



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Konstruksjoner og Materialer / Bygg	Vårsemesteret, 2012 Åpen
Forfatter: Jostein Sindsen	..... (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Kjell Tore Fosså Veileder: Kjell Tore Fosså	
Tittel på masteroppgaven: Kloridinntrenging i betong Engelsk tittel: Chloride ingress into concrete	
Studiepoeng: 30	
Emneord: Kloridinntrenging Diffusjonskoeffisient Elektrisk motstandsevne	Sidetall: 91 + vedlegg: 158 Stavanger, 15.06.2012

Sammendrag

Denne oppgaven forklarer hvordan klorider trenger inn i betong, og hvordan armeringskorrosjon oppstår forårsaket av klorider. Hovedmålsetningen med oppgaven er å se hvordan pozzolaner påvirker kloridinntrenging og da spesielt diffusjonskoeffisienten. I tillegg skal innvirkningen av forskjellige sementtyper, luftinnhold og herdebetingelser analyseres. En forsøksmatrise med en rekke betonger har blitt analysert på betong- og kjemilaboratoriet. Som et supplement til kloridinntrenging så ble betongens elektriske motstandsevne og trykkfasthetsutvikling målt.

Resultatene fra laboratoriearbeidet har blitt sammenlignet med forventningene som er beskrevet i teoridelen. Det kan konkluderes med økt motstand mot kloridinntrenging ved bruk av pozzolaner og økt luftinnhold (fra 2% til 4%), og sementtypene som ble benyttet hadde også en innvirkning på kloridinntrenging. Herding ved 20°C i 28 dager før eksponeringen i NaCl-løsningen i 38 dager er ikke nok for å få frem egenskapene til flyveaske, men ved økt herdetemperatur er det lett å se effekten av flyveasken. Silika stemte med forventningene og ga høyere trykkfasthet, økt elektrisk motstandsevne og bedre motstand mot kloridinntrenging.

Innholdsfortegnelse

1	Forord.....	5
2	Innledning.....	6
3	Teori.....	7
3.1	Armeringskorrosjon.....	7
3.1.1	Generelt.....	7
3.1.2	Korrosjonsforløpet	8
3.1.3	Korrosjonsovervåkning.....	10
3.1.4	Kloridinitiert korrosjon	10
3.1.5	Karbonatiseringsinitiert korrosjon	11
3.2	Kloridinntrengning.....	12
3.2.1	Klorid diffusjonskoeffisient.....	14
3.2.2	Fick`s lov	15
3.2.3	Effekt av v/c-tallet	16
3.2.4	Effekt av silikastøv	16
3.2.5	Effekt av flyveaske	17
3.2.6	Effekt av luftinnhold	17
3.2.7	Kritisk kloridinnhold.....	18
3.2.8	Kjemisk bundet klorid.....	18
3.2.9	Kloridbindingskapasitet	19
3.3	Reparasjon og vedlikehold av kloridinitiert armeringskorrosjon	20
3.3.1	Mekanisk reparasjon	22
3.3.2	Katodisk beskyttelse	22
3.3.3	Kloriduttrekk.....	25
3.3.4	Overflatebehandling.....	26
4	Bakgrunn for eksperimentelt arbeid og metoder	28
4.1	Delmaterialer.....	28
4.1.1	Standardsement	28
4.1.2	Standardsement FA	29
4.1.3	Flyveaske	30
4.1.4	Silikastøv.....	31
4.1.5	Tilslag	32
4.1.6	Superplastiserende tilsetningsstoff.....	32

4.1.7	Luftinnførende stoff	33
4.2	Metoder.....	35
4.2.1	Utstøping av betong	35
4.2.2	Blandeprosedyre:	35
4.2.3	Synkmålprosedyre:	35
4.2.4	Luftmålingsprosedyre:.....	36
4.2.5	Utstøpingsprosedyre:	36
4.3	Modenhet.....	37
4.4	Trykkfasthet.....	38
4.5	Elektrisk motstandsevne	39
4.6	Kloridinntrenging.....	40
4.6.1	Spektrofotometrisk analyseprosedyre	42
4.6.2	Beregning av kloridinnhold i betongstøvet	44
5	Eksperimentelt	46
5.1	Forsøksmatrise	46
5.2	Plan for testing	46
6	Resultater	47
6.1	Kloridinntrenging.....	47
6.2	Elektrisk motstandsevne	58
6.3	Trykkfasthet.....	60
7	Diskusjon av resultater	62
7.1	Kloridinntrenging.....	62
7.1.1	Effekt av sementtype.....	62
7.1.2	Effekt av silka	64
7.1.3	Effekt av flyveaske	66
7.1.4	Effekt av herdebetingelser	67
7.1.5	Effekt av luftinnhold	70
7.2	Elektrisk motstandsevne	71
7.2.1	Effekt av sementtype.....	71
7.2.2	Effekt av silka	73
7.2.3	Effekt av flyveaske	74
7.2.4	Effekt av herdeforhold	75
7.2.5	Effekt av luftinnhold	78

7.3	Trykkfasthet.....	79
7.3.1	Effekt av sementtype.....	79
7.3.2	Effekt av sililka	81
7.3.3	Effekt av flyveaske.....	81
7.3.4	Effekt av herdetemperatur.....	82
7.3.5	Effekt av luftinnhold	85
7.4	Feilkilder	86
8	Konklusjon	87
9	Referanser	89
10	Vedlegg.....	91

1 Forord

Denne oppgaven har gitt meg god forståelse for viktigheten av god prosjektering av betongkonstruksjoner, og viktigheten med tilstandsvurderinger for å oppdage nedbryting av betong for å unngå store reparasjonsarbeider.

Armeringskorrosjon er årsaken til de fleste større skader på betongkonstruksjoner. Korrosjon initiert av klorider er en vanlig problemstilling for betongkonstruksjoner i og nær sjøvann. Det har i en årrekke blitt gjennomført mange undersøkelser på kloridinitiert korrosjon, men fremdeles så er det en del usikkerhet rundt kritisk kloridnivå og levetidsberegninger av betongkonstruksjoner.

På betong- og kjemilaboratoriet er det utført analyse på kloridinntrenging, elektrisk motstandsevne og trykkfasthet på en rekke forskjellige blandingssementer. Laboratorieeksperiment er utført etter SINTEF prosedyre og NTBuild443.

Jeg vil takke Kjell Tore Fosså for utmerket veiledning. Jeg vil også takke Samdar Kakay og John Grønli for hjelp under laboratoriearbeidet.

2 Innledning

I denne oppgaven vil det først bli forklart hvordan armeringskorrosjon oppstår og hvordan det foregår. Det er beskrevet hvordan man kan forhindre eller redusere faren for armeringskorrosjon, og hva slags tiltak man gjør når armeringskorrosjon har oppstått. Hensikten med å beskrive forholdene som kan lede til armeringskorrosjon er for å gi prosjekterende og utførende en god forståelse av prosessen. Dette fører til at det gjøres forebyggende tiltak mot armeringskorrosjon i byggeprosessen slik at konstruksjonene får ønsket levetid uten store vedlikeholdsutgifter.

Kloridinntrenging vil bli beskrevet og det skal ses på hvilke parametre i betongen som påvirker kloridinntrenging, og da spesielt effekten av pozzolaner. I samarbeid med Kjell Tore Fosså er det satt opp en forsøksmatrise med en rekke betonger med forskjellige mengder pozzolaner, luftinnhold, sementtype og herdeforhold. Det ble målt diffusjonskoeffisienter, elektrisk motstandsevne og trykkfasthet på samtlige betongtyper. Dette er parametre i betongen som har stor betydning for kloridinntrenging og korrosjonshastighet.

Prosjektering og produksjon av betongkonstruksjoner har blitt betydelig bedre i løpet av de seinere år, men fortsatt er det lite oversiktlig og kontrollerbar saltinntrenging med etterfølgende armeringskorrosjon. Betongkonstruksjoner i marine miljøer og konstruksjoner i moderne infrastrukturer som bruer, kaier og parkeringshus er spesielt utsatt for kloridinntrenging. Kloridinitiert korrosjon representerer ikke bare en stor økonomisk belastning men etter hvert en stor og vanskelig kontrollerbar sikkerhetsrisiko.

Det må fokuseres mer på miljøbelastningens betydning enn kun styrkekrav. Nye prøvemetoder og avansert prøveutstyr har gitt en bedre forståelse av årsaker til nedbryting av betong. Dagens kunnskap om betong gjør det mulig å komponere betong som kan motstå de fleste miljøbelastninger.

Definisjonen av god betong varierer fra produsent til byggherre og til utførende. I praksis er det ikke alltid byggherren blir informert eller anbefalt hvordan konstruksjonene bør driftes eller vedlikeholdes. Det er derfor mange byggherrer som blir sittende igjen med store drifts og vedlikeholdsproblemer. Med en god og bestandig betong menes det at betongen skal ha den levetiden den er planlagt for uten store vedlikehold og reparasjonskostnader.

Alle resultatene, diskusjoner og konklusjoner fra betong- og kjemilaboratoriearbeid er presentert fra kapittel 6 og utover.

3 Teori

3.1 Armeringskorrosjon

3.1.1 Generelt

Armeringskorrosjon forårsaket av kloridinntrenging og karbonatisering er årsaken til de fleste store skader på betongkonstruksjoner. Armeringskorrosjon fører til sprekkdannelser, avskalling av overdekningen og svekket bæreevne i konstruksjonen. Under normale forhold er den innstøpte armeringen beskyttet mot korrosjon på grunn av det høye alkalivået i betongen. Vi sier at armeringen er passivisert. Passiviseringen kan oppheves ved høyt kloridinnhold i betongen eller ved karbonatisering.[5]

Både kloridinntrenging og karbonatisering er prosesser som avtar i hastighet etter hvert som de trenger inn i betongen. En halvering av overdekningen kan derfor føre til at initieringsperioden blir inntil 4-5 ganger kortere. [1]

Nedbryting av betong kan gi følgende uønskede konsekvenser:

- Missfarging
- Oppsprekking
- Avskalling
- Redusert armeringstverrsnitt og sammenbrudd
- Store reparasjonskostnader

Vanligvis er korrosjon forårsaket av klorider farligst for konstruksjonen. Det skyldes at denne typen gir mer lokale og konsentrerte skade med fare for gjennomrusting. Korrosjon forårsaket karbonatisering spres over et større armeringsareal og gir klarere varsler om utviklingen før svekkelsen blir for stor.[11]

De første synlige skadene er oppsprekking og rustutslag, etterfulgt av avskalling.

Vi kan redusere faren for armeringskorrosjon ved:

- Bruke lavt v/c-tall
- Bruk av pozzolaner
- Sikre god overdekning
- Unngå materialer som tilfører klorider
- Velge en utforming på konstruksjonen som gir minst mulig fuktilgang
- Sikre god utstøping og etterbehandling
- Gjennomføre tilstandskontroller

3.1.2 Korrosjonsforløpet

Vi deler opp korrosjonsforløpet i initieringsperioden og korrosjonsperiode.



Figur 1 Korrosjonsforløpet [10]

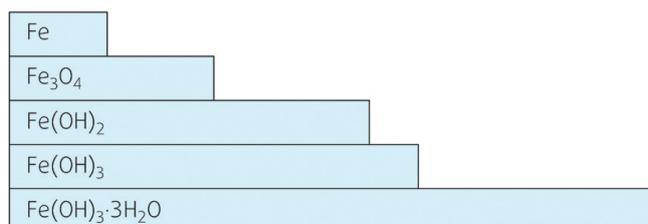
Initieringsperiode: Den tiden det tar å bryte passiviseringen av armeringsstålet. Det vil si den tiden det tar før kloridinnholdet ved armeringsstålet er tilstrekkelig høyt til at armeringen kan begynne å korrodere eller at karbonatiseringsfronten har nådd armeringen. De faktorene som i størst grad påvirker initieringsperioden er tykkelsen og tettheten av overdekningen.

Korrosjonsperiode: Den tiden da korrosjon finner sted etter at passiviseringen er ødelagt. Korrosjonshastigheten er bestemt av hvor mye oksygen som kommer gjennom overdekningen, betongens ledningsevne og temperaturen. Oksygentilgangen reduseres ved høy fuktighet, mens ledningsevnen øker når fuktigheten stiger.

Maksimal korrosjonshastighet har vi når fuktigheten er omkring 90-95 %. Korrosjonshastigheten øker også når temperaturen stiger. Særlig ved konstruksjoner som blir utsatt for en kombinasjon av høy relativ fuktighet og temperatur, bør vi sørge for at initieringsperioden blir lang. På grunn av oksygenmangel vil konstruksjonsdeler som er fullstendig neddykket i vann vanligvis ikke korrodere. Innvendige konstruksjoner som kan tørke godt ut, har også minimal korrosjonshastighet på grunn av stor elektrisk motstandsevne.

Korrosjonsproduktene har et større volum enn metallet, og vil gi en sprengvirkning på betongen som fører til rissdannelser, avskalling og svekkelse av konstruksjon.

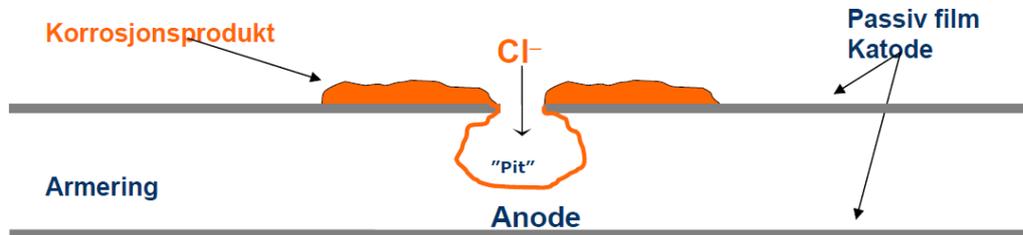
Her er noen av korrosjonsproduktene til jern:



Figur 2 Korrosjonsprodukter og deres relative volum i forhold til metallisk jern [10]

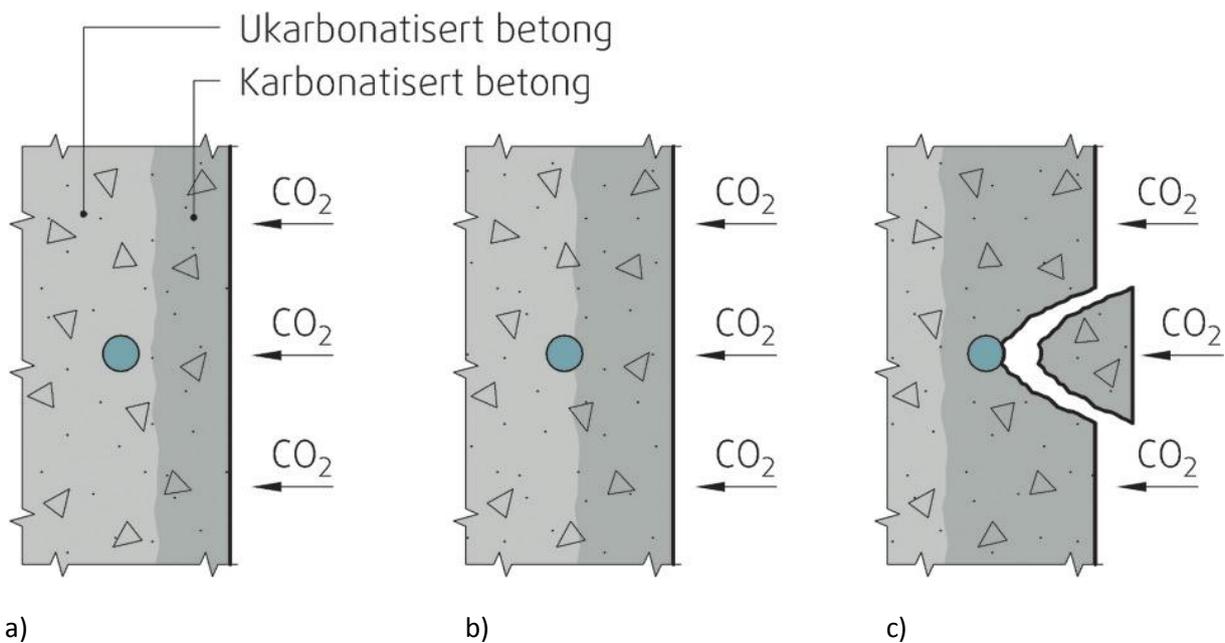
Rustproduktene foreligger i mange varianter som avhenger av miljøet rundt korrosjonen, særlig tilgang på oksygen og fukt.

Her er et eksempel på pittingkorrosjon som er forårsaket av kloridangrep:



Figur 3 Korrosjon på armering [6]

Her er et eksempel på karbonatisering forårsaket korrosjon:



Figur 4 a-c [11]

- a) Begynne karbonatisering
- b) Karbonatiseringsfronten har nådd armering, og depassiverer armeringen
- c) Karbonatiseringsfront har passert armering og initiert aktiv korrosjon som har ført til avskalling

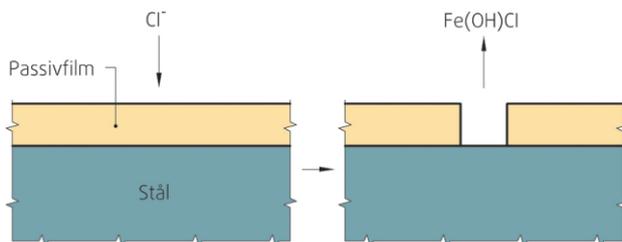
3.1.3 Korrosjonsovervåkning

Det er ikke mulig å oppdage armeringskorrosjon ved en visuell inspeksjon før korrosjonen har nådd et avansert stadium. I 1950 ble det introdusert et måleutstyr som gjorde det mulig å registrere elektrokjemiske potensialer ved betongkonstruksjonens overflater. Det ble også tatt i bruk et feltutstyr som gjorde det mulig å måle betongens elektriske motstandsevne i et yttersjikt. Det er også mulig å støpe inn forskjellige typer målesonder for å registrere inntrengingshastigheter for klorid- og karbonatiseringsfront, motstandsevne og oksygentilgang. Slike målesonder kan støpes inn i kritiske deler av konstruksjonen for en automatisk overvåkning av konstruksjonen. [4]

Hensikten med korrosjonsovervåkning er for å få tidlig varsel om hvor fort betongen karbonatiseres eller hvor hurtig klorider trenger inn i betongen. Da kan man i god tid før karbonatiseringen og kloridinntrengingen har nådd armeringen til å vurdere forebyggende tiltak som forsinker eller forhindrer videre inntrenging.

3.1.4 Kloridinitiert korrosjon

Korrosjonsproblemer forårsaket av klorid er mer komplisert enn armeringskorrosjon av karbonatisert betong. Betongkonstruksjoner som kaier, bruer, parkeringshus og ved marine miljøer er spesielt utsatt for kloridinitiert korrosjon. Det er vanskeligere å bekjempe kloridinitiert korrosjon enn korrosjon forårsaket av karbonatisering. Kloridsalter i betongen har den egenskapen at den kan bryte ned passivfilmen lokalt, og forårsaker svært kraftige lokale korrosjonsangrep som kalles pittingkorrosjon. [12]



Figur 5 Kloridioner som løser opp passivfilmen [11]

3.1.5 Karbonatiseringsinitiert korrosjon

Når betong er i kontakt med luft så oppstår det en naturlig kjemisk prosess som kalles karbonatisering. Luften diffunderer langsomt inn i betongen og karbondioksydet som er i luften reagerer med vann inne i betongen. Dette danner kalsiumkarbonat og vil senke pH verdien i betongen. Armeringskorrosjon forårsaket av karbonatisering kjennetegnes ved jevn nedbryting over store deler av armeringen.

Her er et bilde som armeringskorrosjon har forårsaket:

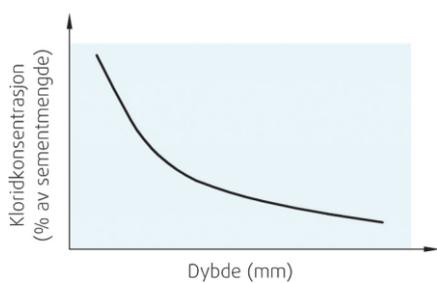


Figur 6 Skade på betongkonstruksjon forårsaket av armeringskorrosjon [11]

3.2 Kloridinntrengning

Kloridsalter trenger inn i betong dersom de er oppløst i vann som er i kontakt med betongoverflaten. Det er to transportprosesser som fører klorider inn i betongen; diffusjon og kapillærabsorpsjon. Er betongen utsatt for gjentakende fukting og uttørking, så vil kapillærsuget gi stort kloridopptak på grunn av kloridmengden som trekkes inn i oppfuktingen forblir der etter uttørking. Diffusjonen kan sies å følge Fick's diffusjonslover, men blir mer komplisert ved at diffusjonen skjer i kapillærporer som varierer fra delvis vannfylte til helt vannfylte. Hastigheten av diffusjonen er en funksjon som styres av v/c-tall, sementtype, temperatur og type kation som følger kloridene. Et kation er et positivt ladd ion som er bundet sammen med Cl-. I denne oppgaven er kationet Na+. Hastigheten på diffusjonen avtar innover i betongen.[11]

Her er et typisk kloridprofil for betong som er konstant utsatt for klorider. I skvalpesonen som er utsatt for stadig fukting og tørking så vil det ofte være høyest konsentrasjon av salt innfor overflaten av betongen.



Figur 7 Typisk kloridprofil[11]

Betongens motstand til å slippe igjennom gasser og væsker er den viktigste faktoren i betongens bestandighet, også kalt permeabilitet. Alle nedbrytingsmekanismer i betong skyldes gasser eller væsker, så derfor er det viktig å få en tett betong. Sprekker og riss i betongen vil bidra til kraftig økning i diffusjonen gjennom betongen. Utstøpingen, herdebetingelser og betongens støpelighet har derfor en avgjørende betydning for betongens permeabilitet. [16]

Klorider i betong kommer enten fra ytre miljø eller fra selve betongmassen. Klorider kommer i dag i stor grad fra det ytre miljø ved for eksempel konstruksjoner nær kysten, marine konstruksjoner og veisalting. Saltet blir oppløst i vann og vil trenge gjennom betongens kapillær/poresystem. [1]

Kloridene som tilføres fra sement, tilslag, flyvesaske, silika og vann blir vanligvis bundet kjemisk til C₃A delen av sementen. Kloridene som trekkes inn i betongen blir også kjemisk bundet til C₃A så lenge det er kapasitet til det. Resterende klorider vil opptre som frie kloridioner i porevannet og det er disse kloridene som fører til armeringskorrosjon. Lavt masseforhold vil gi lav kapillærporøsitet og dermed langsom kloridinntrengning. Tilsetning av pozzolaner gjør betongen tettere, og vil redusere kloridinntrengning ytterligere. [16]

Tilslag som er gravet opp fra sjøbunnen eller tilslag som blir transportert i sjø kan inneholde klorider. Tidligere var det også tilsetningsstoff i betongen som innehold klorider, men i dag er det ingen godkjente tilsetningsstoffer som inneholder klorider.[1]

Når betong ble produsert med rene portlandssementer og enkle prosedyrer for betongproduksjon var betongens v/c tall den fundamentale faktoren til å definere og spesifisere betongens kvalitet. Etter at forskjellige typer bindemiddel og reaktive fillere har blitt tatt i bruk, er betongens egenskaper blitt mer kontrollert av slike nye materialer. Resultatet av dette har blitt til at v/c tallet gradvis har mistet sin betydning, og det er mer naturlig å definere og spesifisere betongens bestandighetsegenskaper og betongens kloriddiffusivitet. [16]

3.2.1 Kloriddiffusjonskoeffisient

Kloriddiffusjonskoeffisienten karakteriserer motstanden mot kloridinntrenging i betong, og kan kontrolleres ved hjelp av flere standardiserte prøvingsmetoder. Alle prøvingsmetodene er akselererte prøvingsmetoder som vil gi en kloridinntrenging som er forskjellig fra hva som foregår under naturlige forhold. Normalt bestemmes kloriddiffusjonskoeffisienten basert på 28 dagers standard herding (D_{28}) på samme måte som med trykkfasthet. Kvalitetskontroll vil da være basert på 28 døgns verdi for kloriddiffusivitet, selv om noen sementer utvikler seg mer langsommere. [5]

Erfaringer viser at et masseforhold på 0,4 eller lavere vil gi høy motstandsevne mot kloridinntrenging, det vil si en lav kloriddiffusivitet. Forskning i senere tid har det vist seg at valg av sement- eller bindemiddeltypen også har en stor innvirkning på kloridinntrenging. [12]

Diffusjonskoeffisienten for betong som er eksponert for klorider reduseres over tid på grunn av modning og aldring av betongen. For ren portlandssement er tidsavhengigheten mye mindre enn for betong som er tilsatt pozzolaner. Det er lite langtidsdata på dette feltet, men det tyder på at aldringseffekten opphører eller avtar for eksponeringer lengre enn 5-10 år.[30]

Her er det gitt noen veiledende verdier fra et empirisk grunnlag for å kunne vurdere betongkvalitetens motstandsevne mot kloridinntrenging.

Tabell 1 Empirisk sammenheng mellom betongens kloriddiffusivitet D_{28} og betongens motstandsevne mot kloridinntrenging [5]

Kloriddiffusivitet, D_{28} $\text{m}^2/\text{s} \times 10^{-12}$	Motstandsevne mot klorid- inntrengning
>15	Lav
10 – 15	Moderat
5 – 10	Høy
2,5 – 5	Meget høy
< 2,5	Svært høy

3.2.2 Fick's lov

Fick's 2 lov kan tilpasses slik at den kan benyttes for å beregne inntrenging av klorider i betong. I denne oppgaven er dette benyttet for å finne diffusjonskoeffisienten. Diffusjonskoeffisienten er en viktig faktor for beregning av levetiden til en betongkonstruksjon.

Beregningene for kloridinntrenging er basert på Fick's 2. lov for ren diffusjon:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{d}{dx} \left(D \frac{dC}{dx} \right)$$

Løsningen av ligningen uttrykkes oftest på følgende måte:

$$C(x,t) = C_0 - (C_0 - C_i) \cdot \text{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right)$$

hvor:

- C(x,t): Kloridinnhold målt i dybden x etter eksponeringstiden t
- C₀: Kloridkonsentrasjonen på betongoverflata i % av betongvekt
- C_i: Initielt kloridinnhold % av betongvekt
- x: Avstand fra betongoverflata, m
- t: Eksponeringstiden, s
- D: Klorid diffusjonskoeffisienten, m²/s
- erf: Feilfunksjonen

Diffusjonskoeffisienten (D), og overflatekonsentrasjonen (C₀) bestemmes ved å tilpasse ligningen til de målte kloridprofiler ved ikke-lineær regresjonsanalyse ved minste kvadratsmetode. [7]

Både klorid diffusjonskoeffisienten (D) og kloridkonsentrasjonen (C₀) er tidsavhengige. Diffusjonskoeffisienten avtar med tiden, mens kloridkonsentrasjonen på betongoverflata øker med tiden. Med høyere luftinnhold i betongen så vil klorid diffusjonskoeffisienten øke, mens kloridkonsentrasjonen på betongoverflaten vil minske. Blandingssementer vil redusere diffusjonskoeffisienten og øke kloridkonsentrasjonen på overflata. [31]

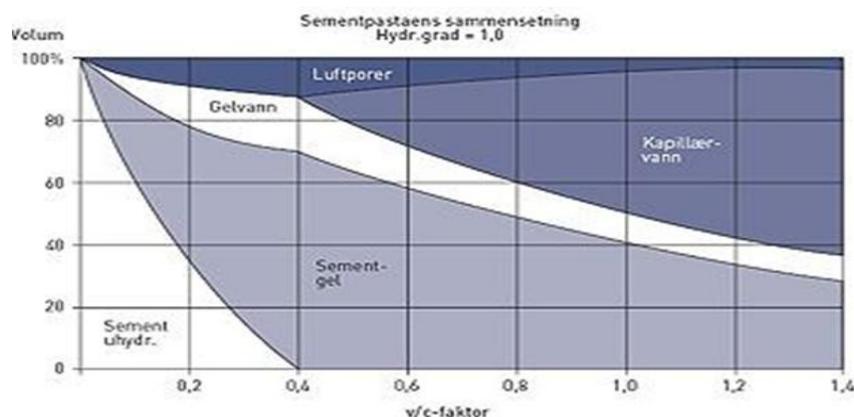
Beregning av levetid:

Den dimensjonerende brukstid er den tiden konstruksjonen forutsettes brukt til det tiltenkte formålet med forventet forutsatt tilstandskontroll og vedlikeholdsprosedyrer uten at større reparasjoner er nødvendig. [6]

Levetidsmodeller begrenser seg til initieringsperioden, tiden det tar før kloridnivået ved overflaten av armeringen overskrider kritisk grense for korrosjonsinitiering. [6]

3.2.3 Effekt av v/c-tallet

V/c tallet er materialparameteren som har størst effekt på tettheten av betong. Et v/c tall over 0,4 danner store kapillærporer som øker permeabiliteten kraftig. Et v/c-tall under 0,4 vil ikke gi noen tettere betong, men vil føre til at det er uhydratiserte korn i den herdnete betongen. I figuren nedenfor ser man dannelser av kapillærvann, luftporer og sementgele i forhold til v/c-tall.



Figur 8 Betongens poresystem avhengig av v/c tall[28]

3.2.4 Effekt av silikastøv

Silikastøv har flere positive egenskaper både på fersk og herdnet betong. Det er vanlig å bruke silikastøv når betongen er utsatt for aggressive miljøer. Silika reagerer med reaksjonsproduktene fra vann og sement som bidrar til at sementpastaen får økt fasthet og økt tetthet. Silika er meget finkornig og fyller opp eventuelle tomrom i sementlimet og de fineste tilslagskornene. Silika kan også fordele sementpartiklene i kombinasjon av tilsetningsstoff som gjør at betongen blir mer homogen og får redusert permeabilitet. Tilsetning av silika i kombinasjon med luftinnførende tilsetningsstoff bidrar sterkt til å øke betongens frostmotstand. Undersøkelser viser at silikastøv reduserer kloridinntrenging betydelig, samtidig som det øker betongens elektriske motstandsevne. Dette resulterer i at korrosjonsinitieringsperioden blir lenger og at aktiv korrosjon hastigheten blir lavere. I noen bestandighetsklasser er det krav om at det brukes silika.[16]

Det er rapportert at det er lavere kloridbindingskapasitet for sement som er tilsatt silikastøv enn ren portlandssement. Dette kommer av at silikastøvet reduserer mengden med aluminate faser og dermed redusert evne til å binde klorid. Den pozzolane reaksjonen reduserer alkaliteten av poreløsningen med økende tilsetning av silikastøv. Dette påvirker kloridbindingskapasiteten siden løseligheten av salt øker som pH-verdien i poreløsningen reduseres. [32]

Forbedrende egenskaper ved silikastøv i betongen:

- Øker betongens styrke
- Økt motstand mot klorider og sulfater
- Lengre levetid på betongen
- Økt abrasjonsmotstand
- Eliminerer bleeding[23]

3.2.5 Effekt av flyveaske

Fra en ingeniørs synspunkt så er effektene til flyveaske og silika antatt til å være like. Det eneste som skiller pozzolanene er erstatningsmengde av sement. Den pozzolane reaksjonen som danner mer CSH-gel kan sammenlignes, men flyveaske reaksjonen er mer komplisert enn silika og vil foregå langsommere. At det tar lengre tid kan også ses på som en positiv egenskap, siden maks temperatur under herding blir lavere og fører til lavere varmeutvikling og mindre riss i betongen. Effekten av flyveaske kan forventes og ha samme egenskaper som silika, men tar litt lengre tid å oppnå.[2]

Armert betong som har blitt utsatt for et maritimt miljø i inntil fire år har vist seg å ha lavere kloridterskelnivåer hvis den inneholder flyveaske. Det må bemerkes at den kjemiske sammensetningen av flyveaske kan variere betydelig, og effekten på egenskapene kan derfor være forskjellige. [32]

3.2.6 Effekt av luftinnhold

Porestrukturen og poredannelse influeres av type sement, innblanding av pozzolaner og luftinnførende stoff dosering. Økt sementmengde gir redusert luft og bedret porestruktur. Er det tilsatt pozzolaner kreves det høyere dosering av luftinnførende stoff enn tilsvarende rene portlandssementer for å oppnå samme luftmengde. Luftporene som lufttilførende stoffet danner, fylles ikke med vann selv om betongen er vannmettet. [2]

Det er per dags dato lite informasjon om kloridinntrenging i betong som er tilsatt luft. Det av resultater som er nå er at ved økning av luftinnhold i betongen vil føre til høyere kloriddiffusjonskoeffisient og lavere konsentrasjon av klorid på betongoverflaten. [31]

I databladet til det lufttilførende stoffet som ble brukt i dette forsøket står det at betongen vil få økt vanntetthet. Dette vil føre til lavere diffusjonskoeffisient, som strider imot det som er beskrevet ovenfor. Datablad medfølger i vedlegg.

3.2.7 Kritisk kloridinnhold

Kritisk kloridinnhold er terskelverdien i kloridkonsentrasjonen som er nødvendig for at initiering av pittingkorrosjon skal oppstå i en gitt konstruksjon.[11]

Kritisk kloridinnhold er en viktig faktor for levetidsvurderinger. Det er stor spredning i litteraturen på dette feltet, men det finnes ingen unik verdi for kritisk kloridinnhold. Erfaringen på dette feltet er basert på vanlig portlandssement og ikke for blandingssementer som er vanlig og bruke i dag. I dag finnes det ingen akseptert testmetode for å finne kritisk kloridinnhold.[3]

Den kritiske grensen for kloridinnhold blir noe redusert ved bruk av slaggsementer og pozzolaner, men samtidig vil betongens elektriske motstandsevne øke. For rene portlandssementer og vanlig armeringsstål viser erfaringer at kritisk kloridinnhold(C_{CR}) er ca 0,4 % av sementvekt. Hvis det brukes såkalte rustfri armeringsstål vil kritisk kloridinnhold økes opptil 3,5-5 % av sementvekten. Det antas at ved 0,4 % er risiko for armeringskorrosjon lav, og dette tallet brukes ved bestandighetsanalyser som en øvre grenseverdi.[12]

Kritisk kloridinnhold influeres av flere faktorer:

- Stålpotensial
- pH i porevann
- Fukt i betong
- v/c tall
- Sementens kloridbindingsegenskaper
- Stål/betong grenseflate

3.2.8 Kjemisk bundet klorid

Det er minst to måter kloridinnholdet i betong kan uttrykkes på:

- Kloridkonsentrasjonen i porevannet (mol per liter)
- Total kloridmengde i betongen(prosent i forhold til betongvekt)

Det er vanlig å anta at det kun er oppløste kloridsalter i porevannet som kan initiere korrosjon. En del av kloridsaltene blir bundet kjemisk til sementpastaen i betongen og vil ikke gi noen umiddelbar korrosjonsrisiko. Kloridsalter blir bundet kjemisk til sementens aluminatfaser, spesielt trikalsiumaluminathydrat(C_3A). Betong som er stålmert, og laget av sement med lavt C_3A -innhold (for eksempel sulfatresistent sement) tåler normalt mindre kloridpåkjenning enn betong med standard portlandssement.[11]

3.2.9 Kloridbindingskapasitet

Kloridioner i betong kan være tilstede enten i form av oppløste kloridsalter i porene eller som kjemisk bundet til bestanddeler i betongen. Det er generelt bare den oppløste frie kloridene som spiller en rolle i nedbrytingen av det passive laget på stålet og starter korrosjon. Siden det er både bundne og frie klorider i betongen så er også viktig å ta med begge deler, siden de bundne kloridene kan fungere som et reservoar av klorid som kan løses opp ved endrede forhold. Graden av bundne klorider i betong avhenger av mange faktorer, blant dem er mengden sement i blandingen, mengde med C_3A og C_4AF i sementen.[32]

Hydratisert C_3A kan reagere kjemisk med klorid og danne en fast og tungtløselig kloridforbindelse som felles ut i sementpastaen. Kloridbindingsegenskapene til sement er pH avhengig. Hvis pH-nivået senkes, ved for eksempel kloridinntregning, så kan en del av de bundne kloridene løst opp og medvirker til initiering av korrosjon.[11]

Bortsett fra kjemisk binding, kan klorid også bli fjernet fra porevannet ved fysisk adsorpsjon til CSH-gelen. Forskning på kloridbinding viser at kapasiteten er sterkt avhengig av mengden av CSH-gelen i betongen, uavhengig av v/c-forhold og mengde av tilslag. Mekanismen for adsorpsjon til CSH-gel bidrar betydelig til kloridbinding og kan være mye viktigere enn tradisjonelt antatt.[32]

Det er rapportert at det er lavere kloridbindingskapasitet for sement som er tilsatt silikastøv enn ren portlandssement. Dette kommer av at silikastøvet reduserer mengden med aluminat faser og dermed redusert evne til å binde klorid. Den pozzolane reaksjonen reduserer alkaliteten av poreløsningen med økende tilsetning av silikastøv. Dette påvirker kloridbindingskapasiteten siden løseligheten av salt øker som pH-verdien i poreløsningen reduseres. [32]

Armert betong som har blitt utsatt for et maritimt miljø i inntil fire år har vist seg å ha lavere kloridterskelnivåer hvis den inneholder flyveaske. Det må bemerkes at den kjemiske sammensetningen av flyveaske kan variere betydelig, og effekten på egenskapene kan derfor være forskjellige. [32]

Tabell 2 Effekt av blandingssement sammenlignet med ren portlandssement[32]

Effekt	Silika	Flyveaske
Kloridbinding	Lavere	Høyere
pH av poreløsning	Lavere	Lavere

3.3 Reparasjon og vedlikehold av kloridinitiert armeringskorrosjon

Betong blir som alle andre materialer utsatt av ulike nedbrytingsmekanismer avhengig av hvilke påkjenninger den blir utsatt for. Betong har behov for jevnlig vedlikehold og tilsyn for å oppdage eventuell skade fortest mulig. Manglende erfaring og kunnskap er ofte årsaken til betongskadene vi ser i dag. Dårlig prosjektering og utførelse skjer på grunn av en oppfatning at betong er evigvarende materiale.[15]

Nedbryting av betong foregår nesten alltid i to trinn, først et initieringstrinn og deretter aktiv nedbryting. De beskyttende egenskapene overvinnes i initieringsfasen, uten at konstruksjonen blir merkbart svekket og skaden er lite synlig. Ofte skjer den aktive nedbrytingen raskt, og det er derfor viktig å oppdage så fort som mulig. Det er mye rimeligere å utføre vedlikehold og reparasjoner i initieringsfasen enn i den aktive nedbrytingsfasen. Det som er problemet er at byggherren ofte ikke vil utføre forebyggende vedlikeholdsarbeid nå konstruksjonen ser skadefri ut. Jevnlig tilstandskontroller bør derfor utføres for å redusere for stort og kostbart reparasjonsarbeid.[1]

Det er i dag tre aktuelle metoder for måling av kloridinnhold:

- Spektrofotometeranalyse
- RCT (Rapid Chloride Testing)
- Quantab

I denne oppgave er det benyttet spektrofotometeranalyse som er den mest nøyaktige målingen, og beskrivelse av denne metoden er beskrevet i kapittel 4.6.1

Quantab metoden er spesielt utviklet for feltmålinger. En indikatorstrimmel settes ned i kloridekstraktet, og ut ifra en måleverdi på strimmelen leses kloridkonsentrasjonen av ved hjelp av en omregningstabell. [1]



Figur 9 Quantab [26]

RCT metoden utføres i laboratoriet ved hjelp av potensialmålemetoden. Kloridinnholdet i en ukjent prøve blir funnet ved å plote potensialet for prøven mot en referansekurve med et kjent kloridinnhold. Det finnes et feltanalysesett som enkelt kan tas med på den aktuelle plassen.[1]



Figur 10 Feltanalysesett[27]



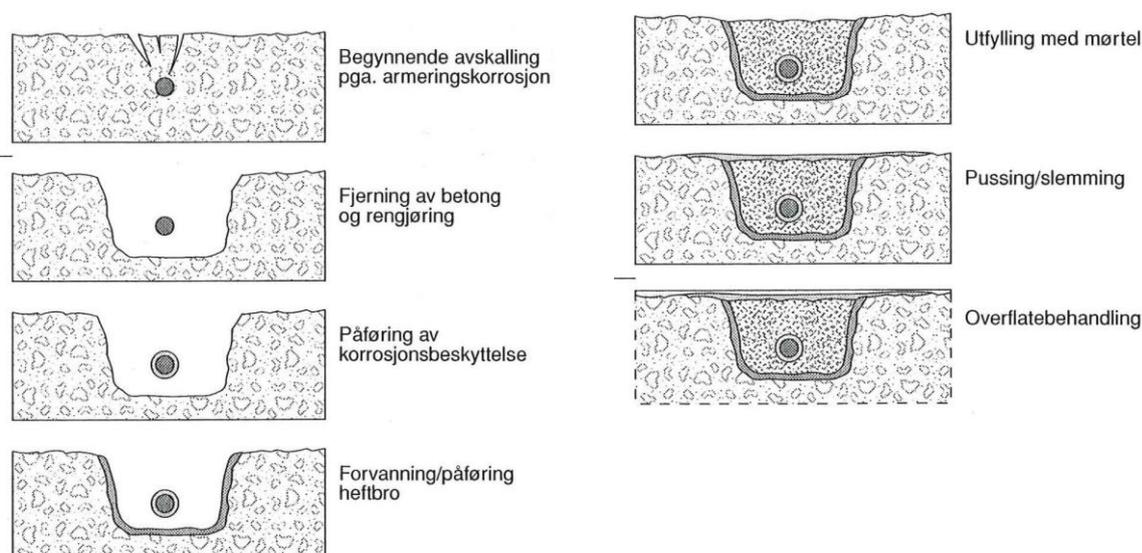
Figur 11 RCT test på laboratoriet

Reparasjonsmetoder og vedlikeholdsmetoder for kloridinntrenging:

- Mekanisk reparasjon
- Katodisk beskyttelse
- Kloriduttrekk
- Overflatebehandling

3.3.1 Mekanisk reparasjon

Mekanisk reparasjon er best egnet ved mindre omfattende skader. Denne metoden blir uøkonomisk ved større flateskader. Mekanisk reparasjon må alltid utføres uavhengig om det er katodisk beskyttelse, kloriduttrekk eller andre reparasjonsmetoder. Når det utføres mekanisk reparasjon ved elektrokjemiske reparasjoner som kloriduttrekk og katodebeskyttelse er det tilstrekkelig med begrenset mekanisk reparasjon.



Figur 12 Mekanisk reparasjon trinn for trinn. [17]

3.3.2 Katodisk beskyttelse

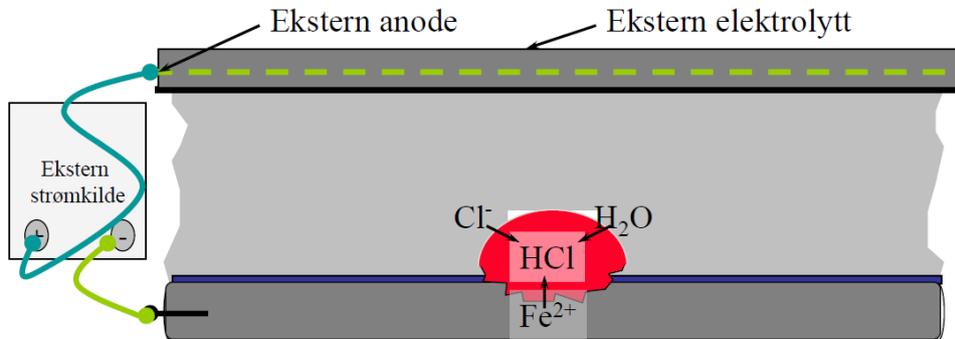
Katodisk beskyttelse er en metode som er basert på at et annet materiale enn armeringsstålet skal korrodere. Armeringsstålet tilføres en ytre strøm, slik at potensialet forskyves til et passivt område. Armeringsstålet blir dermed en katode i en elektronisk celle, derav navnet katodisk beskyttelse. [24]

Er skadeomfanget stort ved følge av kloridinitiert korrosjon så er katodisk beskyttelse sannsynligvis den eneste mulighet. Ved å bruke katodisk beskyttelse kan man forlenge levetiden til en konstruksjon eller konstruksjonsdel uten store ulemper for brukere eller eiers økonomi.

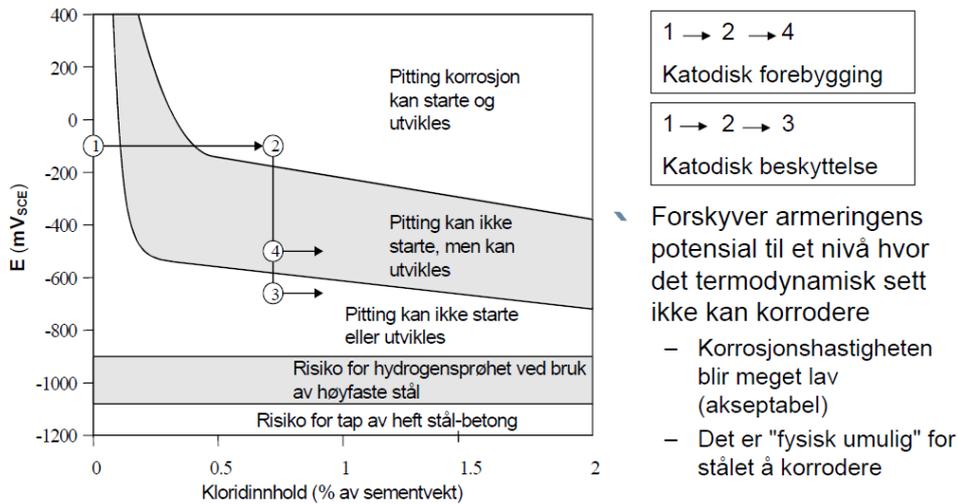
Ved katodisk beskyttelse kan benyttes flere forskjellige anodetype:

- Offeranoder
- Titannett i sprøytebetong
- Innborede anoder
- Titanbånd i slisser eller på betongoverflaten
- Elektrisk ledende belegg [17]

Katodisk beskyttelse med ekstern anode blir montert slik:



Figur 13 Katodisk beskyttelse med ekstern anode[17]



Figur 14 Prinsippet med katodisk beskyttelse[17]

3.3.2.1 *Titannett*

Titannett blir festet med plastplugger til konstruksjonen og blir innstøpt i sementbasert påstøp. Det er viktig at det er god heft mellom konstruksjonsbetongen og påstøpet. Det må være god kontakt mellom armeringsjern og anoden/titannettet for å få en god og jevn strømfordeling. Denne katode beskyttelsen gir god bestandighet mot mekaniske skader og gir en lang levetid. Ulempen med denne metoden er at det koster en del og utføre en slik reparasjon og konstruksjonen får vektøkning.



Figur 15 Katodebeskyttelse med titannett[17]

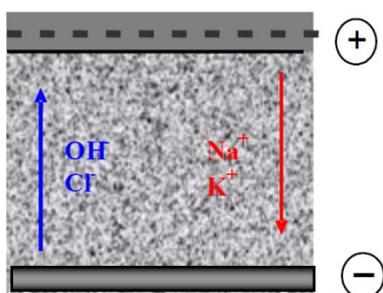
3.3.2.2 *Elektrisk ledende belegg*

Elektrisk ledende belegg gir et pent utseende og ingen vektøkning, men har flere ulemper enn de andre metodene. Fuktnivået har en stor innvirking på levetiden og belegget er ømfintlig for avflassing. Belegget er veldig klimaømfintlig ved påføring på konstruksjonen. Det skal være riktig temperatur, luftfuktighet og vindforhold for at resultatet skal bli bra.

3.3.3 Kloriduttrekk

Denne metoden er egnet på konstruksjoner som har et middels høyt innhold av klorider og hvor det er mulig å gjøre tiltak for ytterlige inntrenging av nye klorider. I prinsippet er elektrokjemisk kloriduttrekk en enkel prosess. Betongen som inneholder klorider blir plassert mellom to elektroder i en elektrolytt, så vil de negativt ladede kloridene trekkes mot den positive polen. Hvis anoden er ekstern og spenningen er høy nok, så vil kloridene migrere ut av betongen og samles i elektrolytten rundt anoden. Når kloridene migrerer ut av betongen pågår det en elektrolyse. Dette resulterer i svært høye pH verdier rundt stålet på grunn av produksjonen av hydroksylioner. Denne passiveringen vil være sterk etter at kloridene er fjernet fra ståloverflaten. Når kloridinnholdet er på et tilfredsstillende nivå så slås strømmen av. Da vil armeringen ligge i et kloridfritt høyalkalisk miljø som resulterer i sterk passivering av stålet. [24]

Denne mekanismen er bakgrunnen for kloriduttrekk. Ionene i porevannet blir påvirket av det elektriske feltet. Negative ioner beveger seg mot den positive polen, og positive ioner beveger seg mot den negative polen.



Figur 16 Kloriduttrekk[17]

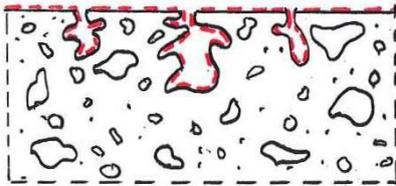
3.3.4 Overflatebehandling

Formålet med overflatebehandling er å hindre inntrenging av klorider og andre aggressiver. Det er viktig å huske at overflatebehandling ikke hindrer armeringskorrosjon, så dette må påføres før kloridene har nådd armeringen. Det finnes flere typer overflatebehandlingsprodukter. Kunnskapen hos selger og kjøper er ofte svært mangelfull. Ofte er fokuset på valg av farge uten å stille krav til egenskapene som:

- Diffusjon
- Evne til å bygge over riss
- Heft til underlaget
- Bremsing av klorider
- Elastisitet
- UV-bestendig

Her er noen av de vanligste overflatebehandlingsproduktene:

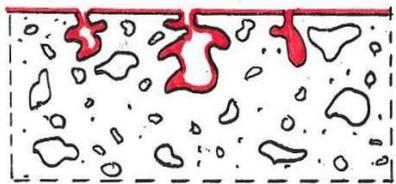
Vannavvisende impregnering



Figur 17 Vannavvisende impregnering (Eks. silaner og siloksaner)[17]

Silaner og siloksaner trenger inn i betongen og gjør poreveggene vannavstøtende. Dette skjer ved at silaner og siloksaner reagerer med det basiske miljøet inni betongen og fester seg på poreveggene. Inntrengingsdybden er avhengig av porøsiteten, kontakttid og vanninnhold. [18]

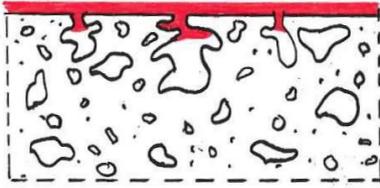
Impregnering



Figur 18 Impregnering (Eks vannglass og silikater)[17]

Dette er stoffer som trenger inn i betongen og fører til tettende utfellinger i porene når de møter kalsium. Vannglass trenger fritt kalsiumhydroksid for å reagere, så store mengder flyveaske eller silika kan redusere reaksjonsgraden.[18]

Belegg



Figur 19 Belegg (Eks epoxy og slemmemasser)[17]

Epoxy belegg er kjemisk stabil og volum stabil i basisk miljø og er diffusjonstett.

