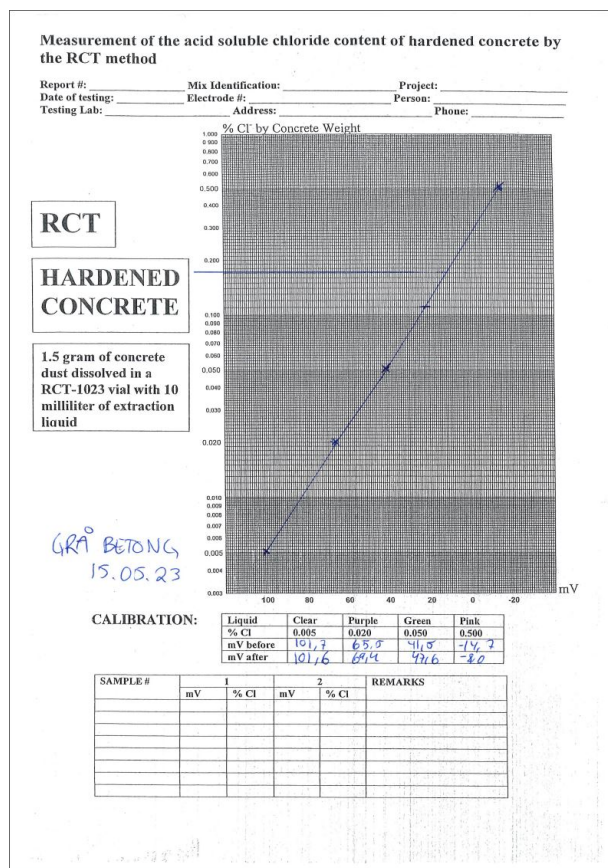
(b) Kalibreringsresultater grå betong

Væske	Klar	Lilla	Grønn	Rosa
% CL	0.005	0.020	0.050	0.500
mV før	101,7	65,5	41,5	-14,7
mV etter	101,6	69,4	47,6	-8,0
Gjennomsnitt	101,65	67,45	44,55	-11,35

Resultater for kalibrering av RCT-utstyr er vist i Tabell 7.7a og 7.7b. Disse målingene er plottet i kalibreringstabellen i Figur 7.13a og 7.13b. Denne brukes til å lese av prosent-kloridinnhold av betongvekt for betongen.



(a) Kalibreringskurve for hvit betong.



(b) Kalibreringskurve for grå betong.

Figur 7.13: Kalibreringskurve

Tabell 7.8: Resultat for kloridinnhold av betongvekt for hvit og grå betong.

(a) Resultat RCT-måling hvit betong

Prøve	mV 1	mV 2	mV gjennomsnitt	% CL
Hvit 1 0-1 mm	23,7	22,5	23,1	0,13
Hvit 1 1-2 mm	23,7	22,4	23,1	0,13
Hvit 1 2-3 mm	25,5	25,1	25,3	0,12
Hvit 1 3-4 mm	27,3	26,2	26,8	0,12
Hvit 1 4-5 mm	29,6	28,2	28,9	0,11
Hvit 2 0-1 mm	41,7	40,9	41,3	0,065
Hvit 2 1-2 mm	34,9	33,6	34,3	0,09
Hvit 2 2-3 mm	34,6	33,1	33,9	0,09
Hvit 2 3-4 mm	35,7	33,2	34,5	0,09
Hvit 2 4-5 mm	34,8	34,1	34,5	0,09
Hvit 3 0-1 mm	41,7	40	40,9	0,07
Hvit 3 1-2 mm	32,6	32,8	32,7	0,09
Hvit 3 2-3 mm	33,2	32,9	33,1	0,09
Hvit 4 3-4 mm	34,6	43,7	39,2	0,07
Hvit 3 4-5 mm	36,9	36,5	36,7	0,08
Hvit 4 0-1 mm	42,7	42,1	42,4	0,065
Hvit 4 1-2 mm	36,5	36,1	36,3	0,08
Hvit 4 2-3 mm	36,3	36	36,2	0,08
Hvit 4 3-4 mm	36,6	36,2	36,4	0,08
Hvit 3 4-5 mm	38,8	38,3	38,6	0,075

