



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Konstruksjoner og Materialer / Bygg	Vår 2011 Åpen
Forfatter: Jørgen Kirkemo	..... (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Kjell Tore Fosså Veileder(e):	
Tittel på masteroppgaven: Kloridinntrenging i betong	
Studiepoeng:30	
Emneord: Betong Klorider Overflatebeskyttelse	Sidetall: 89+vedlegg Stavanger, 10.6.2011

Sammendrag

Denne oppgaven omhandler kloridinntrenging i betong. Den beskriver hvordan klorider vandrer inn i betong. Og forklarer hvordan klorider initierer armeringkorrosjon. Den beskriver også hvordan forskjellige overflatebehandlinger kan bremse eller hindre klorider å vandre inn i betong. I tillegg til problemer rundt kloridinntrenging er også andre nedbrytingsmekanismer beskrevet.

Det er utført et forsøk i forbindelse med oppgaven. I dette forsøket ble forskjellige overflatebehandlings beskyttende effekt mot kloridinntrenging prøvet ut. Hydrofobere silaner, vannglass, akrylmaling og heldekkende malinger ble prøvet ut. Det ble også testet en hypotese om at råolje kunne gi betong en beskyttende biologisk film.

De heldekkende malingene viste seg som ventet å være helt tette, de hydrofobere overflatebehandlingene og vannglasset ga en tydelig forbedret motstand mot klorider. I forsøket med akryl-maling ga overflatebehandlingen tilsynelatende en aksellerende effekt på inntrenging av klorider. Det ble ikke påvist noen beskyttende effekt av råolje innbalndet i saltvann.

Innhold

1	Betong	9
1.1	Sement, vann, tilslag og tilsetningsstoff	9
1.2	Hydrasjon	12
1.2.1	Dannelsen av C-S-H gel	12
1.2.2	Hydrasjon av C3A	14
1.3	Binding av klorider i betongen	14
1.3.1	Fysisk binding av klorider	15
1.3.2	Kjemisk binding av klorider i Friedelsalt	15
2	Betongnedbryting	19
2.1	Frost	19
2.2	Mekanisk nedbryting	20
2.3	Kjemisk nedbryting	20
2.3.1	Utvasking av bindestoff	21
2.3.2	Reaksjonsprodukt med stort volum	21
3	Armeringskorrosjon	24
3.1	Korrosjon	24
3.1.1	Termodynamikk	25
3.1.2	Korrosjonspotensialet i metall	27
3.1.3	Våt korrosjon	28
3.1.4	Passivering av metaller i betong	29
3.2	Armeringskorrosjon i betong	31
3.2.1	Karbonatisering	32
3.2.2	Kloridinntrenging	33

4	Transportmekanismer	35
4.1	Kapilærsug og grenseflatespenninger	35
4.1.1	Grenseflatespenninger og krummingen av grenseflater . . .	35
4.1.2	Young-Laplace likningen	36
4.1.3	Kapillærkrefter	38
4.2	Diffusjon	39
4.2.1	Diffusjon og brownske bevegelser	39
4.2.2	Sedimentasjon	40
4.2.3	Diffusjons koeffisient	41
4.2.4	Ficks andre lov i betong	42
5	Overflatebeskyttelse	44
5.1	Hydrofobe overflatebehandlinger	44
5.1.1	Løsemiddelbaserte silaner	45
5.1.2	Alkyl Alkoxy Silaner	45
5.2	Vannglass	47
5.3	Filmdannende belegg	47
5.4	Råolje	48
6	Forsøksprogram og metode	49
6.1	Betonglaboratorium	49
6.1.1	Betongresepten	49
6.1.2	Forskaling og former	51
6.1.3	Saging av størknede betongsylindere	52
6.1.4	Trykktesting, måling av porøsitet og måling av fukt i betongstøv	52
6.1.5	Kalsiumhydroksid metning av målesylindere	54
6.1.6	Påføring av epoxy på flater som ikke skal eksponeres . . .	54

6.1.7	Påføring av overflatebehandling	55
6.1.8	Råolje innblandet i NaCl bad	55
6.1.9	Neddykking i NaCl-løsning	55
6.2	Uttak av betongstøv	55
6.3	Kjemisk testing av betongpulver	57
6.3.1	Kjemikalier og reagenser	58
6.3.2	Kalibrering og kallibreringskurve	58
6.3.3	Utskilling av klorider fra betongstøv	61
6.3.4	Testløsningen	62
6.3.5	Blindprøve og kontroll løsningen	63
6.3.6	Testing av prøvene	63
6.4	Beregninger og etterarbeid	64
6.4.1	Beregning av kloridinnhold	64
6.4.2	Beregning av diffusjonskoeffisient og levetid	64
7	Resultat	66
7.1	Betongens egenskaper	66
7.1.1	Porøsitet og egenvekt av betongen	66
7.1.2	Fuktinnhold i betongstøvet	66
7.1.3	7 og 28 dagers trykktest	68
7.2	Kloridinntrenging	69
8	Diskusjon	78
8.1	Betongen benyttet	78
8.1.1	Trykkfasthet	78
8.1.2	Porøsitet	78
8.1.3	Sementinnhold i betongen	78

8.1.4	Overdekning	79
8.1.5	Levetid	79
8.2	Overflatebehandlinger benyttet	80
8.2.1	Ubehandlet prøvestykke	80
8.2.2	Hydrofoberende overflatebehandlinger	80
8.2.3	Vannglass	81
8.2.4	Akryl	81
8.2.5	Heldekkende overflatebehandlinger	82
8.2.6	Råolje	83
8.2.7	Generelt	85
8.2.8	Feilkilder	85
9	Konklusjon	87
10	Vedlegg	90

Forord

Oppgaven “Kloridinntrenging i betong” har vært en spennende masteroppgave. Den virket spennende fra jeg leste oppgaven, og jeg føler jeg har lært mye av den. Den har bydd på spennende laboratoriumsarbeide og intressant teori.