Slemmemasser er mer diffusjonsåpen enn epoxy, og varierer stort mellom produktene.[18]

4 Bakgrunn for eksperimentelt arbeid og metoder

Laboratorieoppgaven går ut på å støpe en rekke betonger med forskjellig typer sementer, pozzolaner, luftinnhold og herdebetingelser for å se hvordan disse parametere påvirker kloridinntrenging i betong. Som et supplement til diffusjonskoeffisienten så ble betongens elektriske motstandsevne og trykkfasthet målt.

Parametere som skal analyseres i betongen er:

- Effekt av standardsement og standardsement FA
- Effekt av flyveaske
- Effekt av silika
- Effekt av herdeforhold
- Effekt av luftinnhold

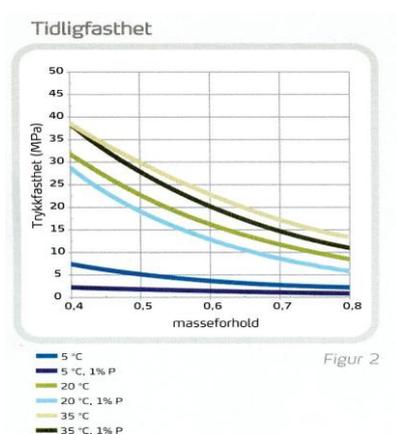
4.1 Delmaterialer

4.1.1 Standardsement

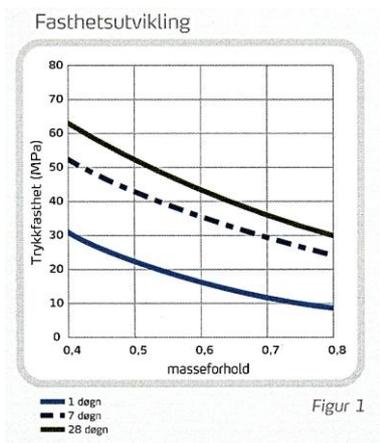
Norcem Standardsement kan benyttes til betong i alle bestandighets-, fasthets-, og eksponeringsklasser og er tilpasset norske forhold.

Egenskaper for standardsement:

- God støpelighet
- Høy tidligfasthet
- Moderat slutfasthet
- Moderat varmeutvikling
- Veldokumentert bestandighetsegenskaper



Figur 20 Tidligfasthet



Figur 21 Fasthetsutvikling ved 20°C

Standardsementen har en fasthetsprofil som er tilpasset minimum sementbehov for konstruksjoner i bestandighetsklasse M60. [19]

4.1.2 Standardsement FA

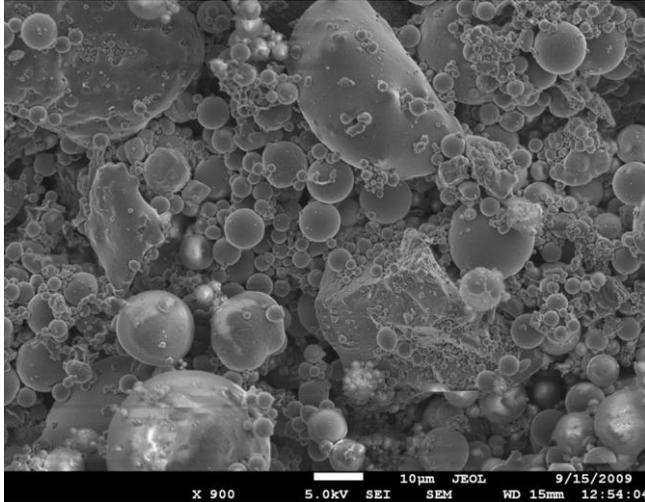
Norcem Standardsement FA er tilpasset norske forhold og kan benyttes i alle fasthets-, bestandighets-, og eksponeringsklasser. Fasthetsprofilen er tilpasset minimum sementbehov for utendørs konstruksjoner i bestandighetsklasse M60. Sementen er tilsatt 20 % flyveaske og gir derfor lavere varmeutvikling enn standardsement og er velegnet for bruk i massive konstruksjoner. Standard FA kan også brukes i kombinasjon med alkalireaktivt tilslag. [20]

Norcem Standardsement FA er tilpasset norske forhold og kan benyttes til betong i alle eksponerings-, bestandighets- og fasthetsklasser. Standard FA gir bestandig betong også i kombinasjon med alkalireaktivt tilslag. Fasthetsprofilen er tilpasset minimum sementbehov for konstruksjoner utendørs i bestandighetsklasse M60.

Sementen er tilsatt 20 % flyveaske (FA)

4.1.3 Flyveaske

Flyveaske er et avfallsprodukt av kull og fanges opp av filtre i kullfyrte kraftverk. Asken får varierende innhold av forskjellige komponenter avhengig av kullsets sammensetning. All flyveaske inneholder vesentlige mengder av silisiumdioksid (SiO_2) og kalsiumoksid (CaO).



Figur 22 Flyveaske partikler[9]

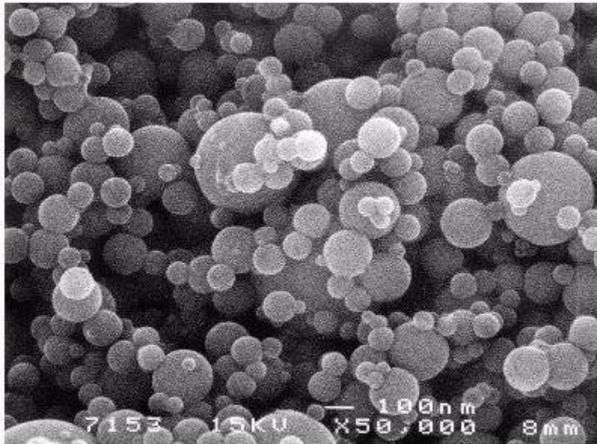
Flyveasken ble tidligere sluppet ut i atmosfæren, men økt fokus på forurensing banet vei for løsninger som tok flyveasken ut av avgassene. Dette medførte nye utfordringer med deponering av flyveasken. Derfor ble det utviklet flere bruksområder for flyveasken hvor sement og betong er den viktigste. Siden det ikke er mye kullfyrte kraftverk i Norge blir det meste av flyveaske importert fra Danmark. Flyveaske egner seg godt som tilleggsmateriale i sement fordi det reduserer energibruken i fremstillingen av sement og det gjør betongen lettere.[21]

Flyveaske forbedrer støpeligheten til fersk betong når det blir brukt som sementerstatning. Betong med flyveaske får økt motstand mot nedbryting fordi flyveasken reagerer kjemisk i betongen slik at den blir veldig tett. Pozzolan reaksjonen produserer en finere pore struktur enn vanlig dannning av CSH gel struktur. Flyveaske gir også redusert varmeutvikling og svinnpotensiale.

Norcem STD-FA er lagd slik at det skal tilsvare Norcem STD. Dette blir oppnådd ved å male opp klinkeren i Norcem STD-FA slik at det skal kompensere for den trege reaksjonen til FA. Ved lave temperaturer blir pozzolan reaksjonen tregere, og ved høyere temperaturer akselererende. [2]

4.1.4 Silikastøv

Silikastøv er i utgangspunktet et avfallsstoff fra produksjonen av ferrosilisium. Silika er et ultrafint pulver med nesten helt runde partikler med en gjennomsnittsstørrelse på $0,15\mu\text{m}$. Det er 100 ganger mindre enn sementkorn og fyller tomrommene som oppstår i vanlige sementblandinger.



Figur 23 Silikastøv [25]

Silikastøv har flere positive egenskaper både på fersk og herdnet betong. Det er vanlig å bruke silikastøv når betongen er utsatt for aggressive miljøer. De fleste reaktive komponentene i silika er de samme som i flyveaske. Forskjellen er størrelsen og renheten, så derfor blir reaksjonstiden raskere for silika siden det er mye mindre korn.[2]

Forbedrende egenskaper ved silikastøv i betongen:

- Øker betongens styrke
- Økt motstand mot klorider og sulfater
- Lengre levetid på betongen
- Økt abrasjonsmotstand
- Eliminerer bleeding[23]

4.1.5 Tilslag

Tilslag er en fellesbetegnelse for sand, grus og steinmaterialer. Norsk tilslag er vanligvis av god kvalitet for vanlig betongbruk. Det er tilslag som ikke bør benyttes med sement som har høyt alkalieinnhold, men hvis dette er tilfelle så brukes sement med lavt alkalieinnhold. Tilslaget skal være sterkere enn det hervede sementlimet noe de fleste norkse bergarter er. Tilslaget skal være fritt for forurensing og rent. Tilslaget er det billigste av de faste komponentene i betongen. En god gradering av tilslaget er viktig siden dårlig gradering av tilslaget fører til økt vann og sementforbruk. En dårlig gradering vil derfor øke kostnadene uten at betongen blir bedre. Når det lages frostbestandig betong er det viktig at tilslaget også er frostbestandig.[1]

Tilslag har lav permeabilitet og har lav innvirkning på kloridinntrengning. Kontaktflaten mellom tilslag og sementlimet har en liten innvirkning på kloridinntrengning, men i forhold til permeabiliteten i sementlimet har dette liten innvirkning.[31]

Det ble utført sikteprøve av tilslaget og en graderingskurve ble tildannet av proporsjoneringsarket som ble benyttet til å sette opp betongresepten. Fukt i tilslaget ble målt før hver blanding.

Det ble benyttet tilslag med fraksjonene:

- 0-5 mm
- 5-8 mm
- 8-11 mm
- 8-16 mm

4.1.6 Superplastiserende tilsetningsstoff

Superplastiserende tilsetningsstoff er det klart mest brukte tilsetningsstoffet i Norge. Effekten til superplastiserende stoff er at den dispergerer sementkornene slik at det løses opp klaser med sementkorn. Det er også viktige stoffer som reduserer vann og sementbehov i betongen. Betong med lavt v/c tall er det nødvendig å bruke plastiserende stoff for at det skal la seg støpe.[2]

Effekten av superplastiserende stoff kan utnyttes på tre måter:

1. Redusere mengden tilsatt vann, men samtidig beholde betongens støpelighet. Dette fører til lavere v/c tall som gir høyere fasthet.
2. Forbedre støpeligheten sammenlignet med betonger med samme v/c tall. Fastheten blir den samme, men forbedret støpelighet.
3. For å redusere både vann og sementmengde uten å forandre betongens mekaniske styrke. Med denne metoden kan man redusere kostnadene, redusere betongens svinnpotensiale og faren for temperaturgradienter på grunn av lavere hydrasjonsvarme. [22]

4.1.7 Luftinnførende stoff

I betong inneholder det alltid porer av ulike typer og størrelser. I normal betong er porevolumet fra 120- 180 liter per kubikk. Blir betongen utsatt for fritt vann over en tid, så vil en stor del av porene bli fylt opp med vann. Vann utvider seg ca 9 % når det fryses, og vil derfor påføre betongen strekkspenninger. Overskrider strekkspenningene betongens strekkfasthet så vil betongen bli sprengt i stykker. Tilslaget må være velgradert, nok finstoff og frostsikkert. v/c tallet har innvirkning på på betongens motstand mot frost. Er v/c tallet lavt vil det dannes mest gelporer som er så små at de ikke bidrar til vanntransport, og vannet i dem vil heller ikke fryse.

Vi kan redusere faren for frostskafer ved:

- Sikre god luftporestruktur med luftporedannende tilsetningsstoffer
- Holde v/c-tallet lavt
- Sikre god utstøping og etterbehandling

For å bedre betongens frostmotstand så tilsettes luftinnførende stoffer i betongen. L-stoffer kan gi vesentlig forskjeller i porestruktur, særlig sammen med vannreducerende stoffer. Det anbefales derfor å lage en prøveblanding for å kontrollere effekten.

Ved valg av sement bør vi merke oss at sementtyper med flygeaske, som Norcem Standard FA, krever noe høyere L-dosering enn tilsvarende rene portlandssementer. Økt sementmengde gir redusert, men bedre porestruktur. Det samme gir økt finmalingsgrad. Silikastøv øker stabiliteten og bedrer porestrukturen. [1]

En god luftporestruktur i betongen reduserer faren for frostskafer. Normal betong inneholder en luftmengde på 1,5-2 %. Den naturlige luften i betongen er ofte grove luftporer med ujevn fordeling. De indre spenningene i betongen som forårsakes av isdannelse øker jo lengre avstanden er mellom luftporene. Denne naturlige luften gir en viss trykkavlastning mot frostskafer under enkelte forhold, men for å få en mer frostbestandig betong er det nødvendig å tilføre luft. Lufttilførende stoff brukes primært for å lage frostbestandig betong, men kan også brukes til forbedre støpeligheten eller for å få lavere densitet. [14]

Lufttilførende stoff har en såpelignende effekt i betongen. Forskjellen er at såpe ikke vil ha ønsket stabilitet og riktig størrelse etter blandedprosedyren betongen blir utsatt for. Lufttilsetningsstoffet vil lage mye mindre luftporer og bedre fordeling og holde seg stabile etter blanding og under herdeprosessen. For å oppnå en frost bestandig betong er det ikke total mengde luftporer som er viktigst, men størrelsen og fordelingen av luftporene i herdet betong. De små luftporene som luftinnførende stoffet lager er ikke synlig, men kan observeres ved at man sliper betong overflaten og ser med mikroskop. Luftporene som er tilsatt fyller seg ikke lett opp med vann selv om betong er vannmettet. De er også for store til kapillærsuging.

Betong som er tilsatt luft får en lavere trykkfasthet. Det er tommelfingerregel at for hver prosent med luftøkning så svekkes trykkfastheten med 5 prosent. For å kompensere dette blir v/c tallet justert litt ned.

Det kan være vanskelig å få ønsket luft i betong ettersom lufttilførende stoff influeres av type sement, tilslag, blandemaskin og kombinasjon med andre tilsetningsstoffer.[2]

I denne oppgave ble det benyttet SikaAer-S fra Sika som lufttilførende stoff som er basert på syntetisk tensider.

4.2 Metoder

4.2.1 Utstøping av betong

Fremstilling av betong i laboratoriet ble utført etter en prosedyre fra statens vegvesen.[29]

Utstyr som ble benyttet for utstøping:

- Tvangsblender med lokk
- Vekt med nøyaktighet på 1gram per kilo.
- Utstyr til å måle luftinnhold
- Utstyr til å måle konsistensmåling
- Støpeformer(100x100mm terninger, Ø150x300mm sylindre)

Tilslagets fuktinnhold måles før hver blanding, og verdiene settes inn i proporsjoneringsarket som ble benyttet. I dette proporsjonerings arket blir det også tatt hensyn til vann i tilsetningsstoff og fukt i tilslag.

Fukt i tilslag ble målt på følgende måte:

$$\text{Fukt (\%)} = \frac{\text{våtvekt} - \text{tørrvekt}}{\text{tørrvekt}} \times 100$$

Tilslaget ble tørket i microbølgeovn i 15 min.

4.2.2 Blandeprosedyre:

1. Fukting av blandemaskin.
2. Tørre materialer legges i blanderen i denne rekkefølgen, stein, sement, pozzolaner og sand.
3. Materialene tørrblandes i 1 minutt.
4. Ca halvparten av vannet tilsettes i løpet av 30 sekunder.
5. Materialene blandes i 30 sekunder.
6. Resten av vannet og tilsetningsstoffet tilsettes.
7. Blandemaskinen stoppes og står i ro i 2 min.
8. Materialene blandes i 90 sekunder.

Umiddelbart etter blanding ble det utført synkmål og luftinnhold i betongen før utstøping i former.

4.2.3 Synkmålprosedyre:

1. Synkkjeglens innside og underlag fuktes.
2. Kjeglens fylles i 3 omtrent like lag. Mellom hvert lag støtes det 25 ganger med stålstang
3. Kjeglens løftes loddrett opp kontinuerlig i 5 sekunder.
4. Kjeglens settes ved siden av betongmassen og synkmålet blir målt.

4.2.4 Luftmålingsprosedyre:

1. Luftmålerens beholder fuktes med vann på innsiden.
2. Beholderen fylles med betong i 3 lag, med 25 støt med stålstang mellom hvert lag.
3. Rengjøring av kanten på beholder slik at pakningen på lokket får god kontakt.
4. Lokket på luftmåleren låses på beholderen.
5. Mellomrommet mellom betongoverflaten og undersiden av luftmåleretoppen fylles fullstendig med vann.
6. Fjerning av resterende luft gjøres ved lette slag av gummiklubbe på utsiden av beholderen.
7. Lufttrykk pumpes opp i lokket og kalibreres.
8. Luftinnhold avleses på luftmåleretoppen.

4.2.5 Utstøpingsprosedyre:

1. Et tynt oljelag smøres på innsiden av støpeformene.
2. Formene fylles i 2 lag på terningene og 3 lag på sylindrene. Mellom hvert lag støtes det 25 ganger med stålstang og toppen avrettes.
3. Formene dekkes med plast og herdes i 24 timer.
4. Terningene og sylindrene avformes og merkes før de legges i vannbad til lagring.
5. Av hver betongvariant ble det utstøpt 6 terninger(100x100mm) og en sylinder(Ø150x300mm).

4.3 Modenhet

Uttrykket modenhet forteller oss hvor langt betongen har kommet i herdeprosessen. Uansett temperaturforløp eller tid, så vil dette modenhetstallet angi alderen som ville gitt den samme fastheten som betongen har hvis den hadde herdet i 20°C.

Modenhet er tidsintegralet av hastighetsfunksjonen fra t_0 (blandetidspunkt) til t (tidspunkt).[33]

$$M = \int_{t_0}^t H(\theta) dt, \quad \theta = \theta(t)$$

$$M = \sum_{i=0}^{i=n} H(\theta_i) \cdot \Delta t_i$$

$$H(\theta) = e^{\frac{E(\theta)}{R}} \left(\frac{1}{293} - \frac{1}{273+\theta} \right)$$

$H(\theta)$ = Hastighetsfunksjonen

$E(\theta)$ = Aktiviseringsenergi [J/mol]

θ = Temperatur[°C]

R = Gasskonstant[J/mol*°C]

$E(\theta)$ = A+B (B=0 for $\theta > 20^\circ\text{C}$)

A=33500 J/mol*°C

Beregning:

$$H(\theta) = e^{\frac{33500}{8,314}} \left(\frac{1}{293} - \frac{1}{273+50} \right) = 3,59$$

Modenhet:

$$M = H(50) \cdot \Delta t = 3,59 \cdot 28 = 100,4 \text{ døgn}$$

Herding i 50°C i 28 døgn tilsvarer ca 100 dager herding i 20°C.

4.4 Trykkfasthet

For å måle trykkfastheten ble det støpt 6 terninger på 100x100mm fra hver betongvariant. Maskinen på bildet ble brukt for å bestemme trykkfastheten etter 7, 28 og 56 dager.



Figur 24 Trykktestingsmaskinen

Prosedyre for trykkfasthet testing:

- Prøvestykkene tas opp av vannbadet og overflatetørkes.
- Det tas et kontrollmål av prøvestykkene.
- Terningen plasseres i senter i trykkmaskinen, og belastingsretningen skal være vinkelrett på støperetningen.
- Belastningen påføres kontinuerlig med en trykkøkning på 0,8 MPa/s
- Bruddlasten avleses på trykkmaskinen.

4.5 Elektrisk motstandsevne

Måling av elektrisk motstandsevne ble utført ved 20°C på prøvestykker med areal 100x100 mm. Prøvestykkene og utstyret som ble benyttet til testen ble oppbevart ved 20°C minimum 24 timer før prøving.

Utstyr som benyttes under elektrisk motstandsevne er:

- Multimeter og 2 stk ledninger
- 2 stk 10/100/100 mm stålplater med sentrisk plassert hull på 8 mm skrue
- Elektrisk ledende gel



Figur 25 Utstyr for måling av elektrisk motstandsevne

Prøvestykkene blir tatt opp av vannbadet like før måling å overflatetørkes med en fuktet klut. Det smøres et lag med gel på begge anleggsflatene og legges mellom stålplatene. Det legges deretter press på de sentrisk plasserte skruene og slippes opp før det måles med multimeteret. Det blir utført en målig av anleggsflatens areal og resultatet blir beregnet.

Resultatet som blir beregnet er $R = \frac{\Delta V}{I} \cdot \frac{L}{A}$ (Ωm)

4.6 Kloridinntrenging

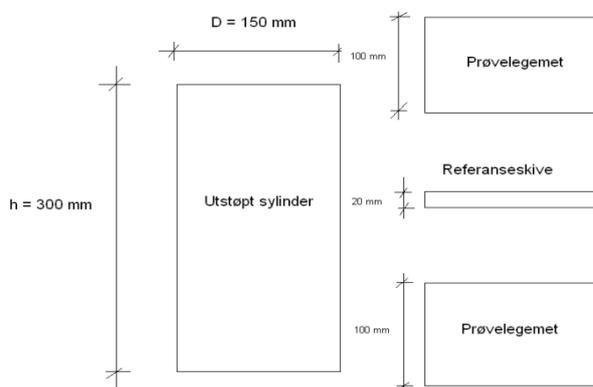
Prøvmingsmetoden er en akselerert kloridinntrenging metode (KS 14-05-04-126) som er utarbeidet av SINTEF byggforsk. Metoden blir benyttet for å bestemme kloriddiffusjonskoeffisienten for herdet betong.

Kort beskrivelse av prøvmingsmetoden:

En vannmettet prøvesylinder blir eksponert for NaCl-løsning i min 35 døgn. Betongstøv blir frest ut av prøvelegemet og kloridnivået blir målt. Med fick's 2 lov blir kloriddiffusjonskoeffisienten og kloridinnholdet i overflaten beregnet.

Utstyr og kjemikalier for å utføre akselerert kloridinntrenging:

- Vekt med nøyaktighet bedre enn $\pm 0,01$ g.
- Termometer
- Vannkar for vannmetning av prøvelegemer
- Utstyr til avfresing og oppsamling av betongstøv
- Kar for eksponering av prøvelegemer i NaCl-løsning.
- Epoxy
- Kalsiumhydroksyd
- Natriumklorid
- Destillert vann

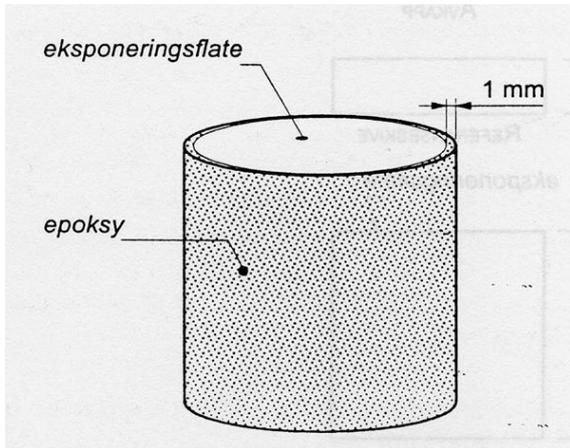


Figur 26 Tildanning av prøvelegemer

Hver prøveserie består av en sylinder med dimensjon $\varnothing 150$ og høyde 300 mm. Den utstøpte sylinderen kappes opp i 2 prøvelegemer og en referanseskive. Eksponeringsflaten ble slipt for å få en jevn og fin overflate.

Prøvelegemet ble lagt i en mettet $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -løsning (2g $\text{Ca}(\text{OH})_2$ per liter vann) ved 23°C i en lukket beholder for å minimalisere karbonatisering av væsken. Etter 2 døgn lagring i $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -løsningen, ble prøvelegemet lagt i klimarom ved 50% RF og temperatur 20°C i 4 timer. Et belegg med epoxy

maling ble påført på prøvelegemet, bortsett fra eksponeringsflaten. Når epoxy malingen er herdet legges prøvelegemet tilbake i $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -løsningen et døgn før den skal eksponeres for NaCl.



Figur 27 Epoxybelegg på prøvelegemet

Prøvelegemet legges deretter ned i NaCl-løsningen i 38 døgn. NaCl-løsningen framstilles av destillert vann med 165 g NaCl per liter løsning. Hver NaCl-løsning bestod av 9 liter vann og 1485 g NaCl, og hadde en middeltemperatur på 23°C som ble kontrollert daglig.

Etter 38 døgn tas prøvelegemet opp fra NaCl-løsningen. For å finne ut hvor langt kloridene har trengt inn i betongen, ble det frest ut betongstøv i 7 sjikt innover i betongen. Disse sjiktene var på 0-2mm, 2-4mm, 4-6mm, 6-8mm, 8-10mm, 10-15mm og 15-20mm med en nøyaktighet på 0,1mm.

For å frese disse sjiktene ble det benyttet en dreibenk. Sylindren ble festet i benken og dreies rundt, og betongbor på 10mm ble festet til maskinen. På dreibenken var det en digital skjerm som viste hvor langt inn i betongen man var kommet. Målene på digitale skjermen ble kontrollert med tomrestokk på sylindren og det var eksakt det samme. Betongstøvet ble samlet opp ved å legge en metallbrett under sylindren. Deretter ble støvet lagt i lufttette poser og merket.



Figur 28 Fresing av betongstøv

Referanseskiven ble knust til betongstøv for å finne opprinnelig kloridinnhold. Betongstøvet ble oppbevart i tette poser frem til det ble utført spektrofotometer analyse i kjemi laboratoriet.

4.6.1 Spektrofotometrisk analyseprosedyre

En spektrofotometrisk undersøkelse brukes for å bestemme kloridinnhold i betongstøv. En spektrofotometrisk analyse er gyldig opp til 2% Cl⁻ av betongvekt.

Beskrivelse av metoden:

Ca 5 gram betongstøv fortynnes i salpetersyre ved 80°C, og skal stå i romtemperatur en time. Ca 4 ml av dette filtreres gjennom et membranfilter. 0,25 ml av dette filtratet overføres til et målebeger med 8 ml destillert vann, og tilsettes en fast mengde med reagenser. Reagensene reagerer med kloridionene og dannes en brun/oransje farge. Fargen øker ved høyere kloridinnhold. Et spektrofotometer innstilles med en bølgelengde på 460 nm. Verdiene som avleses på spektrofotometeret blir ført opp, og ved hjelp av en kalibreringskurve blir resultatet utregnet.[8]



Figur 29 Kyvetter som skal avleses



Figur 30 Spektrofotometer apparat

Dette er nødvendig utstyr for å utføre en spektrofotometerundersøkelse:

- Spektrofotometer innstilt på bølgelengde 460nm
- Vekt, med minste avlesning 0.01 g
- Begerglass
- Fullpipette, 50±0,05 ml
- Målesylinder med propp
- Laboratorierører
- Vannbad med temperaturregulator for reagenser
- Membranfilter , 0,45µm
- Mikropipette, 250-1000µl
- Prøveglass
- Engangssprøyte
- Engangshansker
-

I tillegg til dette var det også nødvendig med disse reagensene:

1. 65% Salpetersyre, HNO_3 , fortynnet 1+9
2. 0,25 M Ammonium jern(III)sulfat dodecahydrat, $\text{Fe}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, løst i 9 M HNO_3
3. 3. Kvikksølv(II)tiocyanat, $\text{Hg}(\text{SCN})_2$, mettet i 96 % etanol uten denatureringsmiddel.
4. Natriumklorid, NaCl , tørket i minst 2 timer ved 105°C for kalibrering

Prosedyren for undersøkelsen er slik:

1. 5 gram av betongstøvet legges i et begerglass.
2. 50 ml med 80°C fortynnet salpetersyre blir tilsatt betongstøvet.
3. Blandingen røres i 2 minutter med glassstav.
4. Oppslutningen skal stå til henstand i 60 minutter.
5. 5 ml av løsningen blir tatt ut med engangssprøyte.
6. Membranfilteret blir montert på sprøyten og filtratet blir oppbevart i prøveglass.
7. Spektrofotometeret blir påslått minst 20 minutter før bruk
8. Et prøveglass blir fylt med 8 ml destillert vann.
9. 250µm fra filtratet blir pipetert i prøveglasset.
10. 835 µl av $\text{Fe}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ løst i 9 M HNO_3 tilsettes målesylinderen.
11. 835 µl av µl mettet $\text{Hg}(\text{SCN})_2$ i etanol tilsettes målesylinderen.
12. En kork blir satt på prøveglasset og snudd opp og ned 5 ganger.
13. Blandingen skal stå 10 minutter før den setter i spektrofotometeret og absorbansen avleses på displayet.
- 14.

En nulløsning må lages for før hver test. Dette er for å nullstille spektrofotometeret og ha et utgangspunkt for alle målingene. Nulløsningen lages ved å bruke 8,2 ml destillert vann og 835 µl av $\text{Fe}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ løst i 9 M HNO_3 og 835µl av µl mettet $\text{Hg}(\text{SCN})_2$ i etanol tilsettes målesylinderen. Nulløsningen blir satt i spektrofotometeret og en autozero knapp trykkes på slik at instrumentet nullstiller seg. Så er det bare å sette inn kuvetter fra prøven som skal undersøkes og lese av absorbansen.

4.6.2 Beregning av kloridinnhold i betongstøvet

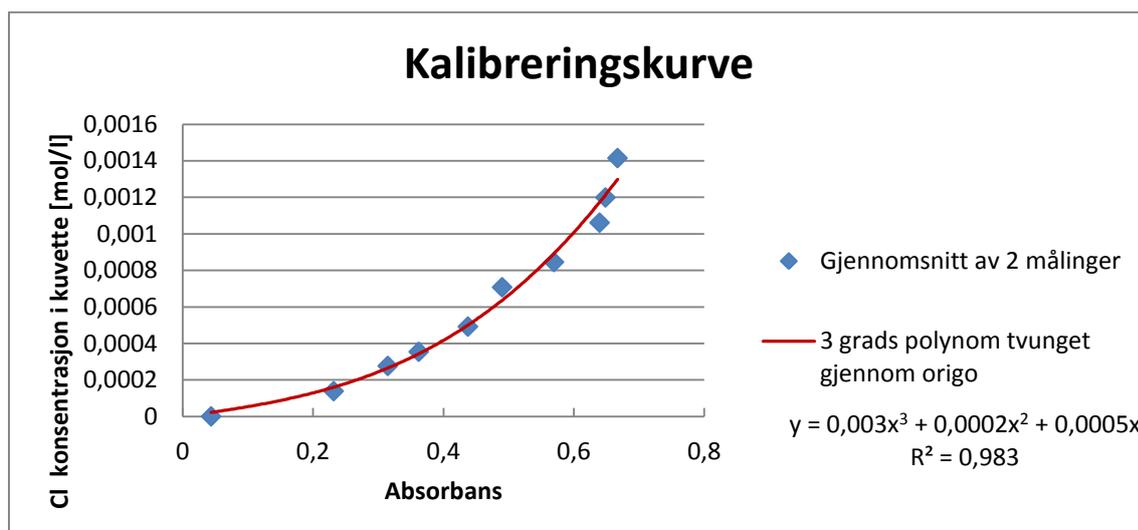
Det første man gjør er å lage en kalibreringskurve med referansebetongstøvet. Det gjøres ved å ta 2 uavhengige analyser av referansebetongen på minst 10 ulike konsentrasjonsnivåer av Cl^- . Samme prosedyre for avlesing av absorbans her som de andre prøvene beskrevet over. Ut ifra mengden av NaCl og de andre tilsatte væskene blir det beregnet konsentrasjonen i kuvetten manuelt. Dette settes inn i en kalibreringskurve.

Tabell 3 Konsentrasjonsnivåer for å opprette kalibreringskurve

Nivå	Cl^- [%]	Tilsatt NaCl [g]	Avlest absorbans		Gjennomsnitt Absorbans
1	0	0	0,048	0,039	0,0435
2	0,2	0,016	0,242	0,221	0,2315
3	0,4	0,032	0,318	0,311	0,3145
4	0,5	0,041	0,371	0,353	0,362
5	0,7	0,057	0,432	0,443	0,4375
6	1	0,082	0,494	0,486	0,49
7	1,2	0,098	0,565	0,574	0,5695
8	1,5	0,123	0,644	0,635	0,6395
9	1,7	0,139	0,657	0,64	0,6485
10	2,0	0,164	0,681	0,653	0,667

Konsentrasjon i kuvette settes inn som y akse og beregnes slik:

$$\text{Cl}^- [\text{mol/l}] = \frac{\text{NaCl} \cdot F}{(\text{Na} + \text{Cl}) \cdot R1 \cdot \frac{1l}{1000\text{ml}} \cdot (F + V + R2 + R3)}$$



Figur 31 Kalibreringskurve

Ved å sette inn avlest absorbanse for x i formelen $y=0,003x^3+0,0002x^2+0,0005x$, så får man kloridmengde i kuvette [mol/l].

For å finne hvor mye klorider det i er det tørre betongstøvet blir følgende formel benyttet:

$$\frac{\text{Kloridmengde i kuvette} \left[\frac{\text{mol}}{\text{l}} \right] \cdot (V+F+R2+R3) \cdot R1 \cdot \text{Atomvekt Cl} \cdot 100}{B \cdot F \cdot 1000} = \text{Cl [vekt\% av betong]}$$

V: Tilsatt destillert vann [ml]

F: Filtrat [ml]

R1: Salpetersyre [ml]

R2: Ammonium jern(III)sulfat dodecahydrat [ml]

R3: Kvikksølv(II)tiocyanat [ml]

B: Tørt betongstøv [g]

Eksempel på beregning:

Avlest absorbanse : 0,300

$$y=0,003 \cdot 0,300^3 + 0,0002 \cdot 0,300^2 + 0,0005 \cdot 0,300$$

$$y= 0,000249 \text{ [mol/l]}$$

$$\frac{0,000249 \cdot (8,0 + 0,25 + 0,835 + 0,835) \cdot 50 \cdot 35,4527 \cdot 100}{5 \cdot 0,25 \cdot 1000} = 0,350$$

Cl [vektprosent av betong]=0,350 %

5 Eksperimentelt

5.1 Forsøksmatrise

Denne forsøksmatrisen ble utarbeidet i samarbeid med Kjell Tore Fosså. Den består av 14 ulike betong resepter. Alle skal herdes i vannbad ved 20°C, men 5 av disse skal også herdes i vannbad i 50°C. Dette blir totalt blir 19 forskjellige betongvarianter som skal analyseres. Alle reseptene har et v/c-tall på 0,4 og et synkmål på 200mm.

Resept	Flygeaske ¹⁾	Silika ²⁾	Temp [°C]	Luft [%]	Sementtype
STD-1	0	0	20	2	Standardsement
STD-2	0	5	20/50	2	
STD-3	0	10	20	2	
STD-4	20	5	20	2	
STD-5	20	5	20/50	4	
STD-6	50	5	20/50	2	
STD-7	50	10	20/50	2	
STD-8	50	5	20	4	
STD-9	50	10	20	4	
STDFA-1	20	5	20	2	Standardsement FA
STDFA-2	20	10	20	2	
STDFA-3	20	10	20	4	
STDFA-4	50	5	20	2	
STDFA-5	50	5	20/50	4	

¹⁾ FA i % av total bindemiddelmengde (sement+FA+SF)

²⁾ SF i % av sement

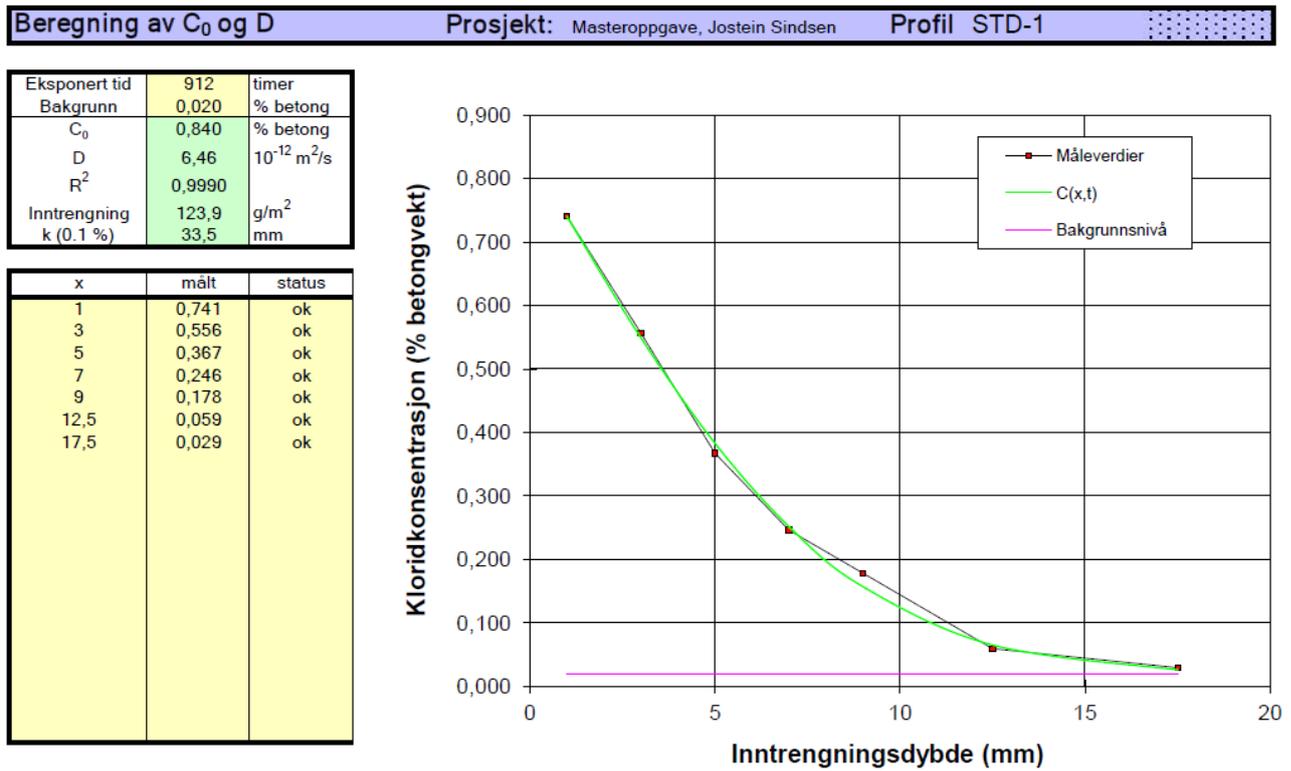
5.2 Plan for testing

Resept	Temp	Støpedato	Trykkfasthet			Kloridtesting +35	Elektrisk motstandsevne		
			7 døgner	28 døgner	56 døgner		2 døgner	7 Døgner	28 døgner
STD-1	20	8/2	15/2	7/3	4/4	14/4	10/2	15/2	7/3
STD-2	20/50	8/2	15/2	7/3	4/4	14/4	10/2	15/2	7/3
STD-3	20	10/2	17/2	9/3	6/4	16/4	12/2	17/2	9/3
STD-4	20	10/2	17/2	9/3	6/4	16/4	12/2	17/2	9/3
STD-5	20/50	13/2	20/2	12/3	9/4	19/4	15/2	20/2	12/3
STD-6	20/50	13/2	20/2	12/3	9/4	19/4	15/2	20/2	12/3
STD-7	20/50	15/2	22/2	14/3	11/4	21/4	17/2	22/2	14/3
STD-8	20	15/2	22/2	14/3	11/4	21/4	17/2	22/2	14/3
STD-9	20	17/2	24/2	16/3	13/4	23/4	19/2	24/2	16/3
STDFA-1	20	17/2	24/2	16/3	13/4	23/4	19/2	24/2	16/3
STDFA-2	20	20/2	27/2	19/3	16/4	26/4	22/2	27/2	19/3
STDFA-3	20	20/2	27/2	19/3	16/4	26/4	22/2	27/2	19/3
STDFA-4	20	22/2	29/2	21/3	18/4	28/4	24/2	29/2	21/3
STDFA-5	20/50	22/2	29/2	21/3	18/4	28/4	24/2	29/2	21/3

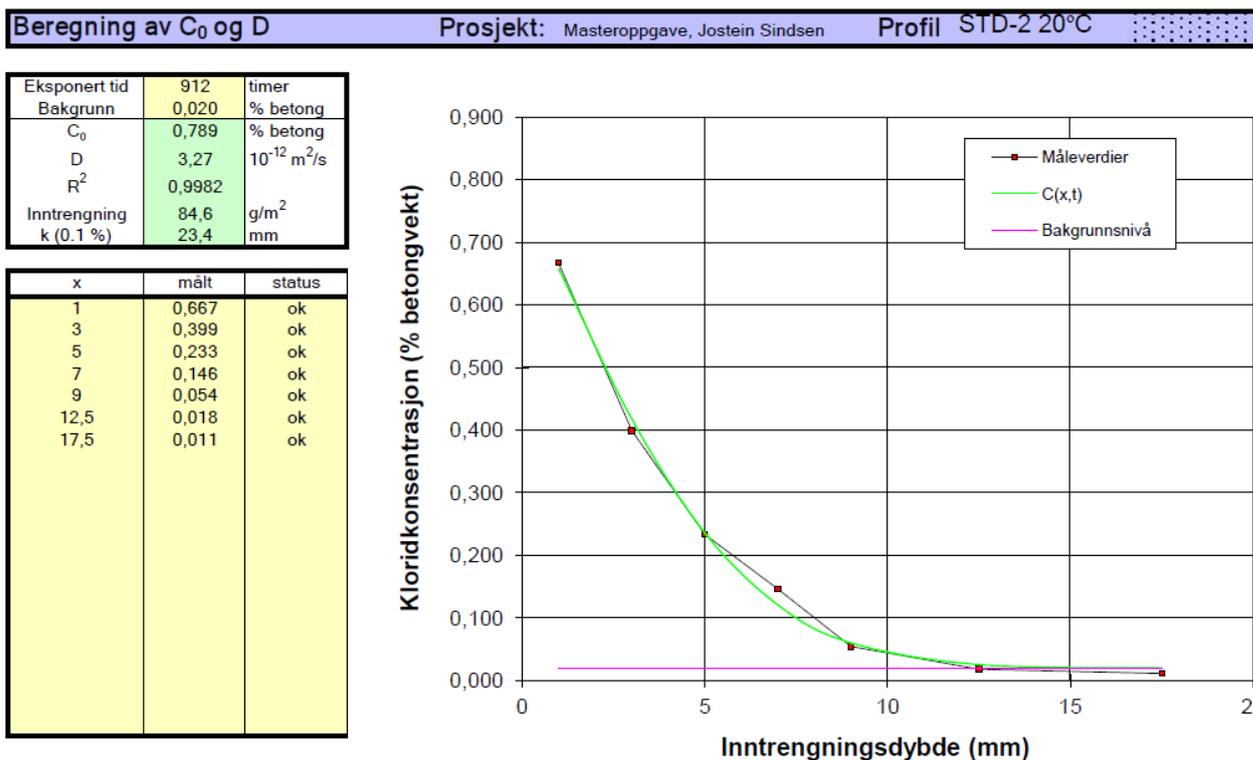
6 Resultater

6.1 Kloridinntrenging

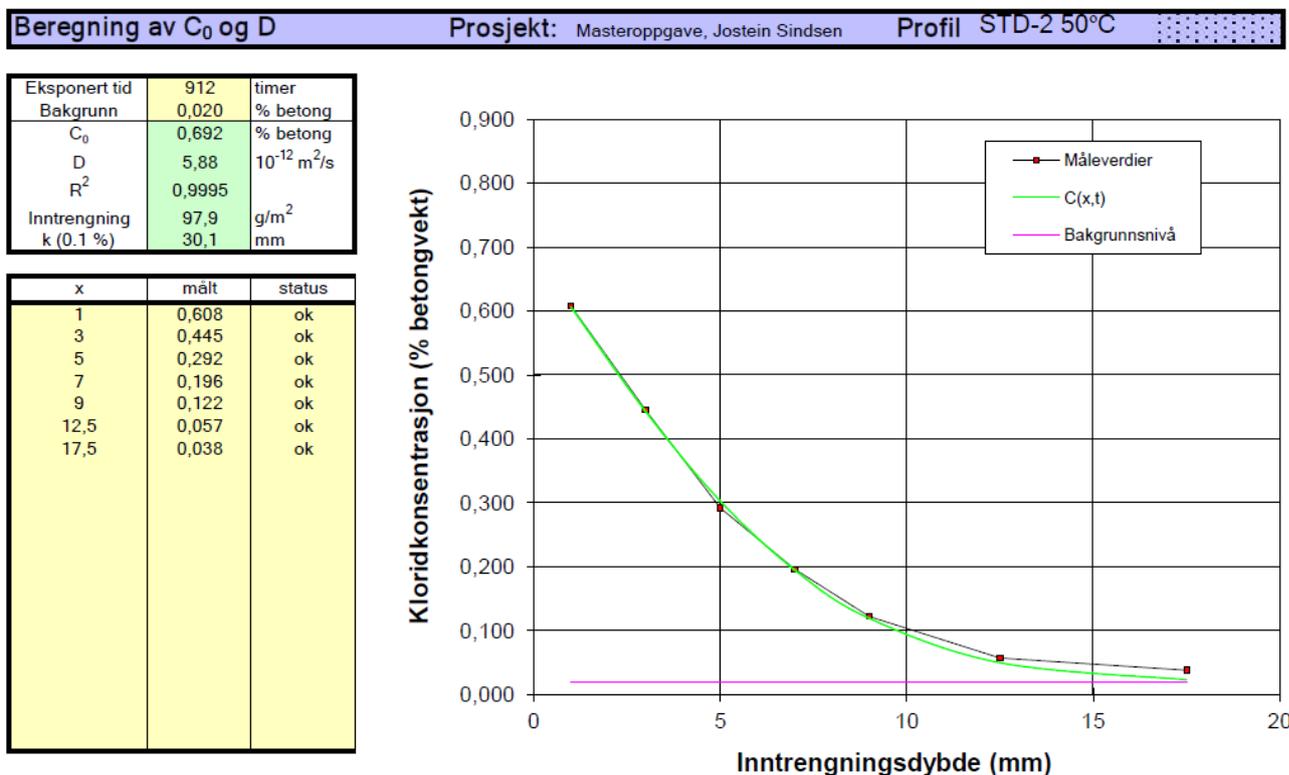
Alle betongvariantene har blitt herdet i 28 dager før 38 dagers eksponering i NaCl-løsning. Kloridprofilene som er presentert nedenfor viser også diffusjonskoeffisient (D) og kloridkonsentrasjon på overflaten C_0 i tabellen.



Figur 32 Kloridprofil til STD-1 med diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon på overflaten.



Figur 33 Kloridprofil til STD-2 20°C med diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon på overflaten.

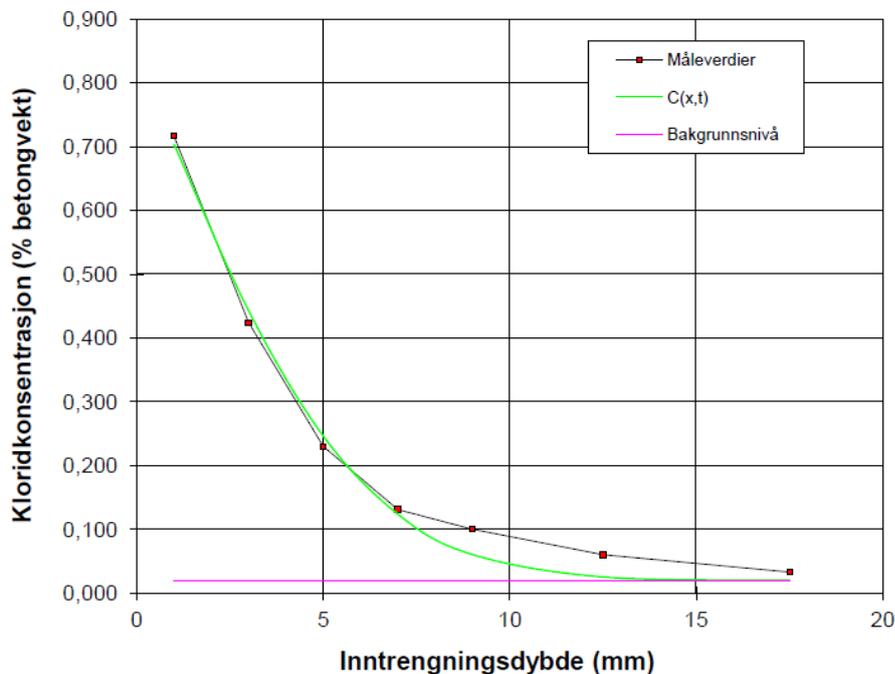


Figur 34 Kloridprofil til STD-2 50°C med diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon på overflaten.

Beregning av C_0 og D Prosjekt: Masteroppgave, Jostein Sindsen Profil STD-3

Ekspontert tid	912	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C_0	0,847	% betong
D	3,18	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9967	
Inntrengning	96,3	g/m^2
k (0.1 %)	23,6	mm

x	målt	status
1	0,717	ok
3	0,424	ok
5	0,230	ok
7	0,131	ok
9	0,100	ok
12,5	0,060	ok
17,5	0,033	ok

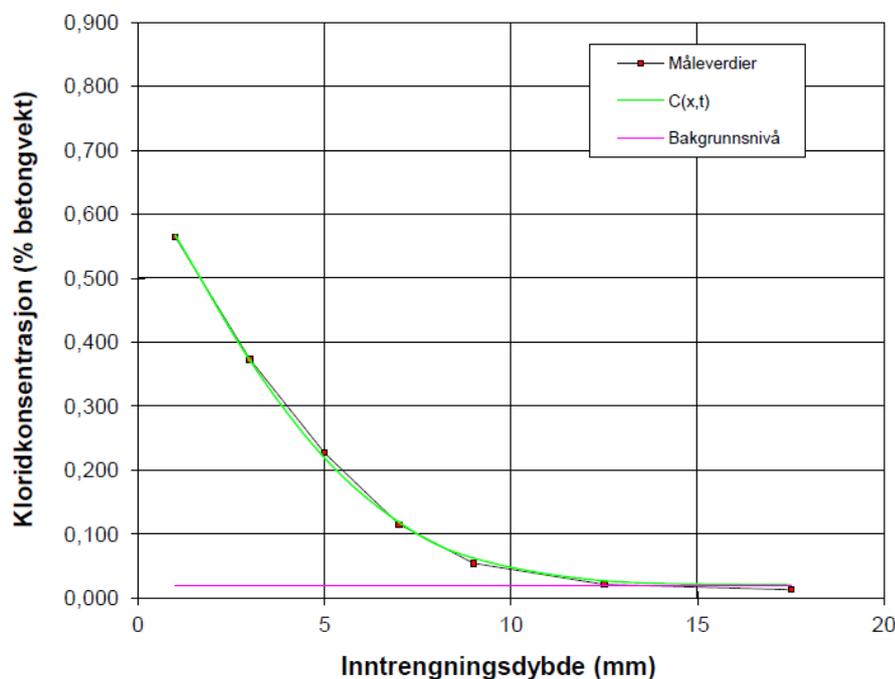


Figur 35 Kloridprofil til STD-3 med diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon på overflaten.