(b) Resultat RCT-måling grå betong

Prøve	mV 1	mV 2	mV gjennomsnitt	% CL
Grå 1 0-1 mm	24,4	23,8	24,1	0,105
Grå 1 1-2 mm	12,6	10,2	11,4	0,17
Grå 1 2-3 mm	10,2	14,7	12,5	0,18
Grå 1 3-4 mm	15,1	20,6	17,9	0,135
Grå 1 4-5 mm	20	24,7	22,4	0,1
Grå 2 0-1 mm	13,8	18,1	16,0	0,15
Grå 2 1-2 mm	8,7	13,5	11,1	0,17
Grå 2 2-3 mm	13,4	17,8	15,6	0,15
Grå 2 3-4 mm	15	20,1	17,6	0,135
Grå 2 4-5 mm	19,9	25,4	22,7	0,1
Grå 3 0-1 mm	21,7	28	24,9	0,1
Grå 3 1-2 mm	11,1	17,2	14,2	0,16
Grå 3 2-3 mm	11,7	18,3	15,0	0,15
Grå 4 3-4 mm	15	21,3	18,2	0,13
Grå 3 4-5 mm	22,5	27,8	25,2	0,1
Grå 4 0-1 mm	26,4	31,2	28,8	0,09
Grå 4 1-2 mm	18,5	21,9	20,2	0,12
Grå 4 2-3 mm	16,6	20,7	18,7	0,13
Grå 4 3-4 mm	19,7	26,3	23,0	0,1
Grå 3 4-5 mm	24,4	30,6	27,5	0,09

Resultatene i Tabell 7.8a og 7.8b er de to målingene for hver betongprøve og gjennomsnittet mV. I tillegg til resultatene for prosent-kloridinnhold som er lest av grafene i Figur 7.13a og 7.13b.

7.3 Resultat fra spesialiseringsprosjekt høst 2021

Tabell 7.9: Resultat for trykkfasthet i tidlig fase for hvit og grå betong.

	Prøve	Trykkfasthet [MPa]	Gjennomsnitt
Dag 2	Hvit		
	2.1	38,1	38,6
	2.2	39,3	
	2.3	38,3	
	Grå		
2.1	37,8		
Dag 7	Hvit		
	7.1	48,1	48,9
	7.2	48,9	
	7.3	49,6	
	Gray		
7.1	50,8		
Dag 14	White		
	14.1	47,7	51,3
	14.2	54,0	
	14.3	52,1	
	Gray		
14.1	58,5		

Tabell 7.10: Resultat fra NT Build 492: kloridmigrasjonstest

	ID.nr	Dnssm [$\times 10^{-12}$ m ² /s]	Gjennomsnitt
Dag 2			
Hvit	1,0	16,9	17,7
	2,0	25,8	
	3,0	10,5	
Grå	4,0	24,7	24,9
	5,0	25,1	
Dag 7			
Hvit	6,0	16,0	14,0
	7,0	13,8	
	8,0	12,3	
Grå	9,0	12,0	13,6
	10,0	15,2	
Dag 14			
Hvit	11,0	12,2	12,1
	12,0	12,5	
	13,0	11,7	
Grå	14,0	7,0	6,4
	15,0	5,8	

Resultater i Tabell 7.9 og 7.10 er fra forfatters spesialiseringsprosjekt høsten 2021. Her ble hvit betong sin trykkfasthet i tidlig fase sammenlignet mot grå betong av tilsvarende kvalitet, vist i Tabell 7.9. Det ble også gjennomført testen NT Build 492, som ser på betongens motstandsevne mot kloridinntrenging, vist i Tabell 7.10.

8 | Diskusjon

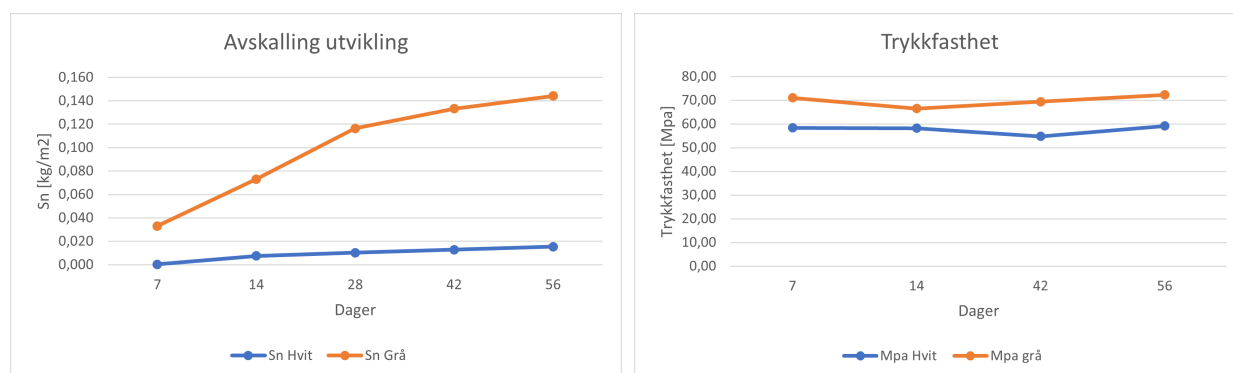
8.1 Hva er sammenhengen mellom nedbryting av fryse/tining og betongens trykkfasthet?