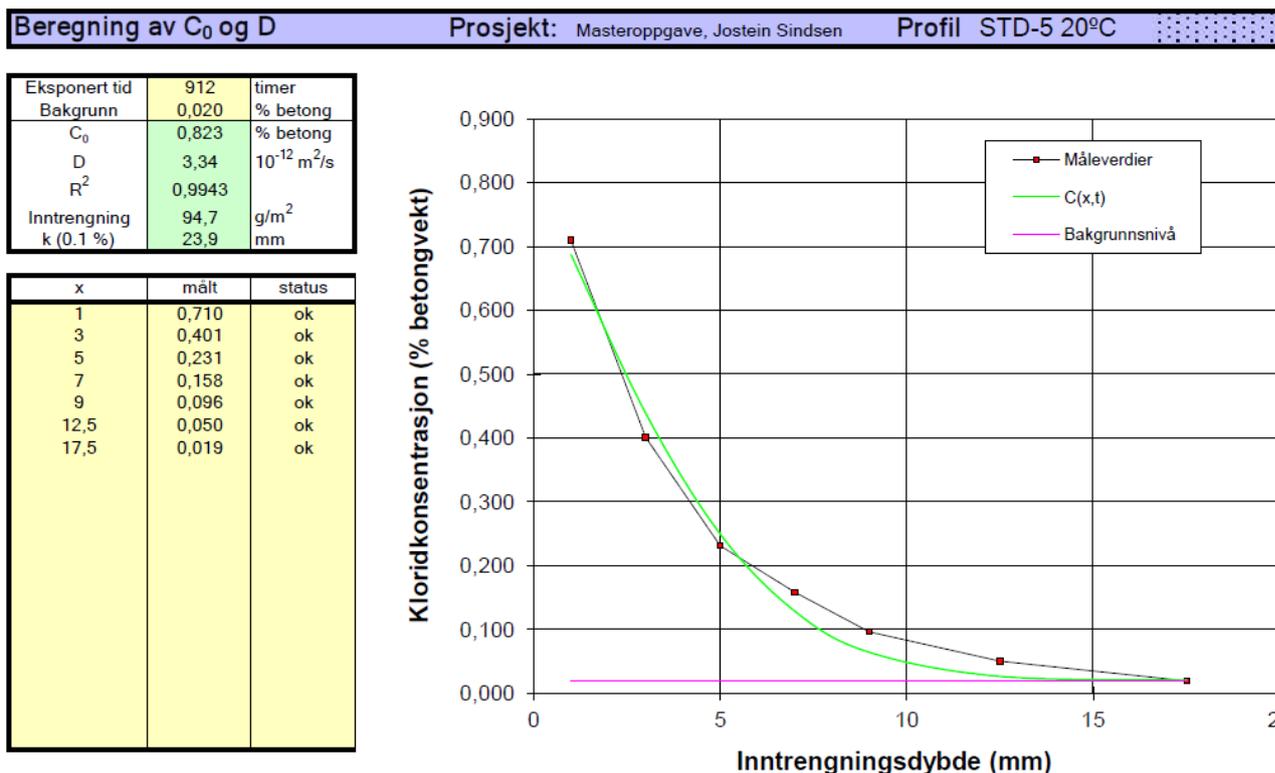
Beregning av C_0 og D Prosjekt: Masteroppgave, Jostein Sindsen Profil STD-4

Ekspontert tid	912	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C_0	0,674	% betong
D	3,61	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9997	
Inntrengning	74,3	g/m^2
k (0.1 %)	23,3	mm

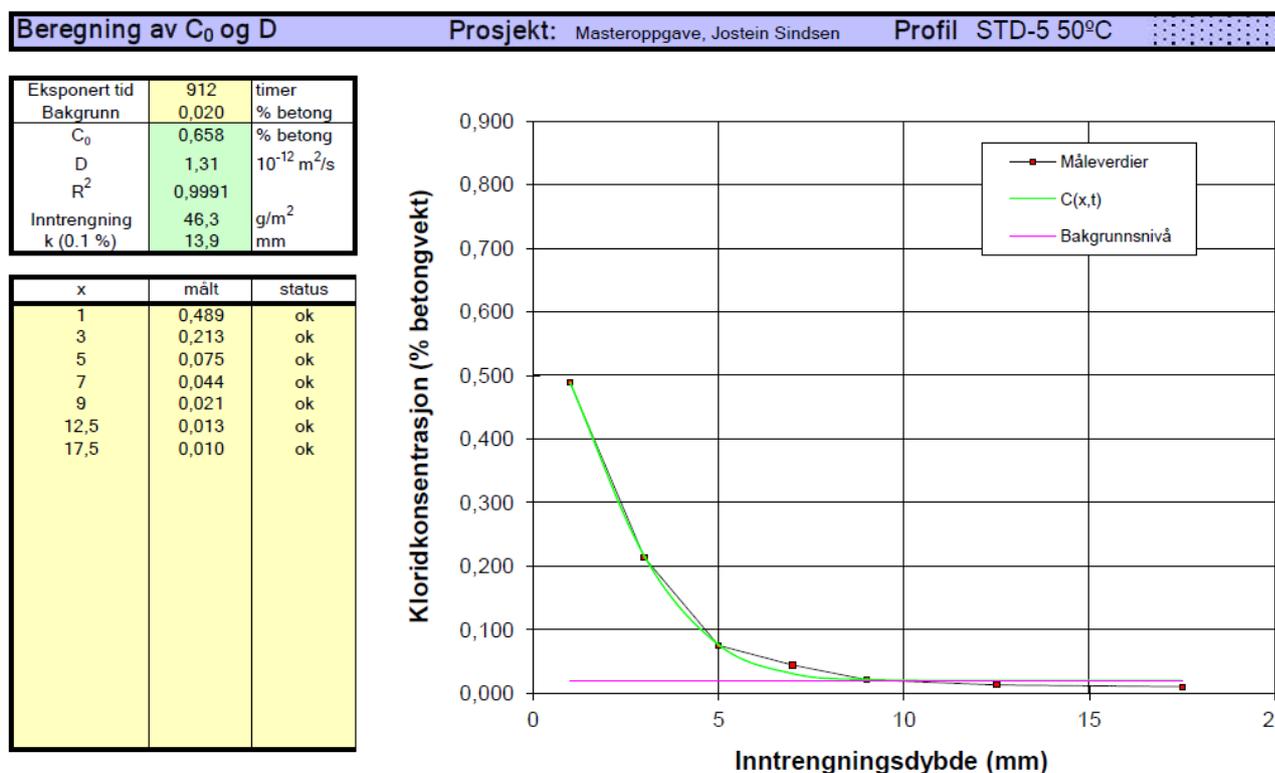
x	målt	status
1	0,565	ok
3	0,373	ok
5	0,227	ok
7	0,115	ok
9	0,054	ok
12,5	0,021	ok
17,5	0,013	ok



Figur 36 Kloridprofil til STD-4 med diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon på overflaten.



Figur 37 Kloridprofil til STD-5 20°C med diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon på overflaten.

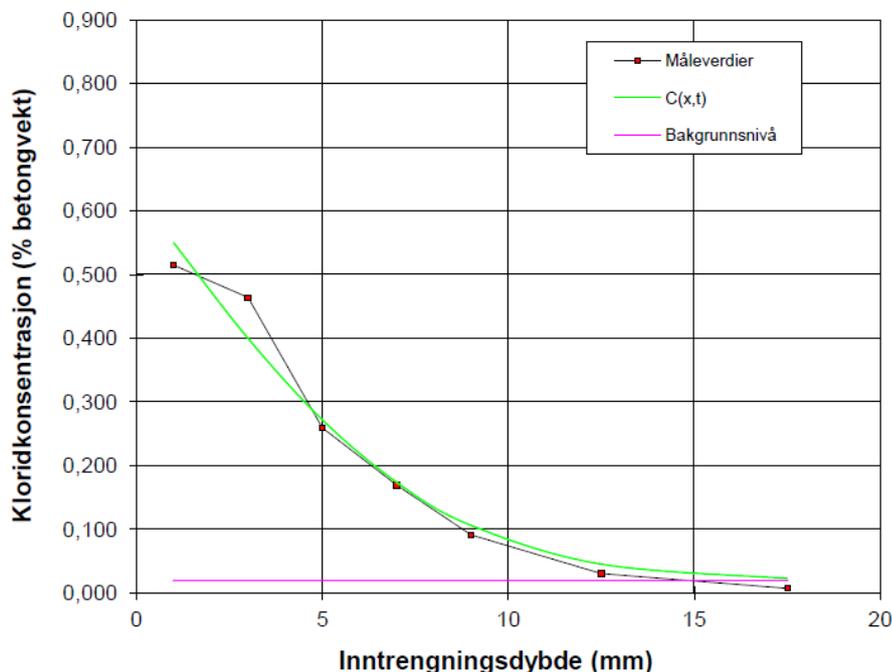


Figur 38 Kloridprofil til STD-5 50°C med diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon på overflaten.

Beregning av C₀ og D Prosjekt: Masteroppgave, Jostein Sindsen Profil STD-6 20°C

Ekspontert tid	912	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C ₀	0,629	% betong
D	5,69	10 ⁻¹² m ² /s
R ²	0,9882	
Inntrengning	83,3	g/m ²
k (0.1 %)	28,6	mm

x	målt	status
1	0,515	ok
3	0,464	ok
5	0,259	ok
7	0,169	ok
9	0,091	ok
12,5	0,030	ok
17,5	0,007	ok

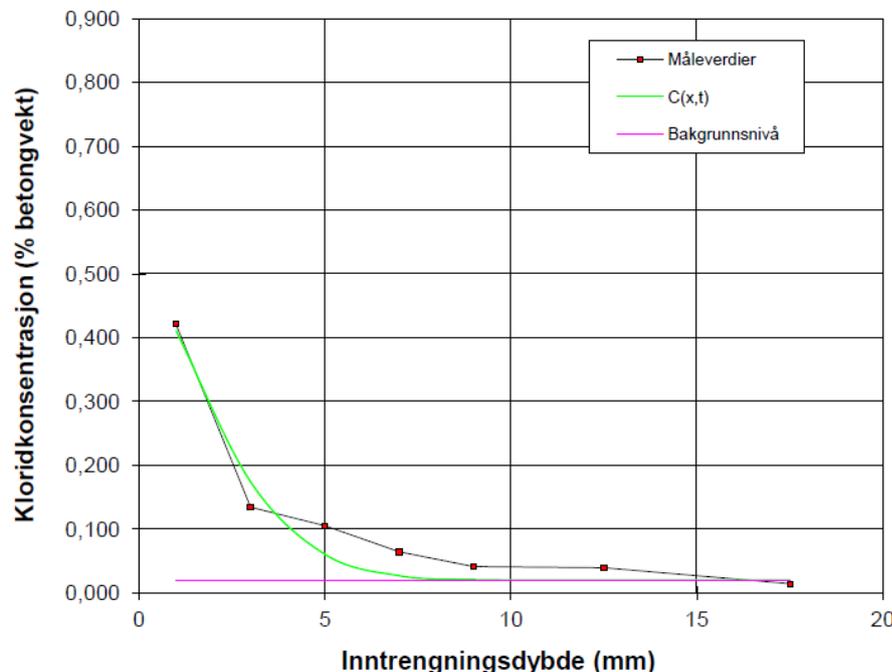


Figur 39 Kloridprofil til STD-6 20°C med diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon på overflaten.

Beregning av C₀ og D Prosjekt: Masteroppgave, Jostein Sindsen Profil STD-6 50°C

Ekspontert tid	912	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C ₀	0,561	% betong
D	1,20	10 ⁻¹² m ² /s
R ²	0,9810	
Inntrengning	44,1	g/m ²
k (0.1 %)	12,6	mm

x	målt	status
1	0,421	ok
3	0,134	ok
5	0,105	ok
7	0,064	ok
9	0,041	ok
12,5	0,039	ok
17,5	0,014	ok

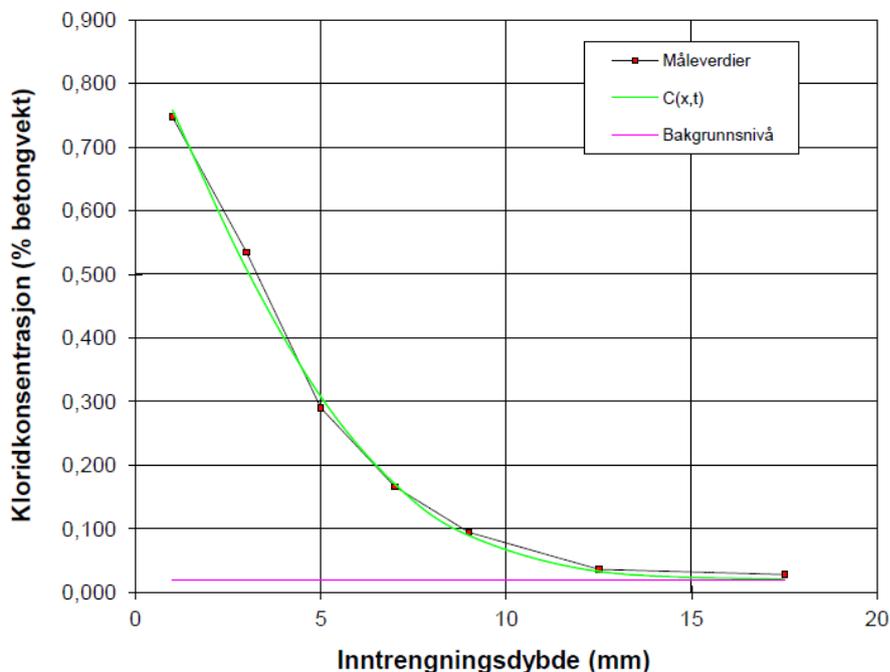


Figur 40 Kloridprofil til STD-6 50°C med diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon på overflaten.

Beregning av C_0 og D Prosjekt: Masteroppgave, Jostein Sindsen Profil STD-7 20°C

Ekspontert tid	912	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C_0	0,893	% betong
D	4,01	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9987	
Inntrengning	106,1	g/m^2
k (0.1 %)	26,8	mm

x	målt	status
1	0,748	ok
3	0,534	ok
5	0,290	ok
7	0,166	ok
9	0,094	ok
12,5	0,036	ok
17,5	0,028	ok

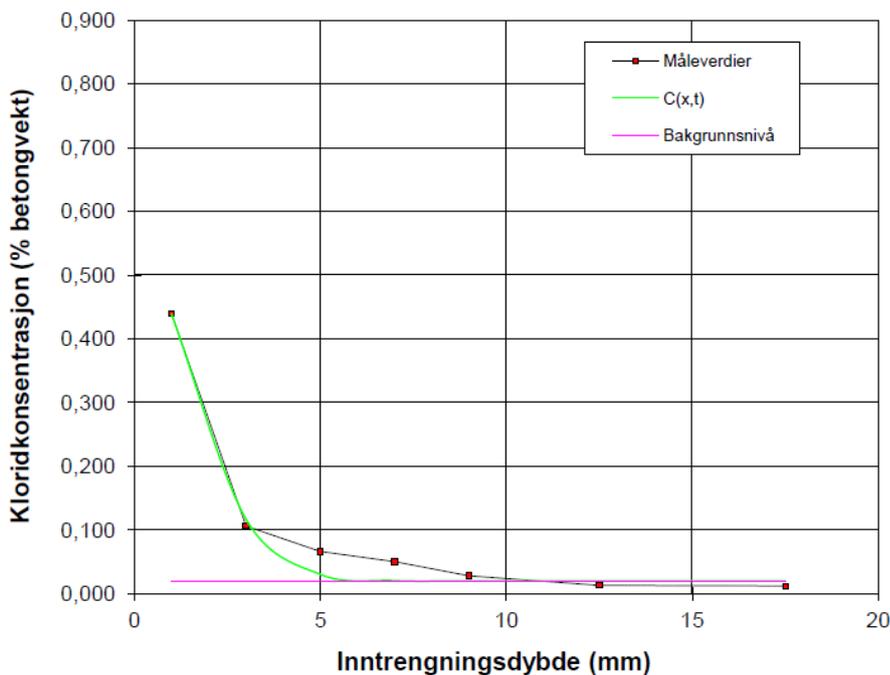


Figur 41 Kloridprofil til STD-7 20°C med diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon på overflaten.

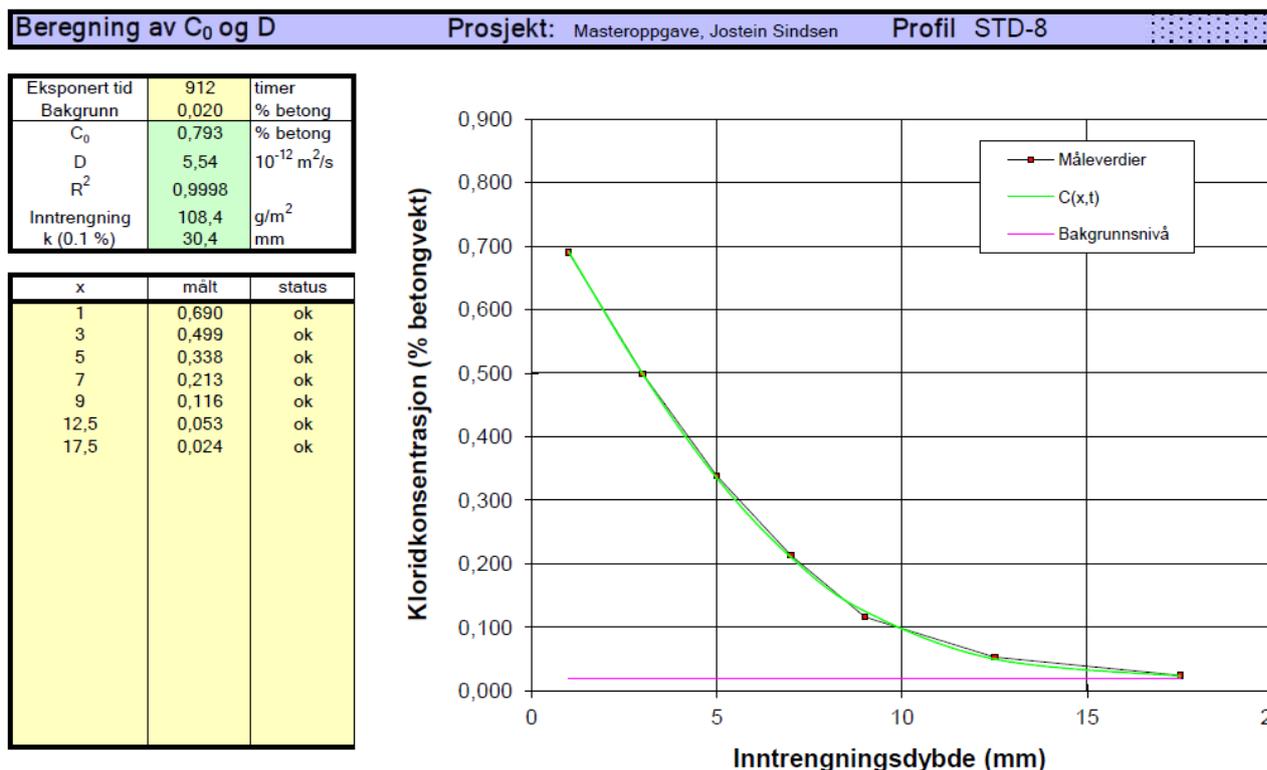
Beregning av C_0 og D Prosjekt: Masteroppgave, Jostein Sindsen Profil STD-7 50°C

Ekspontert tid	912	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C_0	0,686	% betong
D	0,65	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9927	
Inntrengning	38,2	g/m^2
k (0.1 %)	10,0	mm

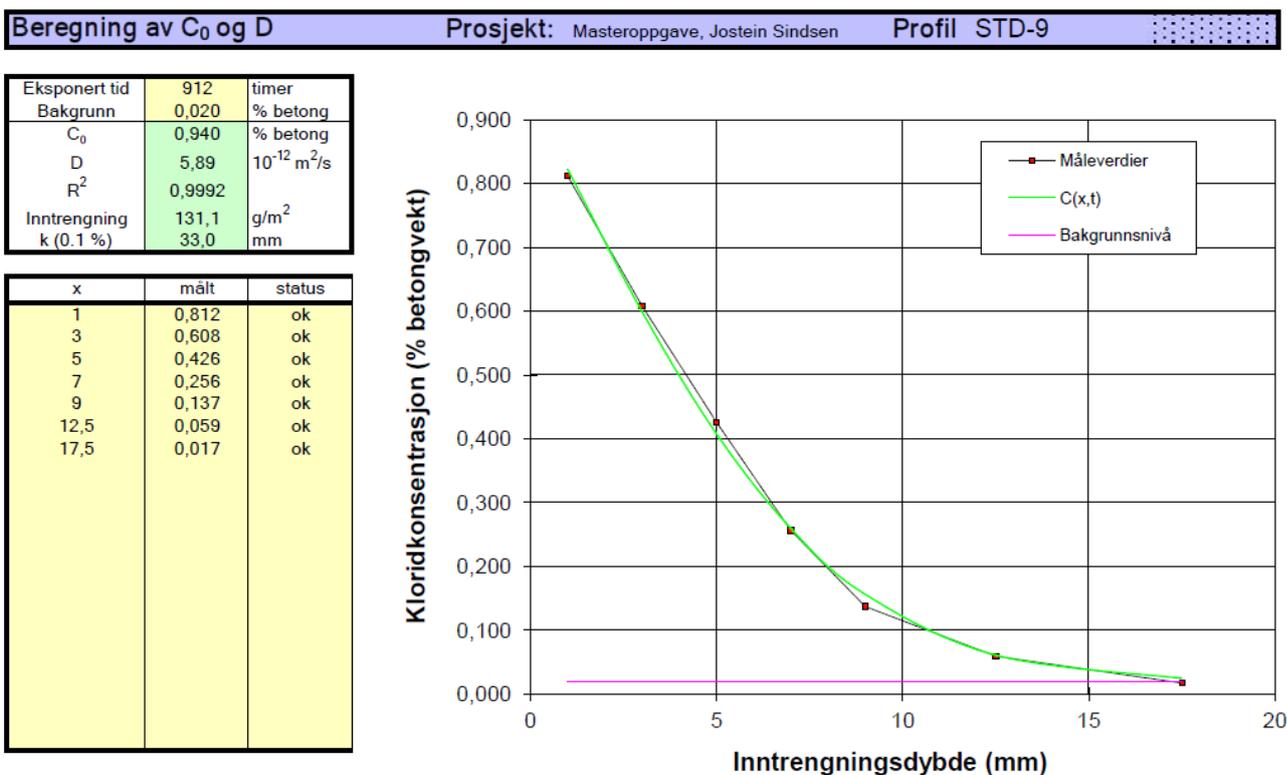
x	målt	status
1	0,440	ok
3	0,106	ok
5	0,066	ok
7	0,050	ok
9	0,028	ok
12,5	0,013	ok
17,5	0,012	ok



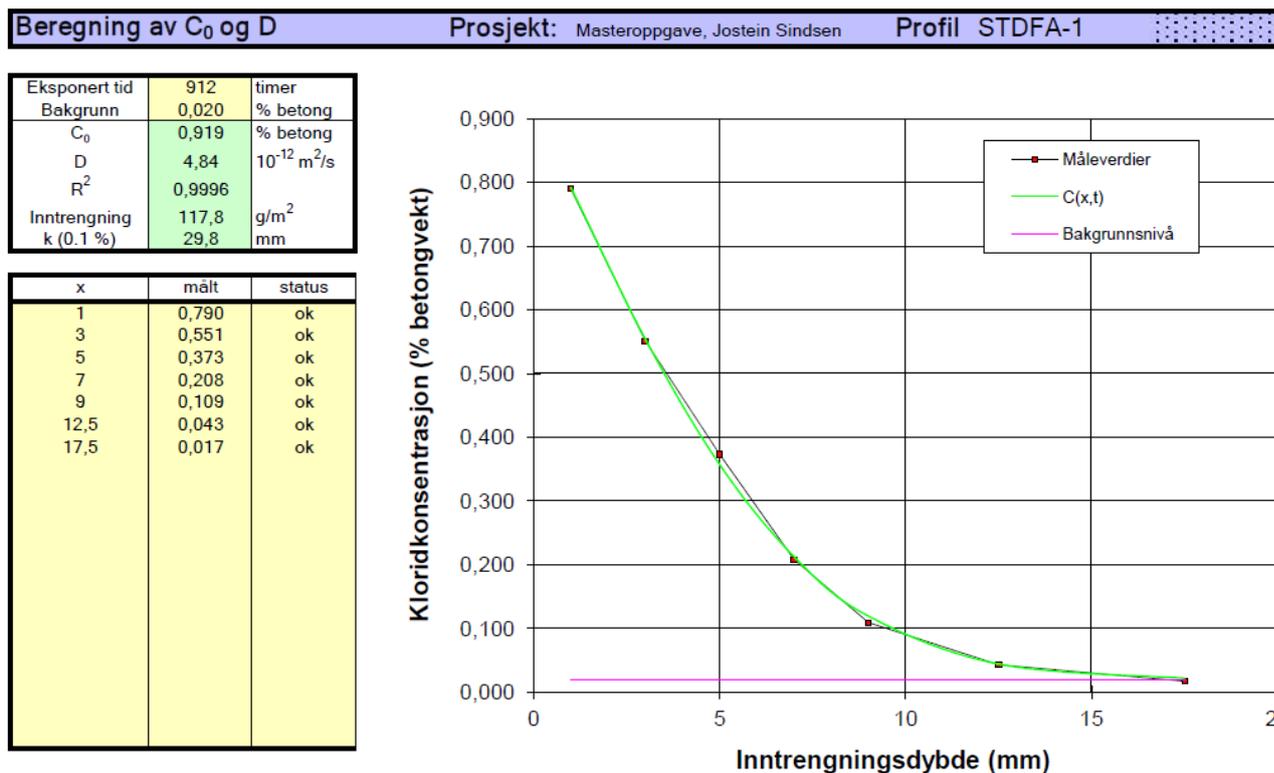
Figur 42 Kloridprofil til STD-7 50°C med diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon på overflaten.



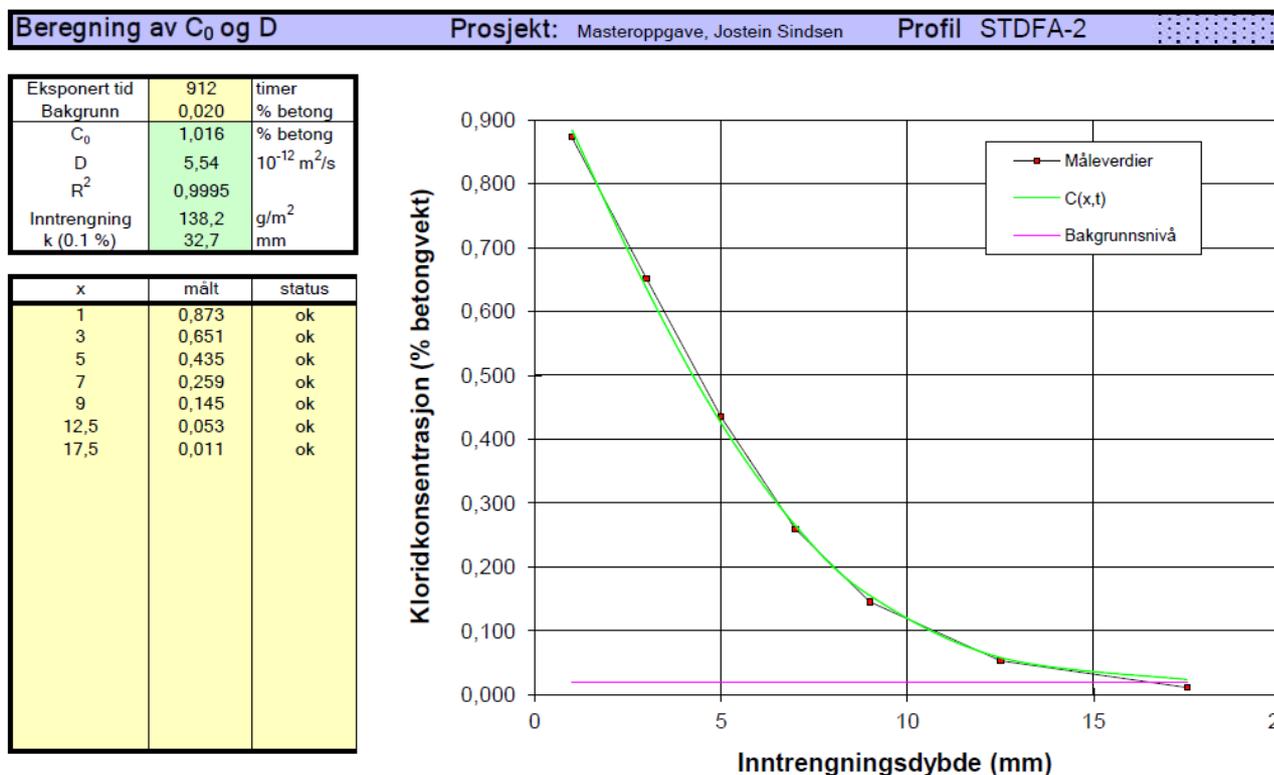
Figur 43 Kloridprofil til STD-8 med diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon på overflaten.



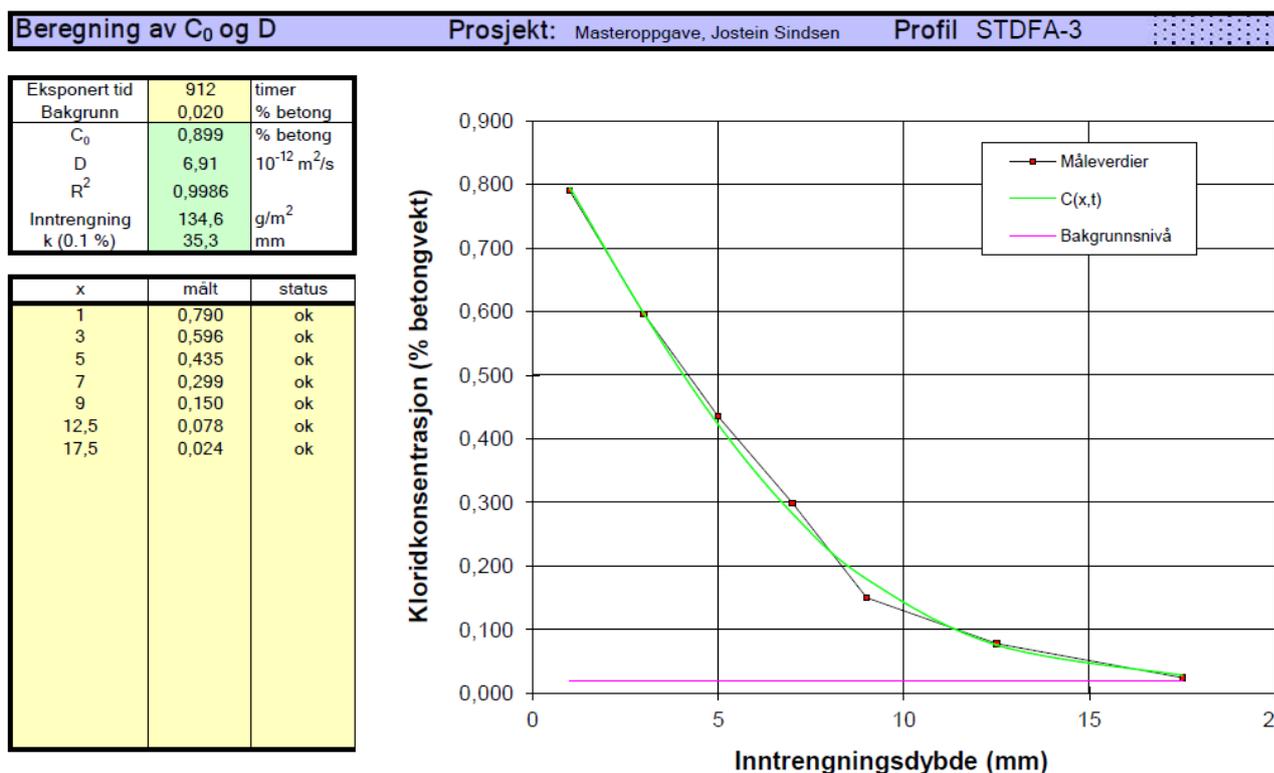
Figur 44 Kloridprofil til STD-9 med diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon på overflaten.



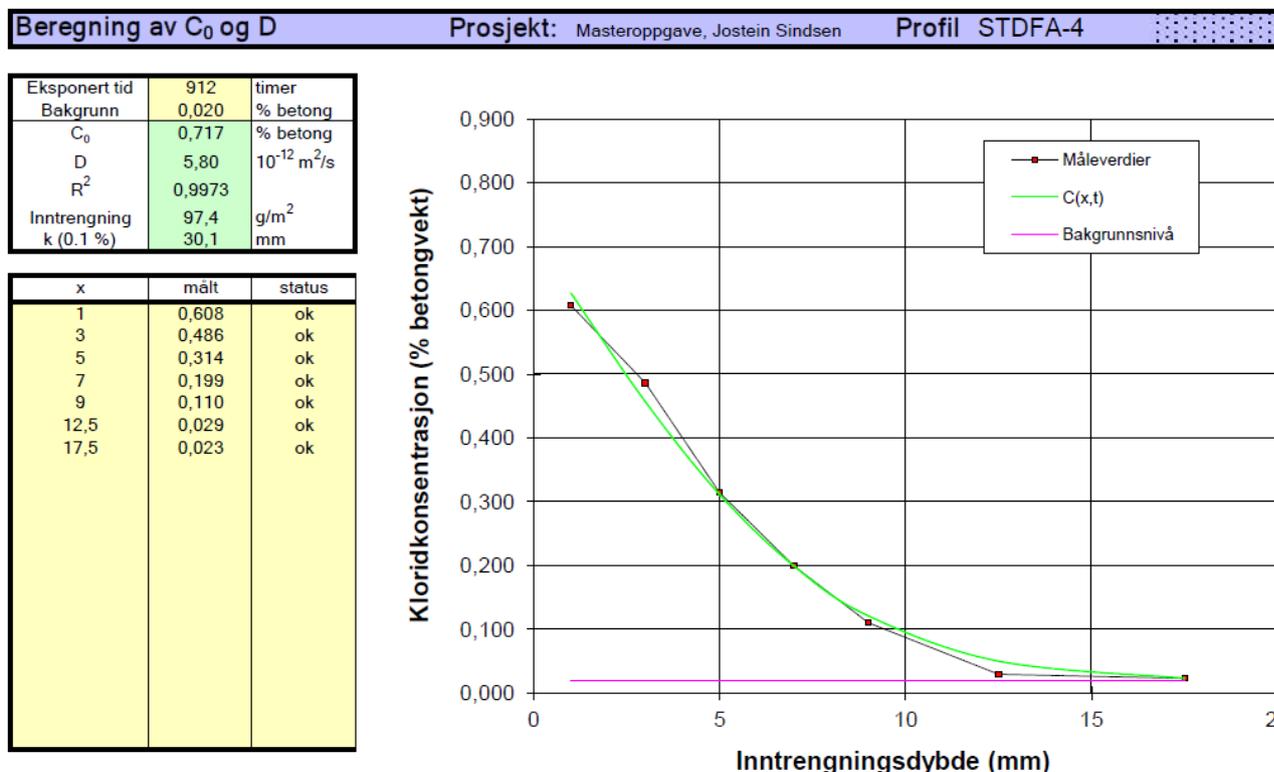
Figur 45 Kloridprofil til STDFA-1 med diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon på overflaten.



Figur 46 Kloridprofil til STDFA-2 med diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon på overflaten.



Figur 47 Kloridprofil til STDFA-3 med diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon på overflaten.

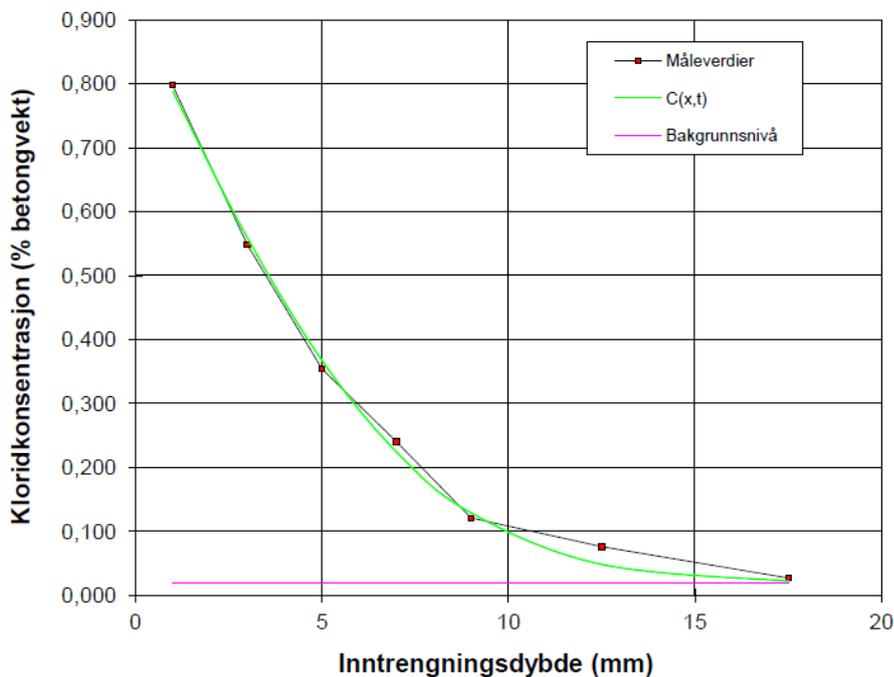


Figur 48 Kloridprofil til STDFA-4 med diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon på overflaten.

Beregning av C_0 og D Prosjekt: Masteroppgave, Jostein Sindsen Profil STD-5 20°C

Ekspontert tid	912	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C_0	0,909	% betong
D	5,17	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9986	
Inntrengning	123,2	g/m^2
k (0.1 %)	30,6	mm

x	målt	status
1	0,798	ok
3	0,548	ok
5	0,354	ok
7	0,240	ok
9	0,121	ok
12,5	0,076	ok
17,5	0,027	ok

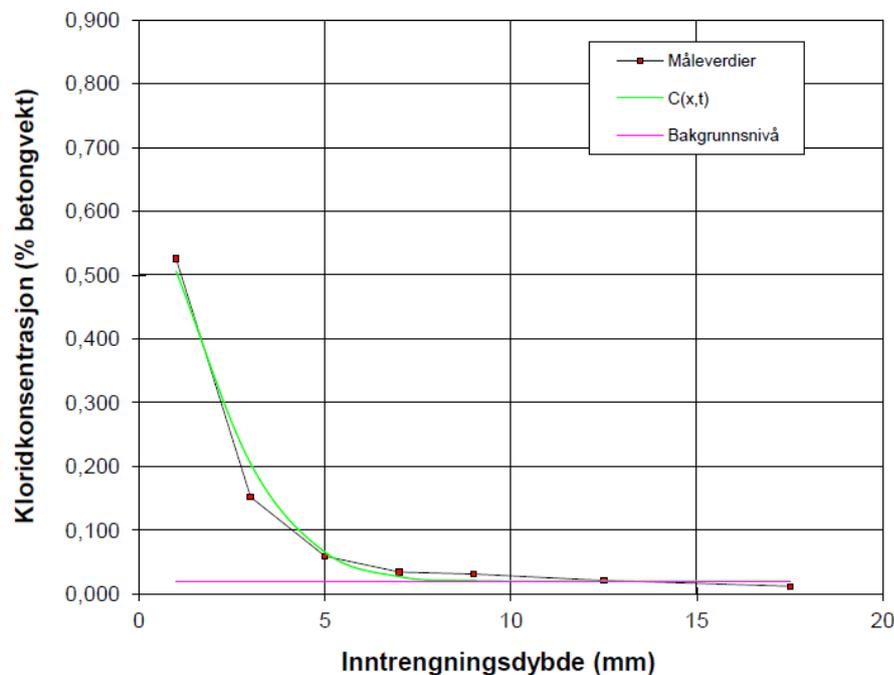


Figur 49 Kloridprofil til STDFA-5 20°C med diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon på overflaten.

Beregning av C_0 og D Prosjekt: Masteroppgave, Jostein Sindsen Profil STDFA-5 50°C

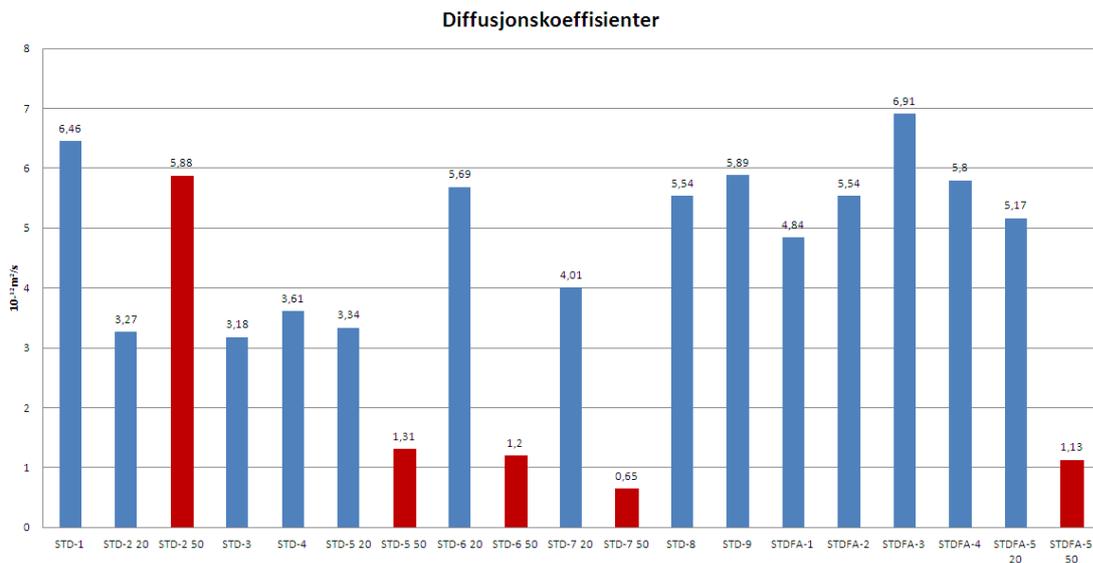
Ekspontert tid	912	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C_0	0,701	% betong
D	1,13	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9920	
Inntrengning	46,2	g/m^2
k (0.1 %)	13,3	mm

x	målt	status
1	0,526	ok
3	0,152	ok
5	0,059	ok
7	0,034	ok
9	0,031	ok
12,5	0,021	ok
17,5	0,012	ok

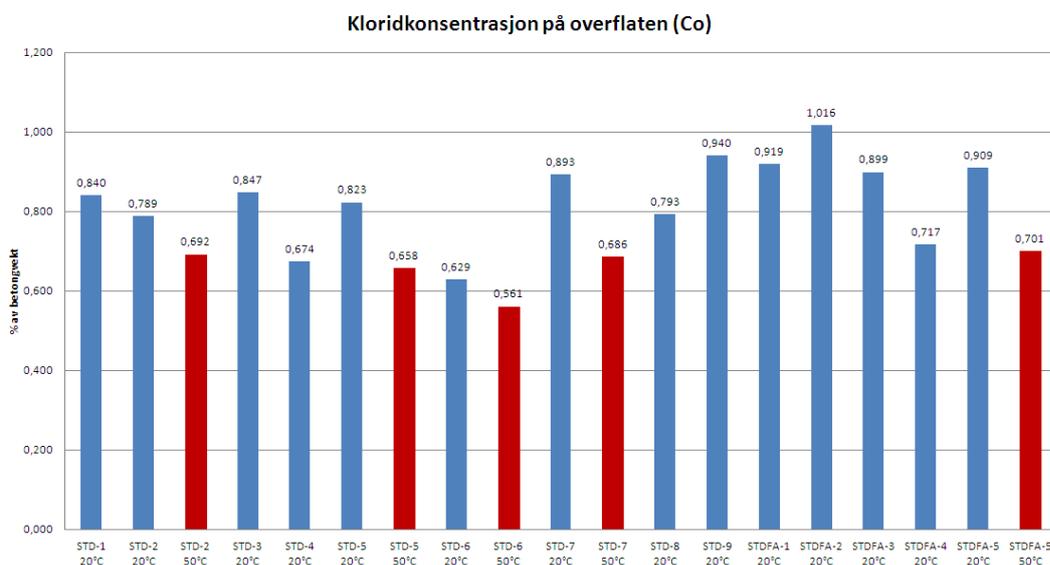


Figur 50 Kloridprofil til STDFA-5 50°C med diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon på overflaten.

For å kunne sammenligne D og C₀ så er det satt opp stolpediagram. De blå stolpene er herding i 20°C og de røde stolpene er herding i 50°C.



Figur 51 Sammenligning av diffusjonskoeffisienter



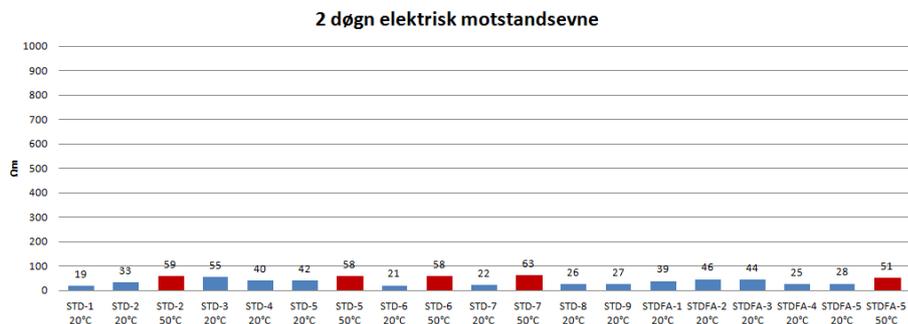
Figur 52 Sammenligning av kloridkonsentrasjon på overflaten

6.2 Elektrisk motstandsevne

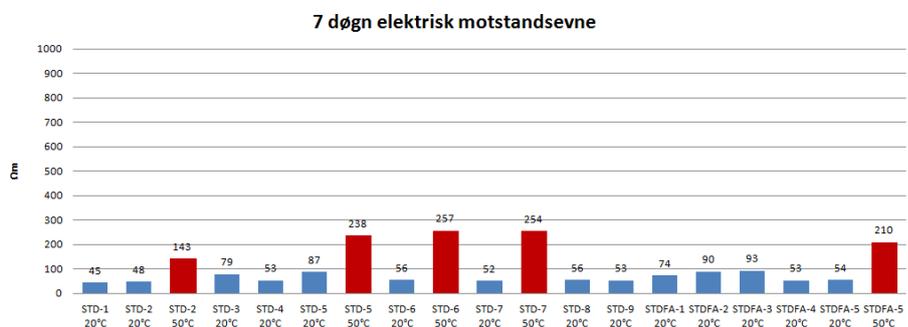
Elektrisk motstandsevne ble målt etter 2,7,28 og 56 dager.

Resept	FA [%]	Silika [%]	Temp [°C]	Luft [%]	Elektrisk motstand, Ωm											
					Antall døgn											
					2			7			28			56		
STD-1	0	0	20	2	19	18	19	44	46	45	78	83	81	124	128	126
STD-2	0	5	20	2	31	35	33	45	51	48	160	163	162	208	213	211
			50		57	61	59	145	141	143	198	210	204	338	327	333
STD-3	0	10	20	2	54	56	55	78	80	79	220	254	237	405	419	412
STD-4	20	5	20	2	41	39	40	50	55	53	170	171	171	230	222	226
STD-5	20	5	20	4	40	43	42	83	90	87	171	168	170	231	239	235
			50		54	61	58	240	236	238	519	507	513	653	647	651
STD-6	50	5	20	2	19	22	21	58	53	56	142	143	143	161	156	159
			50		56	59	58	255	258	257	540	511	526	890	903	897
STD-7	50	10	20	2	21	23	22	47	55	52	142	151	147	152	154	153
			50		67	59	63	261	247	254	570	583	577	990	970	980
STD-8	50	5	20	4	25	27	26	57	55	56	154	156	155	165	162	164
STD-9	50	10	20	4	29	26	27	51	55	53	175	177	176	184	183	184
STDFA-1	20	5	20	2	39	38	39	76	71	74	173	175	174	220	211	216
STDFA-2	20	10	20	2	47	45	46	91	88	90	205	196	201	264	260	262
STDFA-3	20	10	20	4	41	48	44	95	91	93	188	196	192	257	256	257
STDFA-4	50	5	20	2	25	26	25	51	56	53	120	119	120	125	123	124
STDFA-5	50	5	20	4	27	29	28	55	53	54	113	117	115	131	128	130
			50		52	49	51	212	207	210	498	472	485	590	595	593

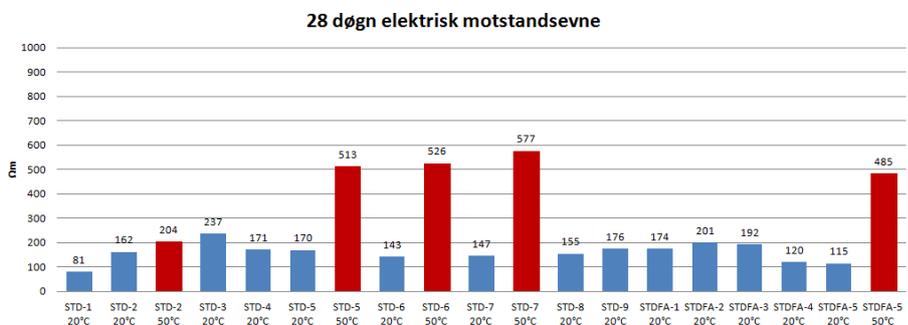
Grafisk fremstilling av elektrisk motstandsevne:



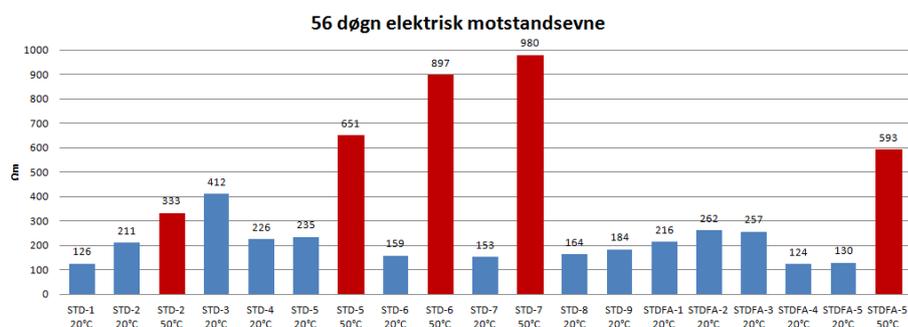
Figur 53 Alle målinger av elektrisk motstandsevne etter 2 døgn



Figur 54 Alle målinger av elektrisk motstandsevne etter 7 døgn



Figur 55 Alle målinger av elektrisk motstandsevne etter 28 døgn

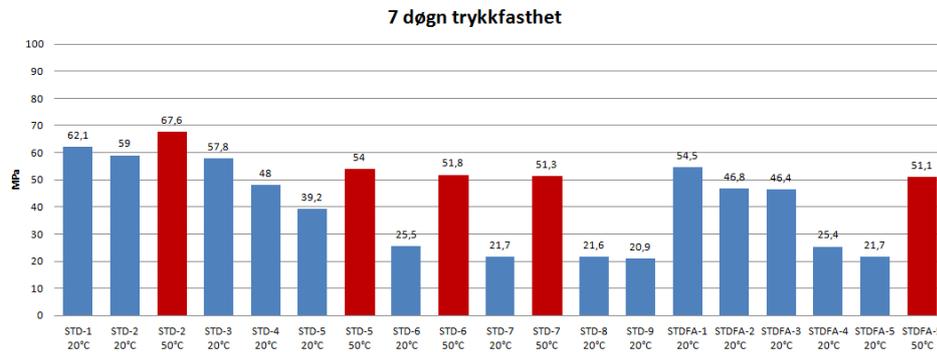


Figur 56 Alle målinger av elektrisk motstandsevne etter 56 døgn

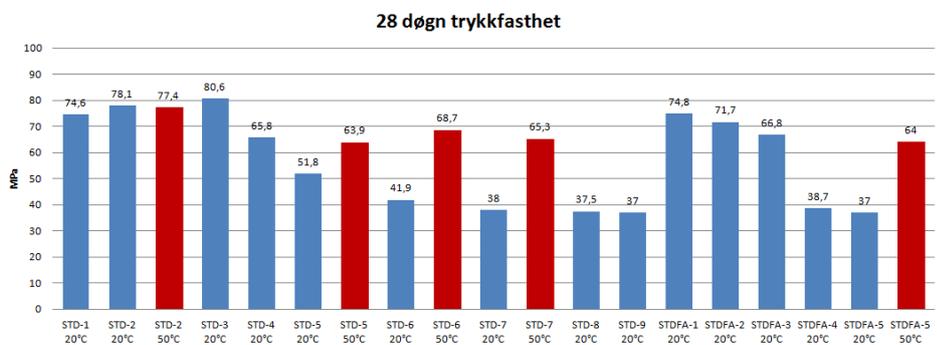
6.3 Trykkfasthet

Resept	FA [%]	Silika [%]	Temp [°C]	Luft [%]	Trykkfasthet, MPa								
					Antall døgn								
					7			28			56		
STD-1	0	0	20	2	62,1	62,1	62,1	76,1	73,0	74,6	78,9	80,6	79,8
STD-2	0	5	20	2	58,2	59,8	59,0	77,9	78,2	78,1	86,2	84,6	85,4
			50		68,1	67,1	67,6	78,7	76,0	77,4	80,6	81,5	81,1
STD-3	0	10	20	2	57,6	57,9	57,8	80,2	81,0	80,6	88,8	89,1	89,0
STD-4	20	5	20	2	48,2	47,8	48,0	66,2	65,4	65,8	77,7	74,7	76,2
STD-5	20	5	20	4	39,5	38,8	39,2	51,4	52,1	51,8	60,5	60,3	60,4
			50		53,7	54,2	54,0	63,0	64,7	63,9	65,6	68,5	67,1
STD-6	50	5	20	2	25,8	25,2	25,5	41,8	41,9	41,9	51,8	52,9	52,4
			50		51,7	51,9	51,8	68,0	69,3	68,7	71,1	71,6	71,4
STD-7	50	10	20	2	21,5	21,8	21,7	38,7	39,3	38,0	49,6	49,0	49,3
			50		51,4	51,1	51,3	65,7	64,9	65,3	66,6	69,4	68,0
STD-8	50	5	20	4	21,8	21,3	21,6	37,2	37,7	37,5	45,6	45,7	45,7
STD-9	50	10	20	4	20,8	21,0	20,9	37,4	36,5	37,0	45,2	44,1	44,7
STDFA-1	20	5	20	2	55,3	53,6	54,5	74,7	74,8	74,8	86,5	85,7	86,1
STDFA-2	20	10	20	2	46,3	47,3	46,8	73,0	70,4	71,7	80,6	77,9	79,3
STDFA-3	20	10	20	4	46,4	46,4	46,4	66,0	67,5	66,8	74,4	74,3	74,4
STDFA-4	50	5	20	2	25,7	25,0	25,4	39,7	37,7	38,7	47,6	49,0	48,3
STDFA-5	50	5	20	4	22,0	21,4	21,7	36,9	37,1	37,0	46,3	47,4	46,9
			50		50,9	51,3	51,1	64,1	63,8	64,0	67,6	66,4	67,0

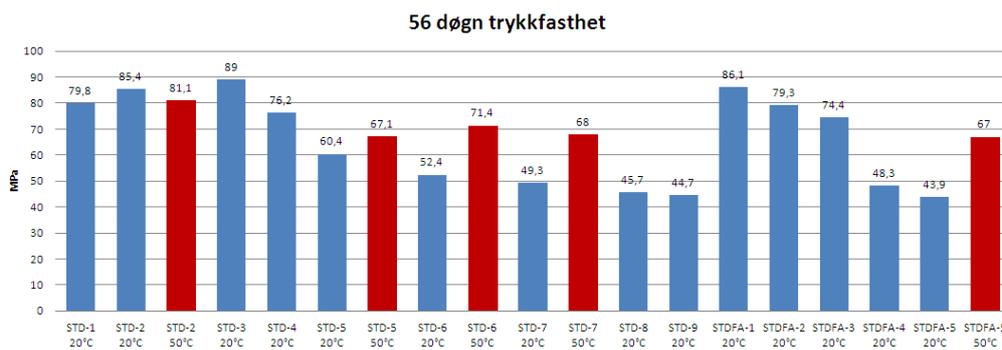
Grafisk fremstilling av trykkfasthet:



Figur 57 Alle trykkfasthetsmålinger ved 7 døgn



Figur 58 Alle trykkfasthetsmålinger ved 28 døgn



Figur 59 Alle trykkfasthetsmålinger ved 56 døgn

7 Diskusjon av resultater

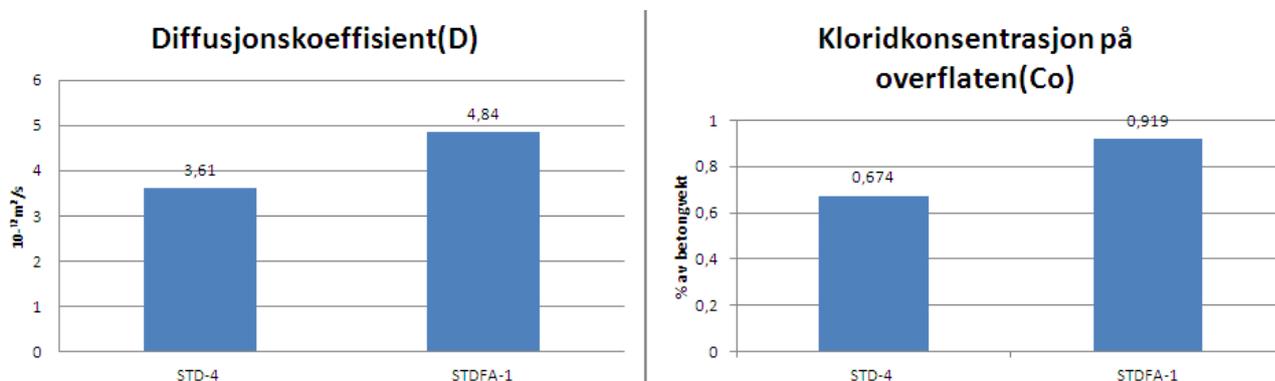
Her vil resultatene som er oppnådd på laboratoriet bli sammenlignet med forventet resultat basert på teorien som er beskrevet i oppgaven.

7.1 Kloridinntrenging

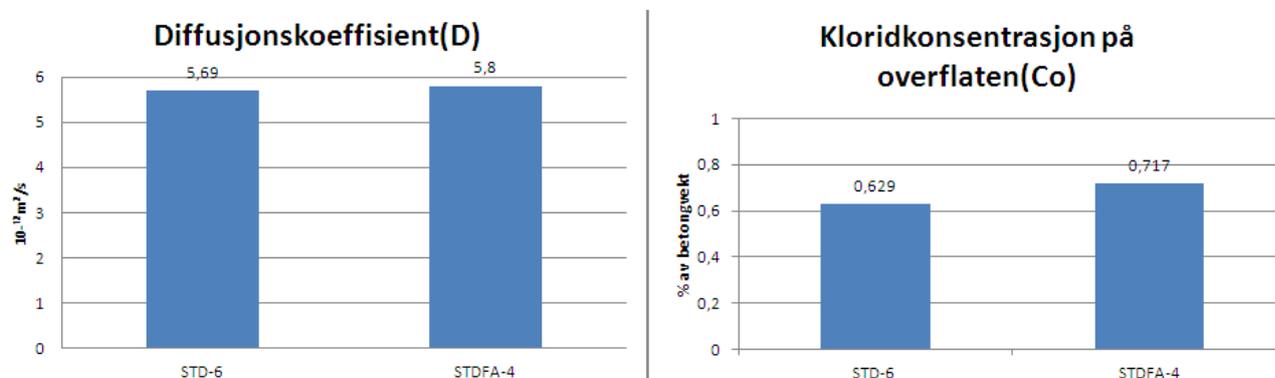
7.1.1 Effekt av sementtype

For å kunne sammenligne effekten av sementene ble det blandet 3 blandinger fra hver sementtype med lik mengde pozzolaner.

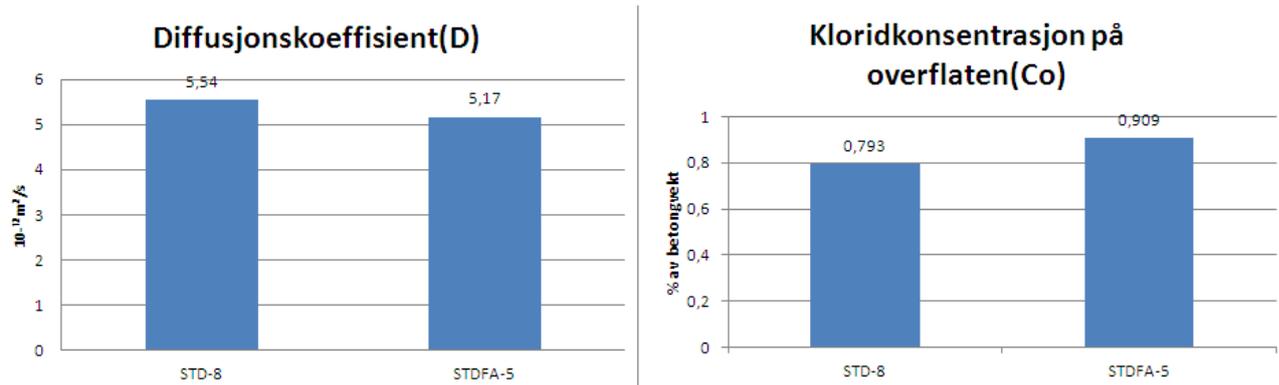
Resept	Sementtype	Flyveaske [%]	Silika[%]	Temp [°C]	Luft [%]
STD-4	Standardsement	20	5	20	2
STDFA-1	Standardsement FA	20	5	20	2
STD-6	Standardsement	50	5	20	2
STDFA-4	Standardsement FA	50	5	20	2
STD-8	Standardsement	50	5	20	4
STDFA-5	Standardsement FA	50	5	20	4



Figur 60 Sammenligning av diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon på overflaten med 20% FA og 5% SF



Figur 61 Sammenligning av diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon på overflaten med 50% FA og 5% SF



Figur 62 Sammenligning av diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon på overflaten med 50% FA og 20% SF med tilsatt luft.

Det var forventet ingen eller liten forskjell på diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon på overflaten ved sammenligning av disse betongene som i teorien skal være identiske.

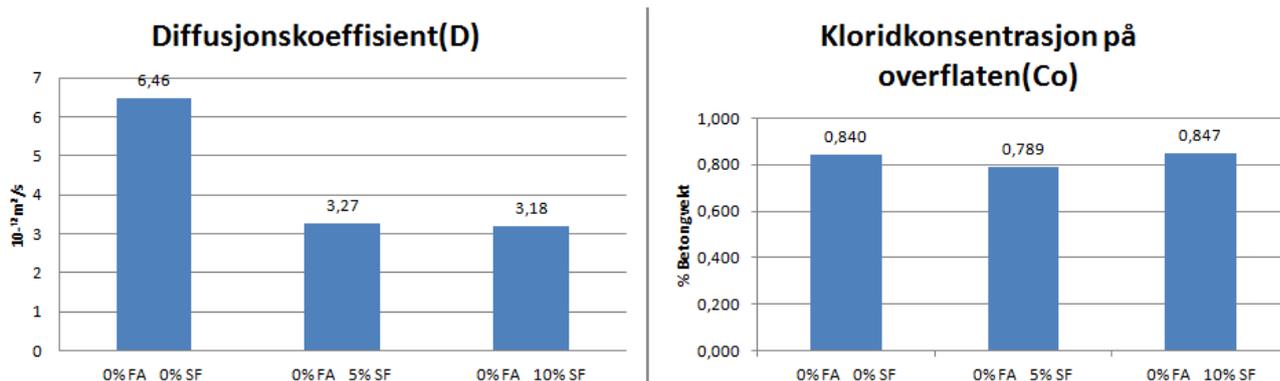
I figur 60 og figur 61 så ser vi at diffusjonskoeffisienten er litt høyere på Standardsement FA, men i figur 62 så er det Standardsement FA som har lavest diffusjonskoeffisient.

Kloridkonsentrasjonen på overflaten er høyest med bruk av Standardsement FA ved alle sammenligninger. Grunnen til dette kan være at Standardsement FA har høyere blainefinhet enn Standardsement på grunn av at portlandsklinkeren har blitt malt opp i mindre korn slik at fasthetsutviklingen er som for Standardsement. En annen grunn kan være at det er en annen type flyveaske som er tilsatt under produksjonen av sementen. Som beskrevet tidligere i oppgaven kan kvaliteten på flyveaske variere, og derfor kan også resultatene variere.

7.1.2 Effekt av silka

For å finne effekten av silika som sementerstatning er det aktuelt å sammenligne disse reseptene:

Resept	Sementtype	Flyveaske [%]	Silika[%]	Temp [°C]	Luft [%]
STD-1	Standardsement	0	0	20	2
STD-2	Standardsement	0	5	20	2
STD-3	Standardsement	0	10	20	2

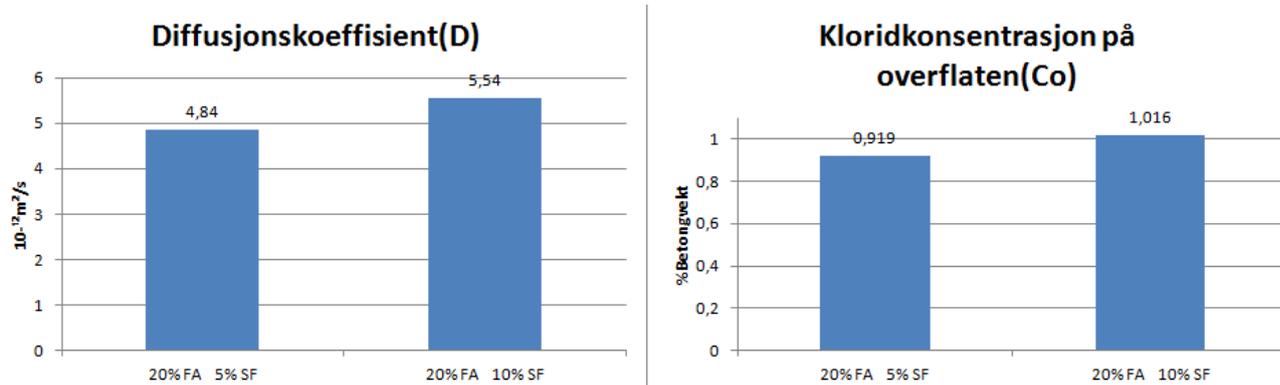


Figur 63 Sammenligning av diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon på overflaten

Her er det kun silikaerstatning og resultatene er stort sett som forventet. Diffusjonskoeffisienten blir lavere med høyere dosering silika. Det er liten forandring av diffusjonskoeffisienten ved en økning fra 5 % til 10% sementerstatning av silika i forhold til hva man skulle forvente. Betongen med den laveste diffusjonskoeffisienten har også den høyeste kloridkonsentrasjonen på overflaten. Det ble observert en stor luftpore rett under eksponeringsflaten på den ene sylindren av STD-3 under utfresing av betongstøvet. Dette er nok årsaken til den høye kloridkonsentrasjonen på overflaten. STD-3 er den resepten med lavest diffusjonskoeffisient av samtlige resepter ved herding i 20°C. Det er mulig at man får full effekt med 10% silika først etter 56-90 døgn.

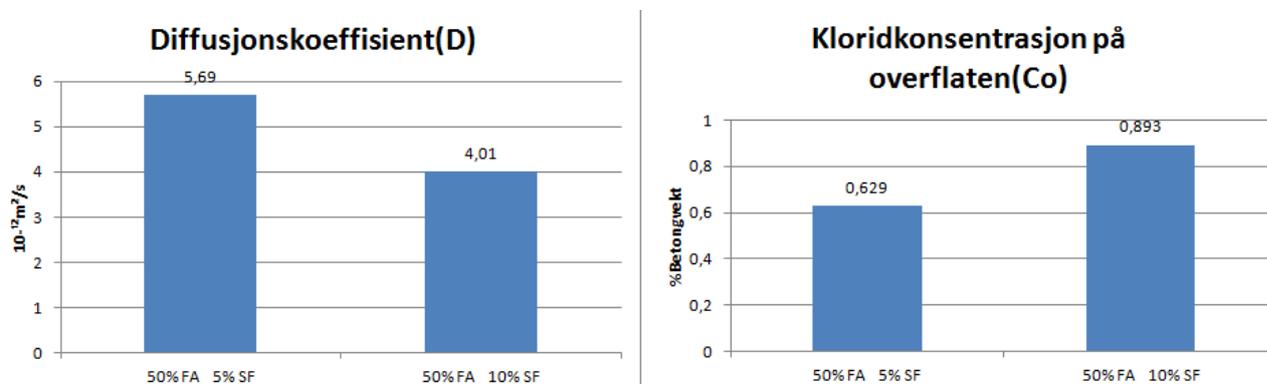
For å finne effekten av silika i kombinasjon med flyveaske er disse reseptene analysert :

Resept	Sementtype	Flyveaske [%]	Silika[%]	Temp [°C]	Luft [%]
STDFA-1	Standardsement FA	20	5	20	2
STDFA-2	Standardsement FA	20	10	20	2
STD-6	Standardsement	50	5	20	2
STD-7	Standardsement	50	10	20	2



Figur 64 Sammenligning av diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon på overflaten av STDFA-1 og STDFA-2

Det var ikke forventet at diffusjonskoeffisienten ble høyere med 10% silika kontra 5% silika. Ved høyere alder vil mest sannsynlig den med 10% silika få en lavere diffusjonskoeffisient enn den med 5% silika.



Figur 65 Sammenligning av diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon på overflaten av STD-6 og STD-7

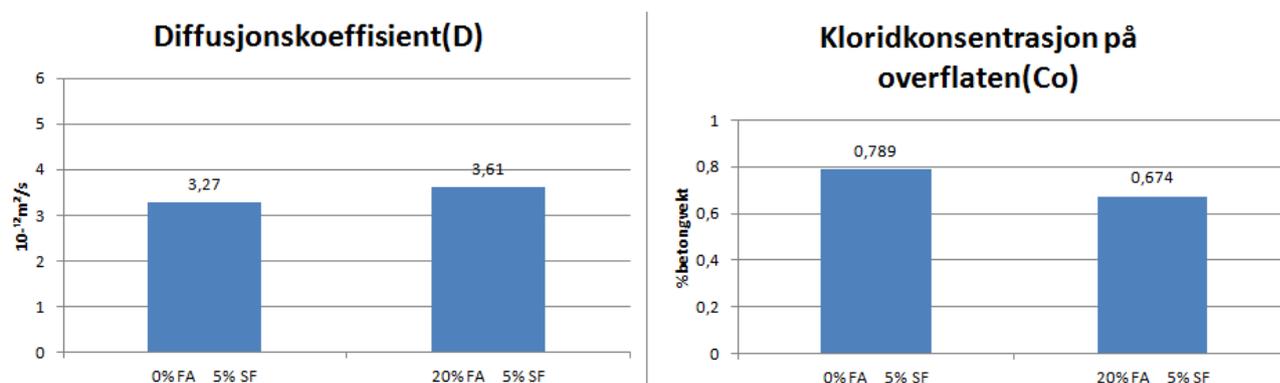
Det er vanskelig å dra noen konklusjoner ut ifra disse sammenligningene. Vi ser at både diffusjonskoeffisienten og kloridkonsentrasjonen på overflaten er varierende og ingen sammenheng med tilsetningen av silika. Pozzolanene er svært tidsavhengige når det gjelder diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon og det må kanskje lengre eksponeringstid til for å se effekten av kombinasjonen av større mengder silika og flyveaske. Det er lettere å se utviklingen under kap 7.1.4 hvor betongen er herdet under 50°C og vil fremskynde pozzolanreaksjonene.

7.1.3 Effekt av flyveaske

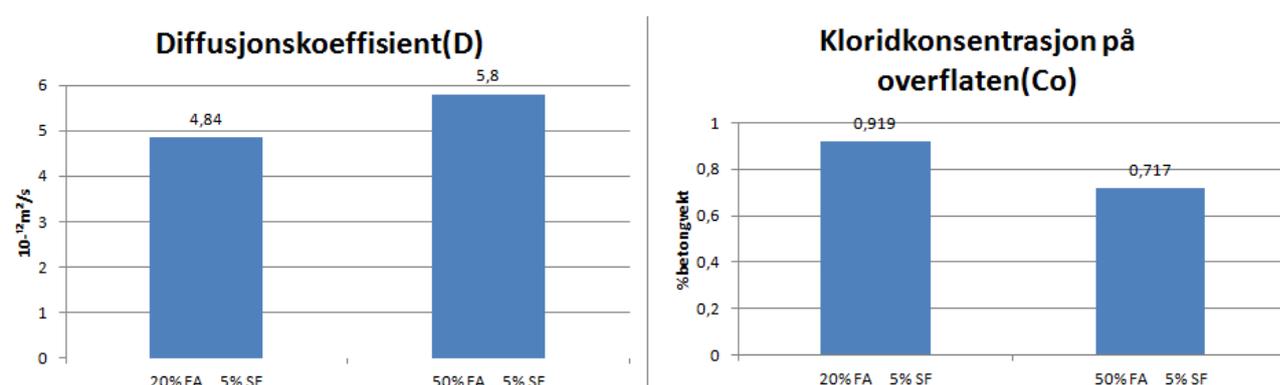
Det er ingen av betong reseptene som det er kun benyttet flyveaske som sementerstatning, så effekten av flyveaske kan kun analyseres med kombinasjon av silika.

Resept	Sementtype	Flyveaske [%]	Silika[%]	Temp [°C]	Luft [%]
STD-2	Standardsement	0	5	20	2
STD-4	Standardsement	20	5	20	2
STDFA-1	Standardsement FA	20	5	20	2
STD-4	Standardsement FA	50	5	20	2

I tidlig alder kan det forventes en relativ høyere diffusjonskoeffisient ved tilsetning av flyveaske. Fra 56 døgn og utover forventes det større effekt av flyveaske, men først etter 1-2 år vil flyveasken være fullt utnyttet. I neste kapittel vil utviklingen av flyveasken vises bedre når herdetemperaturen er 50°C, som vil akselerere pozzolanreaksjonene.



Figur 66 Sammenligning av diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon på overflaten av STD-2 og STD-4



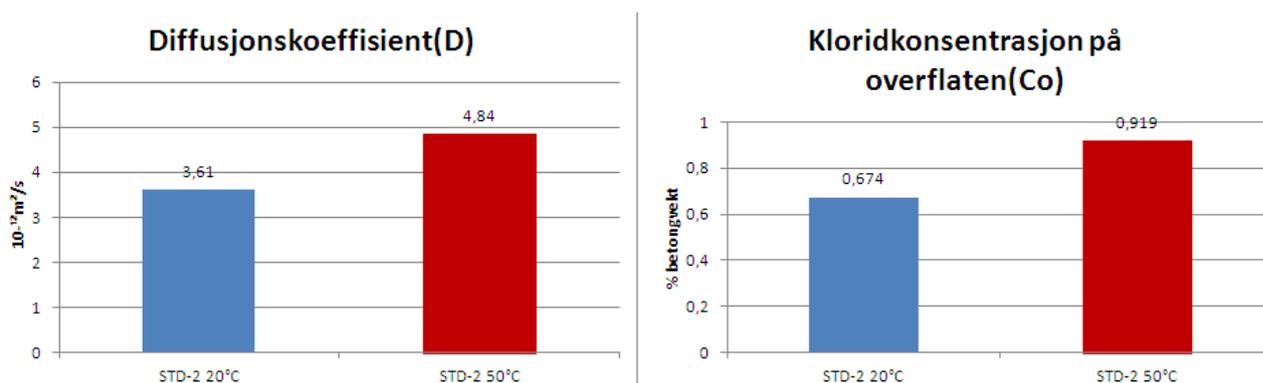
Figur 67 Sammenligning av diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon på overflaten av STDFA-1 og STDFA-4

Vi ser at diffusjonskoeffisienten blir høyere med tilsetning av flyveaske i tidlig alder. Ved større dosering av flyveaske, jo større blir diffusjonskoeffisienten i tidlig alder. Denne trenden vil snu ved høyere alder av betongen.

7.1.4 Effekt av herdebetingelser

Det er 5 betongtyper som ble herdet under 20°C og 50°C. Dette ble utført for å fremskynde egenskapene til pozzolanene. Det er forventet at diffusjonskoeffisienten og kloridkonsentrasjonen på overflaten er lavere for betongen som er herdet i 50°C. Det har i kapittel 4.3 blitt beregnet modenhetsalder på betongen som er herdet i 50°C. Herding i 28 døgn i 50°C tilsvarer 100 døgn i 20°C.

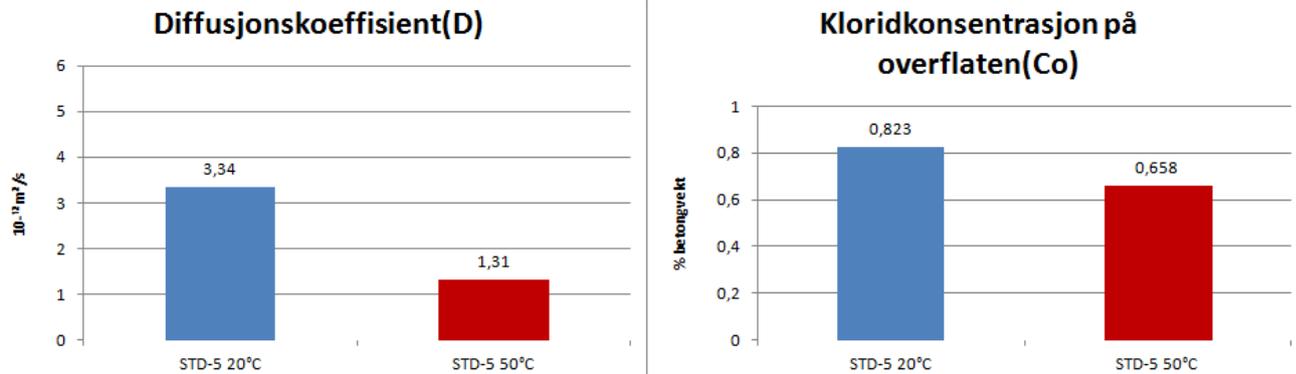
Resept	Sementtype	Flyveaske [%]	Silika[%]	Temp [°C]	Luft [%]
STD-2	Standardsement	0	5	20	2
STD-2	Standardsement	0	5	50	2
STD-5	Standardsement	20	5	20	4
STD-5	Standardsement	20	5	50	4
STD-6	Standardsement	50	5	20	2
STD-6	Standardsement	50	5	50	2
STD-7	Standardsement	50	10	20	2
STD-7	Standardsement	50	10	50	2
STDFA-5	Standardsement FA	50	5	20	4
STDFA-5	Standardsement FA	50	5	50	4



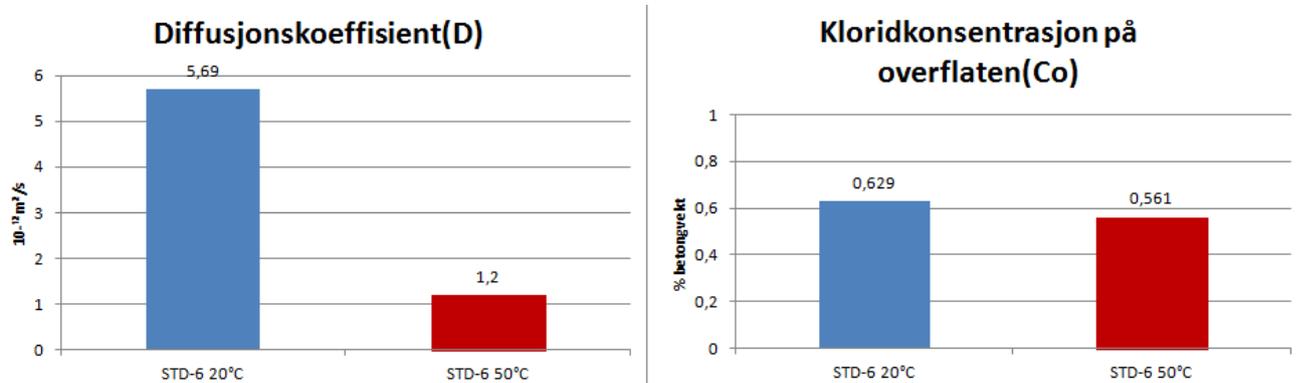
Figur 68 Sammenligning av diffusjonskoeffisienter og kloridkonsentrasjon på overflaten med 0% FA og 5% SF

Resepten STD-2 strider imot teorien ved at diffusjonskoeffisienten blir større ved høyere herdetemperatur. Både diffusjonskoeffisienten og kloridkonsentrasjonen på overflaten er høyere ved herding i 50°C. Denne resepten har også lavere trykkfasthet ved 28 dager når den er herdet i 50°C. STD-2 som er lagret i 20 og 50 grader ble blandet i samme blanding, så det er ikke unøyaktigheter ved oppveing eller blanding som er årsaken til dette spesielle resultatet. Eneste mulige forklaring på dette er at det har vært feilmåling.

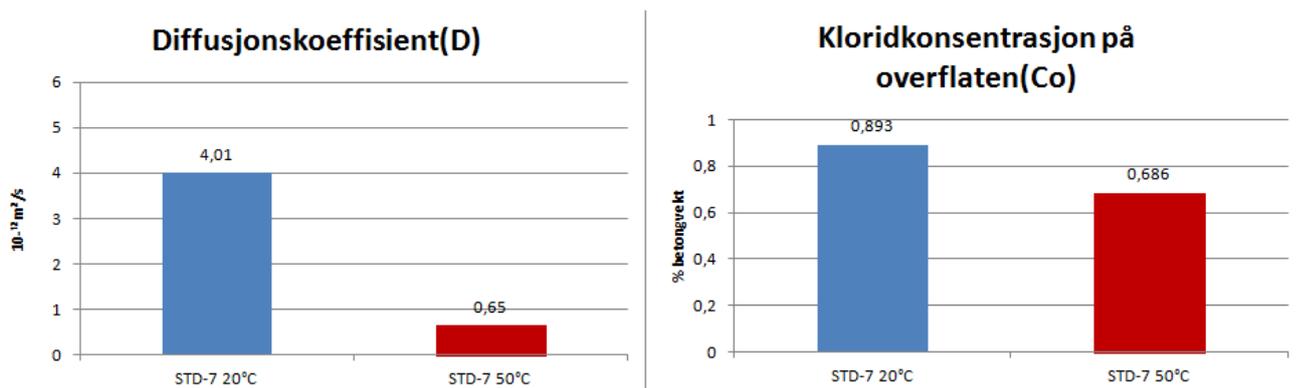
Resten av resultatene er som forventet:



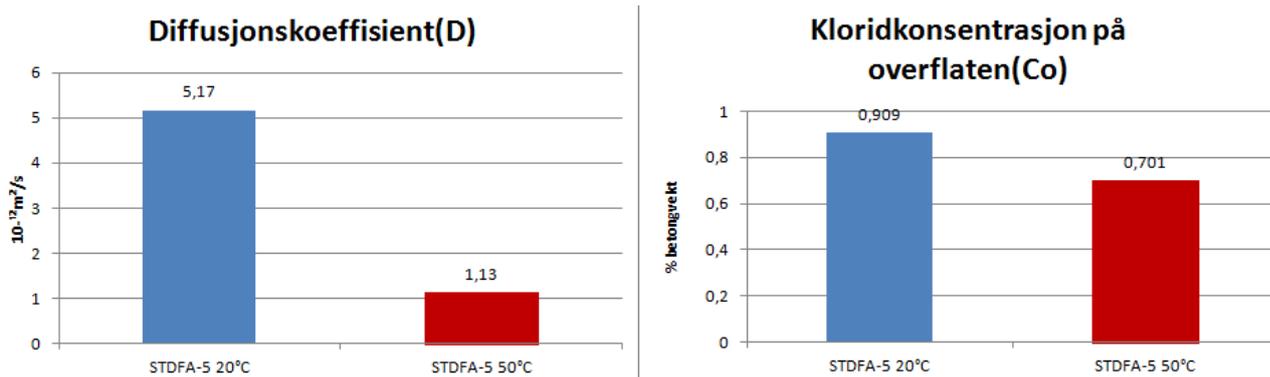
Figur 69 Sammenligning av diffusjonskoeffisienter og kloridkonsentrasjon på overflaten med 20% FA og 5% SF med tilsatt luft.



Figur 70 Sammenligning av diffusjonskoeffisienter og kloridkonsentrasjon på overflaten på med 50% FA og 5% SF.



Figur 71 Sammenligning av diffusjonskoeffisienter og kloridkonsentrasjon på overflaten på med 50% FA og 10% SF.



Figur 72 Sammenligning av diffusjonskoeffisienter og kloridkonsentrasjon på overflaten på med 50% FA og 5% SF med tilsatt luft.

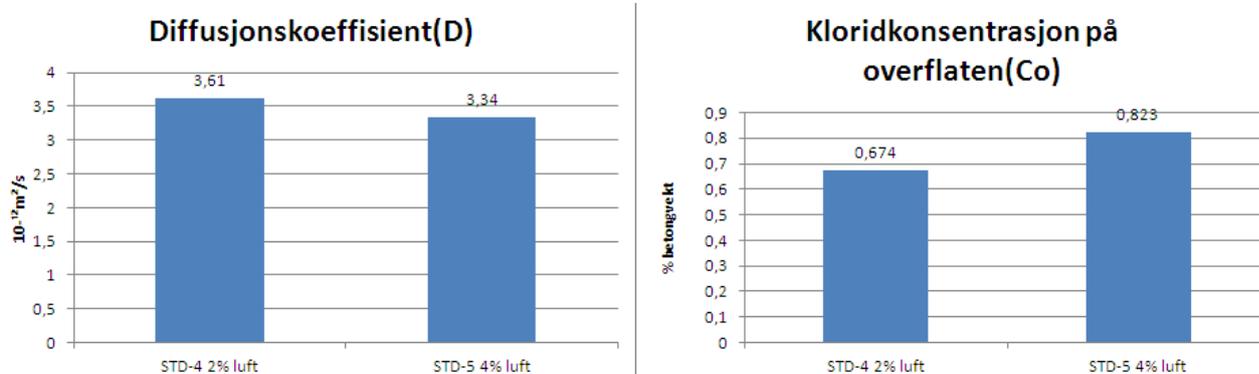
Ved 50°C så ser vi tydelig effekten av flyveaske. Alle reseptene utenom STD-2(uten flyveaske) har fått mye lavere diffusjonskoeffisient og lavere kloridkonsentrasjon på overflaten. Dette er på grunn av pozzolanreaksjonene skjer raskere ved høyere herdetemperatur og gir en tett og fin porestruktur. STD-7 har den høyeste doseringen av flyveaske(50%) og silika(10%) og gir den laveste diffusjonskoeffisienten ved herding i 50°C.

7.1.5 Effekt av luftinnhold

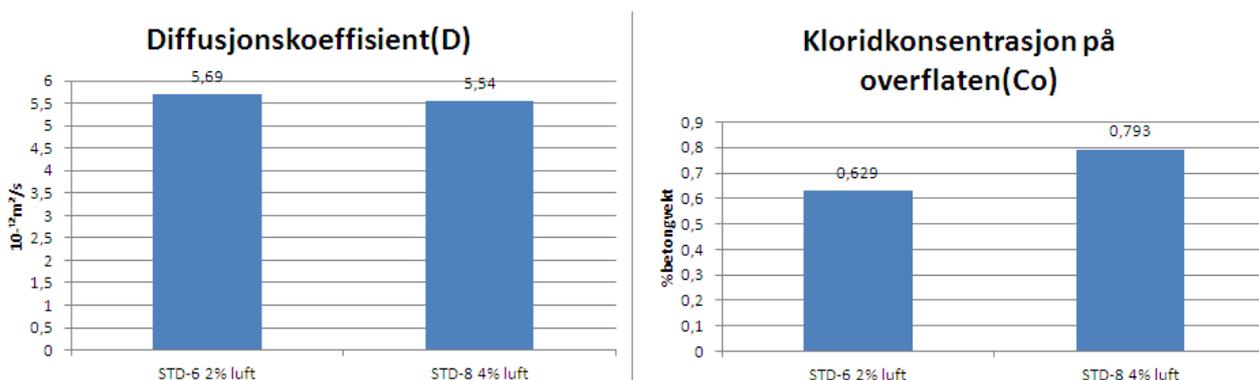
I kapittel 3.2.6 så er det beskrevet to motstridene teorier på hvordan økt luftinnhold påvirker diffusjonskoeffisienten og kloridkonsentrasjonen .

For å finne ut hvordan luftinnhold påvirker disse parametrene er det aktuelt å sammenligne disse reseptene:

Resept	Sementtype	Flyveaske [%]	Silika[%]	Temp [°C]	Luft [%]
STD-4	Standardsement	20	5	20	2
STD-5	Standardsement	20	5	20	4
STD-6	Standardsement	50	5	20	2
STD-8	Standardsement	50	5	20	4



Figur 73 Sammenligning av diffusjonskoeffisienter og kloridkonsentrasjon på overflaten med 20% FA og 5% SF og forskjellig luftinnhold



Figur 74 Sammenligning av diffusjonskoeffisienter og kloridkonsentrasjon på overflaten med 50% FA og 5% SF og forskjellig luftinnhold.

Resultatene viser at diffusjonskoeffisienten blir lavere og kloridkonsentrasjonen på overflaten øker med høyere luftinnhold. Grunnen til dette kan være som beskrevet i teorien, at luftporene som er tilsatt fyller seg ikke lett opp med vann selv om betongen er vannmettet. Luftporene som er tilsatt er også for store til kapillæreffekten.

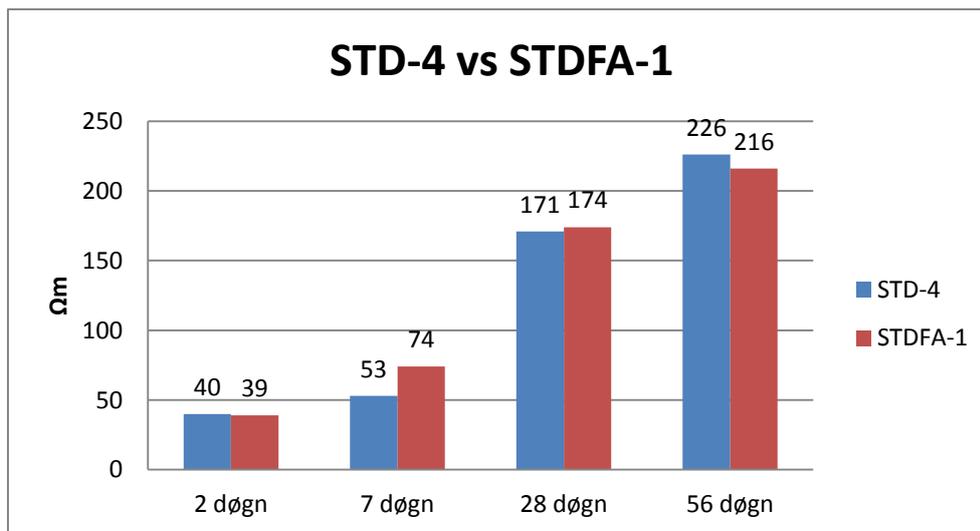
7.2 Elektrisk motstandsevne

Elektrisk motstandsevne ble målt ved 2,7,28 og 56 døgn. Prosedyren for måling er beskrevet i kapittel 4.4.

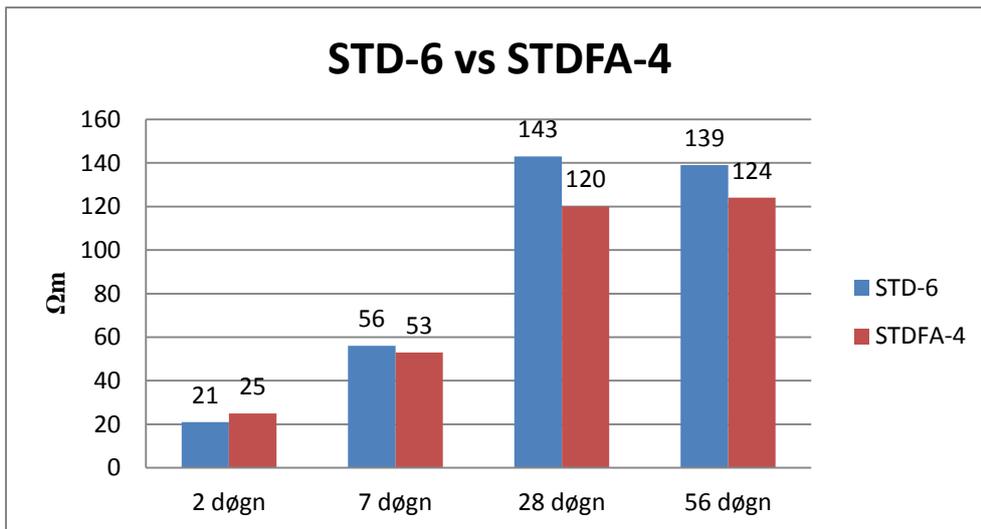
7.2.1 Effekt av sementtype

For å kunne sammenligne effekten av sementene ble det blandet 3 blandinger fra hver sementtype med lik mengde pozzolaner. Det forventes ingen eller liten forskjell i elektrisk motstandsevne på disse sementtypene.

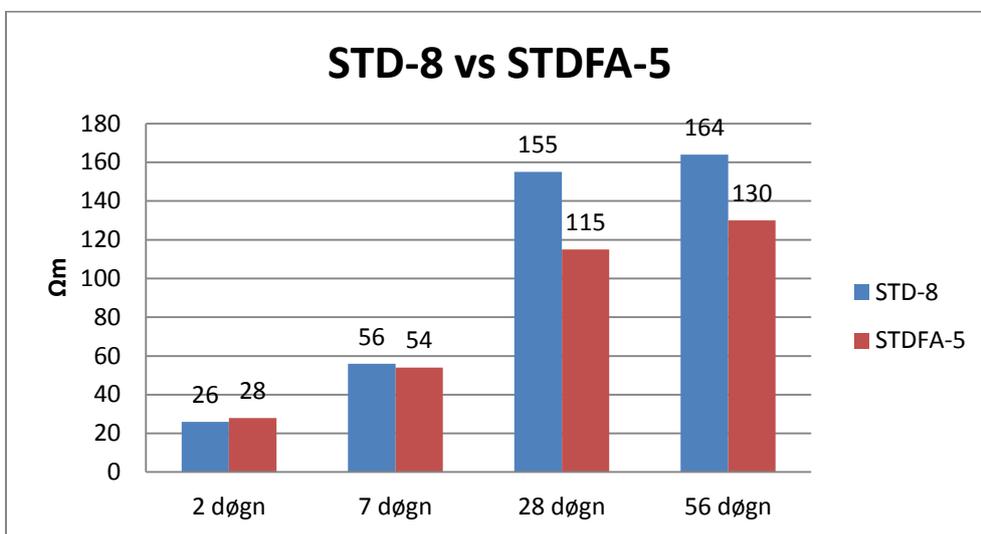
Resept	Sementtype	Flyveaske [%]	Silika[%]	Temp [°C]	Luft [%]
STD-4	Standardsement	20	5	20	2
STDFA-1	Standardsement FA	20	5	20	2
STD-6	Standardsement	50	5	20	2
STDFA-4	Standardsement FA	50	5	20	2
STD-8	Standardsement	50	5	20	4
STDFA-5	Standardsement FA	50	5	20	4



Figur 75 Sammenligning av elektrisk motstandsevne med forskjellige sementer med 20% FA og 5% SF.



Figur 76 Sammenligning av elektrisk motstandsevne med forskjellige sementer med 50% FA og 5% SF.



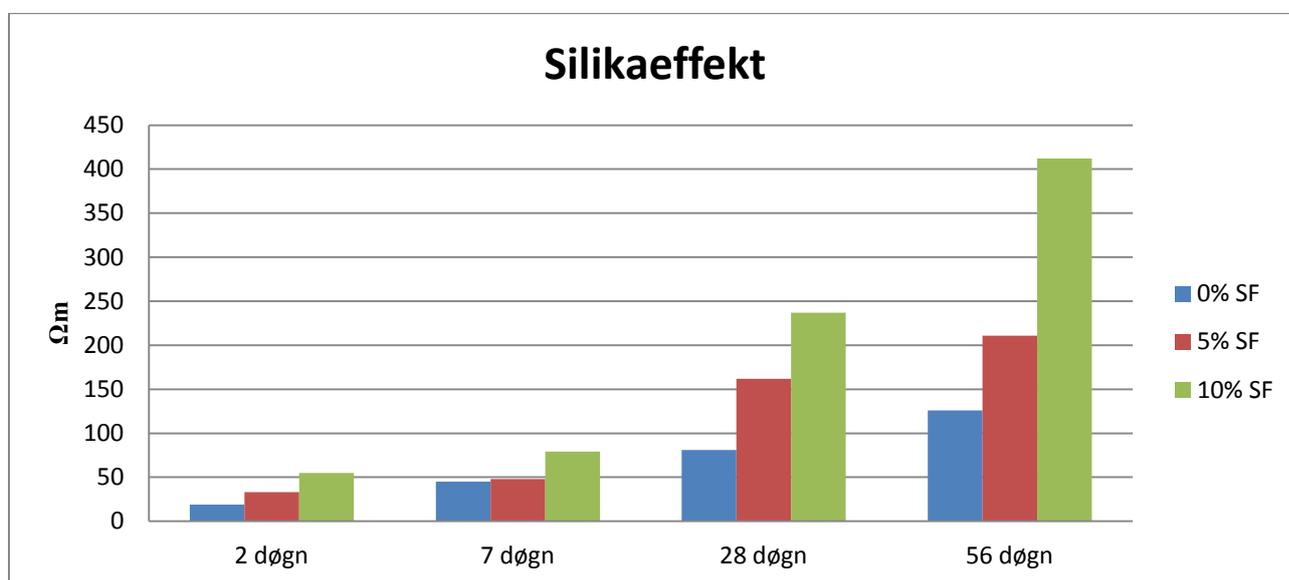
Figur 77 Sammenligning av elektrisk motstandsevne med forskjellige sementer med 50% FA og 5% SF og tilsatt luft.

Det er ingen stor forskjell mellom sementtypene, men standardsementen gir litt bedre elektrisk motstand enn standardsement FA. De er veldig like etter 7 dager, men etter det så drar standardsementen litt ifra. Det hadde vært spennende å se den videre utviklingen av elektrisk motstandsevne for å se om standardsementen fortsetter og å dra ifra, eller om de blir like etter hvert.

7.2.2 Effekt av silika

Resept	Sementtype	Flyveaske [%]	Silika[%]	Temp [°C]	Luft [%]
STD-1	Standardsement	0	0	20	2
STD-2	Standardsement	0	5	20	2
STD-3	Standardsement	0	10	20	2

Her ser vi en stor innvirkning av tilsetning av silika. Allerede etter 2 dager ser vi stor forskjell på elektrisk motstandsevne. Tilsetning av 10 % silika viste seg å være den med best elektrisk motstandsevne av samtlige blandinger som er herdet i 20°C. Også i kombinasjon med flyveaske så ga silika god effekt på elektrisk motstandsevne

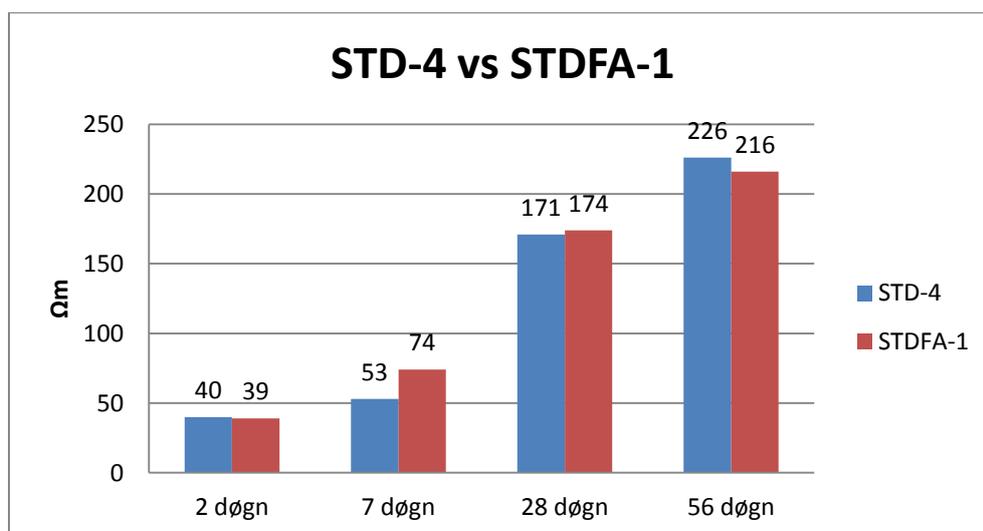


Figur 78 Sammenligning av elektrisk motstandsevne med forskjellige doseringer av silika.