I Figur 8.1a og 8.1b sees utviklingen for fryse/tine- test og trykkfastheten til den grå og hvite betongen, illustrert i hver sin graf. Trykktesten er gjennomført samme dag som avskallet materiale blir samlet inn og veid etter fryse/ tine- testen testoppsett fra standarden. En ser på resultater fra trykkfasthet at betongen beholder samme styrke under testperioden. Den grå betongen har mest avskalling, men har høyest trykkfasthet. Den hvite betongen har liten avskalling, og lavere trykkfasthet enn den grå betongen. Etter 28 døgn sier en at betongen har oppnådd sin ønskede trykkfasthet. Derfor vil det ikke skje noen stor endring i trykkfastheten for betongen etter dette punktet. En slik trend ser en i Figur 8.1b. Derfor er det vanskelig å se noen god sammenheng mellom avskalling og betongens trykkfasthet.

Spørsmålet blir hvorfor den grå betongen har større avskalling enn den hvite betongen, når den grå betongen har oppnådd høyere trykkfasthet. I resultatet fra ferskeegenskapene til de to betongtypene har hvit betong 5,3% luftinnhold, mot 6,5% luftinnhold i den grå betongen. For å oppnå kravet til en betong som skal stå i saltholdig miljø for god motstand mot frysing, må luftinnholdet være mer enn 4%. Dagens erfaring tilsier at luftinnholdet helst skal ligge i mellom intervallet 4-6% luftinnhold.

S. Al Haj Sleiman, L. Izoret et al. sier det samme at luftporer spiller en viktig rolle i fryse/tine-sammenheng. Men hvordan effekten til luftporer beskytter betongen er det manglende tydelig forklaring på. Det samme nevnes i boka «Betong- regelverk, teknologi og utførelse» der betong med masseforhold mindre enn 0,45 ikke har god nok forklaring på isdannelse og porestruktur til høykvalitetsbetong.

Den grå betongen inneholder mikrosilika, som kan forklare hvorfor den oppnår høyere trykkfasthet, enn den hvite betongen. Men det er ingen tydelig relasjon mellom avskalling og betongens trykkfasthet.



(a) Avskalling for hvit og grå betong fra fryse/tine-test.

(b) Trykkfasthet for hvit og grå betong.

Figur 8.1: Sammenligning av trykkfasthet og avskalling.

8.2 Hvordan er fryse/tine-motstanden med avisningsalter til hvit betong?

Ved måling av avskalling for den hvite betongen ble det ved flere anledninger oppdaget at det ikke var noe vannbelegg på betongoverflaten. S. Al Haj Sleiman, L. Izoret et al. observerte under sin testing at tørre prøvestykker som følge av fordamping eller lekkasje hadde lite avskalling. Forfatter

observerte ingen lekkasjer for de hvite prøvene, og ser det heller ikke sannsynlig at vannet har fordampet. Grunnen til dette er at alle de 8 prøvestykkene som ble testet, ble laget under helt like vilkår. De grå prøvene hadde ved hver «sjekk» et lag med vann. Ved mindre enn 1 mm vannivå på prøvestykket skulle den hvite betongen etter standarden vært forkastet.

I standarden for fryse/tine- motstand med avisingsalter står det i metoden at for noen betongkvaliteter kan en oppleve gjennomtrenging av betongen ved bunnflaten, slik at en får en tørr overflate. Da får en også mangelfulle resultater for avskalling. Prøvene dette gjelder skal fjernes fra gjennomsnittsberegningen for avskallet masse.