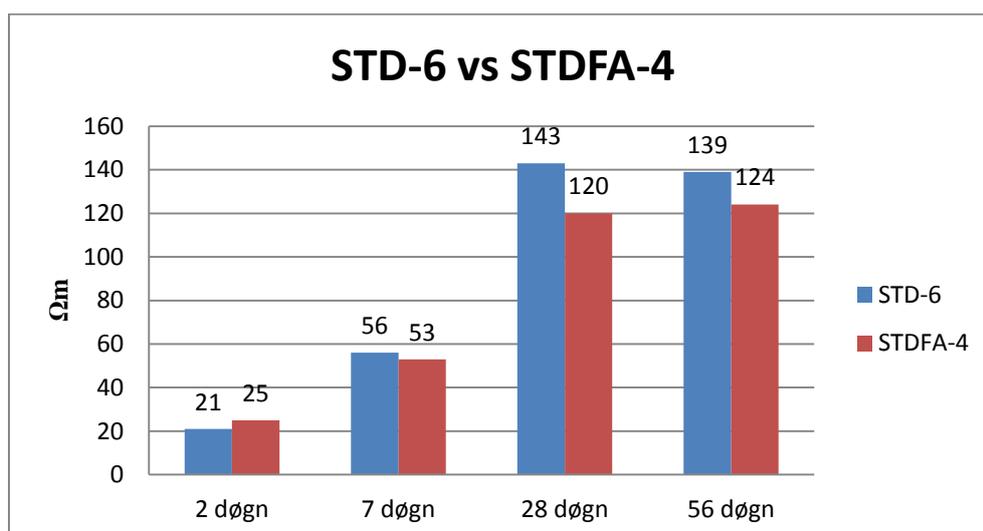
7.2.3 Effekt av flyveaske

Flyveaske har god innvirkning på elektrisk motstandsevne, men ikke så mye som silika i tidlig alder. Det vises i figur 55 og figur 56 at en økning av fra 20% til 50% flyveaske virker negativt på elektrisk motstandsevne. Dette kommer av som nevnt tidligere, at flyveasken trenger litt lengre tid for å få frem egenskapene sine.

Resultatene viser at reseptene som er tilsatt 50 % flyveaske har lavest elektrisk motstandsevne av samtlige som er tilsatt flyveaske. Sannsynligvis så vil denne trenden snu ved høyere alder på betongen.



Figur 79 Sammenligning av elektrisk motstandsevne med forskjellige sementer med 20% FA og 5% SF.



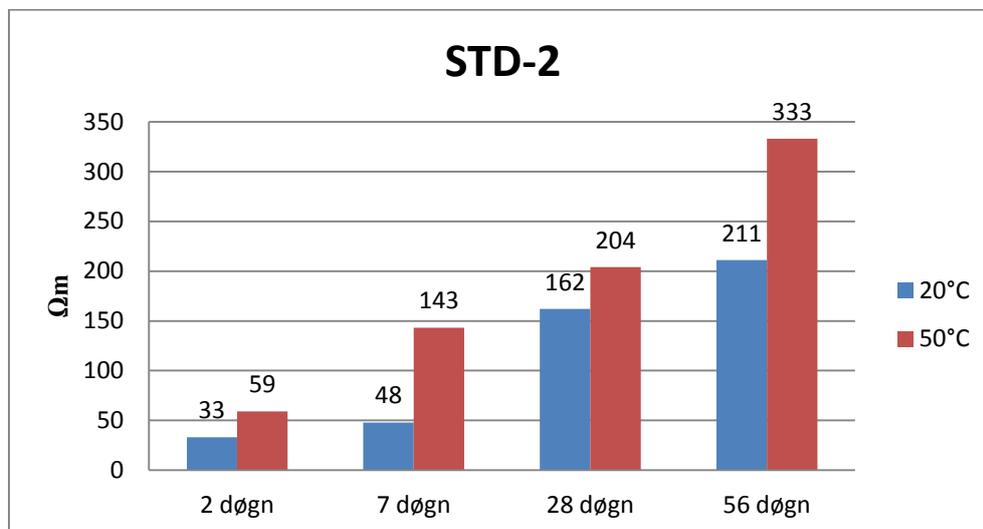
Figur 80 Sammenligning av elektrisk motstandsevne med forskjellige sementer med 50% FA og 5% SF.

7.2.4 Effekt av herdeforhold

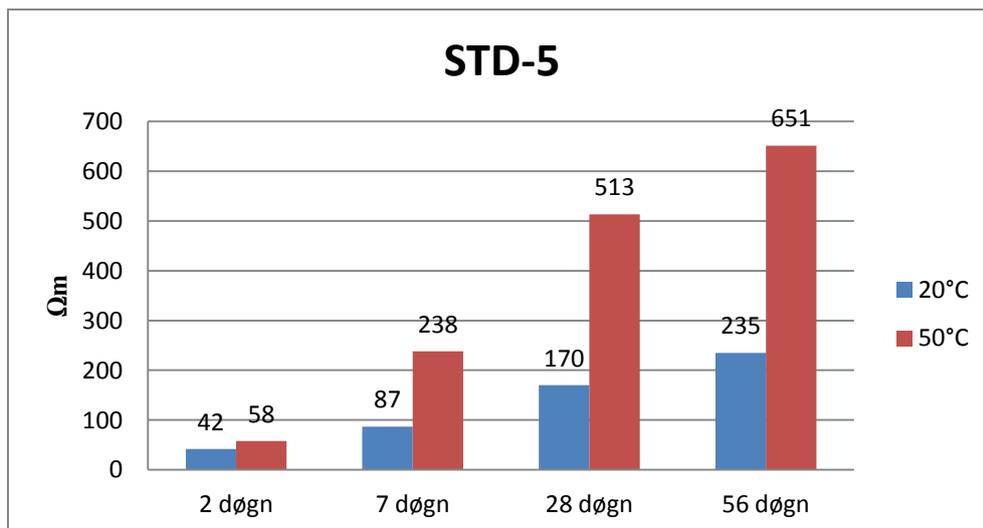
Det er 5 betongtyper som ble herdet under 20°C og 50°C. Dette ble utført for å fremskynde egenskapene til pozzolanene. Det er forventet at elektriske motstandevnen er mye høyere ved herding under 50°C. . Det har i kapittel 4.3 blitt beregnet modenhetsalder på betongen som er herdet i 50°C. Herding i 28 døgn i 50°C tilsvarer 100 døgn i 20°C.

Resept	Sementtype	Flyveaske [%]	Silika[%]	Temp [°C]	Luft [%]
STD-2	Standardsement	0	5	20	2
STD-2	Standardsement	0	5	50	2
STD-5	Standardsement	20	5	20	4
STD-5	Standardsement	20	5	50	4
STD-6	Standardsement	50	5	20	2
STD-6	Standardsement	50	5	50	2
STD-7	Standardsement	50	10	20	2
STD-7	Standardsement	50	10	50	2
STDFA-5	Standardsement FA	50	5	20	4
STDFA-5	Standardsement FA	50	5	50	4

Vi ser tydelig at utviklingen av elektrisk motstandsevne øker kraftig ved herding i 50 °C. Dette er fordi betongen har relativt sett en høyere alder i modenhetstimer.



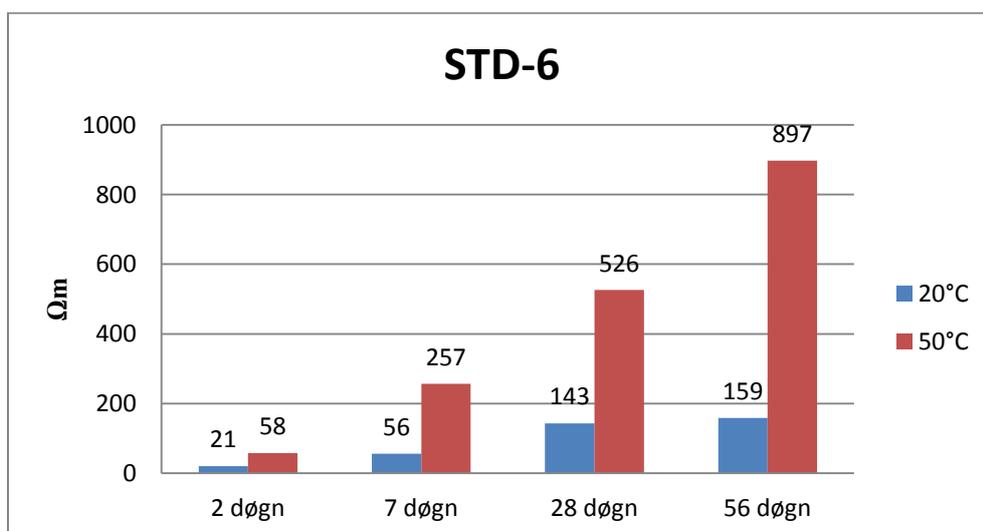
Figur 81 Sammenligning av elektrisk motstandsevne med forskjellige herdeforhold. (0% FA og 5% SF)



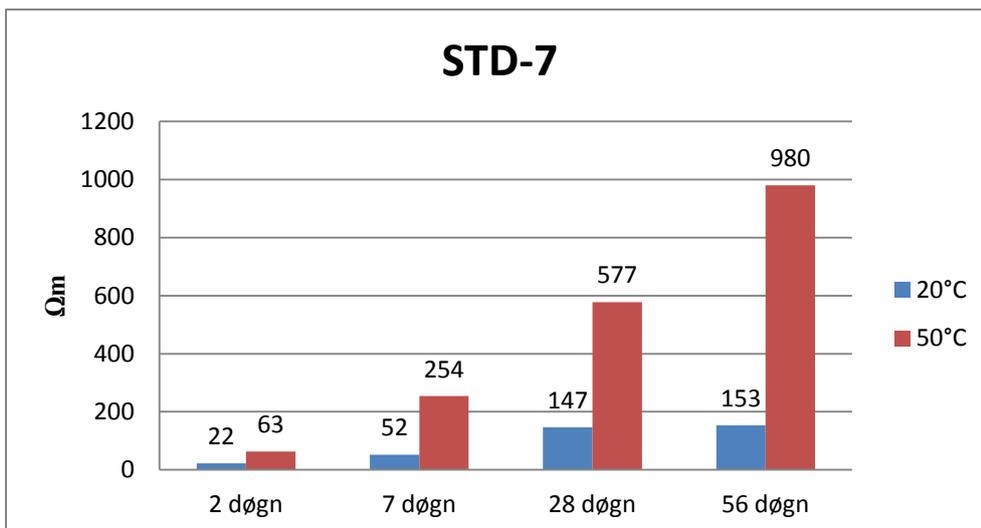
Figur 82 Sammenligning av elektrisk motstandsevne med forskjellige herdeforhold.(20% FA og 5% SF)

Vi ser at effekten av herding i 50°C blir større ved høyere mengde pozzolaner. Her er det 20% flyveaske og 5 % silika. Dette kan være fordi pozzolanene har stor betydning for elektrisk motstand, men dette ser man først når betongen får høyere alder.

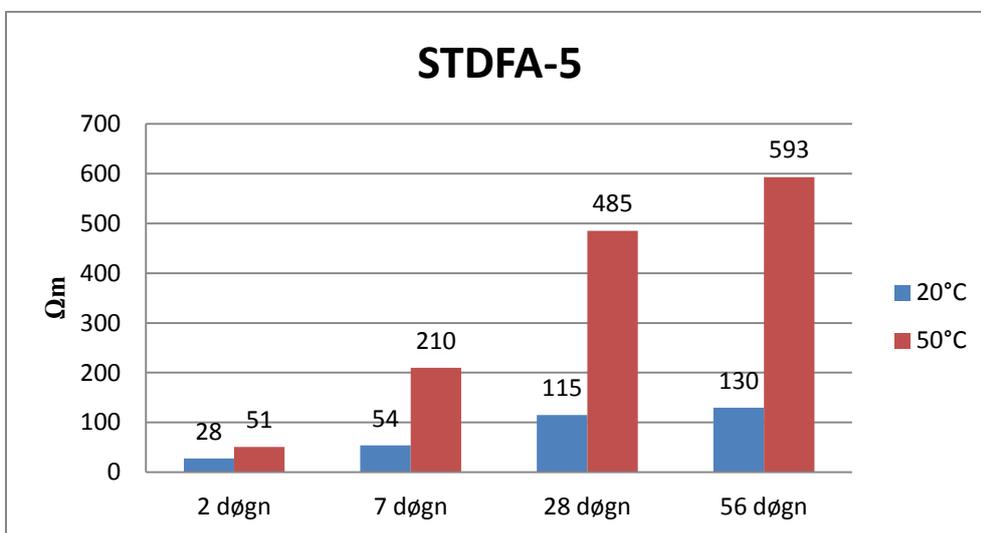
Disse tre resultatene utmerker seg veldig i elektrisk motstandsevne. Den høye herdetemperaturen får pozzolanene til å reagere mye raskere og oppnår høye verdier på elektrisk motstandsevne. De tre høyeste resultatene har alle til felles at de er tilsatt 50% flyveaske.



Figur 83 Sammenligning av elektrisk motstandsevne med forskjellige herdeforhold.(50% FA og 5% SF)



Figur 84 Sammenligning av elektrisk motstandsevne med forskjellige herdeforhold.(50% FA og 10% SF)



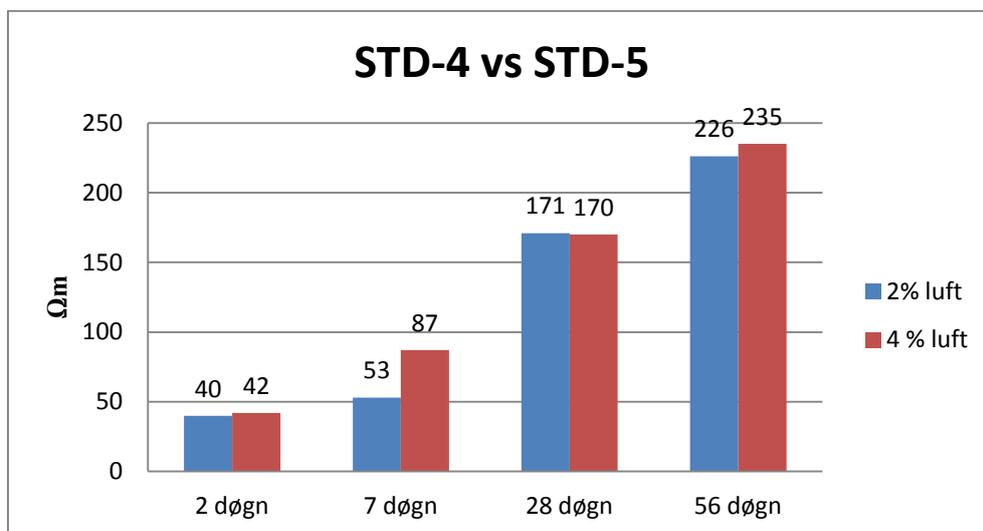
Figur 85 Sammenligning av elektrisk motstandsevne med forskjellige herdeforhold.(50% FA og 5% SF med tilsatt luft)

I figur 81-85 ser vi betydningen av alder på pozzolan effekten. Alle sammenligningene er samme type betong, med forskjellige modenhetsalder.

7.2.5 Effekt av luftinnhold

Luftinnholdet i betong har svært liten effekt på elektrisk motstandsevne. Her er 2 resepter som er like, men forskjellig luftinnhold. Den lille forskjellen i elektrisk motstandsevne vi ser her er neglisjerbar.

Resept	Sementtype	Flyveaske [%]	Silika[%]	Temp [°C]	Luft [%]
STD-4	Standardsement	20	5	20	2
STD-5	Standardsement	20	5	20	4



Figur 86 Sammenligning av elektrisk motstandsevne med forskjellig luftinnhold.

7.3 Trykkfasthet

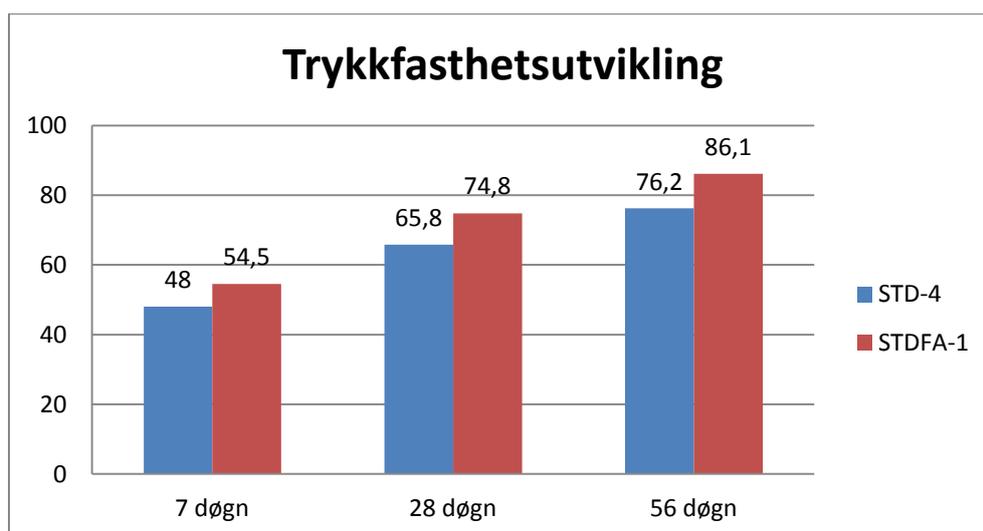
Trykkfastheten ble målt ved 7, 28 og 56 døgn med et gjennomsnitt av 2 terninger på 100x100mm.

7.3.1 Effekt av sementtype

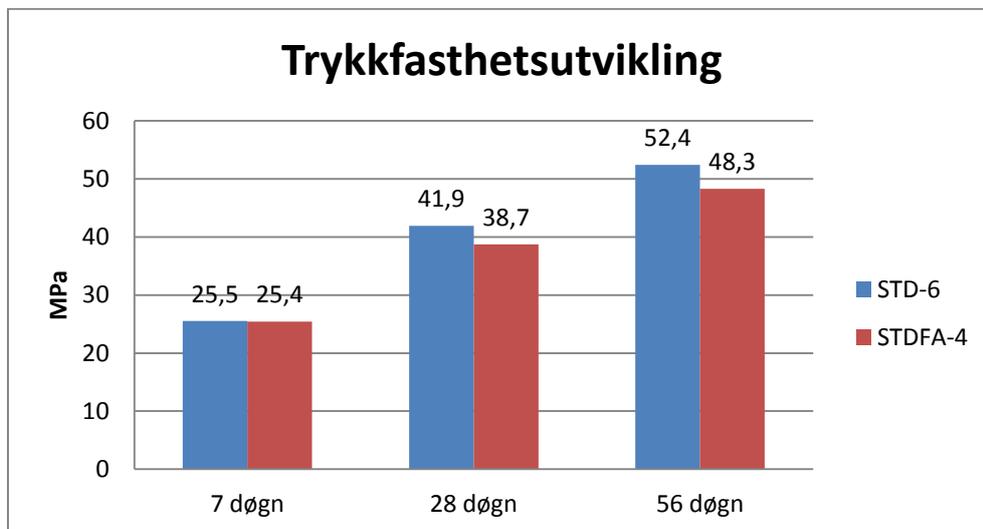
Ifølge databladene til Norcem Standardsement og Norcem Standardsement FA skal fasthetsutviklingen være like etter 7 og 28 dager. For å kunne sammenligne effekten av sementene ble det blandet 3 blandinger fra hver sementtype med lik mengde pozzolaner. Ut ifra forventningen skal det ikke være stor forskjell på fasthetsutviklingen. Standardsement FA har en større finhet (blaine) enn standardsement for å kompensere for flyveaskeinnholdet, men ettersom det har blitt tilsatt tilsvarende mengde flyveaske i standardsementen, så forventes det litt større tidligfasthet på standardsement FA.

Her er reseptene det er aktuelt å sammenligne.

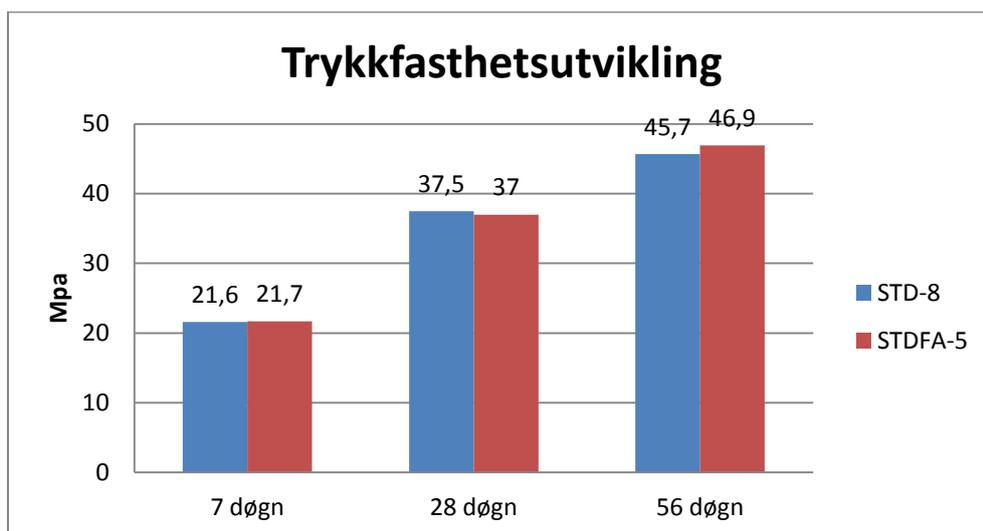
Resept	Sementtype	Flyveaske [%]	Silika[%]	Temp [°C]	Luft [%]
STD-4	Standardsement	20	5	20	2
STDFA-1	Standardsement FA	20	5	20	2
STD-6	Standardsement	50	5	20	2
STDFA-4	Standardsement FA	50	5	20	2
STD-8	Standardsement	50	5	20	4
STDFA-5	Standardsement FA	50	5	20	4



Figur 87 Sammenligning av trykkfasthetsutviklingen med 20% FA og 5% SF.



Figur 88 Sammenligning av trykkfasthetsutviklingen på med 50% FA og 5% SF.



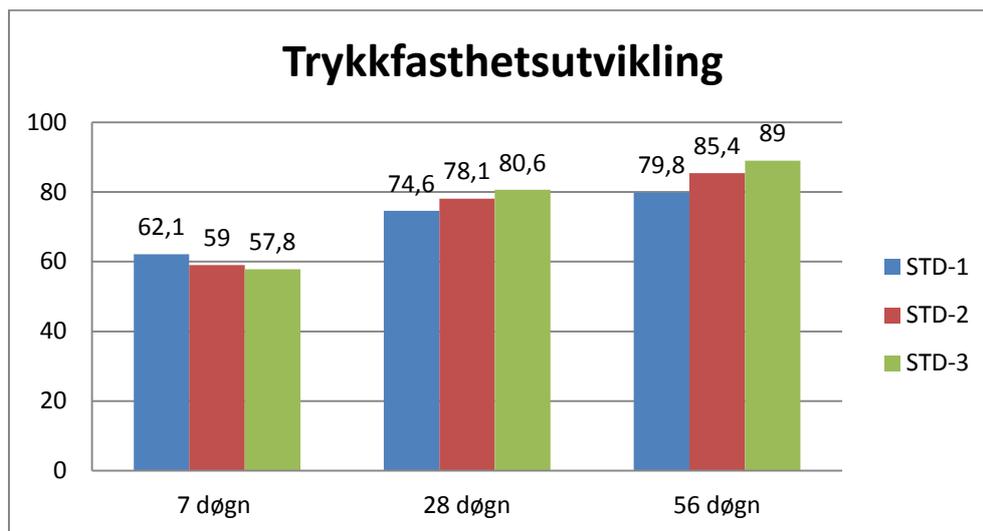
Figur 89 Sammenligning av trykkfasthetsutviklingen med 20% FA og 5% SF og tilsatt luft.

Vi ser at det er forskjeller mellom trykkfasthetene, men hverken standardsement eller standardsement FA skiller seg noe ut. De forskjellene som ses her kommer kan komme av forskjell i utstøping og unøyaktig fuktprosent i tilslag. Vi kan ut ifra disse resultatene konkludere med at sementtypen ikke har stor innvirkning på trykkfastheten. Også utviklingen av fastheten ser ut til å være like.

7.3.2 Effekt av silika

Her er 3 resepter det er aktuelt å se på silikaeffekt.

Resept	Sementtype	Flyveaske [%]	Silika[%]	Temp [°C]	Luft [%]
STD-1	Standardsement	0	0	20	2
STD-2	Standardsement	0	5	20	2
STD-3	Standardsement	0	10	20	2



Figur 90 Sammenligning av trykkfasthetsutviklingen med forskjellige tilsetninger av silika.

Silikastøv gir som forventet høyere trykkfasthet etter 28 dager, men tidligfastheten er noe lavere. STD-3 som er tilsatt 10 % silika gir høyest trykkfasthet av alle reseptene etter 28 og 56 dager.

Når silika ble kombinert med 50% flyveaske viste det seg at 10 % silika ga lavere trykkfasthet enn de som er tilsatt 5 % silika.

7.3.3 Effekt av flyveaske

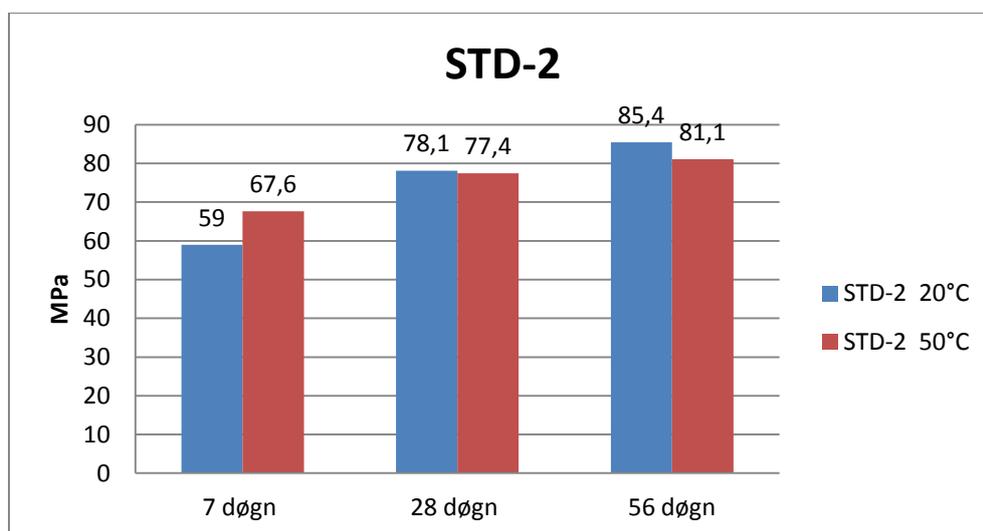
Flyveaske gir treg fasthetsutvikling som forventet. Alle de reseptene som ble dosert 50 % flyveaske fikk lavest trykkfasthet ved 7, 28 og 56 døgner. Det var ingen resepter med kun flyveaskeerstatning, men en dosering over 20 % med flyveaske gir veldig treg fasthetsutvikling.

7.3.4 Effekt av herdetemperatur

Det er 5 betongtyper som ble herdet under 20°C og 50°C. Dette ble utført for å fremskynde egenskapene til pozzolanene.

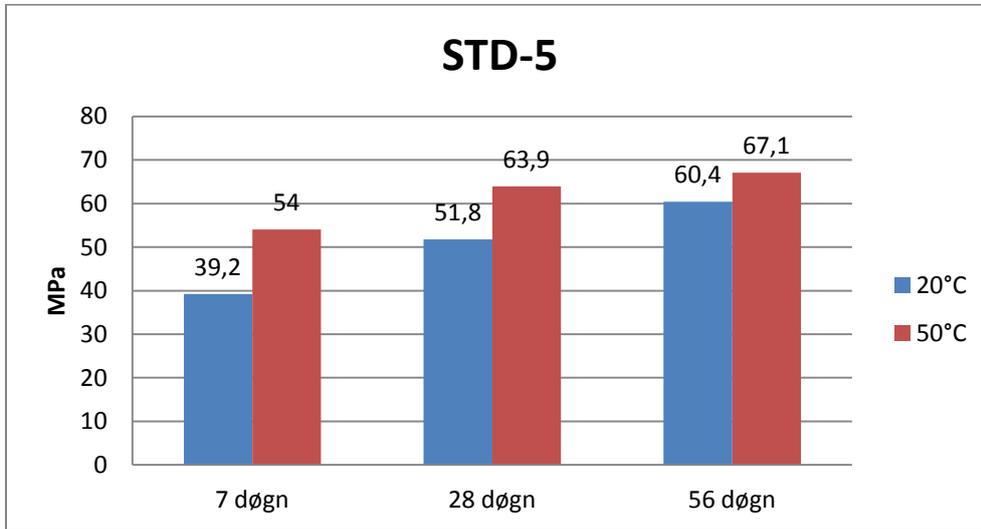
Resept	Sementtype	Flyveaske [%]	Silika[%]	Temp [°C]	Luft [%]
STD-2	Standardsement	0	5	20	2
STD-2	Standardsement	0	5	50	2
STD-5	Standardsement	20	5	20	4
STD-5	Standardsement	20	5	50	4
STD-6	Standardsement	50	5	20	2
STD-6	Standardsement	50	5	50	2
STD-7	Standardsement	50	10	20	2
STD-7	Standardsement	50	10	50	2
STDFA-5	Standardsement FA	50	5	20	4
STDFA-5	Standardsement FA	50	5	50	4

Her er en meget interessant trykkfasthetsutvikling. Dette er akkurat samme type betong som er fra samme blanding. Det gjelder alle blandinger som er lagret i 20 og 50 grader. Etter 7 døgn er alt som forventet, men etter 28 dager så har betongen som er lagret i 20 grader høyere trykkfasthet enn den som er lagret i 50 grader. Denne resepten er tilsatt 5 % silika og ingen flyveaske. De andre reseptene som har herdet under forskjellige temperaturer er tilsatt både flyveaske og silika, og de har som forventet høyere trykkfasthet hele veien. Dette kan være en tilfeldighet, og det hadde vært interessant å gjøre samme forsøk på nytt.

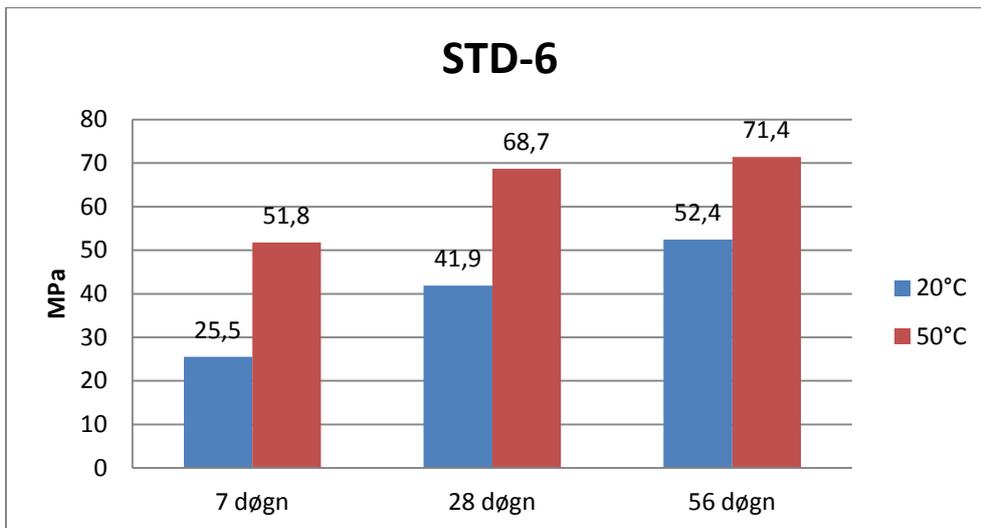


Figur 91 Sammenligning av trykkfasthetsutviklingen med forskjellige herdeforhold og 0% FA og 5% SF.

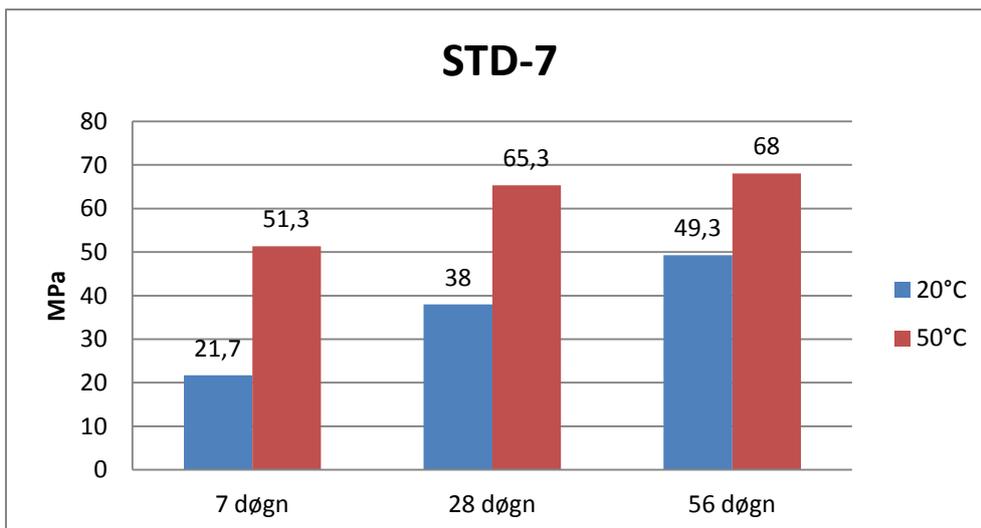
Her er resultatene som svarer til forventningene:



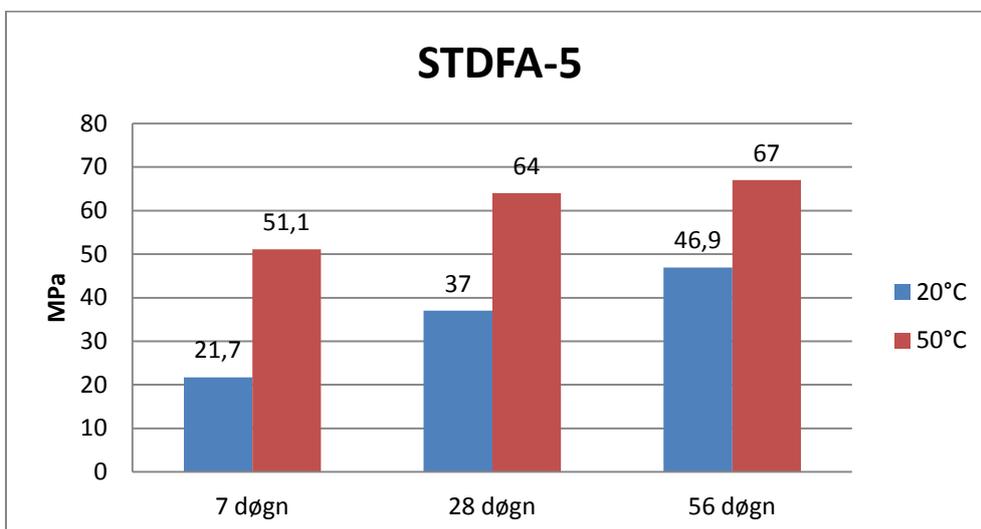
Figur 92 Sammenligning av trykkfasthetsutviklingen med forskjellige herdeforhold og 20% FA og 5% SF og tilsatt luft.



Figur 93 Sammenligning av trykkfasthetsutviklingen med forskjellige herdeforhold og 50% FA og 5% SF.



Figur 94 Sammenligning av trykkfasthetsutviklingen med forskjellige herdeforhold og 0% FFA og 10% SF.



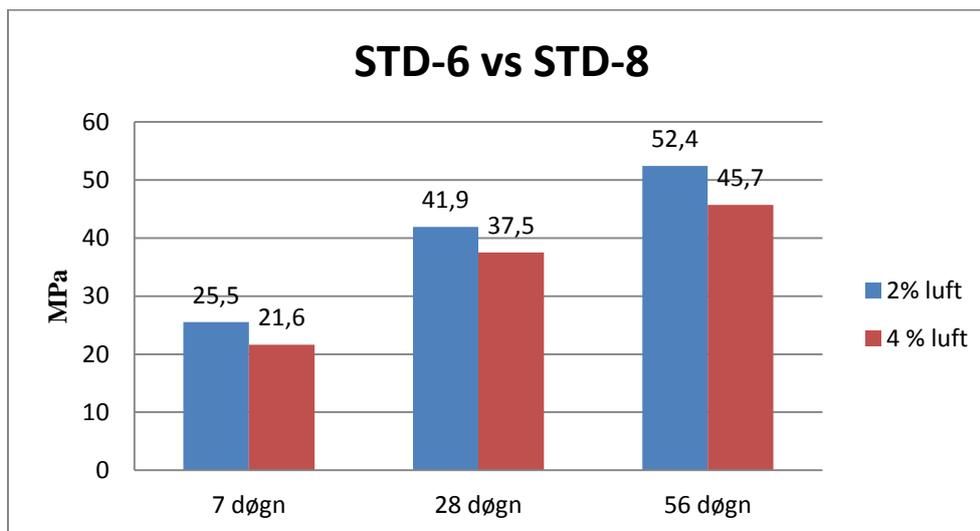
Figur 95 Sammenligning av trykkfasthetsutviklingen med forskjellige herdeforhold og 50% FA og 5% SF og tilsatt luft.

En rask tidligfasthet var forventet ved høyere herdetempertur, men differansen ved 28 og 56 døgn er overaskende stor. Betongen som er lagret i 20°C vil nok oppnå samme trykkfasthet etter hvert, men hvor lang tid det vil ta er uvisst.

7.3.5 Effekt av luftinnhold

Effekten av luftinnhold ga som forventet lavere trykkfasthet. Ca 10 % lavere trykkfasthet på de som er tilført luft i forhold til de som har naturlig luftinnhold.

Resept	Sementtype	Flyveaske [%]	Silika[%]	Temp [°C]	Luft [%]
STD-6	Standardsement	50	5	20	2
STD-8	Standardsement	50	5	20	4



Figur 96 Sammenligning av trykkfasthetsutviklingen med forskjellige herdeforhold.

7.4 Feilkilder

Elektrisk motstandsevne

Målingen av elektrisk motstandsevne viste seg å være veldig avhengig av fukt på terningen. Om terningen lufttørket noen minutter for lenge så ga dette store utslag i resultatene. Dette gjelder spesielt terningene som er lagret i 50 grader. Etter overflatetørkingen av disse må det måles og avleses fort før terningen ble helt tørr. Ved noen av testene ble det kontrollmålt etter at terningen hadde tørket en time, og det ga helt andre resultater som ble målt med overflatefukt.

8 Konklusjon

Ut ifra laboratorieundersøkelsene kan det konkluderes at det er god sammenheng mellom forventningene basert på teorien som er beskrevet i oppgaven og resultatene som oppnådd. Det var totalt 5 parametre som varierte i betongen, og samtlige av de 19 forskjellige betongvariantene ble analysert for kloridinntrenging, elektrisk motstandsevne og trykkfasthetsutvikling.

Effektene av parametrene er:

1. Silika

- Meget god motstand mot kloridinntrenging.
- Høyere trykkfasthet ved 28 døgn.
- Stor økning av elektrisk motstandsevne.

Silika gir effekt på betongens egenskaper på 28 døgn.

2. Flyveaske

- God motstand mot kloridinntrenging.
- Lav trykkfasthetsutvikling (veldig lav ved 50% flyveaske).
- Økt elektrisk motstandsevne.

28 døgn i normale herdebetingelser er for lav alder til vise de gode egenskapene flyveaske. Når betongen herdet i 50°C så ser man mer tydelig effekten av flyveaske.

3. Sementtype

- Lavere motstand mot kloridinntrenging på sementen som er tilsatt flyveaske ved produksjon(Standardsement FA).
- Neglisjerbar forskjell i trykkfasthet.
- Neglisjerbar forskjell i elektrisk motstandsevne.

Grunnen til lavere motstand mot kloridinntrenging ved bruk av Standardsement FA kan være at det er en annen type flyveaske som er tilsatt under produksjon enn den som er tilsatt under blanding. Det er også høyere blainefinhet på sementkornene til Standardsement FA i forhold til Standardsement for å kompensere den trege utviklingen av fastheten til flyveaske.

4. *Luftinnhold*

- Litt bedre motstand mot kloridinntrenging ved å øke fra 2% naturlig luft til 4% tilført luft.
- Neglisjerbar forskjell i elektrisk motstandsevne.
- Ca 10% lavere trykkfasthet med 2% økning av luftinnhold.

Grunnen til bedre motstand mot kloridinntrenging er at det blir bedre porestruktur og finere luftporer når det blir tilsatt luft. Det er som sagt tidligere i oppgaven lite forskning på dette området, men om disse resultatene gjentar seg så vil det uten tvil lønne seg å tilsette luft. Det står i databladet til det lufttilførende stoffet at den vil øke vanntettheten, og det stemmer overens med resultatene.

5. *Herdeforhold*

- Meget høy motstand mot kloridinntrenging ved 28 dagers herding i 50°C før eksponering av NaCl-løsningen.
- Høy herdetemperatur gjorde det lett å se innvirkingen av flyveaske.
- Meget høy økning i elektrisk motstandsevne ved 50°C.
- Veldig rask tidligfasthet og generelt høy trykkfasthet i forhold til herding i 20°C
- Det var en resept(STD-2) som skilte seg veldig ut ved herding i 50°C. Denne er kun tilsatt 5% silika og fikk lavere trykkfasthet etter 28 dager og lavere motstand mot kloridinntrenging enn tilsvarende betong som er herdet i 20°C.

Hvis vi antar at økt herdetemperatur er fremskynding av tid, så lønner det seg med store mengder pozzolaner for å få en kloridbestandig betong. Et herdeforhold i 50°C i 28 døgn tilsvarer 100 døgn i 20°C. Resepten med høyest dosering av pozzolaner (50%FA og 10% SF) fikk best resultater av alle på motstand mot kloridinntrenging og elektrisk motstandsevne ved herding i 50°C.

Blandingssementer gir økt motstand mot kloridinntrenging og økt elektrisk motstandsevne, men dette bør også vurderes opp mot negative konsekvenser som redusert fasthetsutvikling.

9 Referanser

- [1] Birger Sjøpler. Betongboka. 2. utgave, 1.opplag. Gyldendal Norsk Forlag AS 2004
- [2] Magne Maage, TKT 4215 Concrete Technology 1, 2010
- [3] Ueli Angst, Kritisk kloridinnhold i betong, 2010
- [4] Odd E. Gjørsv, Armeringskorrosjon og produksjon av mere bestandige betongkonstruksjoner, 1993
- [5] Norsk havneingeniørforening, Bestandige betongkaier, 2004
- [6] COIN-Concrete Innovatoin Centre SINTEF, Levetidsprosjektering av betongkonstruksjoner i marint miljø, 2008
- [7] Statens vegvesen, Overflatebehandling av betong, FoU-prosjektet Kai Sjursøya, 2009
- [8] SINTEF Byggforsk, KS 14-05-04-108 Kloridanalyse-spektrofotometer, 2007
- [9] Sigrun Kjør Bremseth, COIN-Concrete Innovatoin Centre SINTEF, Fly ash in concrete, 2010
- [10] Tuutti, K. CBI-rapport Fo4, Cement och betonginstitutet. Stockholm, 1982
- [11] Byggforskserien,Armeringskorrosjon 520.061,2009
- [12] PIANC Norge havneingeniørforening, Bestandige betongkaier, 2009
- [13] Dag Vollset, Luft i betong, 2010
- [14] Norcem, God betong er bestandig, 2008
- [15] Rescon Mapei, Betongrehabilitering,2007
- [16] Pål Gjerp, Morten Opsahl, Sverre Smeplass, Grunnleggende betongteknologi 2utg, 2005
- [17] Jan Magnus Østvik, Statens vegvesen: Nedbrytingsmekanismer, reparasjon og vedlikehold av betongkonstruksjoner, 2011
- [18] Eva Rodum, Statens vegvesen: Overflatebehandling av betong
- [19] <http://www.heidelbergcement.com/no/no/norcem/semmenttyper/standardsement.htm>
- [20] http://www.heidelbergcement.com/no/no/norcem/semmenttyper/standard_fa.htm
- [21] <http://no.wikipedia.org/wiki/Flyveaske>
- [22] http://www.mapei.com/public/NO/products/dynamon_sx-n_no.pdf
- [23] <http://finnfjord.no/silika>
- [24] <http://www.smoerholm.no/article/?cat=1082>

- [25] <http://www.denka.se/eng/denzai/product/image/1233259672-334eed19.jpg>
- [26] <http://canadawide.ca/images/products/previews/92060-02.jpg>
- [27] <http://www.epccn.com/System/Upload/product/20091122856b.JPG>
- [28] <http://www.byggutengrenser.no/fordeler/tetthet-er-hovedparameter>
- [29] http://www.vegvesen.no/s/vegnormaler/hb/014/Gamle_filer/14.62/014-621.pdf
- [30] COIN, Kloriddiffusjon i betong. Vurdering av aldringseffekten ved feltekspnering, 2009
- [31] Chang-Hong Lee, Factors influencing chloride transport in concrete structures exposed to marine environments, 2008
- [32] Ueli Angst, Øystein Vennesland, COIN Critical chloride content, 2007
- [33] SINTEF , Simulering av betongen herdeforløp 520.030, 2011

10 Vedlegg

Innholdsfortegnelse

Vedlegg A - Tilslagsgradering

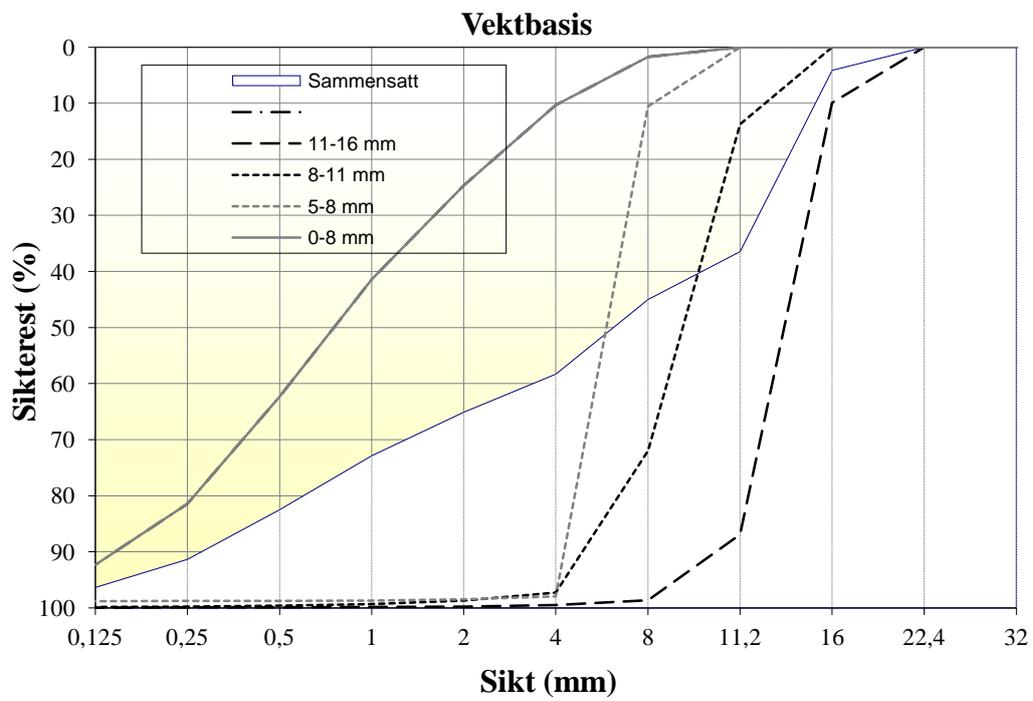
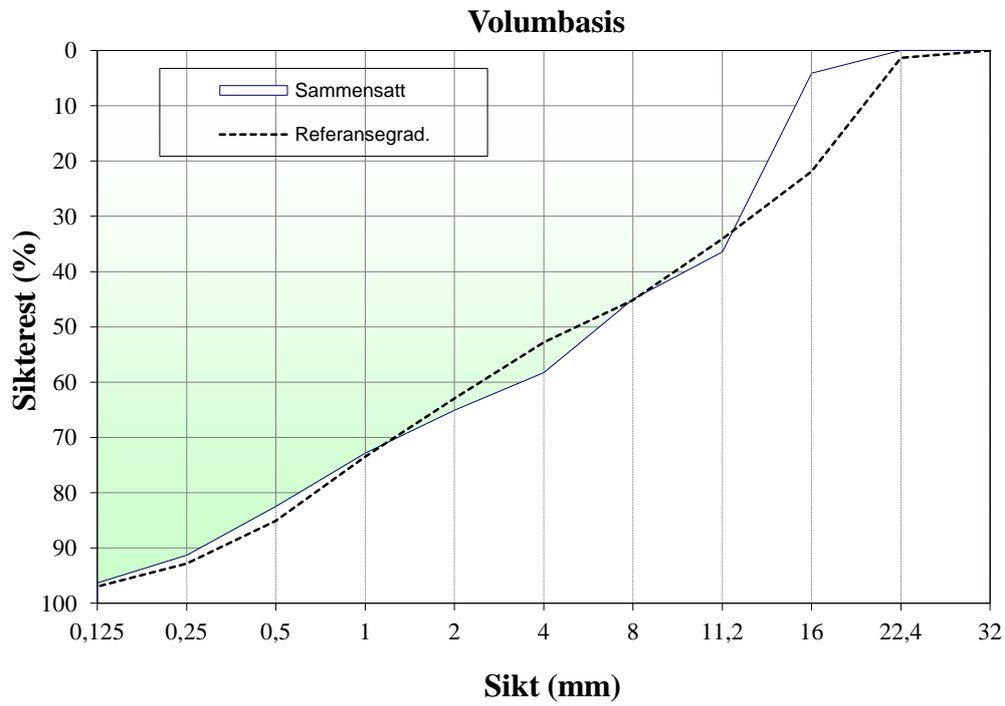
Vedlegg B - Betongresepter