Prøvene ble valgt å ikke forkastes, da det hadde endt opp uten noe resultat for den hvite betongen. Dette er en svakhet ved testen da en ikke har kontroll over ved hvilket tidspunkt vannet har blitt under 1 mm. En går kun inn hver uke i perioden for å se sjekke avskalling. Det er da vanskelig å kunne få nøyaktig tidspunkt for når det ikke er nok vann på betongoverflaten. En annen ulempe med testen er at dersom prøvestykkene ender opp med å måtte forkastes, er det 31 dager før ny betong er klar for ny testoppstart. Dette ble vanskelig for en masteroppgave med tidsbegrensning. Det er et ubesvart spørsmål hvor vannet blir av.

Som S. Al Haj Sleiman, L. Izoret et al. nevner viste deres testresultat at det var lite avskalling på prøvene som var tørre. Dette kan gi en forklaring på hvorfor de grå prøvene hadde mer avskalling enn den de hvite betongprøvene, selv med høyere trykkfasthet.

En vet også at det gir mer avskalling med saltløsning på betongen, enn uten. Dette kan gi forklaring på hvorfor det er mer avskalling på den grå betongen enn den hvite.

8.3 Hvor dyp er kloridinntrengingen i betongen etter fryse/tine-forsøk?

Siden det ble brukt avisingsalter i testen ble det sett på som interessant å se på kloridprofiler til betongprøvene. Spørsmålet var om det kunne gi noe svar på hva som hadde skjedd med væsken til de hvite betongprøvene. Siden testen foregikk over en kort periode ble det av forfatter valgt å bruke RCT-testmetoden sammen med sliping av betongprøvene. Grunnen til dette var for å se på korte intervaller innover i betongen. Det ble valgt å se på de første 5 mm, med intervaller på 1 mm per slipe-intervall.

Resultatet for kloridprofil for den hvite betongen i Figur 8.2 viser ingen stor forskjell i kloridinnhold innover de første 5 mm. Det er litt lavere kloridinnhold for prøve 2, 3, og 4 i intervallet 0-1 mm. Dette kan forklares med at avskallingen vaskes og veies, slik at det ytterste laget som inneholder klorider er vasket bort før sliping.

For den grå prøven ser en en klar trend i at det er lavere kloridinnhold de i det ytterste laget, se Figur 8.3. Dette kan forklares med at det er skjedd mer avskalling på den grå betongen og kloridene er vasket/ fjernet som følge av dette. Ved intervallet 3-4 og 4-5 ser en at kloridene avtar. Dette tyder på at kloridene avtar innover i betongen. En forklaring er at mikro silika kan gjøre betongen tettere, og mer motstandsdyktig mot inntrenging. Fra resultatene i spesialiseringsprosjekt i Figur 8.4 ser en at det er den grå betongen har best motstand mot klorider etter 14 dager. Dette kan også forklares med at den grå betongen inneholder mikrosilika som vil påvirke hvor «tett» betongen er.

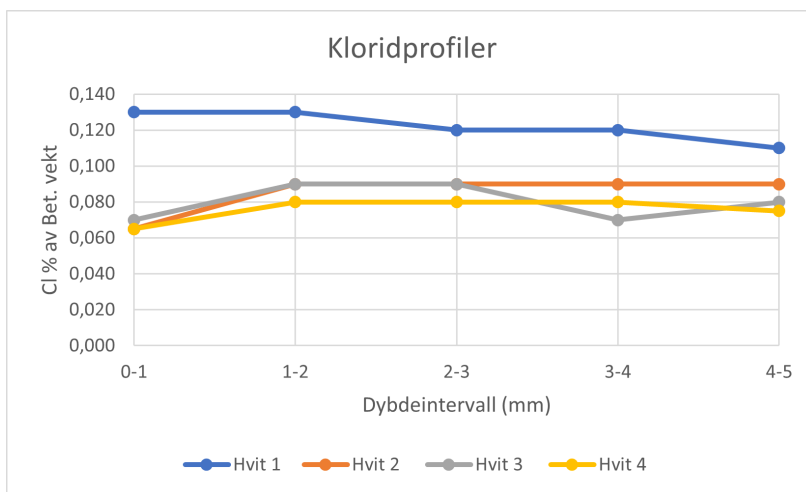
Siden prøvene har saget overflate får en tydeligere frem åpne porer. Dette kan gi en forklaring på resultatene for den hvite betongen, da klorider kan ha samlet seg i de større porene og laget en opphoping av klorider som gir utslag, siden en sliper hvert intervall.

Det er den grå betongen som har størst innhold av klorider med 0,180 for grå 1 i dybde 2-3 mm. Dette kan forklares med at den grå betongen har større avskalling og derfor mer skade på overflaten, slik at kloridene kan trenge lengre inn i betongen.

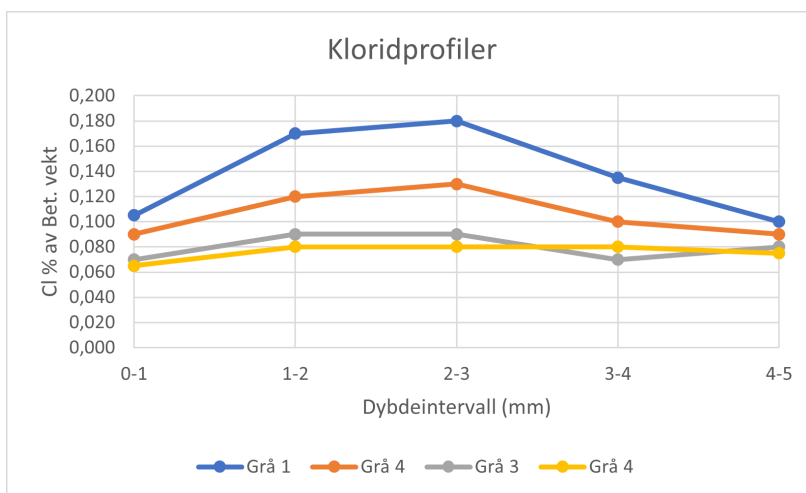
En ser at de hvite prøvene 2,3,4 og grå 2,3,4 holder seg i samme område med kloridprosent av

betongvekten. Det kan gi et signal på at de har like god motstand mot kloridinntrengning.

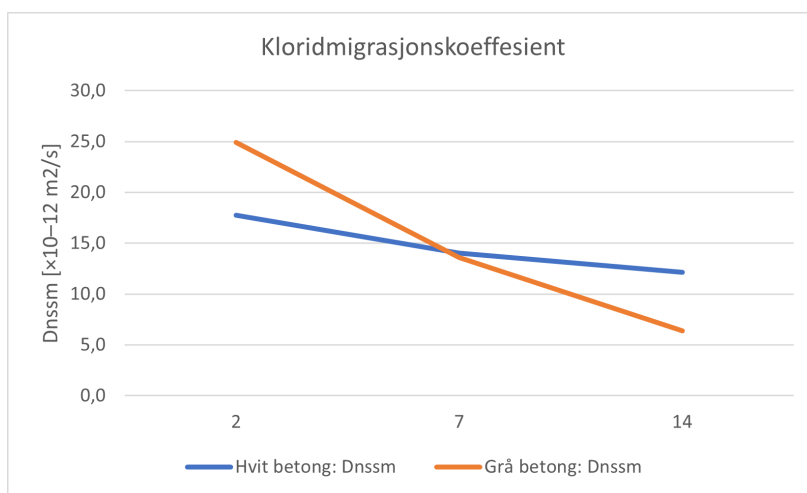
Sliping av betongen med fres ble valgt for å ha et detaljert nivå på kloridprofilene for å kunne svare på hvor dyp kloridinntrengning var. Som en ser av Figur 8.2 og 8.3 har en ikke et godt svar på dette. En burde hatt flere intervaller innover, og kanskje ikke med så små intervaller. Det kunne vært et alternativ å boret ut prøver, enn å ha brukt sliping. Denne metoden ga ikke det entydige svaret man i utgangspunktet var ute etter.



Figur 8.2: Kloridprofil for den hvite betongen



Figur 8.3: Kloridprofil for den grå betong



Figur 8.4: Motstand mot kloridinntrengning for hvit og grå betong. Merk: grå betong er produsert av Ribe og har annet tilslag enn betong produsert på labb.