Vedlegg C- Trykkfasthetsresultater

Vedlegg D- Datablad

Vedlegg E- Standarder

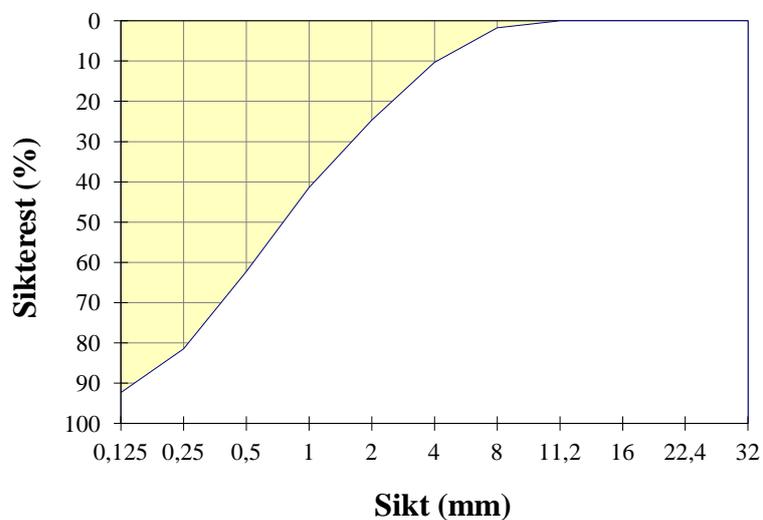
Vedlegg A- Tilslagsgradering



Fraksjon I

Type:	0-8 mm
Dato:	05.02.2012
FM =	2,68

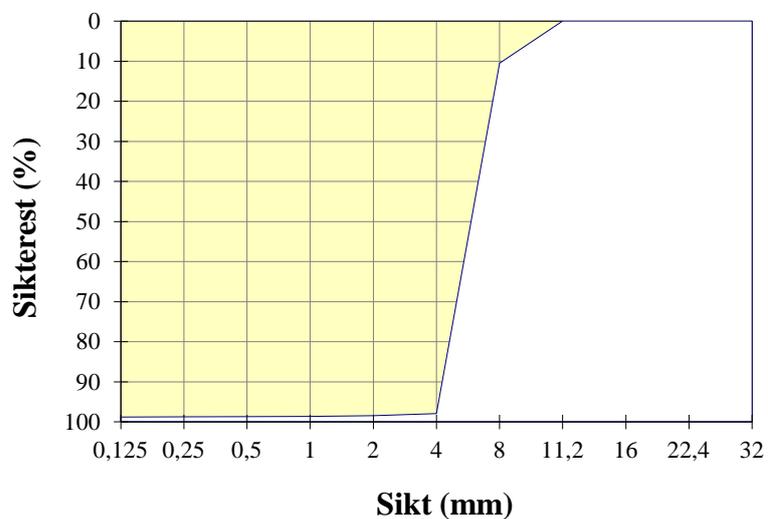
Åpning	Sikterest (g)		Sikterest (%)
	1	2	
32	0	0	0,0
22,4	0	0	0,0
16	0	0	0,0
11,2	0	0	0,0
8	9	9	1,7
4	53,4	53,4	10,3
2	127,5	127,5	24,7
1	214	214	41,4
0,5	321,8	321,8	62,3
0,25	420,9	420,9	81,5
0,125	477	477	92,3
Bunn	517	517	



Fraksjon II

Type:	5-8 mm
Dato:	05.02.2012
FM =	5,53

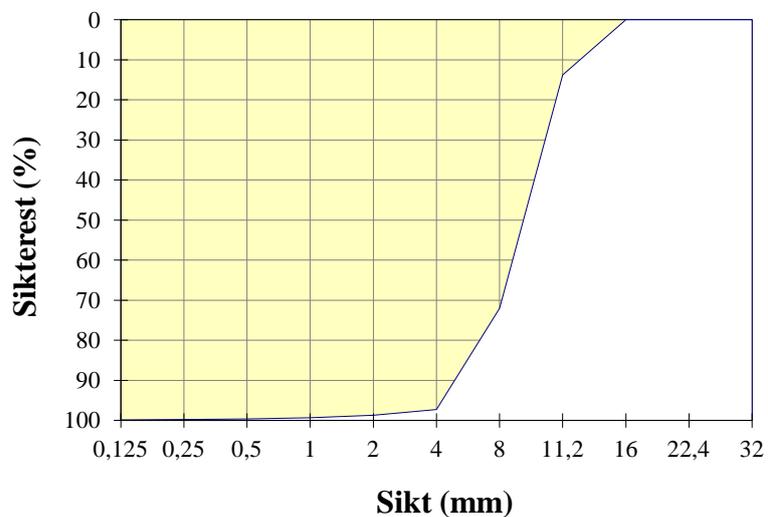
Åpning	Sikterest (g)		Sikterest (%)
	1	2	
32	0	0	0,0
22,4	0	0	0,0
16	0	0	0,0
11,2	0	0	0,0
8	53	53	10,5
4	489	489	98,0
2	492	492	98,5
1	493	493	98,7
0,5	493	493	98,7
0,25	493	493	98,8
0,125	494	494	98,8
Bunn	499	499	



Fraksjon III

Type:	8-11 mm
Dato:	05.02.2012
FM =	6,17

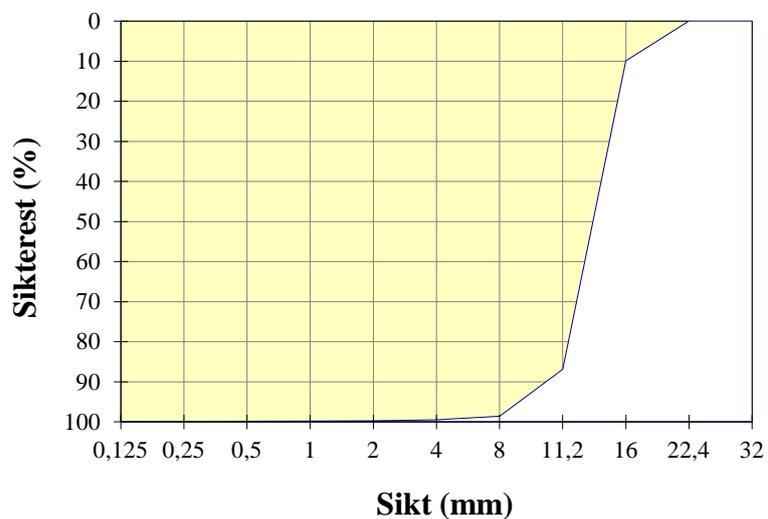
Åpning	Sikterest (g)		Sikterest (%)
	1	2	
32	0	0	0,0
22,4	0	0	0,0
16	0	0	0,0
11,2	68,6	68,6	13,8
8	358,9	358,9	72,0
4	485	485	97,3
2	492	492	98,7
1	495	495	99,3
0,5	497	497	99,6
0,25	497	497	99,8
0,125	498	498	99,9
Bunn	498	498	



Fraksjon IV

Type:	11-16 mm
Dato:	05.02.2012
FM =	6,58

Åpning	Sikterest (g)		Sikterest (%)
	1	2	
32	0	0	0,0
22,4	0	0	0,0
16	49,9	49,9	10,0
11,2	436	436	86,9
8	494,7	494,7	98,6
4	499,1	499,1	99,5
2	500,4	500,4	99,8
1	500,7	500,7	99,8
0,5	500,9	500,9	99,9
0,25	501,1	501,1	99,9
0,125	501	501	99,9
Bunn	502	502	



Vedlegg B- Betongresepter

Prosj./id.: **STD-1**

Blandevolum:	35 liter
Dato:	08.feb
Tidspunkt for vanntilsetning	15:30
Ansvarlig:	Jostein Sindsen
Utført av:	Jostein Sindsen

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Standardsement	417,5	14,613			14,613	
Silika	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
Flygeaske	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
Fritt vann	167,0	5,845		-0,703	5,142	5,567
Absorbent vann	12,1	0,425			0,425	
0-8 mm	838,0	29,332	0,3	0,088	29,420	
5-8 mm	169,8	5,942	0,3	0,018	5,960	
8-11 mm	60,1	2,105	1,8	0,037	2,142	
11-16 mm	754,5	26,408	1,8	0,465	26,872	
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Dynamon SX-N	3,3	0,117	81,5	0,095	0,117	
Lufttilførende stoff	0,0	0,000	91	0,000	0,000	
	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
Stålfiber	0,0	0,000			0,000	
PP-fiber	0,0	0,000			0,000	

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

** NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål	19				
Utbredelsesmål					
Luft	2				
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger					
150x300 sylindre	1				
100x200 sylindre					
100x100 Terninger	6				

Prosj./id.: **STD-2**

Blande volum:	35 liter
Dato:	08.feb
Tidspunkt for vanntilsetning	20:00
Ansvarlig:	Jostein Sindsen
Utført av:	Jostein Sindsen

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Standardsement	384,0	13,439			13,439
Silika	19,2	0,672	0	0,000	0,672
Flygeaske	0,0	0,000	0	0,000	0,000
Fritt vann	168,9	5,913		-0,701	5,212
Absorbent vann	12,1	0,425			0,425
0-8 mm	838,0	29,332	0,3	0,088	29,420
5-8 mm	169,8	5,942	0,3	0,018	5,960
8-11 mm	60,1	2,105	1,8	0,037	2,142
11-16 mm	754,5	26,408	1,8	0,465	26,872
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Dynamon SX-N	3,3	0,114	81,5	0,093	0,114
Lufttilførende stoff	0,0	0,000	91	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
Stålfiber	0,0	0,000			0,000
PP-fiber	0,0	0,000			0,000

5,637

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

** NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål	18				
Utbredelsesmål					
Luft	2,1				
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger	12				
150x300 sylindre	2				
100x200 sylindre					
100x100 Terninger					

Prosj./id.: **STD-3**

Blande volum:	35 liter
Dato:	10.feb
Tidspunkt for vanntilsetning	17:30
Ansvarlig:	Jostein Sindsen
Utført av:	Jostein Sindsen

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Standardsement	355,4	12,440			12,440
Silika	35,5	1,244	0	0,000	1,244
Flygeaske	0,0	0,000	0	0,000	0,000
Fritt vann	170,6	5,971		-0,477	5,494
Absorbent vann	12,1	0,425			0,425
0-8 mm	838,0	29,332	0,3	0,088	29,420
5-8 mm	169,8	5,942	0,3	0,018	5,960
8-11 mm	60,1	2,105	1,0	0,021	2,126
11-16 mm	754,5	26,408	1,0	0,264	26,672
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Dynamon SX-N	3,0	0,106	81,5	0,086	0,106
Lufttilførende stoff	0,0	0,000	91	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
Stålfiber	0,0	0,000			0,000
PP-fiber	0,0	0,000			0,000

5,919

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

** NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål	17				
Utbredelsesmål					
Luft	2,1				
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger					
150x300 sylindre	1				
100x200 sylindre					
100x100 Terninger	6				

Prosj./id.: **STD-4**

Blande volum:	35 liter
Dato:	10.feb
Tidspunkt for vanntilsetning	18:30
Ansvarlig:	Jostein Sindsen
Utført av:	Jostein Sindsen

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Standardsement	298,2	10,436			10,436
Silika	14,9	0,522	0	0,000	0,522
Flygeaske	78,4	2,745	0	0,000	2,745
Fritt vann	162,6	5,690		-0,467	5,222
Absorbent vann	12,1	0,425			0,425
0-8 mm	838,0	29,332	0,3	0,088	29,420
5-8 mm	169,8	5,942	0,3	0,018	5,960
8-11 mm	60,1	2,105	1,0	0,021	2,126
11-16 mm	754,5	26,408	1,0	0,264	26,672
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Dynamon SX-N	2,7	0,094	81,5	0,077	0,094
Lufttilførende stoff	0,0	0,000	91	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
Stålfiber	0,0	0,000			0,000
PP-fiber	0,0	0,000			0,000

5,647

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

** NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål	18				
Utbredelsesmål					
Luft	2,5				
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger					
150x300 sylindre					
100x200 sylindre					
100x100 Terninger					

Prosj./id.: **STD-5**

Blande volum:	35 liter
Dato:	13.feb
Tidspunkt for vanntilsetning	11:30
Ansvarlig:	Jostein Sindsen
Utført av:	Jostein Sindsen

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Standardsement	298,1	10,434			10,434
Silika	14,9	0,522	0	0,000	0,522
Flygeaske	78,4	2,744	0	0,000	2,744
Fritt vann	162,5	5,689		-0,691	4,998
Absorbent vann	11,8	0,412			0,412
0-8 mm	813,4	28,469	0,3	0,085	28,554
5-8 mm	164,8	5,767	0,3	0,017	5,784
8-11 mm	58,4	2,043	1,8	0,037	2,080
11-16 mm	732,3	25,631	1,8	0,461	26,092
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Dynamon SX-N	2,8	0,099	81,5	0,081	0,099
Lufttilførende stoff	0,3	0,010	91	0,009	0,010
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
Stålfiber	0,0	0,000			0,000
PP-fiber	0,0	0,000			0,000

5,410

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

** NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål	18				
Utbredelsesmål					
Luft	7				
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger	6				
150x300 sylindre	2				
100x200 sylindre					
100x100 Terninger					

Prosj./id.: **STD-6**

Blande volum:	35 liter
Dato:	13.feb
Tidspunkt for vanntilsetning	14:00
Ansvarlig:	Jostein Sindsen
Utført av:	Jostein Sindsen

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Standardsement	178,7	6,253			6,253
Silika	8,9	0,313	0	0,000	0,313
Flygeaske	187,6	6,566	0	0,000	6,566
Fritt vann	153,6	5,378		-0,683	4,695
Absorbent vann	12,1	0,425			0,425
0-8 mm	838,0	29,332	0,3	0,088	29,420
5-8 mm	169,8	5,942	0,3	0,018	5,960
8-11 mm	60,1	2,105	1,8	0,038	2,143
11-16 mm	754,5	26,408	1,8	0,475	26,883
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Dynamon SX-N	2,2	0,078	81,5	0,064	0,078
Lufttilførende stoff	0,0	0,000	91	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
Stålfiber	0,0	0,000			0,000
PP-fiber	0,0	0,000			0,000

5,120

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

** NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål	17				
Utbredelsesmål					
Luft	2				
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger	6				
150x300 sylindre	2				
100x200 sylindre					
100x100 Terninger					

Prosj./id.: **STD-7**

Blande volum:	35 liter
Dato:	15.feb
Tidspunkt for vanntilsetning	14:30
Ansvarlig:	Jostein Sindsen
Utført av:	Jostein Sindsen

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Standardsement	168,1	5,883			5,883
Silika	16,8	0,588	0	0,000	0,588
Flygeaske	184,9	6,471	0	0,000	6,471
Fritt vann	154,6	5,412		-0,689	4,724
Absorbent vann	12,1	0,425			0,425
0-8 mm	838,0	29,332	0,3	0,088	29,420
5-8 mm	169,8	5,942	0,3	0,018	5,960
8-11 mm	60,1	2,105	1,8	0,038	2,143
11-16 mm	754,5	26,408	1,8	0,475	26,883
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Dynamon SX-N	2,4	0,085	81,5	0,070	0,085
Lufttilførende stoff	0,0	0,000	91	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
Stålfiber	0,0	0,000			0,000
PP-fiber	0,0	0,000			0,000

5,148

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

** NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål	19				
Utbredelsesmål					
Luft	1,4				
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger	12				
150x300 sylindre	2				
100x200 sylindre					
100x100 Terninger					

Prosj./id.: **STD-8**

Blande volum:	35 liter
Dato:	15.feb
Tidspunkt for vanntilsetning	15:30
Ansvarlig:	Jostein Sindsen
Utført av:	Jostein Sindsen

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Standardsement	178,6	6,252			6,252
Silika	8,9	0,313	0	0,000	0,313
Flygeaske	187,6	6,565	0	0,000	6,565
Fritt vann	153,6	5,377		-0,675	4,702
Absorbent vann	11,8	0,412			0,412
0-8 mm	813,4	28,469	0,3	0,085	28,554
5-8 mm	164,8	5,767	0,3	0,017	5,784
8-11 mm	58,4	2,043	1,8	0,037	2,080
11-16 mm	732,3	25,631	1,8	0,461	26,092
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Dynamon SX-N	2,6	0,091	81,5	0,074	0,091
Lufttilførende stoff	0,0	0,000	91	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
Stålfiber	0,0	0,000			0,000
PP-fiber	0,0	0,000			0,000

5,114

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

** NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål	20				
Utbredelsesmål					
Luft	5				
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger	6				
150x300 sylindre	2				
100x200 sylindre					
100x100 Terninger					

Prosj./id.: **STD-9**

Blande volum:	35 liter
Dato:	17.feb
Tidspunkt for vanntilsetning	08:00
Ansvarlig:	Jostein Sindsen
Utført av:	Jostein Sindsen

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Standardsement	168,1	5,882			5,882
Silika	16,8	0,588	0	0,000	0,588
Flygeaske	184,9	6,471	0	0,000	6,471
Fritt vann	154,6	5,412		-0,454	4,958
Absorbent vann	11,8	0,412			0,412
0-8 mm	813,4	28,469	0,3	0,085	28,554
5-8 mm	164,8	5,767	0,3	0,017	5,784
8-11 mm	58,4	2,043	1,0	0,020	2,063
11-16 mm	732,3	25,631	1,0	0,256	25,887
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Dynamon SX-N	2,4	0,085	81,5	0,070	0,085
Lufttilførende stoff	0,2	0,006	91	0,005	0,006
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
Stålfiber	0,0	0,000			0,000
PP-fiber	0,0	0,000			0,000

5,370

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

** NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål	18				
Utbredelsesmål					
Luft	5				
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger	6				
150x300 sylindre	2				
100x200 sylindre					
100x100 Terninger					

Prosj./id.: **STDFA-1**

Blandevolum:	35 liter
Dato:	17.feb
Tidspunkt for vanntilsetning	09:00
Ansvarlig:	Jostein Sindsen
Utført av:	Jostein Sindsen

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Standardsement FA	375,7	13,151			13,151	
Silika	15,0	0,526	0	0,000	0,526	
Flygeaske	3,6	0,125	0	0,000	0,125	
Fritt vann	163,7	5,731		-0,482	5,249	5,674
Absorbent vann	12,1	0,425			0,425	
0-8 mm	838,0	29,332	0,3	0,088	29,420	
5-8 mm	169,8	5,942	0,3	0,018	5,960	
8-11 mm	60,1	2,105	1,0	0,021	2,126	
11-16 mm	754,5	26,408	1,0	0,264	26,672	
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Dynamon SX-N	3,2	0,112	81,5	0,091	0,112	
Lufttilførende stoff	0,0	0,000	91	0,000	0,000	
	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
Stålfiber	0,0	0,000			0,000	
PP-fiber	0,0	0,000			0,000	

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

** NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål	20				
Utbredelsesmål					
Luft	1,9				
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger	6				
150x300 sylindre	1				
100x200 sylindre					
100x100 Terninger					

Prosj./id.: **STDFA-2**

Blande volum:	35 liter
Dato:	20.feb
Tidspunkt for vanntilsetning	
Ansvarlig:	Jostein Sindsen
Utført av:	Jostein Sindsen

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Standardsement FA	349,8	12,244			12,244
Silika	28,0	0,979	0	0,000	0,979
Flygeaske	7,0	0,245	0	0,000	0,245
Fritt vann	165,1	5,779		-1,697	4,082
Absorbent vann	12,1	0,425			0,425
0-8 mm	838,0	29,332	4,5	1,320	30,652
5-8 mm	169,8	5,942	0,3	0,018	5,960
8-11 mm	60,1	2,105	0,5	0,011	2,115
11-16 mm	754,5	26,408	1,0	0,264	26,672
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Dynamon SX-N	3,0	0,104	81,5	0,085	0,104
Lufttilførende stoff	0,0	0,000	91	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
Stålfiber	0,0	0,000			0,000
PP-fiber	0,0	0,000			0,000

4,507

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

** NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger					
150x300 sylindre					
100x200 sylindre					
100x100 Terninger					

Prosj./id.: **STDFA-3**

Blande volum:	35 liter
Dato:	08.feb
Tidspunkt for vanntilsetning	15:30
Ansvarlig:	Jostein Sindsen
Utført av:	Jostein Sindsen

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Standardsement FA	375,5	13,143			13,143	
Silika	15,0	0,526	0	0,000	0,526	
Flygeaske	3,8	0,131	0	0,000	0,131	
Fritt vann	163,7	5,730		-1,709	4,021	4,446
Absorbent vann	12,1	0,425			0,425	
0-8 mm	838,0	29,332	4,5	1,320	30,652	
5-8 mm	169,8	5,942	0,3	0,018	5,960	
8-11 mm	60,1	2,105	0,5	0,011	2,115	
11-16 mm	754,5	26,408	1,0	0,264	26,672	
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Dynamon SX-N	3,2	0,112	81,5	0,091	0,112	
Lufttilførende stoff	0,2	0,007	91	0,006	0,007	
	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
Stålfiber	0,0	0,000			0,000	
PP-fiber	0,0	0,000			0,000	

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

** NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål	21				
Utbredelsesmål					
Luft	4,3				
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger	6				
150x300 sylindre	1				
100x200 sylindre					
100x100 Terninger					

Prosj./id.: **STDFA-4**

Blandevolum:	35 liter
Dato:	22.feb
Tidspunkt for vanntilsetning	13:30
Ansvarlig:	Jostein Sindsen
Utført av:	Jostein Sindsen

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Standardsement FA	224,3	7,849			7,849	
Silika	9,0	0,314	0	0,000	0,314	
Flygeaske	143,5	5,023	0	0,000	5,023	
Fritt vann	154,3	5,400		-1,399	4,001	4,426
Absorbent vann	12,1	0,425			0,425	
0-8 mm	838,0	29,332	3,5	1,027	30,358	
5-8 mm	169,8	5,942	0,3	0,018	5,960	
8-11 mm	60,1	2,105	0,5	0,011	2,115	
11-16 mm	754,5	26,408	1,0	0,264	26,672	
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Dynamon SX-N	2,8	0,098	81,5	0,080	0,098	
Lufttilførende stoff	0,0	0,000	91	0,000	0,000	
	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
Stålfiber	0,0	0,000			0,000	
PP-fiber	0,0	0,000			0,000	

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

** NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål	19				
Utbredelsesmål					
Luft	2				
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger	6				
150x300 sylindre	1				
100x200 sylindre					
100x100 Terninger					

Prosj./id.: **STDFA-5**

Blande volum:	35 liter
Dato:	15.feb
Tidspunkt for vanntilsetning	14:30
Ansvarlig:	Jostein Sindsen
Utført av:	Jostein Sindsen

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Standardsement FA	224,2	7,849			7,849
Silika	9,0	0,314	0	0,000	0,314
Flygeaske	143,5	5,023	0	0,000	5,023
Fritt vann	154,3	5,400		-1,405	3,994
Absorbent vann	12,1	0,425			0,425
0-8 mm	838,0	29,332	3,5	1,027	30,358
5-8 mm	169,8	5,942	0,3	0,018	5,960
8-11 mm	60,1	2,105	0,5	0,011	2,115
11-16 mm	754,5	26,408	1,0	0,264	26,672
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Dynamon SX-N	2,8	0,098	81,5	0,080	0,098
Lufttilførende stoff	0,2	0,007	91	0,006	0,007
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
Stålfiber	0,0	0,000			0,000
PP-fiber	0,0	0,000			0,000

4,419

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

** NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål	21				
Utbredelsesmål					
Luft	5,5				
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger	12				
150x300 sylindre	2				
100x200 sylindre					
100x100 Terninger					

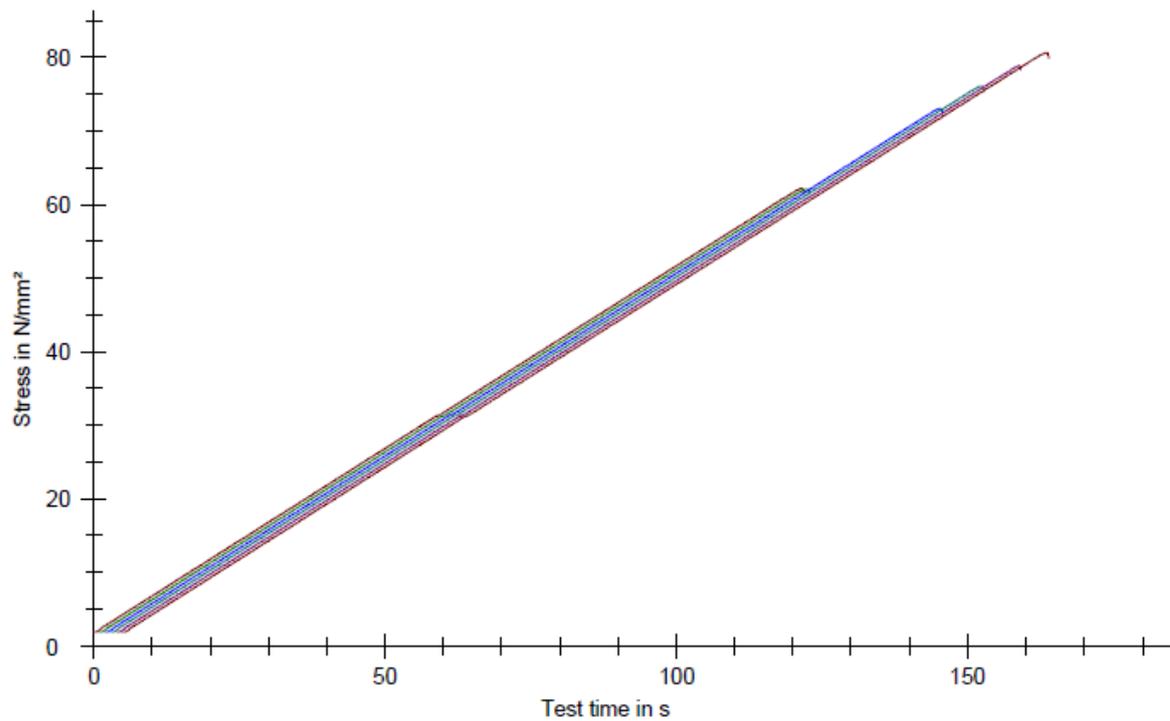
Vedlegg C- Trykfasthet resultater

STD-1

Results:

Nr	a mm	b mm	F _m kN	h mm
1	100,0	100,0	621,48	100,0
2	100,0	100,0	620,91	100,0
3	100,0	100,0	730,40	100,0
4	100,0	100,0	760,98	100,0
5	100,0	100,0	788,62	100,0
6	100,0	100,0	806,29	100,0

Series graphics:

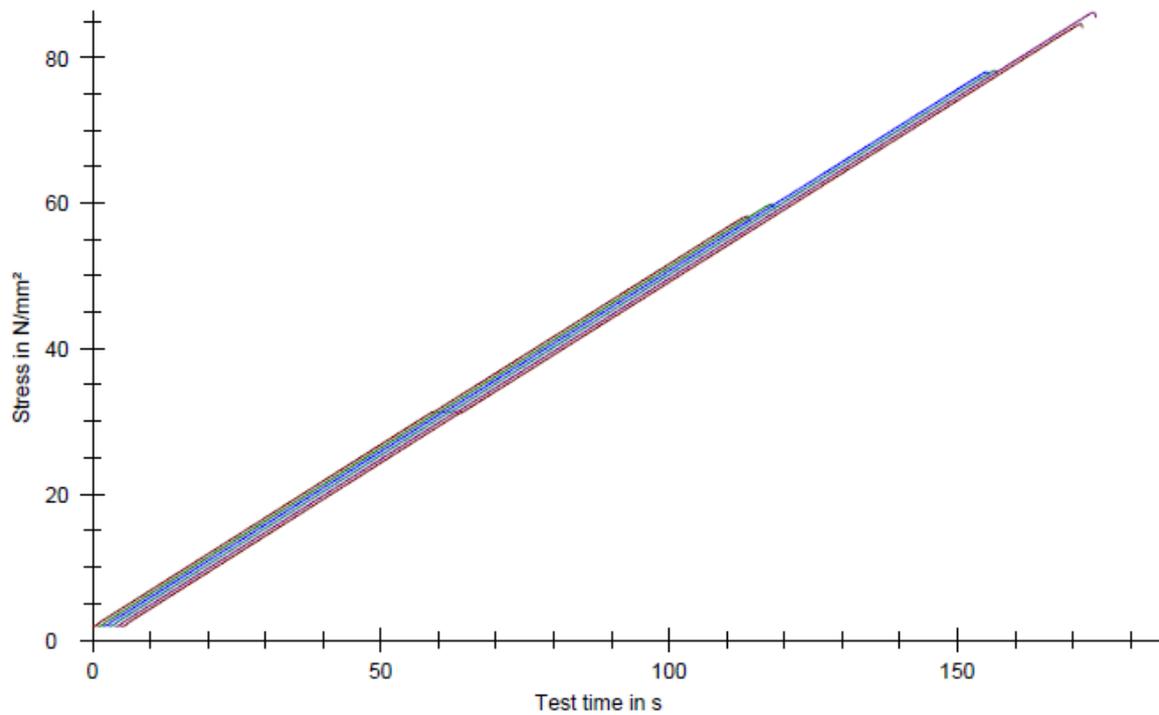


STD-2 20°C

Results:

Nr	a mm	b mm	F _m kN	h mm
2	100,0	100,0	581,69	100,0
3	100,0	100,0	598,22	100,0
4	100,0	100,0	779,68	100,0
5	100,0	100,0	781,87	100,0
7	100,0	100,0	861,75	100,0
8	100,0	100,0	845,79	100,0

Series graphics:

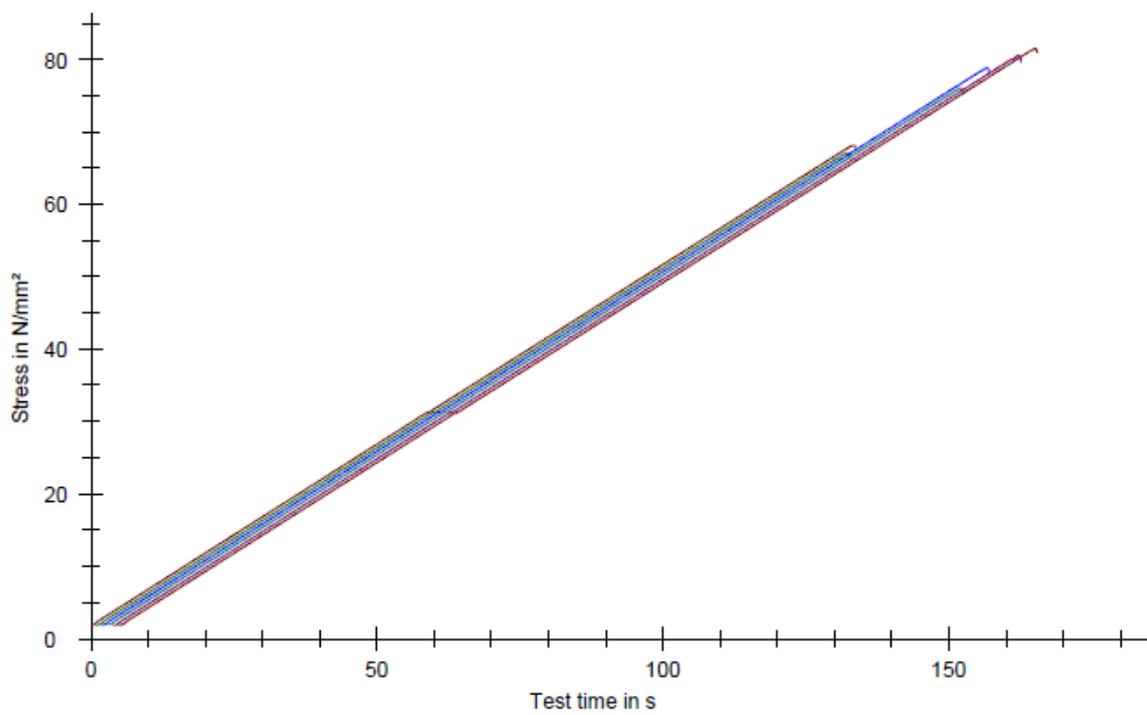


STD-2 50°C

Results:

Nr	a mm	b mm	F _m kN	h mm
1	100,0	100,0	681,22	100,0
2	100,0	100,0	670,68	100,0
3	100,0	100,0	787,76	100,0
4	100,0	100,0	760,22	100,0
5	100,0	100,0	805,53	100,0
6	100,0	100,0	814,93	100,0

Series graphics:

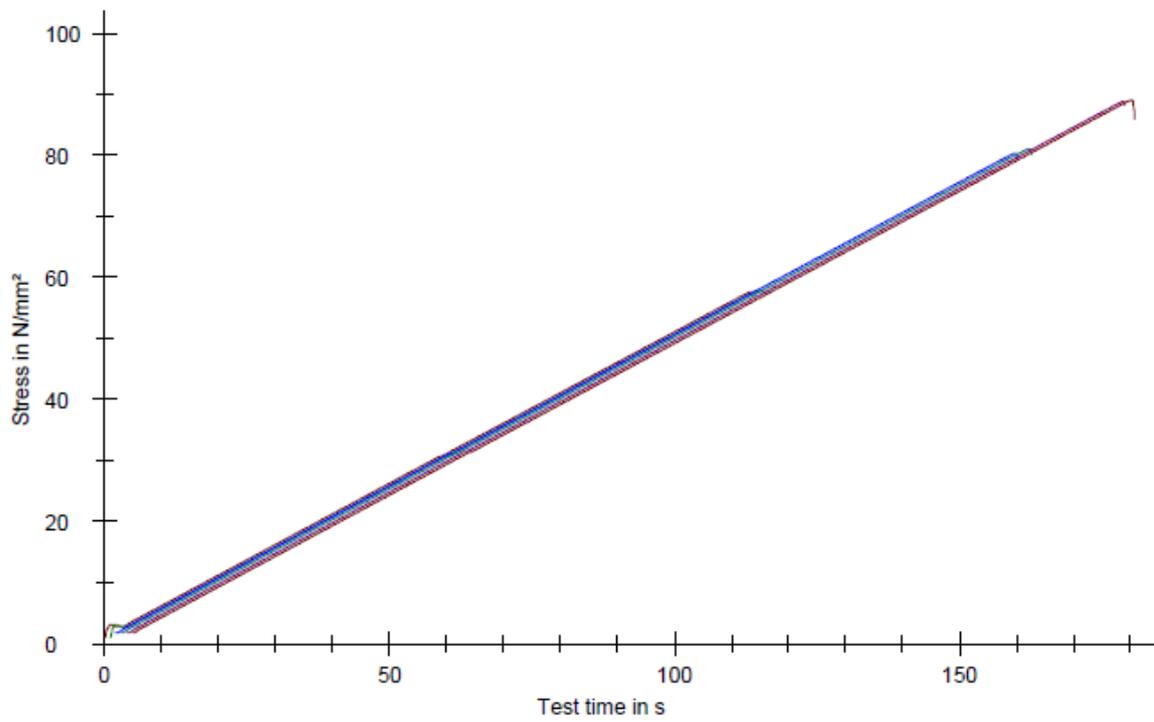


STD-3

Results:

Nr	a mm	b mm	F _m kN	h mm
1	100,0	100,0	576,07	100,0
2	100,0	100,0	579,30	100,0
3	100,0	100,0	802,47	100,0
4	100,0	100,0	810,07	100,0
5	100,0	100,0	887,67	100,0
6	100,0	100,0	890,62	100,0

Series graphics:

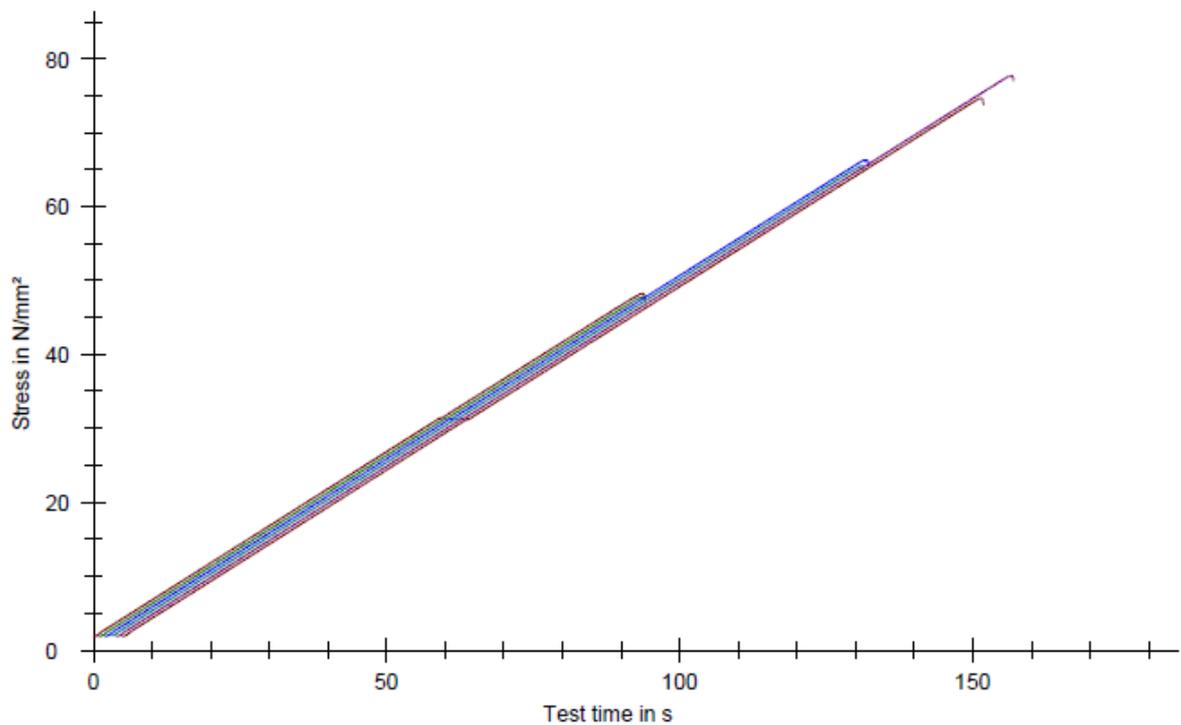


STD-4

Results:

Nr	a mm	b mm	F _m kN	h mm
1	100,0	100,0	482,32	100,0
2	100,0	100,0	477,60	100,0
3	100,0	100,0	662,49	100,0
4	100,0	100,0	654,71	100,0
5	100,0	100,0	776,69	100,0
6	100,0	100,0	746,65	100,0

Series graphics:

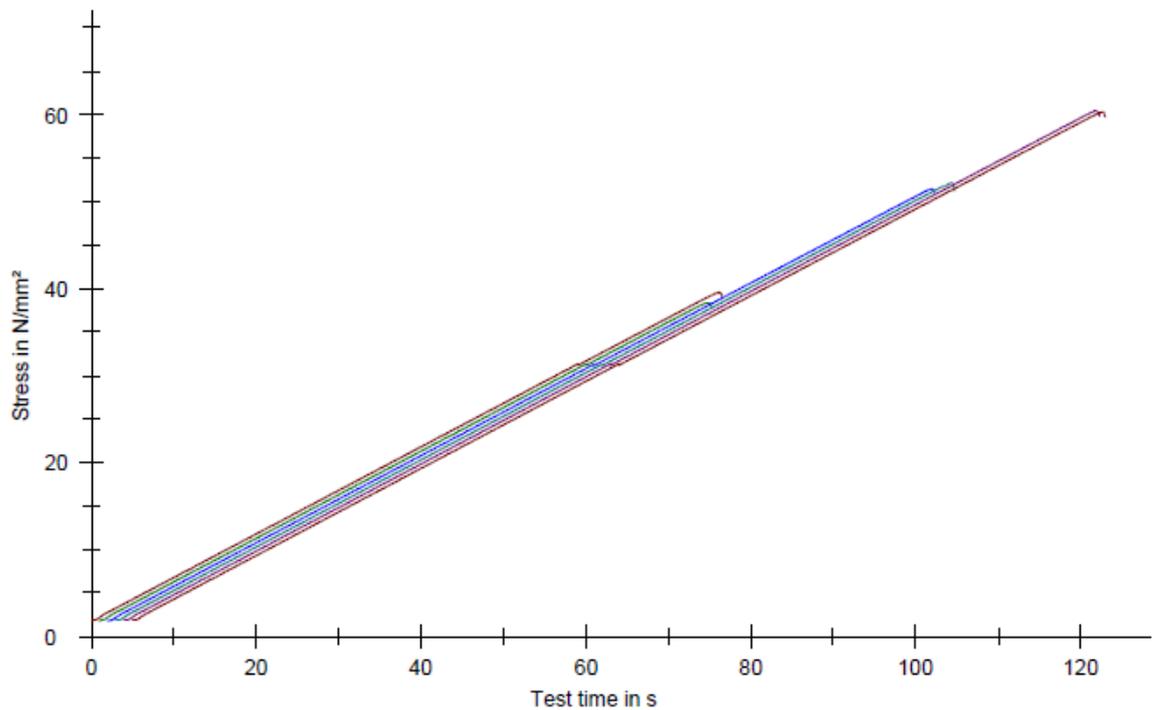


STD-5 20°C

Results:

Nr	a mm	b mm	F _m kN	h mm
1	100,0	100,0	395,43	100,0
2	100,0	100,0	383,84	100,0
3	100,0	100,0	514,49	100,0
4	100,0	100,0	521,21	100,0
5	100,0	100,0	604,77	100,0
6	100,0	100,0	603,25	100,0

Series graphics:

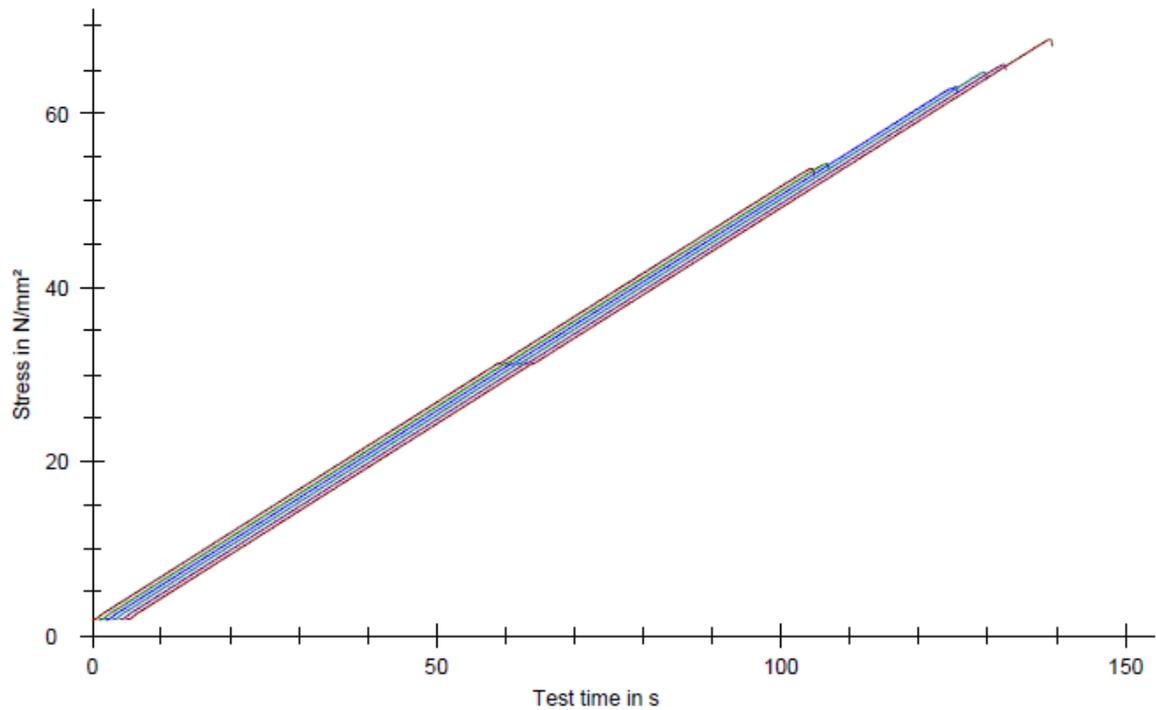


STD-5 50°C

Results:

Nr	a mm	b mm	F _m kN	h mm
1	100,0	100,0	536,53	100,0
2	100,0	100,0	542,14	100,0
3	100,0	100,0	630,25	100,0
4	100,0	100,0	647,25	100,0
5	100,0	100,0	656,24	100,0
6	100,0	100,0	685,06	100,0

Series graphics:

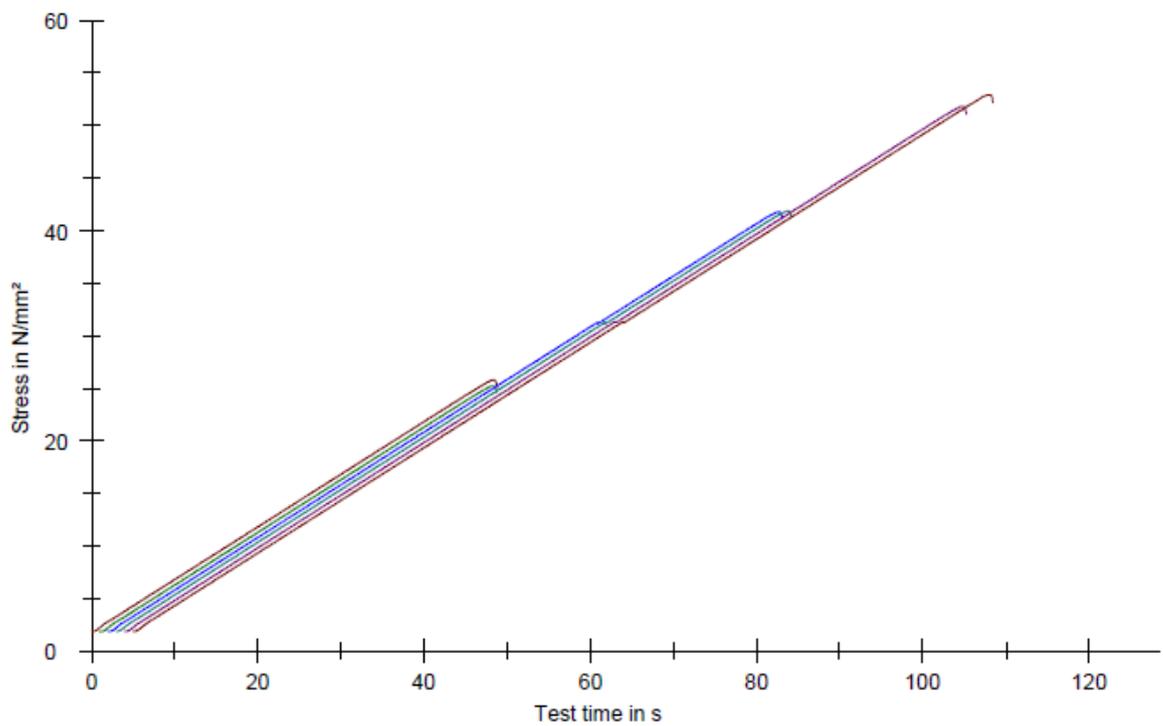


STD-6 20°C

Results:

Nr	a mm	b mm	F _m kN	h mm
1	100,0	100,0	257,64	100,0
2	100,0	100,0	251,95	100,0
3	100,0	100,0	417,72	100,0
4	100,0	100,0	418,57	100,0
5	100,0	100,0	518,44	100,0
6	100,0	100,0	529,27	100,0

Series graphics:

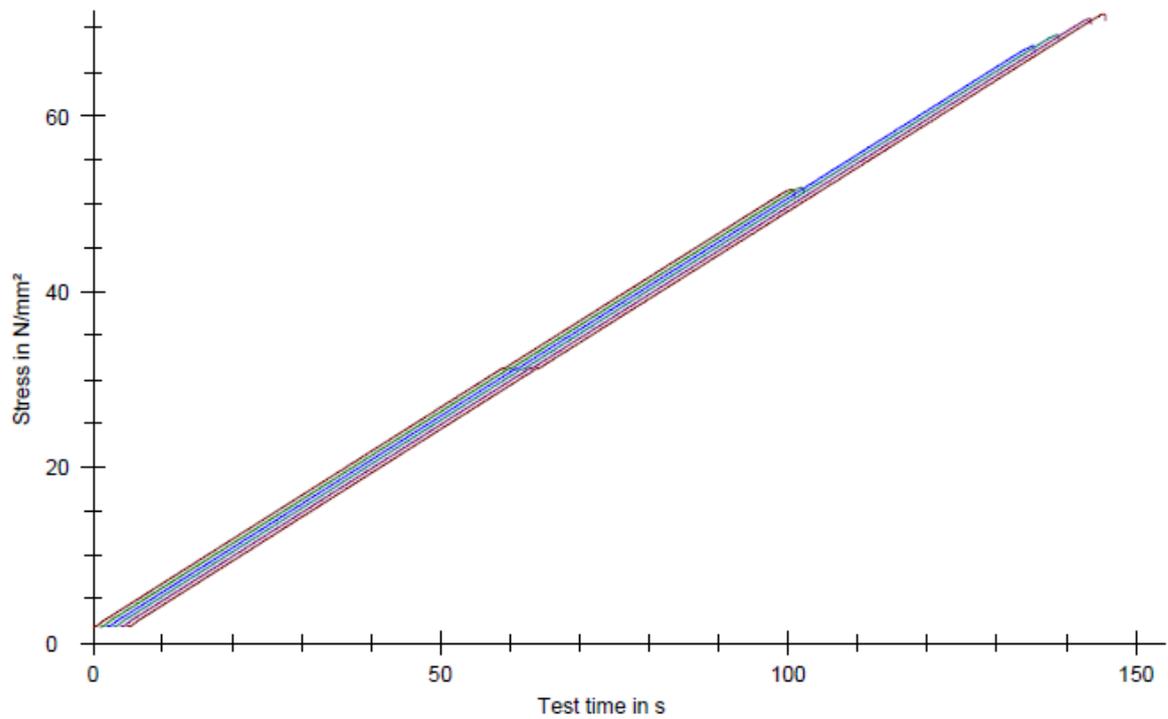


STD-6 50°C

Results:

Nr	a mm	b mm	F _m kN	h mm
1	100,0	100,0	516,54	100,0
2	100,0	100,0	518,58	100,0
3	100,0	100,0	680,40	100,0
4	100,0	100,0	692,55	100,0
5	100,0	100,0	710,75	100,0
6	100,0	100,0	716,07	100,0

Series graphics:

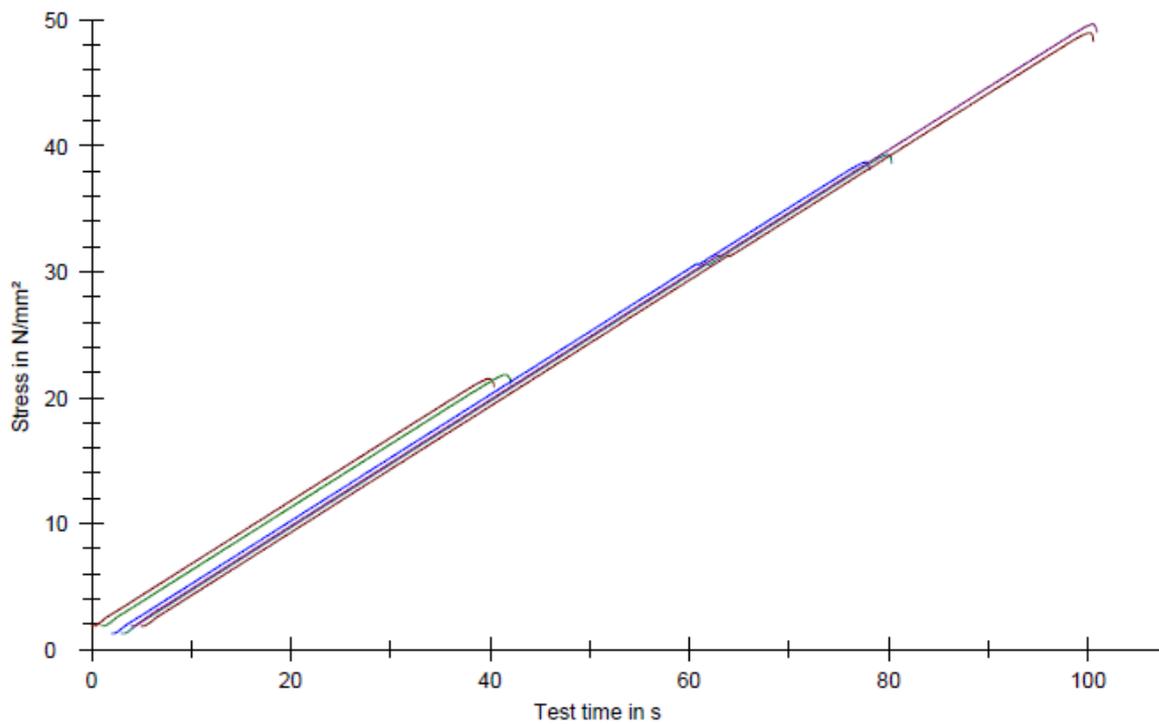


STD-7 20°C

Results:

Nr	a mm	b mm	F _m kN	h mm
1	100,0	100,0	214,63	100,0
2	100,0	100,0	217,86	100,0
3	100,0	100,0	386,80	100,0
4	100,0	100,0	392,74	100,0
6	100,0	100,0	496,42	100,0
7	100,0	100,0	489,68	100,0

Series graphics:

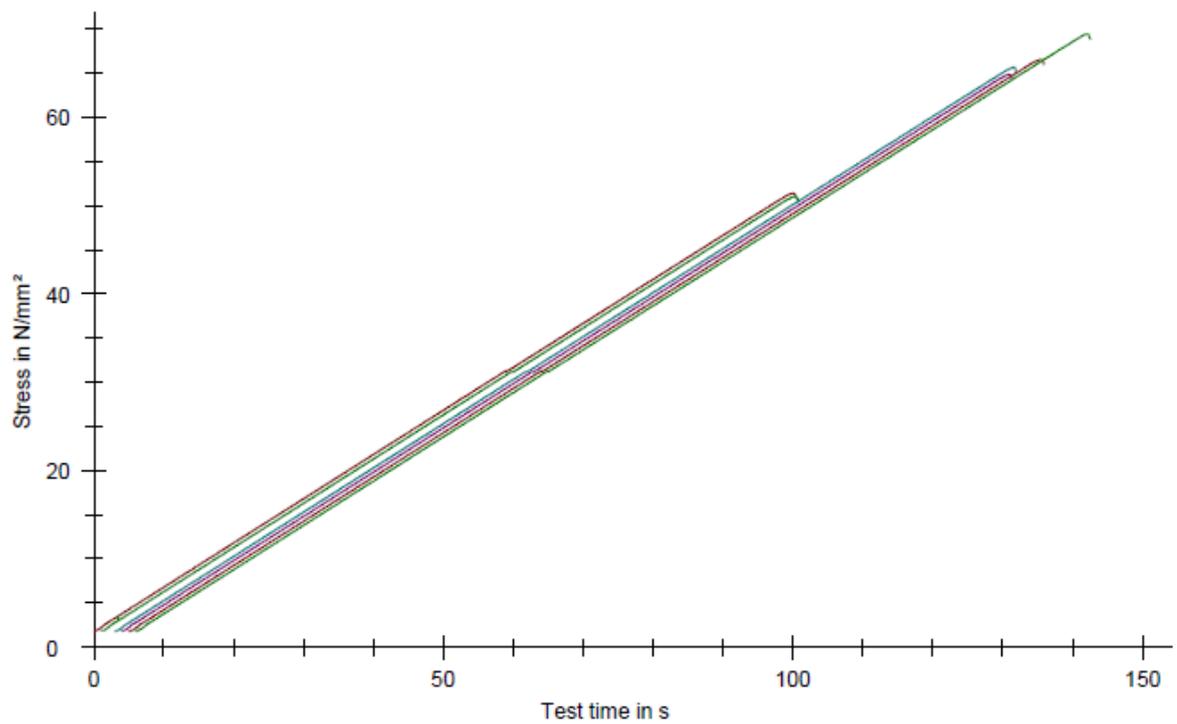


STD-7 50°C

Results:

Nr	a mm	b mm	F _m kN	h mm
1	100,0	100,0	514,08	100,0
2	100,0	100,0	510,75	100,0
3	100,0	100,0	-	100,0
4	100,0	100,0	656,60	100,0
5	100,0	100,0	648,53	100,0
6	100,0	100,0	665,65	100,0
7	100,0	100,0	694,52	100,0

Series graphics:

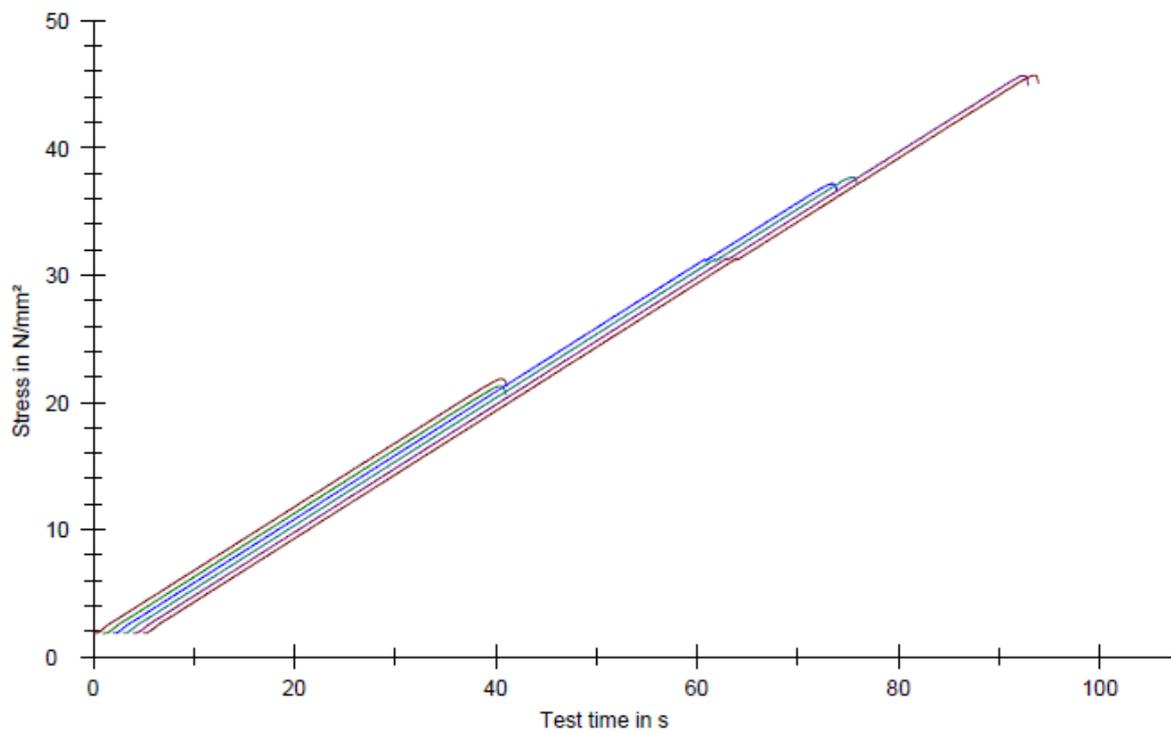


STD-8

Results:

Nr	a mm	b mm	F _m kN	h mm
1	100,0	100,0	218,24	100,0
2	100,0	100,0	212,68	100,0
3	100,0	100,0	371,70	100,0
4	100,0	100,0	376,73	100,0
5	100,0	100,0	456,25	100,0
6	100,0	100,0	456,63	100,0

Series graphics:

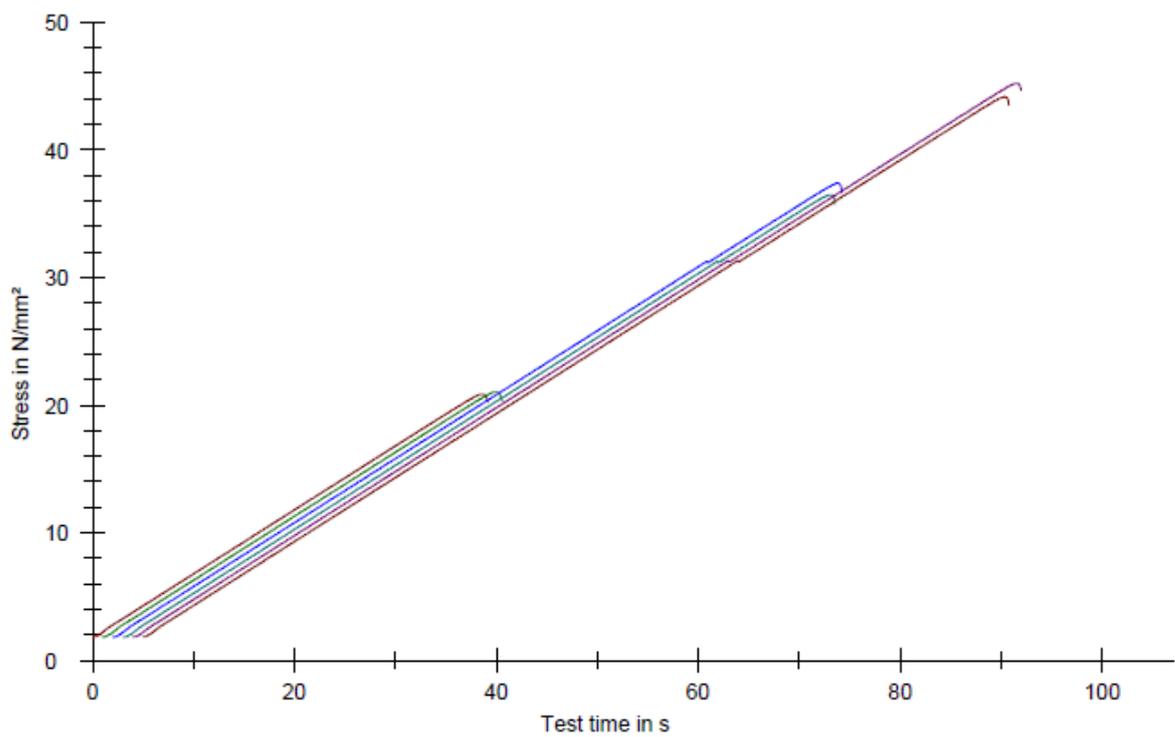


STD-9

Results:

Nr	a mm	b mm	F _m kN	h mm
1	100,0	100,0	208,44	100,0
2	100,0	100,0	210,21	100,0
3	100,0	100,0	373,70	100,0
4	100,0	100,0	364,73	100,0
5	100,0	100,0	451,98	100,0
6	100,0	100,0	441,34	100,0

Series graphics:

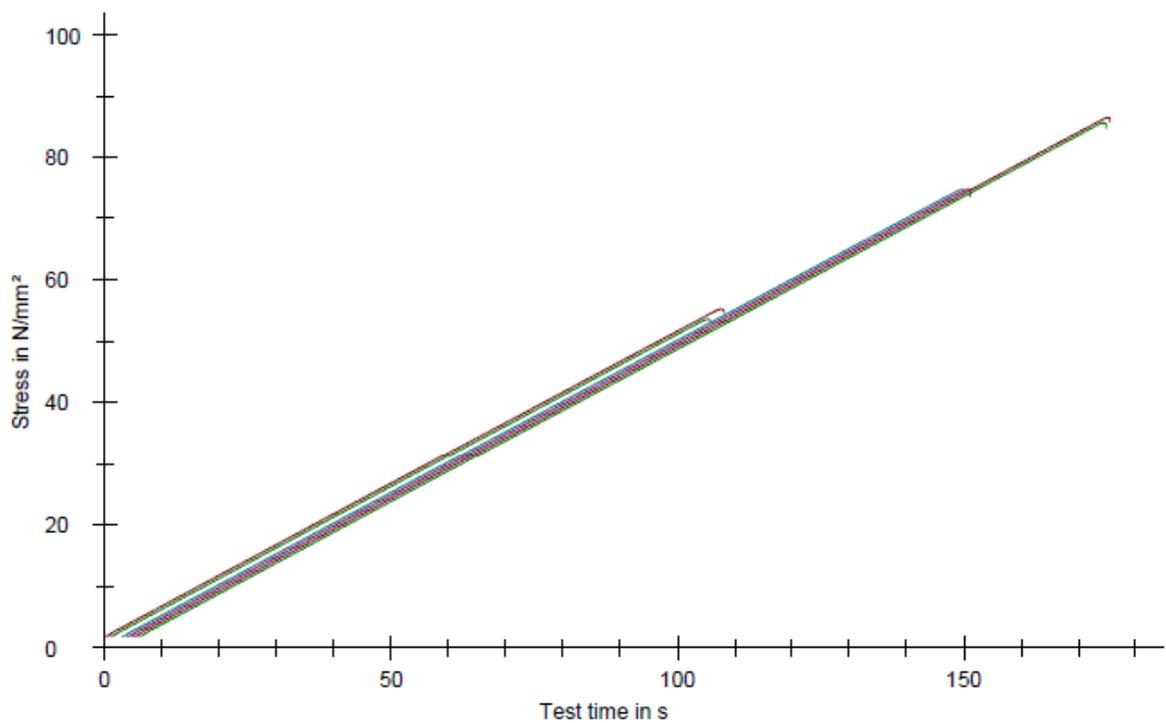


STDFA-1

Results:

Nr	a mm	b mm	F _m kN	h mm
1	100,0	100,0	552,65	100,0
2	100,0	100,0	536,12	100,0
3	100,0	100,0	-	100,0
4	100,0	100,0	747,48	100,0
5	100,0	100,0	747,70	100,0
6	100,0	100,0	864,89	100,0
7	100,0	100,0	856,54	100,0

Series graphics:

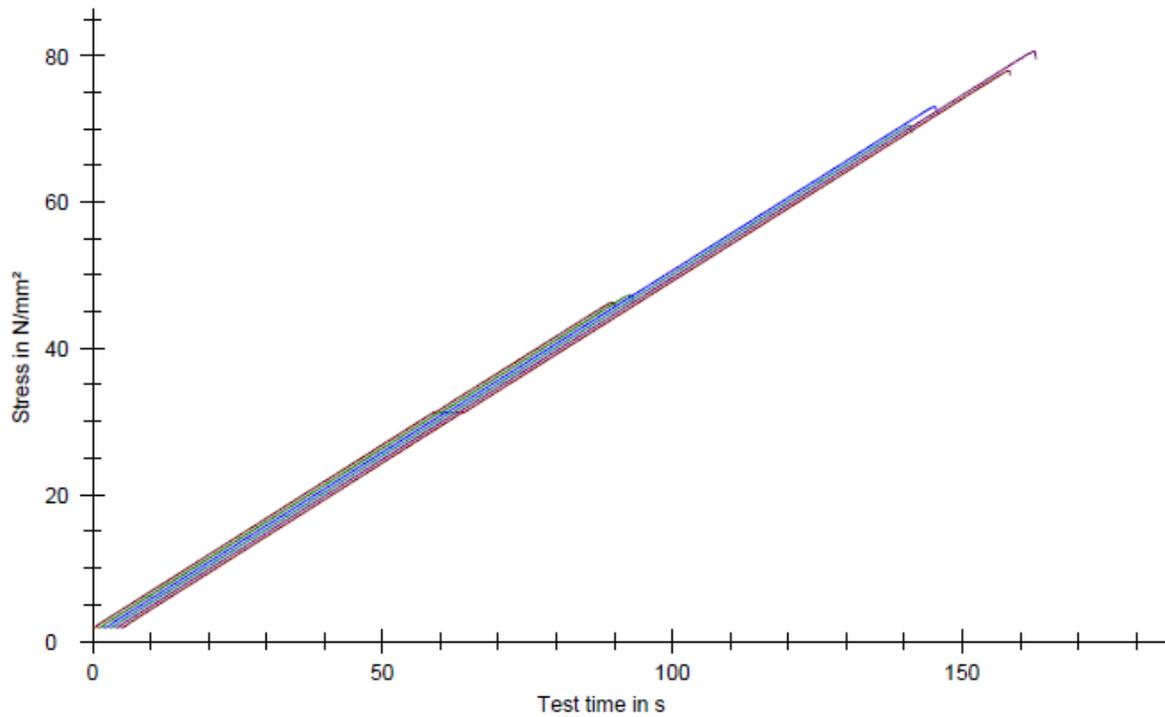


STDFA-2

Results:

Nr	a mm	b mm	F _m kN	h mm
1	100,0	100,0	462,52	100,0
2	100,0	100,0	472,74	100,0
4	100,0	100,0	730,35	100,0
5	100,0	100,0	704,04	100,0
6	100,0	100,0	805,74	100,0
7	100,0	100,0	778,90	100,0

Series graphics:

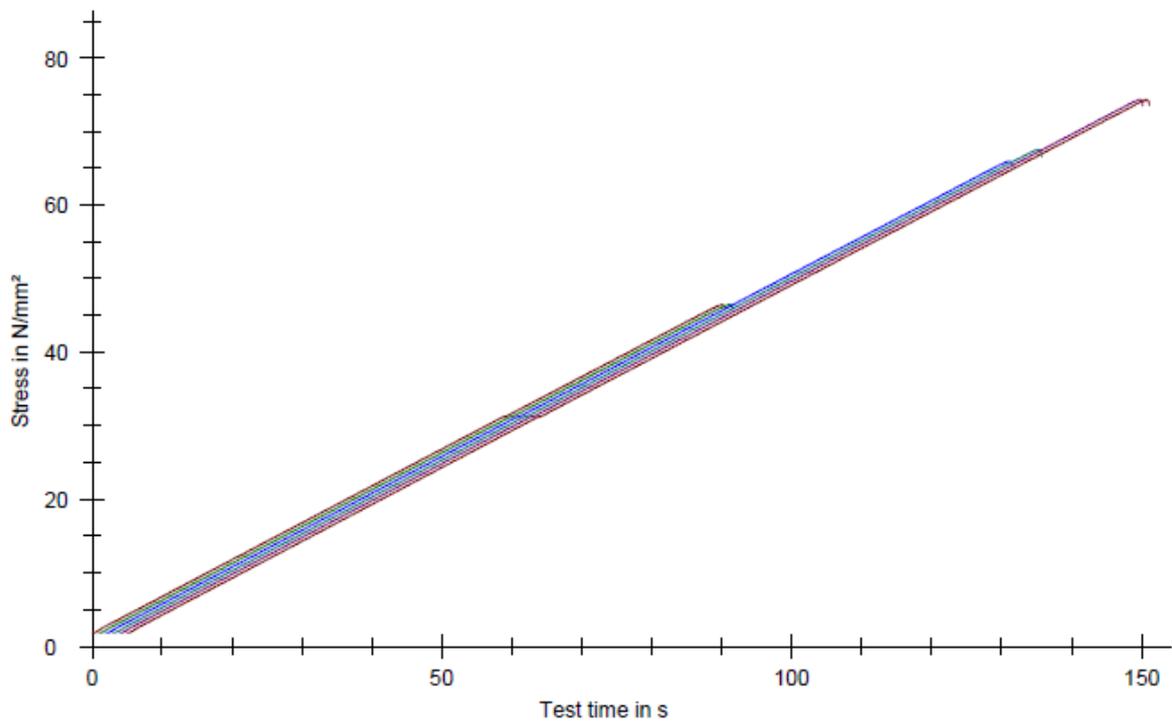


STDFA-3

Results:

Nr	a mm	b mm	F _m kN	h mm
1	100,0	100,0	464,10	100,0
2	100,0	100,0	464,10	100,0
3	100,0	100,0	659,69	100,0
4	100,0	100,0	675,27	100,0
5	100,0	100,0	743,50	100,0
6	100,0	100,0	742,74	100,0

Series graphics:

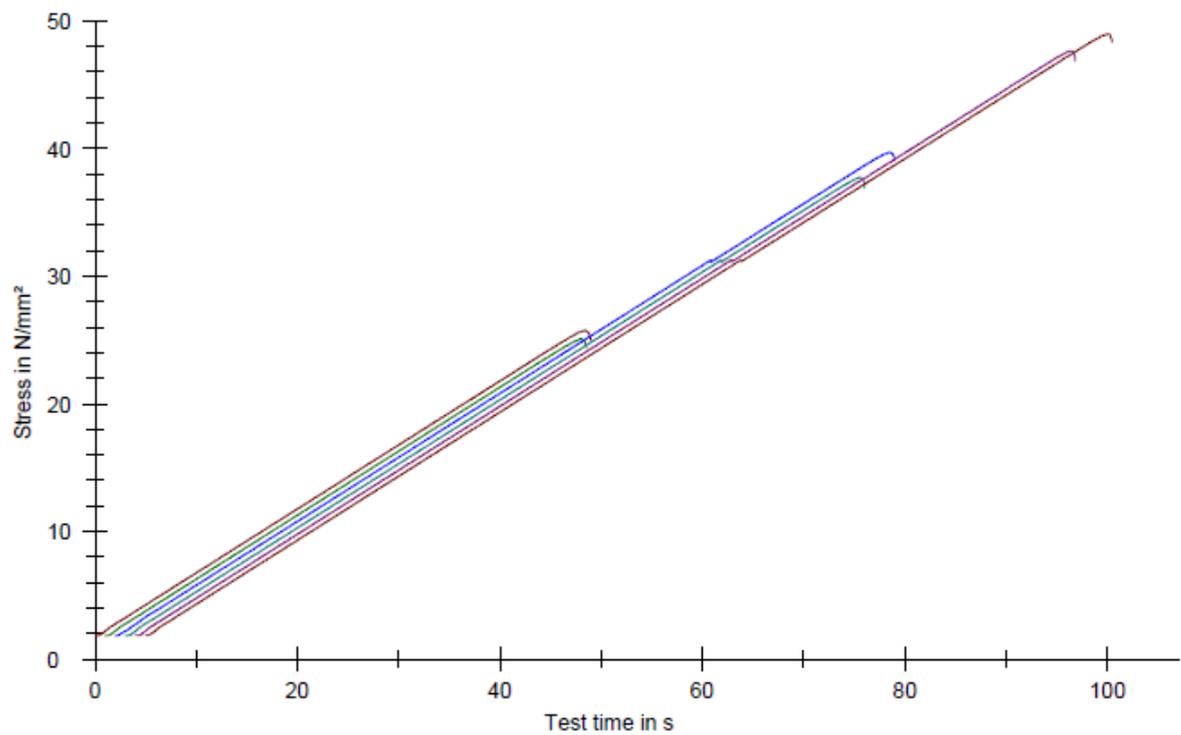


STDFA-4

Results:

Nr	a mm	b mm	F _m kN	h mm
1	100,0	100,0	257,05	100,0
2	100,0	100,0	250,46	100,0
3	100,0	100,0	396,65	100,0
4	100,0	100,0	376,99	100,0
5	100,0	100,0	476,17	100,0
6	100,0	100,0	489,56	100,0

Series graphics:

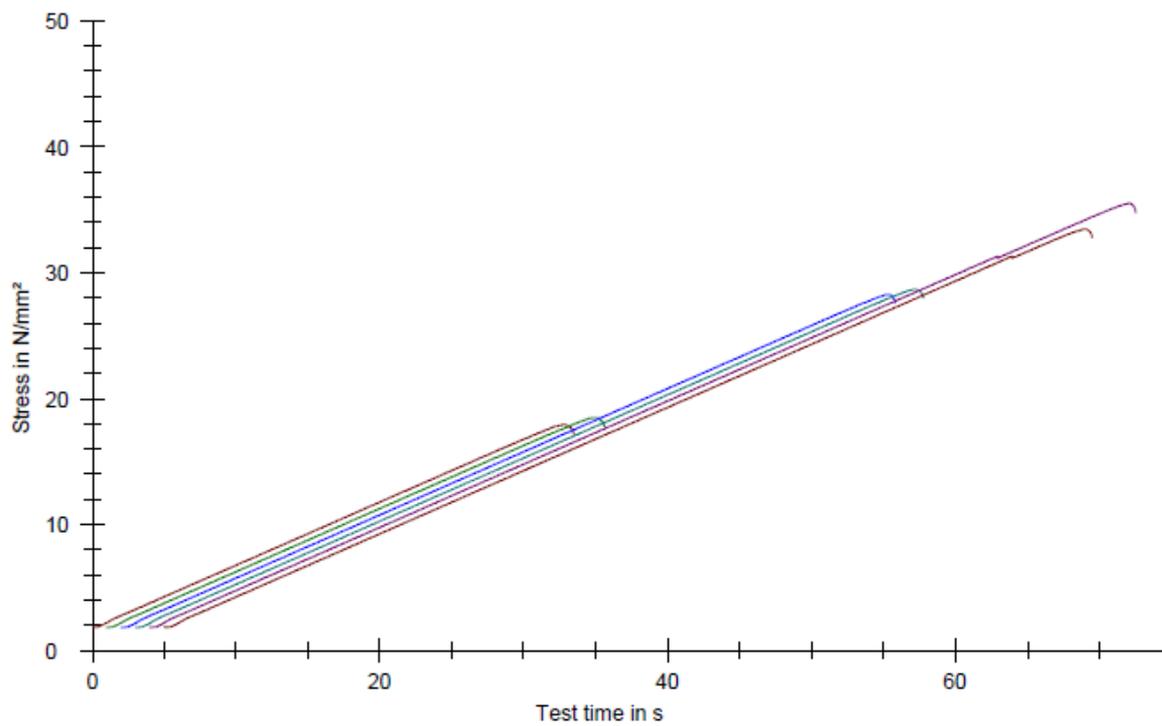


STDFA-5 20°C

Results:

Nr	a mm	b mm	F _m kN	h mm
1	100,0	100,0	178,91	100,0
2	100,0	100,0	184,55	100,0
3	100,0	100,0	282,40	100,0
4	100,0	100,0	286,44	100,0
5	100,0	100,0	354,71	100,0
6	100,0	100,0	334,29	100,0

Series graphics:

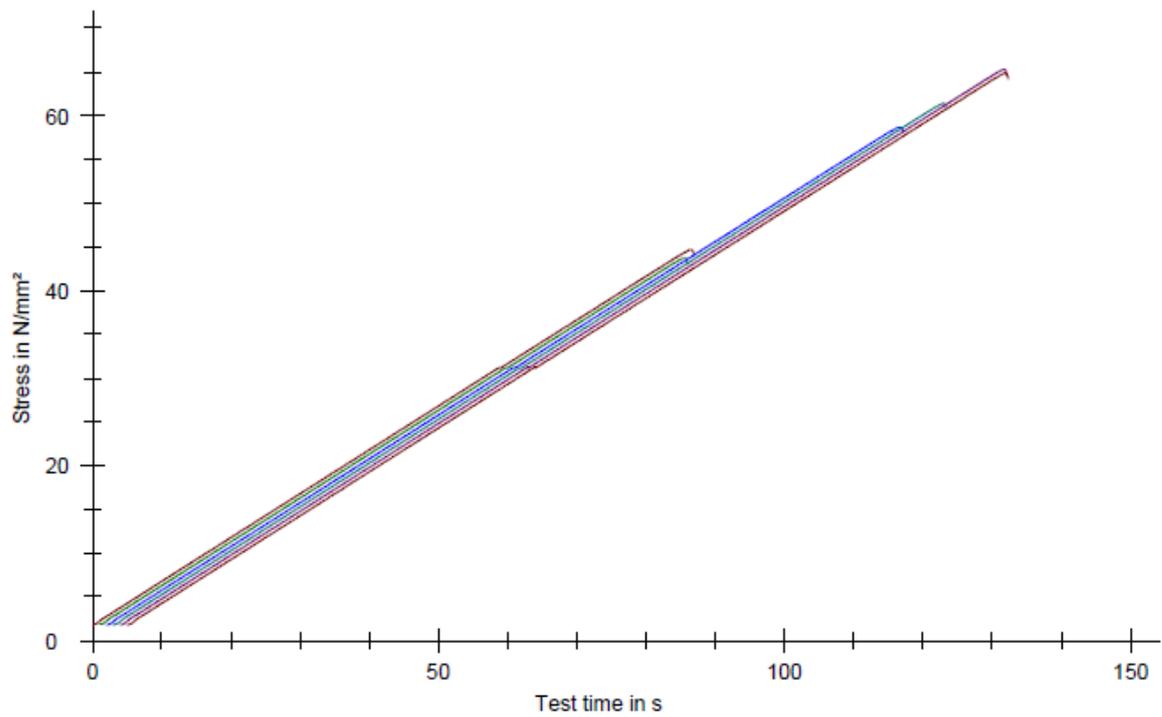


STDFA-5 50°C

Results:

Nr	a mm	b mm	F _m kN	h mm
1	100,0	100,0	446,62	100,0
2	100,0	100,0	437,12	100,0
3	100,0	100,0	587,25	100,0
4	100,0	100,0	613,65	100,0
5	100,0	100,0	652,91	100,0
6	100,0	100,0	648,54	100,0

Series graphics:



Vedlegg D- Datablad

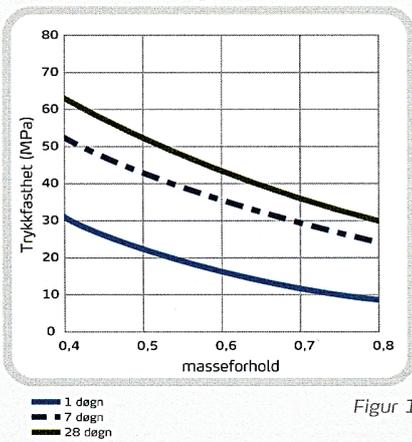
PRODUKTINFORMASJON

Standardsement





Fasthetsutvikling



Figur 1

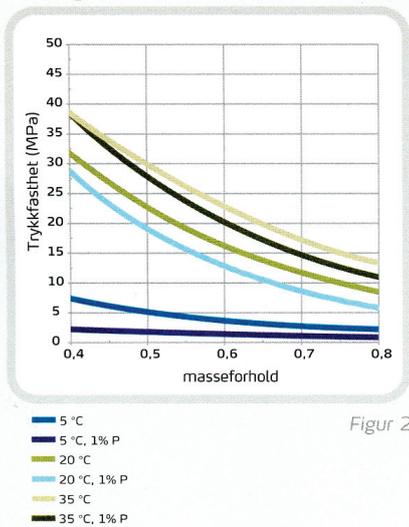
Fasthetsutvikling

Fasthetsutvikling er en sentral egenskap for planlegging, styring og utførelse av alle betongarbeider. Fasthetsutvillingen er avhengig av sementtype, tilslag, masseforhold, herdeforhold (temperatur, tid og fuktighet), og eventuell bruk av tilsetningsmaterialer eller -stoffer. I figur 1 er vist et eksempel på trykkfasthetsutviklingen som funksjon av masseforhold og alder ved 20°C vannlagring for betong med Norcem Standardsement.

Tidligfasthet

Tidligfastheten i betong er avhengig av temperatur og eventuell dosering av tilsetningsstoff med retarderende effekt. I figur 2 er vist trykkfasthet for betong etter 1 døgn med forskjellig masseforhold med og uten 1% plas-tiserende tilsetningsstoff (P-stoff) med Standardsement. Prøvene er lagret ved 95% luftfuktighet ved varierende temperatur.

Tidligfasthet



Figur 2

Fasthetsklasse - masseforhold

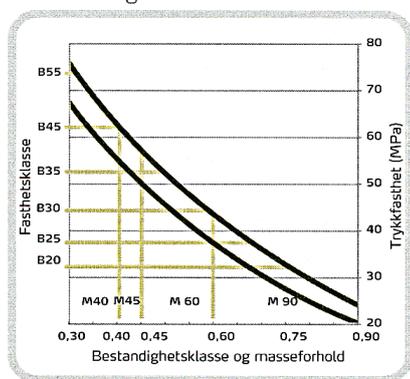
Med normal, god styring av betongproduksjonen, er det behov for en overhøyde på ca 7 MPa ved de ulike fasthetsklassene for å produsere med tilstrekkelig sikkerhet mot undermålere. Standardsement gir følgende retningsgivende verdier for minste og største masseforhold i ulike fast-hetsklasser for betong uten luftinnføring.

Fasthets-klasse	B20	B25	B30	B35	B45
Minste - største masseforhold	0,68 - 0,76	0,57 - 0,68	0,51 - 0,57	0,42 - 0,51	0,35 - 0,42

Norcem Standardsement er tilpasset norske forhold og kan benyttes til betong i alle eksponerings-, bestandighets- og fasthetsklasser. Standardsementen har en fasthetsprofil som er tilpasset minimum sementbehov for konstruksjoner i bestandighetsklasse M60. Sementen har relativt høy tidligfasthet, moderat slutfasthet, moderat varmeutvikling, god støpelighet og veldokumenterte bestandighetsegenskaper.



Bestandighetsklasse



Figur 3

Bestandighetsklasse

NS-EN 206-1 klassifiserer betongens miljøpåvirkninger i eksponeringsklasser. I nasjonalt tillegg til denne standarden er de ulike eksponeringsklassene gruppert i seks bestandighetsklasser med krav til betongens maksimale masseforhold (se tabell 3). Tabell 2 viser anbefalte kombinasjoner av bestandighets- og fasthetsklasser. Retningsgivende verdier for største masseforhold i de ulike fasthetsklassene er gitt i tabell 1. I figur 3 er vist sammenhengen mellom bestandighetsklasse og fasthetsklasse i et variasjonsbelte forårsaket av ulike produksjonsforutsetninger. Figuren gjelder for betong med Standardsement uten luftinnføring.

Anbefalte kombinasjoner	
Bestandighetsklasse M90	Fasthetsklasse B20 el høyere
Bestandighetsklasse M60	Fasthetsklasse B25 el høyere
Bestandighetsklasse M45	Fasthetsklasse B35 el høyere
Bestandighetsklasse M40	Fasthetsklasse B45 el høyere

Valg av bestandighetsklasse (nasjonale krav)						
Eksponeeringsklasse	M90	M60	M45	MF45*	M40	MF40*
X0	.	.	.	.	.	.
XC1, XC2, XC3, XC4, XF1		.	.	.	.	.
XD1, XS1, XA1, XA2, XA4			.	.	.	.
XF2, XF3, XF4				.		.
XD2, XD3, XS2, XS3, XA3					.	.
XSA	Betongsammensetning og beskyttelsestiltak fastsettes særskilt. Betongsammensetningen skal minst tilfredsstillende kravene til M40.					
Største masseforhold v/(c + Ekp)	0,90	0,60	0,45	0,45	0,40	0,40

* Minst 4% luft

Deklarerte data

Norcem Standardsement tilfredsstillter kravene til Portlandsement

EN 197-1-CEM I 42,5R

Kjemiske data		
Egenskap	Deklarerte data	Krav iflg NS-EN 197-1
Finhet (Blaine)	370 m ² /kg i) / 380m ² /kg ii)	
Trikalsiumaluminat C ₃ A	7 %	
Alkali (ekv Na ₂ O, NB21)	1,3% i) / 1,3% ii)	Deklarert verdi iht NB21
Mineralske tilsetninger	4%	≤ 5%
Glødetap	2,5%	≤ 5%
Uløselig rest	1%	≤ 5%
Sulfat (SO ₃)	3-4%	≤ 4%
Klorid	< 0,085%	≤ 0,1%
Vannløselig Cr ⁶⁺	< 2 ppm	≤ 2 ppm *)
Spesifikk vekt	3,15 kg/dm ³	

i) Brevik-produsert

ii) Kjøpsvik-produsert

*) I henhold til Forskrift om vannløselige kromater i sement- og betongrelaterte materialer

Fysikalske data		
Egenskap	Deklarerte data	Krav iflg NS-EN 197-1
Trykkfasthet 1 døgn	21 MPa	
Trykkfasthet 2 døgn	32 MPa	≥ 20 MPa
Trykkfaasthet 7 døgn	42 MPa	
Trykkfasthet 28 døgn	52 MPa	≥ 42,5 MPa ≤ 62,5 MPa
Begynnende bindetid	130 min i) / 125 min ii)	≥ 60 min
Ekspansjon	1 mm	≤ 10 mm

i) Brevik-produsert

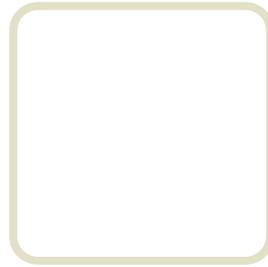
ii) Kjøpsvik-produsert



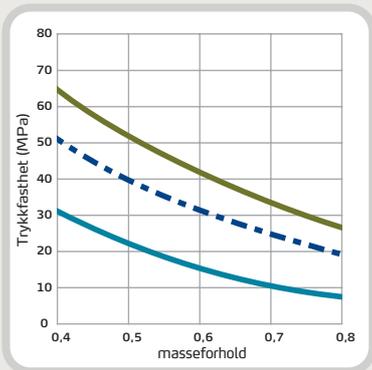
PRODUKTINFORMASJON

Standardsement FA



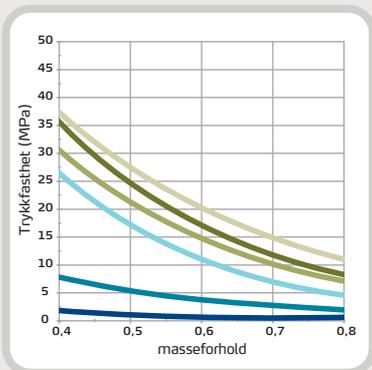


Fasthetsutvikling



Figur 1

Tidligfasthet



Figur 2

Fasthetsutvikling

Fasthetsutvikling er en sentral egenskap for planlegging, styring og utførelse av alle betongarbeider. Fasthetsutviklingen er avhengig av sementtype, masseforhold, herdeforhold (temperatur, tid og fuktighet) og eventuell bruk av tilsetningsmaterialer eller -stoffer. I figur 1 er vist trykkfasthetsutviklingen som funksjon av masseforhold og alder ved 20°C vannlagring for betong med Norcem Standardsement FA.

Tidligfasthet

Tidligfastheten i betong er meget avhengig av temperatur og eventuell dosering av tilsetningsstoff med retarderende effekt. I figur 2 er vist trykkfasthet etter 1 døgn med forskjellige masseforhold med og uten 1% plastiserende tilsetningsstoff (P-stoff) med Standardsement FA. Prøvene er lagret ved 95% luftfuktighet ved varierende temperatur.

Motstand mot alkalireaksjoner

Norsk Betongforenings publikasjon nr. 21 fastsetter retningslinjer for produksjon av bestandig betong med alkalireaktivt tilslag. Publikasjonen fastlegger at for betong med Standardsement FA kan det benyttes alkalireaktivt tilslag dersom betongens totale alkali-innhold ikke overstiger 7kg / m³ (beregnet i henhold til NB 21). For betong der Standardsement FA blandes med andre sementtyper, gjelder andre grenser (se vedlegg C i NB21).

Fasthetsklasse – masseforhold

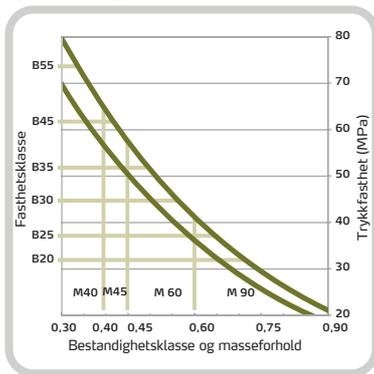
Med normalt god styring av betongproduksjonen er det behov for en overhøyde på ca 7 MPa ved de ulike fasthetsklassene for å produsere med tilstrekkelig sikkerhet mot undermålere. Standardsement FA gir følgende retningsgivende verdier for største masseforhold i ulike fasthetsklasser for betong uten luftinnføring.

Fasthetsklasse	B20	B25	B30	B35	B45
Største masseforhold	0,72	0,65	0,57	0,50	0,42

Norcem Standardsement FA er tilpasset norske forhold og kan benyttes til betong i alle eksponerings-, bestandighets- og fasthetsklasser. Standard FA gir bestandig betong også i kombinasjon med alkalireaktivt tilslag. Fasthetsprofilen er tilpasset minimum sementbehov for konstruksjoner utendørs i bestandighetsklasse M60.



Bestandighetsklasse



Figur 3

Bestandighetsklasse

NS-EN 206-1 klassifiserer betongens miljøpåvirkninger i eksponeringsklasser. I nasjonalt tillegg til denne standarden er de ulike eksponeringsklassene gruppert i seks bestandighetsklasser med krav til betongens største masseforhold (se tabell 3). Tabell 2 viser anbefalte kombinasjoner av bestandighets- og fasthetsklasser. Retningsgivende verdier for største masseforhold i de ulike fasthetsklassene er gitt i tabell 1. I figur 3 er vist sammenhengen mellom bestandighetsklasse og fasthetsklasse, i et variasjonsbelte forårsaket av ulike produksjonsforutsetninger. Figuren gjelder for betong uten luftinnføring med Norcem Standardsement FA.

Anbefalte kombinasjoner

Bestandighetsklasse M90	Fasthetsklasse B20 eller høyere
Bestandighetsklasse M60	Fasthetsklasse B25 eller høyere
Bestandighetsklasse M45	Fasthetsklasse B35 eller høyere
Bestandighetsklasse M40	Fasthetsklasse B45 eller høyere

Tabell 2

Valg av bestandighetsklasse (nasjonale krav)

Eksponeringsklasse	M90	M60	M45	MF45*	M40	MF40*
X0	▪	▪	▪	▪	▪	▪
XCI, XC2, XC3, XC4, XF1		▪	▪	▪	▪	▪
XD1, XS1, XA1, XA2, XA4			▪	▪	▪	▪
XF2, XF3, XF4				▪		▪
XD2, XD3, XS2, XS3, XA3					▪	▪
XSA	Betongsammensetning og beskyttelsestiltak fastsettes særskilt. Betongsammensetningen skal minst tilfredsstille kravene til M40.					
Største masseforhold $v/(c + g_{kp})$	0,90	0,60	0,45	0,45	0,40	0,40

*Minst 4% luft

Tabell 3

Tekniske data

Norcem Standardsement FA tilfredsstillter kravene til Portlandflygeaskesement EN 197-1 -CEM II/A-V 42,5 R

Kjemiske data

Egenskap	Typiske data	Krav ifølge NS-EN 197-1
Finhet (Blaine)	450 m ² /kg	
Alkali (ekv Na ₂ O) - Brevik	1,4%	
Alkali (ekv Na ₂ O) - Kjøpsvik	1,5%	
Flygeaskeinnhold	20,0%	6-20%
Glødetap	1,5%	-
Sulfat (SO ₃)	3,0%	≤ 4,0%
Klorid	< 0,07%	≤ 0,1%
Vannløselig Cr ⁶⁺	< 2 ppm	≤ 2 ppm
Spesifikk vekt	2,95 kg/dm ³	

Fysikalske data

Egenskap	Typiske data	Krav ifølge NS-EN 197-1*
Trykkfasthet 1 døgn	22 MPa	
Trykkfasthet 2 døgn	31 MPa	≥ 20 MPa
Trykkfasthet 7 døgn	41 MPa	
Trykkfasthet 28 døgn	52 MPa	≥ 42,5 MPa ≤ 62,5 MPa
Begynnende bindetid	130 min	≥ 60 min
Ekspansjon	1 mm	≤ 10 mm

*Karakteristiske verdier



PRODUKTBESKRIVELSE

Dynamon SX-N er et svært effektivt superplastiserende tilsetningsstoff basert på modifiserte akrylpolymerer.

Produktet tilhører Dynamonsystemet basert på den Mapeiutviklede DPP-teknologien (DPP = Designed Performance Polymers) der tilsetningsstoffenes egenskaper skreddersys til ulike betongformål.

Dynamonsystemet er utviklet på basis av Mapeis egen sammenstilling og produksjon av monomerer.

BRUKSOMRÅDE

Dynamon SX-N er et tilnærmet allround-produkt som er anvendelig i all betong for å øke støpeligheten og/eller redusere tilsatt vannmengde.

Noen spesielle bruksområder er:

- Vanntett betong med krav til høy eller svært høy fasthet og med strenge krav til bestandighet i aggressive miljøer.
- Betong med særlige krav til høy støpelighet; i konsistensklasser S4 og S5 etter NS-EN 206-1.
- Selvkomprimerende betong med ønske om lengre åpentid. Om nødvendig kan SKB stabiliseres med en viskositetsøker - **Viscofluid** eller **Viscostar**.
- Til produksjon av frostbestandig betong – da i kombinasjon med luftinnførende tilsetningsstoffer - **Mapeair**. Valg av type luftinnførende stoff gjøres ut fra egenskapene til de andre delmaterialer som er tilgjengelige.
- Til golvstøp for å oppnå en smidig betong med bedret støpelighet. Store doseringer og lave temperaturer kan retardere betongen noe.

EGENSKAPER

Dynamon SX-N er en vannløsning av aktive akrylpolymerer som effektivt dispergerer (løser opp) sementklaser.

Denne effekten kan prinsipielt utnyttes på tre måter:

1. For å redusere mengden tilsatt vann, men samtidig beholde betongens støpelighet. Lavere v/c-forhold gir høyere fasthet, tetthet og bestandighet i betongen.
2. For å forbedre støpeligheten sammenlignet med betonger med samme v/c-forhold. Fastheten forblir dermed den samme, men muliggjør forenklet utstøping.

3. For å redusere både vann og sementmengde uten å forandre betongens mekaniske styrke. Gjennom denne metoden kan en blant annet redusere kostnadene (mindre sement), redusere betongens svinnpotensial (mindre vann) og redusere faren for temperaturgradienter på grunn av lavere hydratasjonsvarme. Spesielt er denne siste effekten viktig ved betonger med større sementmengder.

VÆR OPPMERKSOM PÅ

Dynamon SX-N lar seg kombinere med andre Mapei tilsetningsstoffer, som f.eks størkningsakselererende stoffer som **Mapequick** og størkningsretard-erende stoffer som **Mapetard**. Produktet lar seg også kombinere med luftinnførende tilsetningsstoffer, **Mapeair**, for produksjon av frostbestandig betong.



Produsent:

Mapei AS
Vallsetvegen 6, 2120 Sagstua, Norway
Tlf: +47 62 97 20 00 Fax: +47 62 97 20 99
post@mapei.no
www.mapei.com

Valg av type luftinnførende stoff gjøres ut fra egenskapene til de andre delmaterialer som er tilgjengelige.

EMBALLASJE

Dynamon SX-N leveres i 25 liters kanner, 200 liters fat, i 1000 liters containere og i bulk. Produktet må oppbevares ved temperaturer mellom +8°C og +35°C og bevarer sine egenskaper i minst ett år i lukket emballasje. Fargenyanser kan oppstå i produksjon av polymerene som inngår i **Dynamon SX-N**, men dette påvirker ikke produktets bruksegenskaper. Produktet bør røres forsiktig om før bruk for å sikre et homogent produkt. Produktet bør ikke utsettes for sollys.

DOSERING

Dynamon SX-N tilsettes for å oppnå ønsket resultat (styrke, bestandighet, støpelighet, sementreduksjon) ved å variere doseringen mellom 0,3 og 2,0% av sementmengden.

Ved økt dosering økes også betongens åpentid, dvs. tiden betongen lar seg bearbeide.

Større doseringsmengder og lave betongtemperaturer gir en retardert betong. Vi anbefaler alltid prøvestøper med aktuelle parametere.

Til forskjell fra konvensjonelle melamin- eller naftalenbaserte superplastiserende tilsetningsstoffer, utvikler **Dynamon SX-N** maksimal effekt uavhengig av tilsetnings-tidspunkt, men tilsetningstidspunktet kan påvirke nødvendig blandetid.

Dersom **Dynamon SX-N** tilsettes etter at minst 80% av blandedvannet er inne vil blandetiden generelt være kortest. Det er likevel viktig med utprøvinger tilpasset eget blandedtstyr.

Dynamon SX-N kan også tilsettes direkte i automikser på bygg- eller anleggsplass. Betongen bør da blandes med maksimal hastighet på trommelen i ett minutt pr. m³ betong i lasset, men minimum 5 minutter.

VERNETILTAK

For helse-, miljø- og sikkerhetsinformasjon, se eget sikkerhetsdatablad. Sikkerhetsdatabladene finnes på www.mapei.com

MERK

De tekniske anbefalinger og detaljer som fremkommer i denne produktbeskrivelse representerer vår nåværende kunnskap og erfaring om produktene.

All ovenstående informasjon må likevel betraktes som retningsgivende og gjenstand for vurdering.

Enhver som benytter produktet må på forhånd forsikre seg om at produktet er egnet for tilsiktet anvendelse

Brukeren står selv ansvarlig dersom produktet blir benyttet til andre formål enn anbefalt eller ved feilaktig utførelse.

Alle leveranser fra Mapei AS skjer i henhold til de til enhver tid gjeldende salgs- og leveringsbetingelser, som anses akseptert ved bestilling.

TEKNISKE SPESIFIKASJONER		
Form:	Væske	
Farge:	Gulbrun	
Viskositet:	Lettflytende; <30 mPa · S	
Tørrestoffinnhold, %:	18,5 ± 1,0	
Spesifikk vekt, g/cm ³ :	1,06 ± 0,02	
pH-verdi:	6,5 ± 1	
Kloridinnhold, %:	< 0,05	
Alkaliinnhold (Na ₂ O-ekvivalenter) %:	< 2,0	
BRUKSEGENSKAPER I BETONG		
<i>Som vannreducerende stoff (lik konsistens) T 3.1</i>		
Sementmengde kg/m ³ (Norcem standard)	350	350
Tilsetningsmengde (i % av sementvekt)	0	1,0
Masseforhold (v/c-tall)	0,51	0,41
Vannreduksjon (%)	-	20
Trykkfasthet (i N/mm ²):		
1 døgn	26	41
7 døgn	42	60
28 døgn	52	68
<i>Som SP-stoff (slumpforbedrer) T 3.2</i>		
Sementmengde, kg/m ³ (Norcem standard sement):	350	350
Tilsetningsmengde (i % av sementvekt):	0	1,0
Masseforhold (v/c-tall):	0,48	0,48
Luftinnhold:	2,1	1,8
Konsistens, mm:		
- synkmål, 5 min	30	220
- synkmål, 30 min	20	200
- synkutbredelse, 5 min		420
- synkutbredelse, 30 min		380

Produsent:

Mapei AS
Vallsetvegen 6, 2120 Sagstua, Norway
Tlf: +47 62 97 20 00 Fax: +47 62 97 20 99
post@mapei.no
www.mapei.com

PRODUKTBESKRIVELSE

Mapecoat I er et løsningsmiddelfritt, to-komponent og lettflytende epoxy-system herdet med et formulert polyamin. Malingen er i tillegg tilsatt pigmenter og fyllstoff. Produktet finnes i flere farger, se fargekart. Produktet består av:
Comp. A (harpiks)
Comp. B (herder)

BRUKSOMRÅDE

Mapecoat I benyttes som maling for bestrykning og belegg på betong. Velegnet for gulv i lager, industri, kjellere, balkonger, renseanlegg, landbruksbygg, etc.