8.4 Hvordan er bestandighetsegenskapene til hvit betong sammenlignet med grå betong i samme fasthetsklasse?

Abuzaid, Rofael et al. påstår at hvit betong er lite brukt i byggenæringen. Testene som ble gjennomført var å se hovedegenskapene til betongen, med bruk av to typer hvit sement mot grå sement. Abuzaid, Rofael et al. konkluderer med at resultatene fra forsøkene viser at hvit betong kan brukes som konstruksjonsbetong, i de områdene der den oppfyller krav til egenskaper. Den hvite betongen utviklet ikke like høy styrke som den grå betongen i noen av forsøkene. Det samme viser resultatene til forfatter fra spesialiseringsprosjekt med trykktesting i tidlig fase, der betong med grå sement utviklet høyere styrke. For forsøk der Abuzaid, Rofael et al. så på hvitt og vanlig tilslag, var det hvite tilslaget bedre enn vanlig. Ved test der en så på effekten til pigment, bidro pigment til høyere trykkfasthet. Pigment blir brukt for å få en enda hvitere betong, så en kan trekke konklusjonen at dette bare er en positiv faktor. Abuzaid, Rofael et al. viser hvit betong er sensitiv for fargeendring med tilslag og tilsetningsstoffer, da er det positivt at hvitt tilslag ikke viste seg å ha en negativ effekt på trykkfastheten. Abuzaid, Rofael et al. konkluderer med at det er behov for videre forskning på langtidstester for betongens bestandighet og ytelsesevne.

Resultatet fra testen viser at den hvite betongen har bedre motstand mot fryse/tine- sykluser enn den grå betongen, da den har minst avskalling. Den hvite betongen hadde ikke vann på overflaten når det ble foretatt måling av avskalling. Dette vil være utslagsgivende for hvor mye avskallingseffekt en får. Dette ser man for resultatene til den grå betongen, som har mer avskalling og hadde vann på overflaten under hele testen. En ser en klar forskjell i overflateteksturen til den grå betongen, mot den hvite i Figur 7.11 og 7.12. Den hvite betongen skulle vært forkastet som følge av mindre enn 1 mm vann på overflaten. Derfor er ikke resultatene i denne oppgaven for hvit betong gyldige per standard.

Fryse/tine-testen etter standarden SN-CEN/TS 12390-9 er en akselerert test for å se på betongens motstandsevne mot fryseproblematikk. S. Al Haj Sleiman, L. Izoret et al. sikter til at det er flere faktorer som ikke blir tatt hensyn til med denne testen, som tørkesykluser, karbonatisering og aldringsprosessen av betongen. Disse kan ha en effekt på betongens avskallingsmotstand. S. Al Haj Sleiman, L. Izoret et al. s påpeker også at betongen i praksis ikke vil ha et konstant lag med vann på overflaten, og kan gi urealistisk skade på materialet. Temperaturintervallet på $[+20^{\circ}\text{C}/ -20^{\circ}\text{C}]$ samsvarer heller ikke med reelle miljøforhold. Da det er sjeldent en får en slik syklus, selv i værhardt klima. S. Al Haj Sleiman, L. Izoret et al. ser på fryse/tine-testen mot forsøk gjort i praksis, og om resultatet samsvarer, slik at testen faktisk gjenspeiler den reelle nedbrytningen som skjer.

Resultatene til S. Al Haj Sleiman, L. Izoret et al. viser at det ikke er en korrelasjon mellom temperaturen til fryse/tine-syklusen i labforsøk og prøvene ute i felten.

Videre viser målinger at det er forskjellige temperaturer på overflaten til betongen, avhengig av hvor de står i frysekammeret. Avskallingen i felt var mye lavere enn i lab. S. Al Haj Sleiman, L. Izoret et al. stiller derfor spørsmål til påliteligheten til eksisterende fryse/tine- testmetode i lab.

Forklaringen på dette kan ligge i at fryse/tine-forsøket er en akselerert metode, slik at betongens egenskaper til å motstå avskalling blir med testet med en ekstrem frysesyklus, og kan forklare hvorfor [+20°C/ -20°C] har blitt valgt som intervall.

Testen som ble gjort i Sverige over en 10 års periode, viste heller ikke like alvorlig avskalling som fryse/tine-forsøk i lab. Resultatene viste også at det ikke var en god korrelasjon mellom laboratorieresultatene og feltresultat. Det resultatene viste var at testmetoden kunne brukes til å skille mellom god og dårlig betongkvalitet.

Forfatter opplever også ulemper ved laboratorietesten, da det er flere faktorer der en kan få avvik. Dersom betongoverflaten viser seg å ikke ha under 1 mm med vann på overflaten, må prøvene forkastes. Dette krever at en må gjennomføre ny produksjon av betong, som tar 31 dager til ny teststart. Det å produsere selve prøvestykkene var også en ekstremt tidkrevende prosess, med butylbånd, liming og produksjon av isolasjon til hver prøve. Her er det flere steg der det kan gå galt. Det er ingen god kontroll over når vannet eventuelt har fordampet. Testen ser kun på en nedbrytningsmekanisme og samsvarer ikke med de reelle forholdene ute i praksis.

For å bestemme betongens levetid er det avhengig av betongens mekaniske ytelse og bestandighet. Utgangspunktet for bruken til den hvite betongen i denne oppgaven er bruk i en eksponeringsklasse der den skal tåle sjøvann. Konstruksjonen skal stå i skvalpesonen. Som Ma, Zhang et al. forklarer at nedbrytningen av maritim betong skjer som følge av en kombinasjon av skurevirkning, kjemisk og fysisk nedbrytning. I kalde klima, som her i Norge, er også fryse/tine-problematikk en utfordring for konstruksjoner i maritimt miljø. Derfor er det ikke mulig å gi et enkelt svar på hvordan bestandighetsegenskapene til den hvite betongen er. Fryse/tine-testen for hvit betong oppfylte ikke kravene i standard. Resultatene fra kloridtesten, viser at den grå og hvite betongen har veldig like nivå med klorider. Ma, Zhang et al. sier at nedbrytningen av betongen er en kombinasjon av flere faktorer. Derfor vil ikke fryse/tine-testen som ser på kun en nedbrytningsmekanisme gi en god forklaring på bestandigheten til betongen. Ma, Zhang et al. forklarer at det er behov for mer forskning på området med tester som kan se på en kombinasjon av nedbrytningfaktorene på betongen. Dette stiller forfatter seg bak.

8.5 Svakheter

Svakheter med oppgaven:

- Den hvite betongen skulle vært forkastet og laget på nytt for å oppnå gyldig resultat.

9 | Konklusjon

Hvordan er bestandighetsegenskapene til hvit betong sammenlignet med grå betong i samme fasthetsklasse?

Resultatet fra fryse/tine-test gir ingen god forklaring på bestandighetsegenskapene til hvit betong, sammenliknet med grå betong i samme fasthetsklasse. Resultatet for den hvite betongen er ugyldig etter standarden. I tillegg viser resultatene fra litteraturstudiet at bestandighetsegenskapene er avhengig av en kombinasjon av flere faktorer. Det er behov for mer forskning på området og utvikling av forskningsmetoder som kan ta hensyn til dette.

- Hvordan er fryse/tine-motstanden med avisningsalter til hvit betong? Resultatene for den hvite betongen kan ikke brukes til å si noe om fryse/tine- motstanden med avisningsalter, da resultatene er ugyldig per standard.
- Hvor dyp er kloridinntrengingen i betongen etter fryse/tine-forsøk? Resultatene viser ikke et entydig svar for kloridinntrengningsdybde, etter fryse/tine-forsøk.
- Hva er sammenhengen mellom nedbryting av fryse/tining og betongens trykkfasthet? Det er ingen tydelig relasjon mellom avskalling og betongens trykkfasthet.

10 | Anbefalinger

Til videre arbeid kan følgende problemstillinger være interessant å se på:

- For den hvite betongen var vanlaget lavere enn 1 mm. Det er også beskrevet i standarden at dette er noe som kan oppstå for visse betongkvaliteter. Videre forskning er derfor anbefalt for å svare på hvorfor dette skjer.
- Forskning på en koblingseffekt av flere nedbrytningseffekter sammen for å se på bestandigheten til hvit betong er interessant for videre arbeid.