BRUKSANVISNING

Forarbeid

Best resultat oppnås med fast, tørr, porefri betongflate. Vanlige rengjøringsmetoder er sliping, slyngrensing eller sandblåsing. I alle tilfeller støvsuges underlaget før belegging.

Ved gamle gulv må forurensning vurderes før man starter kjemikalievask kombinert med høytrykksspyling eller avfetting med **Tynner** før eventuell annen forbehandling starter.

Flammerensing er også et alternativ. Betongen skal være tørr, og eventuell senere fuktvandring bør vurderes. I tilfelle vann kondenserer under belegget kan man få heftproblemer. Temperaturen på betongen bør være minst +10°C. Arbeidet går lettest og kvaliteten blir best ved +20 – 25°C.

For å kontrollere at fuktighet ikke kondenserer på betongoverflaten eller under første strøk, bør det foretas målinger av overflatetemperaturen slik at denne ligger 3°C eller mer over duggpunktet. Kontrollen må foretas før påføring. Kontrollen foretas ved måling av RF og lufttemperaturen.

Blanding

Comp. A (harpiks) og comp. B (herder) bør ha en temperatur på +15 – 25°C før blanding. Komponentene slås sammen og blandes med en langsomtgående drill med visp i 3 – 4 minutter.

Ved blanding av **Mapecoat I** skal man være særlig nøye med å røre godt om i bunnen og langs kantene.

Tynnbelegg

0,2 – 0,3 kg/m² **Mapecoat Universal** eller **Mapecoat BP** rulles på som primer. Innen 18 timer påføres et strøk 0,2 – 0,5 kg/m² **Mapecoat I**.

Ønskes sklisikring avstrøs første strøk med fin sand (f.eks. 0 – 0,5 mm) før belegget er herdet. På vertikale flater er det ofte porer som kan sparkles med **Mapecoxy MS** eller **Mapecoxy Cem-S**.

Belegg med mønster

0,2 – 0,4 kg/m² **Mapecoat I** pensles eller rulles på. "Fargeflakes" i ønsket mengde og farge strøs straks på den uherdede epoxyen. Dagen etter koster løse "flakes" bort og et strøk 0,2 – 0,3 kg/m² **Mapecoat Universal** påføres.

Rengjøring verktøy

Redskap kan rengjøres straks etter bruk med **Tynner** eller sprit.

OBS !

Oppvarming som kan gi høy konsentrasjon av CO₂, kan føre til klebrig og misfarget overflate.

VERNETILTAK

For helse-, miljø- og sikkerhetsinformasjon, se eget HMS-datablad. HMS-databladene finnes på www.resconmapei.com



Produsent:

Rescon Mapei AS
Vallsetvegen 6, 2120 Sagstua, Norway
Tlf: +47 62 97 20 00 Fax: +47 62 97 20 99
post@resconmapei.no
www.resconmapei.com

Rescon Mapei AS
et selskap i



MERK

De tekniske anbefalinger og detaljer som fremkommer i denne produktbeskrivelse representerer vår nåværende kunnskap og erfaring om produktet.

All ovenstående informasjon må likevel bli betraktet som retningsgivende og gjenstand for vurdering. Enhver som benytter produktet må på forhånd forsikre seg om at produktet er egnet for tilsiktet anvendelse. Brukeren står selv ansvarlig dersom produktet blir benyttet til andre formål enn anbefalt, eller ved feilaktig utførelse.

Alle leveranser fra Rescon Mapei AS skjer i henhold til de til enhver tid gjeldende salgs- og leveringsbetingelser som ansees akseptert ved bestilling.

TEKNISKE DATA**Produkt spesifikasjoner:**

Spesifikk vekt:	Ca. 1,25 g/cm ³
Viskositet 20°C:	Ca. 2000 mPa s
Brukstid (Pot-life) 20°C:	Ca. 25 min.
Farge:	se fargekart
Shore D	1 døgn: 80 7 døgn: 85
Emballasje:	1, 4 og 12 kg sett
Blandingsforhold Mapecoat I (farget), comp. A : comp. B	(0,75 : 0,25 vekt) 3 : 1 vekt (9 : 3 vekt)
Herding:	Mapecoat I vil ved 20°C være støvtørr etter ca. 20 timer. Tyngre trafikk bør vente i 4 – 5 dager. Unngå vannsøl den første tiden, da dette kan medføre "water spots", dvs. misfarging i overflaten. Lavere temperatur krever lengre herdetid og faren for krittning er større. Laveste påføringstemperatur er +5°C.
Lagring:	Lagret frostfritt i uåpnet original-emballasje forandres ikke bruksverdien de første 24 månedene.

Produsent:

Rescon Mapei AS
Vallsetvegen 6, 2120 Sagstua, Norway
Tlf: +47 62 97 20 00 Fax: +47 62 97 20 99
post@resconmapei.no
www.resconmapei.com

Rescon Mapei AS
et selskap i



SikaAer® -S

Luftinnførende tilsetningsstoff for betong og mørtel

Produktbeskrivelse	SikaAer®-S er et luftinnførende tilsetningsstoff basert på syntetisk tensider. SikaAer®-S danner et finfordelt luftporesystem i betongens sementpasta. Luftporene fungerer som ekspansjonskammer når fukten/vannet i den herdede betongen utvider seg ved frysing. Luftporene vil også gjøre betongen mer lettarbeidelig og smidig.
Anvendelsesområder	SikaAer®-S anvendes i betong for å øke frostbestandigheten i konstruksjoner som er utsatt for frysing/tining i nedfuktet tilstand. SikaAer®-S kan også anvendes for å forbedre betongens støpelighet eller betongens stabilitet og dermed redusere faren for bleeding og separasjon.
Produktegenskaper	SikaAer®-S forbedrer betongens egenskaper som følger: <ul style="list-style-type: none">■ Forbedret bearbeidelighet■ Økt frostbestandighet■ Økt vanntetthet■ Gir mulighet for å styre luftinnføring i betong.■ Gir stabilt luftinnhold i betong, også egnet til betong med flyveaske eller flyveaskesement■ God stabilitet i varmbetong.

Produktdata

Tekniske data	<ul style="list-style-type: none">■ Type: Væske på basis av syntetisk tensider■ Farge: Gul■ Densitet: 1,02 ± 0,01 kg/l■ Viskositet: Lettflytende■ Tørrstoff: 9,0 ± 1 %■ pH: 7 ± 1 %■ Kloridinnhold (Cl-): < 0,10 % (vekt)■ Alkaliinnhold (Na₂O ekv.): < 0,10 % (vekt)■ Normaldosering: 0,01 – 0,08 % av sementvekt	<p>For å oppnå mer nøyaktig dosering anbefales at SikaAer®-S fortynnes med vann for eksempel i forholdene 1:9, 1:19 eller lignende avhengig av doseringsbehov og vektkapasitet. Tilsett først vannet, deretter SikaAer®-S (konsentrat).</p> <p>Nødvendig dosering for å oppnå spesifisert luftinnhold avhenger av sementtype, blandertype, tilslagets gradering, innholdet av fint materiale (< 0,25 millimeter), betongens konsistens og temperatur. Innenfor temperaturområdet +10 °C - +30 °C avtar effekten noe med økende temperatur. For optimal dosering anbefales forførsøk.</p>
Doseringstidspunkt	SikaAer®-S tilsettes sammen med blandevannet. SikaAer®-S kan også tilsettes i automikser. Beregn minimum 5 minutter blandetid på full hastighet.	



Kombinasjoner	<p>SikaAer®-S kan kombineres med andre produkter fra Sika som følger:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Plastiment® BV-40 ■ SP-stoff i Sikament eller ViscoCrete-serien ■ Sika Stabilizer ■ Sika® Pump ■ Sika® Rapid 2 og 3 ■ Sika® Retarder ■ Sika® Ferrogard 901
----------------------	--

Bivirkninger	Overdosering reduseres betongens trykkfasthet.
---------------------	--

Godkjenninger	<p>SikaAer®-S er omfattet av samsvarserklæring 1257-CPD-701 og er CE-merket som angitt nedenfor. SikaAer®-S er tildelt miljømerket EQ-Seal av den Europeiske tilsetningsstoffforeningen EFCA. Miljømerket tildeles produkter som ikke har negative effekter på menneske og miljø.</p>
----------------------	---



Emballasje	SikaAer®-S leveres i kanner à 5, 10 og 25 liter, fat à 200 liter, container à 1000 liter eller med tankbil.
-------------------	---

Oppbevaring, holdbarhet og avfallshåndtering	<p>Ved <u>frostfri</u> lagring i uåpnet emballasje, er holdbarheten min. 9 måneder fra produksjonsdato.</p>
---	---

Produktet er ikke klassifisert som spesialavfall.

For avfallshåndtering, se tilhørende HMS-datablad.

Sika Norge AS er med på Materialreturordningen, og betaler gebyr for all produkt- og forsendesesemballasje. Vi anbefaler at all tomemballasje leveres til gjenvinning.

Helse, Miljø og Sikkerhet	Se tilhørende HMS-datablad.
----------------------------------	-----------------------------

Produktet er produsert i en bedrift som er sertifisert i henhold til ISO 9001:2000 og ISO 14001.

Ønskes ytterligere opplysninger, står våre konsulenter samt vår kundeservice til din disposisjon.

Forespørsel om HMS-datablad kan rettes til vår HMS-ansvarlig, eller gå inn på våre nettsider: www.sika.no

Produktansvar

Denne informasjonen og i særdeleshet anbefalingene i forbindelse med anvendelse av Sika-produkter er gitt i god tro, basert på Sikas inneværende kunnskap og erfaring med produktene når de er riktig lagret, behandlet og anvendt under normale forhold.

I praksis vil forskjellene i materialer, underlag og lokale forhold være av en slik karakter at verken denne informasjonen, andre skriftlige anbefalinger eller noen annen form for råd kan innebære noen garanti med hensyn til det bearbejdede produktets omsetningspotensial eller egnethet for et bestemt formål, ei heller noen annen form for juridisk ansvar.

Tredjeparts eiendomsrett må respekteres.

Enhver ordre aksepteres i henhold til Sikas gjeldende salgs- og leveringsbetingelser. Brukere skal alltid forholde seg til sist oppdaterte versjon av produktdatablad og HMS-datablad for det aktuelle produktet. Kopier av gjeldende versjoner finnes på Sika Norges internettsider: www.sika.no.



Sika Norge AS
Industriveien 22
Postboks 76
1483 SKYTTA
Norge

Tel. 67 06 79 00
Fax 67 06 15 12
www.sika.no

Vedlegg E- Standarder

SINTEF Byggeforsk Betong og natursteinlaboratoriene	KS 14-05-04-108 Kloridanalyse-spektrofotometer	Gradering Intern	Side 1 av 5
Utarbeidet av J Havdahl, J Sliper, H Justnes	Godkjent av Harald Justnes	Versjon 1	Gyldig fra 2007-09-20

1 Formål og bruksområde

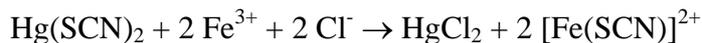
Prosedyren beskriver en spektrofotometrisk metode for bestemmelse av totalt kloridinnhold i betongstøv. Metoden er gyldig opp til 2 % Cl⁻ av betongvekt. Prosedyren skal følges dersom ikke annet er avtalt mellom saksbehandler og oppdragsgiver.

2 Referanser

Metoden bygger på en analyseprosedyre beskrevet i Vogels bok, "Textbook of Quantitative Inorganic Analysis" - Forth Edition 1978. p 754 - 755; "B. Mercury(II) thiocyanate method".

3 Kort beskrivelse av metoden

Betongstøv oppsluttes i fortynnet salpetersyre ved 80 °C. 2 - 4 ml av oppslutningen filtreres gjennom et membranfilter etter minimum en times henstand ved romtemperatur. 250 µl av filtratet overføres til en 10 ml målesylinder og tilsettes en fast mengde reagenser og destillert vann. Reagensene og kloridionene danner kvikksølvklorid og kompleksionet jern(III)tiocyanat som er brun orange av farge;



Intensiteten av fargen øker med kloridinnholdet i blandingen. Absorbans av lys med bølgelengde 460 nm i løsningen måles med et spektrofotometer. Deretter sammenholdes verdien med tilsvarende verdi fra en kalibreringskurve, kloridinnholdet for løsningen i kuvetten beregnes og herav totalt kloridinnhold for støvprøven når vekt og fuktighet i denne er kjent.

4 Nødvendig utstyr

4.1 Laboratorieutstyr

1. Vekt, minste avlesning 0,01 g
2. Spektrofotometer innstilt på bølgelengde 460 nm
3. Begerglass, 2000 ml høy form
4. Begerglass, 150 ml høy form.
5. Fullpipette, 50 ± 0,05 ml
6. Målesylinder med propp, 10 ± 0,15 ml
7. Dispenser eller Peleusballong for pipettering.
8. Varmeplate med temperaturstyring
9. Vannbad med temperaturregulator for reagenser
10. Laboratorierører
11. Membranfilter, engangs 0,45µm
12. Mikropipetter (250 og 0 - 1000 µl)
13. Engangssprøyte, 10 ml
14. Engangshansker (kloridfri)
15. Prøveglass

Vedlegg E- Standarder

SINTEF Byggforsk Betong og natursteinlaboratoriene	KS 14-05-04-108 Kloridanalyse-spektrofotometer	Gradering Intern	Side 2 av 5
Utarbeidet av J Havdahl, J Sliper, H Justnes	Godkjent av Harald Justnes	Versjon 1	Gyldig fra 2007-09-20

Merk: Glassutstyr som er kalibrert ved en gitt temperatur (vanligvis 20 °C), må ikke tørkes i varmeskap etter rengjøring.

4.2 Kjemikalier

4.2.1 Generelle krav og merknader

Kjemikaliene som brukes, skal være av analysekvalitet. Vannet som brukes, skal være destillert eller av samme renhet. Hvis ikke annet er nevnt, betyr % masseprosent.

Fortynningsgrad av konsentrert syre er gitt i volum. Med for eksempel salpetersyre 1 + 9, menes 1 volumdel salpetersyre fortynnet med 9 volumdeler vann til totalt 10 volumdeler.

Reagens 2 i neste avsnitt lages ved å løse 120,6 g ammonium jern(III)sulfat dodecahydrat i nesten 900 ml 9 M HNO₃ i en liter målekolbe som så fylles opp til merket med 9 M HNO₃ etter at løsningene er temperert. En liter ca. 9 M HNO₃ lages først ved å sette 620 ml 65 % HNO₃ til 380 ml vann under omrøring (**ikke** omvendt rekkefølge).

4.2.2 Reagenser

1. 65 % Salpetersyre, HNO₃, fortynnet 1+9
2. 0,25 M Ammonium jern(III)sulfat dodecahydrat, Fe(NH₄)(SO₄)₂·12H₂O, løst i 9 M HNO₃
3. Kvikksølv(II)tiocyanat, Hg(SCN)₂, mettet i 96 % etanol uten denatureringsmiddel.
4. Natriumklorid, NaCl, tørket i minst 2 timer ved 105°C for kalibrering
5. Kontrolløsning 1, Natriumklorid 20 µg/ml Cl⁻ i fortynnet salpetersyre 1+9
6. Kontrolløsning 2, Natriumklorid 500 µg/ml Cl⁻ i fortynnet salpetersyre 1+9

5 Kalibrering

Kalibrering gjøres ved tilsetning av ulike, nøyaktige mengder NaCl til tørr, nedknust referansebetong (ca 5,00 g) med et minimalt kloridinnhold. Minst 10 konsentrasjonsnivåer for Cl⁻ av betongvekt velges i området 0,00 til 2,00 %, hvorav en skal være 0,00 % (ingen tilsetning av NaCl). Ut ifra mengde tilsatt NaCl og de tilsatte væsker beregnes konsentrasjonen av Cl⁻ i kuvetten manuelt. Absorbans avleses på vanlig måte. Minimum 2 uavhengige analyser foretas for hvert av de minimum 10 nivå. Samtlige minimum 20 verdier plottes inn i et XY diagram med konsentrasjon av klorider i kuvetten som y-akse og [(avlest absorbans) – (gjennomsnittlig absorbans for 2 prøver med 0,00 % Cl⁻)] som x-akse. Punktene tilpasses et tredjegradspolynom tvunget igjennom origo; $y = a \cdot x^3 + b \cdot x^2 + c \cdot x$. Gjeldende kalibrering er basert på 12 doble punkter og benytter faktorene $a = 1,544 \cdot 10^{-13}$, $b = 6,712 \cdot 10^{-10}$ og $c = 3,361 \cdot 10^{-7}$ med tilpasningsfaktor $r^2 = 0,9995$.

Minst en gang per år foretas kontroll av kalibreringskurven for støvprøver ved tillaging og måling av 4 støvprøver á ca 5,00 g med tilsatt Cl⁻ mengde 0,00 %, ≈0,20 % (≈0,016 g NaCl), ≈0,50% (≈0,041 g NaCl) og ≈1,00% (≈0,082 g NaCl) av betongvekt. To analyser gjøres for hvert nivå. Kloridkonsentrasjonen i kuvetten beregnes manuelt og absorbans avleses. Punktene med $y =$ kloridkonsentrasjon og $x = [(avlest absorbans) – (gjennomsnittlig absorbans for 2 prøver med 0,00 % Cl⁻)]$ plottes inn og det kontrolleres at de ikke avviker nevneverdig fra kalibreringskurven som finnes på regnearket

Vedlegg E- Standarder

SINTEF Byggeforsk Betong og natursteinlaboratoriene	KS 14-05-04-108 Kloridanalyse-spektrofotometer	Gradering Intern	Side 3 av 5
Utarbeidet av J Havdahl, J Sliper, H Justnes	Godkjent av Harald Justnes	Versjon 1	Gyldig fra 2007-09-20

I:\pro\22m910\50\Konkalib\KalibreringA-20.xls. Eventuell endring av kalibreringskurve må godkjennes av kvalitetsleder.

6 Gjennomføring av analysen

6.1 Preparering av prøver

6.1.1 Prøve fra utboret kjerne.

Vanligvis foretas fresing av 1-3 mm tykke sjikt inn til ønsket dybde. Frest støv legges i merkede plastposer med lås. Alternativt kan kjernen tørrsages i diamantsag med spesielt tørrsagblad til skiver med tykkelse ikke over 7 mm, men tilstrekkelig til å gi minst 10 g nedknust prøve. Hver prøve legges i separate merkede plastposer med lås. Skivene grovknuses for hånd og nedknuses i kjeftknuser til en D_{max} på ca 2 mm. Finknusing foregår i skivemølle ned til en finhet som lettest sammenlignes med fint mel. Prøven leveres så til analyselaboratoriet i lukket, merket plastpose. Dette støvet er forutsatt tørket ved 105°C som en følge av prosedyren for finknusingen (dvs ca 0,5 % fuktighet ved analyse).

6.1.2 Prøver direkte utboret fra betongkonstruksjonen

Prøven leveres til laboratoriet i forseglet plastpose påført uttakssted og avstand fra overflate hvor prøven er tatt. Fremgangsmåte for uttak av prøven er beskrevet i egen prosedyre. Før innveining bør eventuelt større betongbiter siktes fra prøven. Det tas ut en stikkprøve som tørkes til konstant vekt (vanligvis oppnåes det etter 1 time ved 105 °C) før det analyseres. Vekten av støvet (stikkprøven) kontrolleres før (m_f) og etter (m_e) tørking slik at % -vis fuktighet kan beregnes $= (m_f - m_e) \cdot 100\% / m_f$. Fuktigheten inngår i utregningen av kloridinnhold i tørt betongstøv for de øvrige prøver.

6.2 Oppslutning av betongstøv

1. Vei inn ca 5,00 g av betongprøven i et begerglass. Notér nøyaktig vekt.
2. Pipetter ut 50 ml varm (80 °C) fortynnet HNO_3 og tilsett prøven.
3. Rør blandingen i 30 sek med propellrører eller i 2 min for hånd med glasstav.
4. La oppslutningen stå til henstand i minimum 60 minutter og maksimum 3 timer.
5. Ta ut ca 3 – 5 ml av løsningen med en 10 ml engangssprøyte.
6. Monter engangs membranfilter og filtrer ut 2 - 4 ml i et prøveglass.

6.3 Uttak og blanding av analysevæske

1. Før uttaket gjøres bør spektrofotometeret være påslått i minst 20 minutter.
2. Fyll en 10 ml målesylinder med 8,0 ml destillert vann.
3. Bruk mikropipetten og pipetter ut 250 μl fra filtratet i prøveglasset.
4. Pipetter ut 835 μl $\text{Fe}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ løst i 9 M HNO_3 og tilsett målesylinderen.
5. Pipetter ut 835 μl mettet $\text{Hg}(\text{SCN})_2$ i etanol og tilsett målesylinderen.
6. Sett kork på målesylinderen og snu denne opp og ned minst 5 ganger for god blanding.
7. Nulløsning (blindprøve) lages på samme måte, men med 8,2 ml destillert vann og uten 250 μl uttak av filtrat.
8. Blandingens skal stå i 10 minutter før måling.

Vedlegg E- Standarder

SINTEF Byggeforsk Betong og natursteinlaboratoriene	KS 14-05-04-108 Kloridanalyse-spektrofotometer	Gradering Intern	Side 4 av 5
Utarbeidet av J Havdahl, J Sliper, H Justnes	Godkjent av Harald Justnes	Versjon 1	Gyldig fra 2007-09-20

6.4 Spektrofotometermålinger

1. Spektrofotometeret slås på med hovedbryter og det kontrolleres at instrumentet ikke gir feilmeldinger under oppstart.
2. Innstill bølgelengden til 460 nm og la instrumentet stå i minimum 20 minutter før måling.
3. Slå blindprøven i kuvetten og innstill nullnivået for instrumentet.
4. Skyll kuvetten med prøveblandingen.
5. Slå prøveblandingen i kuvetten og sett denne inn i prøvekammeret på spektrofotometeret og avles absorbansen på displayet.
6. Resultatet for prøvens absorbans (ABS) noteres på analyseskjema sammen med prøvens nøyaktige vekt i gram og romtemperatur ved målingen. Punktene 4-6 gjentas for alle prøvene i serien.
7. For beregning av kloridinnholdet i enkeltprøver føres resultatene inn i regnearket **I:\pro\22m910\50\Konkalib\kloridmal2.xls**. For beregning av kloridinnhold i ulike sjikt i en og samme betongkjerne anvendes regnearket **I:\pro\22m910\50\Konkalib\kloridmal.xls**. Disse regnearkene er skrivebeskyttede maler som har tall i grønne celler for verdier som skal endres/kontrolleres, tall i gule celler som kan endres om nødvendig og tall i røde celler som ikke må endres uten etter avtale med kvalitetsansvarlig. Tall i hvite celler er beregnede verdier.

6.5 Spesielle forhold

Hver dag det utføres analyser skal det tas 2 kontrollmålinger av kontrolløsning 1 og 2. Verdiene noteres på analyseskjemaet sammen med instrumentets nullverdi etter nullsetting av nulløsning (blindprøve). Det skal også kontrolleres at vekten av vannet fra dispenseren er 8,00 g \pm 0,05 g (= 8,0 ml).

Temperaturen for Hg(SCN)₂-mettet reagensløsning må aldri være mindre enn 20°C. Den skal derfor alltid stå på et temperaturregulert vannbad (23 \pm 1°C), gjerne sammen med Fe-reagenset. Årsaken er at konsentrasjonen av kvikksølv i den mettede etanol-løsningen er sterkt avhengig av temperaturen. Konsentrasjonen av kvikksølv er målt til henholdsvis 2,64, 2,40 og 1,49g Hg/l ved temperaturene 23,5, 20,5 og 5,0 °C.

7 Presentasjon av resultatene

Dersom prøvene utgjør en profil av forskjellige dybder inn i betong tatt fra en konstruksjon, presenteres resultatene som en grafisk fremstilt kloridprofil med inntrengningsdybde i mm på x-aksen og kloridinnhold i % av betongvekt på y-aksen som angitt i regnearket **I:\pro\22m910\50\Konkalib\kloridmal.xls**. For hver ny prøve lagres det modifiserte regnearket med nytt navn under den aktuelle oppdragsfolder. Regnearket genererer et sett x (dybde i mm) og y (kloridinnhold i % av tørt støv) verdier som klippes ut og limes inn i eget regneark for eventuell utregning av diffusjonskoeffisient. Hvis prøvene er utgjør enkeltverdier der profiltilpasning ikke har relevans anvendes regnearket **I:\pro\22m910\50\Konkalib\kloridmal2.xls**.

Vedlegg E- Standarder

SINTEF Byggeforsk Betong og natursteinlaboratoriene	KS 14-05-04-108 Kloridanalyse-spektrofotometer	Gradering Intern	Side 5 av 5
Utarbeidet av J Havdahl, J Sliper, H Justnes	Godkjent av Harald Justnes	Versjon 1	Gyldig fra 2007-09-20

8 Prøvingsrapport

Dersom prøvingen gjelder in-situ kloridprofiler, skal prøvingsrapporten inneholde resultatene i tabellform med prøvemerkning, avstand fra betongoverflata med tilhørende kloridinnhold. Den grafiske fremstillingen av kloridprofilen vedlegges rapporten. Prøvingsrapporten bør også inneholde sammenligninger med de akseptable grenser for kloridinnhold og faregrenser mht armeringskorrosjon.

Dersom det er separate prøver tatt på forskjellige steder på konstruksjonen uten at disse utgjør en del av ett profil av betongen, rapporteres de kun i tabellform og uten sammenligninger mot de nevnte grenseverdier.

SIN Vedlegg F Standarder KS 14-05-04-126		Gradering	Side 1 av 8
Betong og natursteinlaboratoriene	Akselerert kloridinntrenging – Bulk diffusjon	Intern	
Utarbeidet av Eva Rodum	Godkjent av Harald Justnes	Versjon 1	Gyldig fra 2007-09-20

1 Formål og bruksområde

Denne prosedyren beskriver en metode for å bestemme kloriddiffusjonskoeffisienten for herdnet betong eller andre sementbaserte materialer.

2 Referanser

- /1/ AEClaboratory: "Concrete testing. Hardened concrete. Chloride penetration. APM 302", 2nd edition, May 1991.
- /2/ NS 3671
- /3/ Intern prosedyre KS 14-05-04-108

3 Kort beskrivelse av prøvingsmetoden

Endeflaten på en vannmettet prøvesylinder eksponeres i en ~ 15 % NaCl-løsning i min 35 døgn. Etter ønsket eksponeringstid måles kloridinnholdet i 1 mm tykke sjikt, parallelle med eksponeringsflata. Det opprinnelige kloridinnholdet i betongen måles også. Kloriddiffusjonskoeffisienten (D_{Cl}) og kloridinnholdet i overflaten (C_0) beregnes etter Ficks 2. lov, som beskriver sammenhengen mellom målt kloridinnhold (C_x), avstanden fra eksponert overflate (x), og eksponeringstiden (t). Dessuten beregnes inntrengingshastigheten, v_i , som representerer total mengde inntrengte klorider dividert med areal og eksponeringstid. Kloridprofiler for de eksponerte prøvelegemer framstilles.

4 Kjemikalier og utstyr

- Destillert eller deionisert vann
- Kalsiumhydroksyd ($Ca(OH)_2$), p.a. kvalitet
- Natriumklorid (NaCl), p.a. kvalitet
- Epoksy
- Vannkjølt diamantsag
- Vekt, nøyaktighet bedre enn $\pm 0,01$ g.
- Termometer, nøyaktighet bedre enn ± 1 °C.
- Kar for vannmetning av prøvelegemer
- Utstyr til avfresing og oppsamling av betongstøv fra 1 mm betongsjikt
- Utstyr til nedknusing av betong
- Kar for eksponering av prøvelegemer i NaCl - løsning
- Salimeter for kontroll av NaCl-løsning
- Spektrofotometer for analyse av kloridinnhold i betongstøv

5 Forbehandling

Dokumentasjon av forbehandling føres på eget skjema som vist i Vedlegg 1.

SIN 1001		KS 14-05-04-126		Gradering	
Betong og natursteinlaboratoriene		Akselerert kloridinntrenging – Bulk diffusjon		Intern	
Utarbeidet av Eva Rodum		Godkjent av Harald Justnes		Versjon	
				1	
				Side 2 av 8	
				Gyldig fra 2007-09-20	

5.1 Tildanning av prøvelegemer

Metoden utføres på utstøpte sylindere eller utborede kjerner, med minimum dimensjoner $d \times h = \varnothing 75 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$.

For at det skal kunne tildannes to prøvelegemer fra samme sylinder/kjerne skal denne sylinder/kjerne ha minimum høyde 200 mm.

Prøvene skal være representative for det materiale/den konstruksjon som skal undersøkes, og de må være fri for synlige riss, hulrom eller andre skader.

Innsendte prøver eller utstøpte sylindere/terninger skal ha en alder på minimum 12 uker. Utstøpte sylindere vannlagres fram til prøving.

Dersom man benytter en kjerne utboret fra utstøpt plate, så skal først de ytterste ca 70 mm av kjernen skjæres av. Av denne delen skal så de ytterste 10 mm skjæres av. Den sist dannede skjærflata utgjør eksponeringsflata. Se fig 1.

Dersom man benytter en kjerne utboret fra en eksisterende konstruksjon, skal tildanning av prøvelegemer vurderes i hvert enkelt tilfelle og ta hensyn til kjernens naturlige kloridprofil.

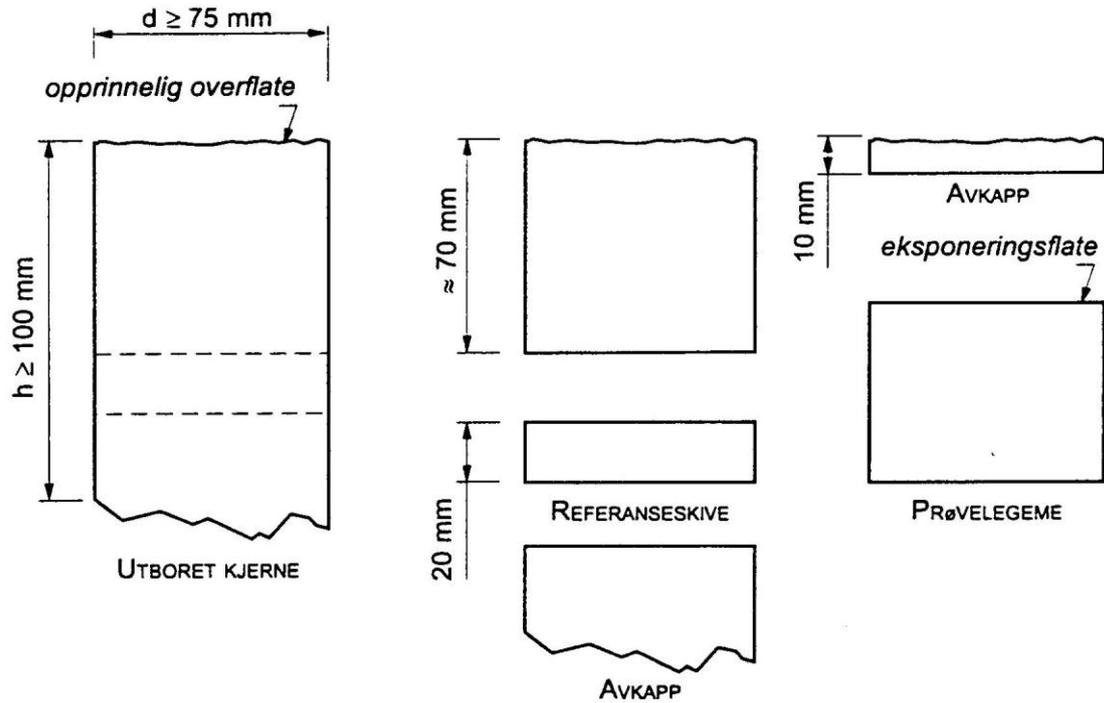
Dersom man benytter en utstøpt sylinder med høyde $< 200 \text{ mm}$, så skal denne deles i to halvdel. Den ene halvdelens skjærflate utgjør eksponeringsflata. Se fig 2.

Dersom man benytter en utstøpt sylinder med $h \geq 200 \text{ mm}$, kan denne først deles i to halvdel før hver halvdel behandles som vist i figur 2.

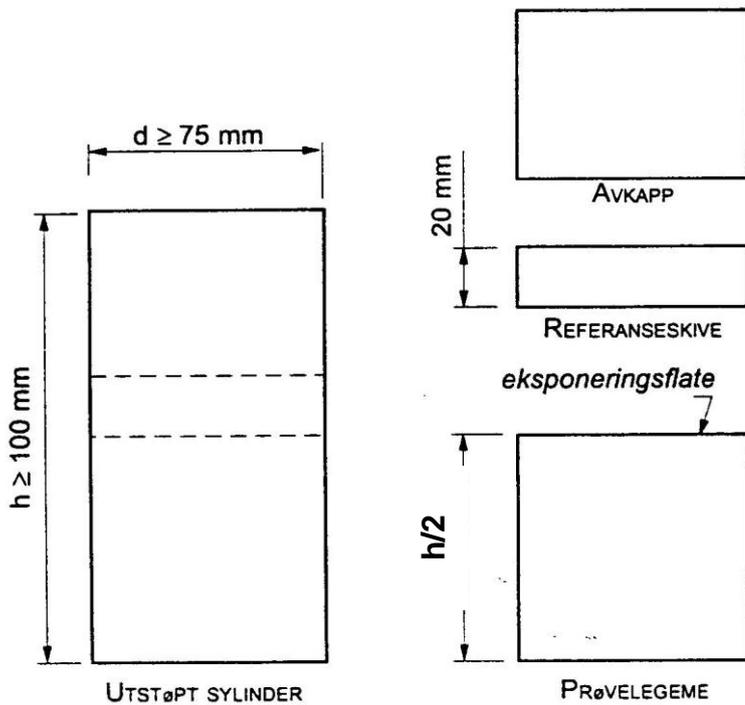
Fra den resterende del av borekjernen eller sylindere, skal det (i forlengelsen av prøvelegemet) skjæres fra en referanseskive med tykkelse på minst 20 mm. Se hhv fig 1 og fig 2. Dersom det benyttes utstøpte sylindere, er det tilstrekkelig å tildanne en referanseskive pr prøveserie støpt fra samme betongblanding.

En prøveserie skal bestå av minimum 3 prøvelegemer.

SINTEGGSK		KS 14-05-04-126	Gradering	Side 3 av 8
Betong og natursteinlaboratoriene		Akselerert kloridinntrenging – Bulk diffusjon	Intern	
Utarbeidet av Eva Rodum		Godkjent av Harald Justnes	Versjon 1	Gyldig fra 2007-09-20



Figur 1. Tildanning av prøvelegeme fra utboret kjerne.



Figur 2. Tildanning av prøvelegeme fra utstøpt sylinder.

Vedlegg F Standarder		KS 14-05-04-126	Gradering	Side 4 av 8
Betong og natursteinlaboratoriene	Akselerert kloridinntrenging – Bulk diffusjon		Intern	
Utarbeidet av Eva Rodum	Godkjent av Harald Justnes		Versjon 1	Gyldig fra 2007-09-20

5.2 Metning av prøvelegemer i $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -løsning

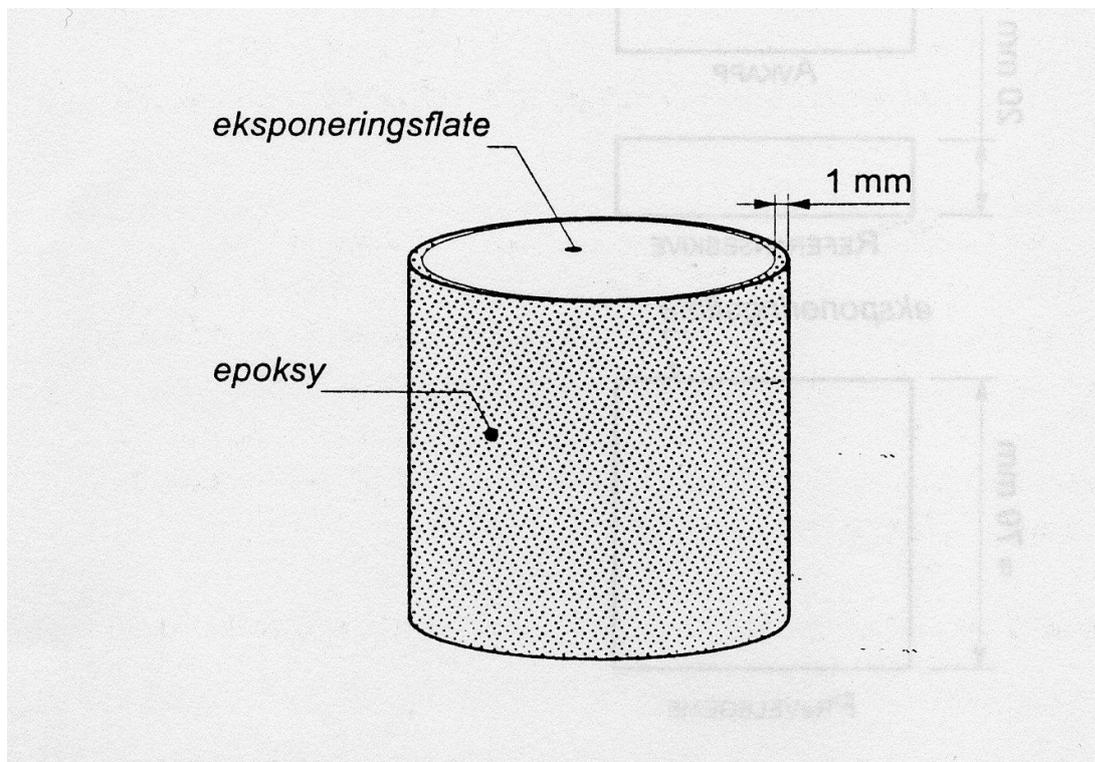
Prøvelegemet legges ned i en mettet $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -løsning (2g $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pr liter vann) ved 20-23 °C i en tett, lukket beholder. Beholderen skal fylles helt opp med $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -løsning og dekkes med lufttett lokk for å minimalisere karbonatisering av væsken.

Etter ett døgn tas prøvelegemet opp av løsningen. Med en klut som er vøtet i den samme løsningen som prøvelegemet har ligget, og deretter vridd, tørkes prøvelegemet slik at fri $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -løsning fjernes fra overflata. Prøvelegemet veies, og vekten noteres som m_{ot} . Prøvelegemet legges tilbake i $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -løsningen.

Lagringen i $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -løsningen fortsetter inntil m_{ot} ikke endres mer enn 0,1 vekt% i døgnet.

Når m_{ot} er stabil legges prøvelegemet i klimarom ved 50 % RF og temperatur 20°C i 4 timer, før prøvelegemet belegges med epoksy på alle frie flater, bortsett fra eksponeringsflata (jfr pkt 5.1). Epoksybelegget legges dog med 1 mm overlapping inn på eksponeringsflata (se fig 3). Påføring og herding av epoksybelegget skal skje iht leverandørbeskrivelsen.

Når epoksybelegget er herdet legges prøvelegemet tilbake i $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -løsningen, inntil m_{ot} stabiliseres som beskrevet over.



Figur 3. Påføring av epoksy på prøvelegeme.

SIN 4001-1-11		KS 14-05-04-126	
Vedlegg F Standarder		Akselerert kloridinntrenging – Bulk diffusjon	
Betong og natursteinlaboratoriene		Gradering Intern	
Side 5 av 8		Versjon	
Utarbeidet av Eva Rodum		Godkjent av Harald Justnes	
		1	
		Gyldig fra 2007-09-20	

6 Prøving

Dokumentasjon av prøvingen føres på eget skjema som vist i Vedlegg 1.

6.1 Framstilling og kontroll av eksponeringsvæsken.

Eksponeringsvæsken framstilles som en løsning av destillert eller deionisert vann og NaCl, med en konsentrasjon på $165 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$ NaCl pr liter løsning. Forholdet mellom eksponeringsareal i cm^2 og eksponeringsvæsken i dm^3 skal være mellom 20 og 80. (Dette tilsier at 1 serie á 3 paralleller á $\varnothing 100 \text{ mm}$ skal neddykkes i 3-12 liter NaCl-løsning)

Løsningens NaCl-konsentrasjon skal kontrolleres minst en gang før, en gang under og en gang etter eksponeringen. Dersom konsentrasjonen avviker mer enn $\pm 3 \text{ g}$ NaCl pr liter oppløsning, skal eksponeringsvæsken justeres til $165 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$ NaCl pr liter løsning. Kontroll av eksponeringsvæsken utføres ved potensiometrisk titrering iht NS 3671 eller ved spektrofotometer iht til KS 14-05-04-108.

Eksponeringsvæskens temperatur skal være $23 \pm 2^\circ\text{C}$ med en middeltemperatur på 23°C . Temperaturen skal måles minst en gang pr døgn.

6.2 Eksponeringen

Prøvelegemet tas opp fra $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -løsningen og tørkes med en fuktig klut til overflatetørr tilstand, som beskrevet i pkt 5.2, andre avsnitt.

Prøvelegemet legges deretter ned i NaCl-løsningen, og lagres her i minst 35 døgn. Forholdet mellom eksponeringsareal i cm^2 og NaCl-løsning i dm^3 skal være mellom 20 og 80. Dette tilsier at en serie á 3 parallelle sylindere med diameter 100 mm skal neddykkes i 3-12 liter NaCl-løsning.

6.3 Måling av kloridinnhold

Etter ønsket eksponeringstid (≥ 35 døgn) tas prøvelegemene opp av løsningen. Fresing av 1 mm tykke sjikt skal utføres samme dag (innen 4 timer etter at prøvene er tatt opp av NaCl-løsningen). Dersom det ikke lar seg gjøre å frese prøvene på det på forhånd avtalte tidspunkt, skal prøvene oppbevares i NaCl til fresing kan utføres. Tidspunkt for opptak fra NaCl-løsning og fresing skal noteres.

Det skal freses av betongstøv i sjikt parallelle med eksponeringsflata. Antallet sjikt bestemmes av kloridinntrengingsdybden og skal være tilstrekkelig til at en utflating av kloridprofilet kan registreres. Avfresingen skal foretas innenfor en diameter som er minst 10 mm mindre enn prøvelegemets fulle diameter. Hvert sjikt skal som hovedregel ha en tykkelse på 1 mm. I spesielle tilfeller kan sjikttykkelsen, etter nærmere vurderinger, velges til 0,5 mm eller 2 mm. Dybden under eksponert overflate bestemmes som gjennomsnittet av 5 jevnt fordelte målinger, med en nøyaktighet på minst 0,1 mm.

Den 20 mm tykke referanseskiven knuses til betongstøv for bestemmelse av opprinnelig kloridinnhold.

Syreoppløselig kloridinnhold bestemmes for hvert sjikt, C_x , ved spektrofotometrisk analyse (Intern prosedyre KS 14-05-04-108).

SIN 1001 - Standarder for KS 14-05-04-126		Gradering	Side 6 av 8
Betong og natursteinlaboratoriene	Akselerert kloridinntrenging – Bulk diffusjon	Intern	
Utarbeidet av Eva Rodum	Godkjent av Harald Justnes	Versjon 1	Gyldig fra 2007-09-20

7 Beregning av resultater

7.1 Teori

De målte kloridinnhold tegnes opp som funksjon av dybden under eksponeringsflata.

Kloriddiffusjonskoeffisienten, D_{Cl} , beregnes med bakgrunn i Ficks 2. lov:

$$\frac{dC}{dt} = D_{Cl} \frac{d^2 C}{dx^2} \quad (1)$$

Løsningen av Ficks 2. lov gir kloridinnholdet som funksjon av eksponeringstiden, t , og avstanden fra eksponeringsflata, x :

$$C(x,t) = C_0 - (C_0 - C_i) \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{D_{Cl} \cdot t}}\right) \quad (2)$$

hvor:	$C(x,t)$	=	Kloridinnhold målt i dybden x etter eksponeringstiden t
	C_0	=	Beregnet kloridkonsentrasjon i overflata, $x = 0$
	C_i	=	Opprinnelig (initielt) kloridinnhold i betongen
	x	=	Avstand fra eksponeringsflata
	D_{Cl}	=	Kloriddiffusjonskoeffisient
	t	=	Eksponeringstid
	erf	=	Feilfunksjonen

Feilfunksjonen løses iht [2], som:

$$\operatorname{erf}(x) = 1 - (1 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + a_4 x^4)^{-4}$$

hvor:	a_1	=	0,278393
	a_2	=	0,230389
	a_3	=	0,000972
	a_4	=	0,078108

Klorid-inntrengingshastigheten under forsøket beregnes ved at summen av målt kloridinnhold i alle sjikt (omregnet til g/m^3) summeres. Bakgrunnsverdien trekkes fra de målte verdier. Total mengde inntrengte klorider omregnes til g/m^2 .

Den totale inntrengingen av klorider pr flateenhet dividert med forsøkets eksponeringstid defineres som inntrengingshastigheten (v_i).

SIN 2007-09-20		KS 14-05-04-126	
Betong og natursteinlaboratoriene		Akselerert kloridinntrenging – Bulk diffusjon	
Utarbeidet av Eva Rodum		Godkjent av Harald Justnes	
		Gradering Intern	Side 7 av 8
		Versjon 1	Gyldig fra 2007-09-20

7.2 Beregningsprogram

Verdiene av C_0 og D_{Cl} bestemmes ved å tilpasse ligning (2) til de målte kloridinnhold ved ikke-lineær regresjonsanalyse etter minste kvadraters metode. Profilets første punkt, bestemt fra det første avfreste sjiktet, utelates fra regresjonsanalysen. De øvrige punkter vektlegges likt.

Beregninger av C_0 og D_{Cl} utføres ved bruk av regnearksprogrammet Kloriddiffusjon.xls i Microsoft Excel. Oppdatert utgave av regnearket ligger på i:\regneark\. Det skal framgå av rapporten hvilken versjon av programmet som er benyttet.

De beregnede verdier angis som følger:

- C_0 angis med 3 desimaler, som % av tørr betongvekt
- D_{Cl} angis med 2 signifikante siffer, som 10^{-12} m²/sek
- v_i angis som 10^{-6} g/m² sek

8 Prøvingsrapport

Prøvingsrapporten skal framstille de målte kloridprofilene i tabellform og grafisk.

Videre skal beregnet kloridkonsentrasjon i overflata (C_0), effektiv kloriddiffusjonskoeffisient (D_{Cl}) og inntrengingshastighet (v_i) presenteres i tabellform.

Beregnete kloridprofiler (på bakgrunn av C_0 og D_{Cl}) skal framstilles grafisk i samme figur som målte kloridprofiler.

Resultatene kan vurderes i forhold til erfaringstall fra tidligere utførte analyser, eller relateres til en referansebetong som er en del av den aktuelle prøveserie.

SIN Vedlegg F Standarder KS 14-05-04-126		Gradering	Side 8 av 8
Betong og natursteinlaboratoriene		Intern	
Utarbeidet av Eva Rodum		Versjon	Gyldig fra
Godkjent av Harald Justnes		1	2007-09-20

Vedlegg 1 Lab.skjema for dokumentasjon

2-06

Oppdragsgiver				Prosjektnr		Oppdragsnr	
KLORIDINNTRENGING - APM302 - KS70 126							
Prøvestk, antall/merking							
Nedlagt i Ca(OH) ₂ (før påføring av epoksy) utført dato/sign				Epoksy påført, dato/sign			
				Nedlagt i Ca(OH) ₂ (etter påføring av epoksy) dato/sign			
Veiing, dato	Pr 1 mrk	Pr 2 mrk	Pr 3 mrk	Veiing dato	Pr 1 mrk	Pr 2 mrk	Pr 3 mrk
Nedlagt i saltløsning, dato/av							
Saltløsning kontrollert			Pr mrk	Opp av saltløsn.		Fresing utført	
Dato	Resultat	Av		Dato - kl		Dato - kl	
			1				
			2				
			3				
Temperatur i saltløsning målt med (angi utstyr, internt reg.nr og intervall)							
Fresing utført av		Antall sjikt		Kommentarer			
		Total dybde					
Frest støv levert til _____ for analyse dato/sign							
Kontrollert, dato/sign verksmester							

SINTM 014-05-04-128	Medlegg E- Standard	Gradering Intern	Side 1 av 1
Betong og natursteinlaboratoriene	Herdnet betong. Bestemmelse av elektrisk motstandsevne	Versjon 1	Gyldig fra 2007-09-20
Utarbeidet av Ola Skjølsvold	Godkjent av Per Arne Dahl		

1 Utstyr

- Escort multimeter (2 stk ledninger med klemme)
- 2 stk 10/100/100 mm stålplater med sentrisk plassert 8 mm skrue
- elektrisk ledende gel (ultralyd-gel)

2 Prøvestykker

Måling kan utføres på alle prøvestykker med areal mindre eller lik 100 x 100 mm. Prøvestykkene skal være kapillært vannmettet (ikke trykkmettet). Anleggsflatene skal være planparallele og plane uten grader (ikke nødvendigvis planslipte; sagflater og støpehudflater er vanligvis godt nok).

3 Prosedyre

Prøvingen utføres vanligvis ved 20°C. Både prøver (i vann) og utstyr må være oppbevart ved 20°C i min 24 timer før prøving. I enkelte tilfeller vil det kreves det lengre akklimatisering for prøvene. Temperatur i vannet og rommet ved prøving skal journalføres.

Multimeteret innstilles på 1 kHz og motstandsmåling (R). Kontroller at displayet viser "1 kHz" og "Ω". Den ene stålplata legges på to trebiter eller lignende slik at den ligger stødig, og uten at ledningsklemmer og skruer kommer i klem. Det smøres ett lag med gel på begge stålplatene. Stålplatene presses fast mot hverandre og det kontrolleres at motstanden i kretsen er neglisjerbar (dvs ca 0,1-0,3 Ω).

Prøvestykkene tas opp ett og ett fra vannbad like før måling utføres. Overflatene tørkes godt med fuktet klut (*pass på at overflatene blir overflatetørre*). Deretter smøres et lag med gel (ikke tykt, men rikelig) på begge anleggsflater (det må *ikke* smøres gel på andre flater). Prøvestykket legges ned på den underste stålplata, og den andre stålplata legges oppå og presses fast ned mot prøvestykket. *Det presses mot sentrum av stålplata (stålskruen), og ikke mot stålplatas kanter*. Trykket slippes opp noen sekunder til displayet stabiliserer seg. Prosedyren gjentas. Dersom det oppnås omtrentlig samme verdi noteres siste måling som resultat. Dersom det oppnås helt forskjellige verdier må det letes etter feilkilder (grader, for lite/mye gel osv). Dersom det skal utføres flere målinger på samme prøvestykke, *må gelen tørkes godt av de sidene som ikke er anleggsflater*.

Etter avlesning av motstand tørkes gelen av flatene, og det foretas måling av anleggsflatenes areal (A) og innbyrdes avstand (L).

Resultatet beregnes som $R = \text{avlest motstand} \cdot A / L \text{ (}\Omega\text{m)}$