Referanser

- [1] M. Maage, *Betong : regelverk, teknologi og utførelse*. Oslo: Byggenæringens forl, 2015, ISBN: 978-82-8021-126-2.
- [2] J. Lindland, *Betongrehabilitering : reparasjonsmetoder, utførelse og kontroll*, 1. utg. Oslo: Norsk forening for betongrehabilitering, 2016, ISBN: 978-82-8208-051-4.
- [3] NORCEM, *God betong er bestandig*, (Lastet ned: 18/03/2023). adresse: https://www.sement.heidelbergmaterials.no/sites/default/files/assets/document/dc/aa/godbetongerbestandig_web_0.pdf.
- [4] E. Sellevold, "Frost deterioration," i *Concrete Technology*, S. Jacobsen, red., Trondheim: NTNU, 2016, kap. 15, s. 15.2–15.10, ISBN: 82-7482-098-3.
- [5] FN-sambandet, *Industri, innovasjon og infrastruktur*, (Lastet ned: 03/06/2023). adresse: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/industri-innovasjon-og-infrastruktur>.
- [6] FN-sambandet, *Ansvarlig forbruk og produksjon*, (Lastet ned: 03/06/2023). adresse: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/ansvarlig-forbruk-og-produksjon>.
- [7] Standard norge, "NS-EN 206:2013+A2+NA Norsk Standard Betong Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar Concrete Specification, performance, production and conformity," tekn. rapp., 2022.
- [8] Standard norge, "Prøving av herdet betong Del: 9 Fryse/tine-mostand med avisingsalter - Avskalling," tekn. rapp., 2016.
- [9] J. Sundklakk, *A Study of Chloride Intrusion in White Concrete for The New Knubben Harbour Bath*, Grimstad, des. 2021.
- [10] R. S. Aouf, *Snøhetta reimagines long-closed 1930s Norwegian harbour bath Knubben*, 2021. adresse: <https://www.dezeen.com/2021/08/16/snohetta-reimagines-norwegian-harbour-bath-knubben-architecture/>.
- [11] J. Hustad, "NTNU-betong med høyt flyveaskeinnhold-frostbestandighet og luftporestruktur," (Lastet ned: 01/11/2022). adresse: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2618290>.
- [12] University of Copenhagen, *Academic Information Seeking*, (Lastet ned: 18/03/2023). adresse: <https://www.coursera.org/learn/academicinfoseek/home/week/1>.
- [13] Statens vegvesen, *R210 Laboratorieundersøkelser*. 2016, ISBN: 978-82-7207-693-0. adresse: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-r210-laboratorieundersokelser-2016.pdf>.
- [14] K. Hamre, A. Hellestøl og J. Sundklakk, *Utnyttelse av tunnelmasser som tilslag i betong*, Grimstad, mai 2019.
- [15] C. Druta, L. Wang og D. Stephen Lane, "Tensile strength and paste-aggregate bonding characteristics of self-consolidating concrete," *Construction and Building Materials*, årg. 55, s. 89–96, mar. 2014, ISSN: 09500618. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.01.010.
- [16] Germann Instruments, *Profile Grinder*, (Lastet ned: 20/02/2023). adresse: <https://www.germanninstruments.com/concrete-sampling-for-chloride-measurements-profile-grinder/>.
- [17] R. Abuzaid, M. Rofael, S. ElGamal mfl., "Properties of White Portland Cement Concrete," i *Lecture Notes in Civil Engineering*, bd. 248, Springer Science og Business Media Deutschland GmbH, 2023, s. 77–93, ISBN: 9789811910036. DOI: 10.1007/978-981-19-1004-3_{_}6.
- [18] The U.S. Geological Survey- Communications and Publishing, *Earth Word- Scour*, (Lastet ned: 27/05/2023), jun. 2016. adresse: <https://www.usgs.gov/news/science-snippet/earthword-scour#:~:text=Scour%5C%20occurs%5C%20when%5C%20water%5C%20erodes,scour%5C%20often%5C%20occurs%5C%20during%5C%20floods..>
- [19] D. Ma, M. Zhang og J. Cui, *A review on the deterioration of mechanical and durability performance of marine-concrete under the scouring action*, mai 2023. DOI: 10.1016/j.job.2023.105924.

- [20] S. Al Haj Sleiman, L. Izoret, S. Y. Alam, F. Grondin og A. Loukili, “Freeze–thaw field exposure and testing the reliability of performance test temperature cycle for concrete scaling in presence of de-icing salts,” *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, årg. 55, nr. 1, jan. 2022, ISSN: 13595997. DOI: 10.1617/s11527-021-01831-6.

11 | Vedlegg

Vedlegg 1: «Log book»

Vedlegg 2: Betongresepter excel-ark

Vedlegg 3: Masteroppgave excel-ark

Vedlegg 4: RCT-test excel-ark

Vedlegg 5: Produktdatablad butylbånd

Vedlegg 6: Produktdatablad cascomultitech

Vedlegg 7: A3-poster