Veileder Kjell Tore Fosså fortjener en stor takk for å ha loset meg gjennom oppgaven. Samdar Kakay har også vært til stor hjelp med laboratoriumsarbeide i forbindelse med oppgaven, og jeg ønsker å takke han også.

Jeg har hatt ett godt og hyggelig samarbeid på betonglaben med medstudent Henning Rasmusen. Samarbeidet med medstudnet Qasim Ali på maskin og kjemilaben har også vært positivt. Jeg vil gjerne takke de begge.

Innledning

Betong er et materiale som er ofte brukt i og rundt saltvann. Betongkonstruksjoner som oljeplattformer, kaier og broer er ofte delevis eller helt neddykket i saltvann. Denne type konstruksjoner må det tas spesielle hensyn til. Denne oppgaven vil ta for seg problematikken rundt denne type konstruksjoner. Den vil beskrive hvordan de uønskede komponente i saltvann vandrer inn i betongen. Den vil beskrive hvordan kloridionene initierer korrosjon når den når inn til armeringen og vil redegjøre for noen forskjellige tiltak for å unngå problemene på. Oppgaven vil også beskrive andre nedbrytingsmekanisemer for betongkonstruksjoner.

I forbindelse med oppgaven er det utført et forsøk ved Universitetet i Stavanger. Forsøket vil kartlegge hvordan forskjellige overflatebehandling beskytter betongkonstruksjonene mot klorider. Det er testet flere behandlingsmetoder med forskjellige virkemåter. Det ble også gjort et forsøk som tester om det er en beskyttende effekt av å ha råolje innblandet i saltvann. At råolje har en beskyttende effekt for betong mot klorider, er en teori fremsatt av veileder Kjell Tore Fosså ved Universitetet i Stavanger.

De første 5 kapitlene vil bestå av en teoridel. Denne delen skal gi en bakgrunn for hvorfor forsøket er utført og en beskrivelse av mekanismene som driver effektene i forsøket.

Opgaven har et hovedfokus på kloridinntrenging og armeringskorrosjon, for konstruksjoner i sjøvann. Oppgaven vil derfor beskrive mekanismene som fører kloridene inn i betongen, og korrosjonsmekanismen som initieres av kloridene. Virkemåten til forskjellige overflatebeskyttelser er også beskrevet.

Opgaven vil også ta for seg betong som materiale, hva det består av og hvordan det tilvirkes. Andre typer nedbryting av betong og korrosjon som resultat av karbonatisering vil også beskrives.

Fra og med kapittel 6 vil prøveprogrammet som er utført i forbindelse med oppgaven beskrives, diskuteres og konkluderes.

1 Betong

For å kunne beskrive hvordan betong nedbrytes, og spesielt hvordan klorider og karbonater trenger inn i betong, vil dette første kapittelet beskrive betong i en generell form. Det vil ta for seg hva betong består av, og vil også beskrive hvordan selve betongen kan ha en mulighet til å binde opp klorider. Kapittelet er basert på grunnkunnskap om betong og bøkene “Grunnleggende betongteknologi”[7] og “Concrete Technology 1”[8].

1.1 Sement, vann, tilslag og tilsetningsstoff

Betong består i hovedsak av fire hovedkomponenter; vann, sement, tilsetningsstoffer og tilslag. Ved å velge forskjellige mengder, typer og sammensetninger av disse fire komponentene kan man oppnå de egenskapene man ønsker seg i en betong.

Sement

Sementen er selve limet i betongen, ved å reagere med vann og eventuelt tilsetningsstoffer vil det skje en hydrasjonsprosess, som binder hele massen sammen, og gir den den karakteristiske fastheten. Den vanligste typen sement er Portlandsement, det er denne typen sement som vil bli beskrevet i denne teksten.

Portlandsements hovedingrediens er kalk. Kalk er en naturlig forekomst av mineraler i form av kalsiumkarbonat ($CaCO_3$). Under produksjon av sement blandes kalksteinen sammen med mindre andeler av bauxitt, kvarts og gips. Denne miksen males til et fint mel, som siden varmes opp. Når dette varmes opp til en temperatur på $1450^\circ C$ vil de fire komponentene splittes opp, reagere med hverandre, og danne nye formasjoner. Dette danner følgende fire grunnmineraler i sement(klinkermineraler);

Navn	Kjemisk formel	Refereres til som
Trikalsiumsilikat	$3CaO \cdot SiO_2$	C3S
Dikalsiumsilikat	$2CaO \cdot SiO_2$	C2S
Trikalsiumaluminat	$3CaO \cdot Al_2O_3$	C3A
Tetrakalsiumaluminatferrit	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	C4AF

Tabell 1: Klinkermineraler i betong

Innen betongteknologi gjøres det noen forkortelser når klinkermineraler skal beskrives. Mineralene er bygget opp av oksidgrupper, og siden samtlige av stoffene inneholder varierende mengde oksygen atomer, strykes disse når de refereres til. I tillegg til disse i disse fire klinkermineralene brukes forkortelsene i kapittelet som beskriver hydratisering av C3A. De forskjellige forkortelsene har følgende formel;

Refereres til som	<i>C</i>	<i>S</i>	<i>A</i>	<i>S</i>	<i>H</i>
Kjemisk formel	<i>CaO</i>	<i>SiO₂</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>SO₄</i>	<i>H₂O</i>

Tabell 2: Forkortelser

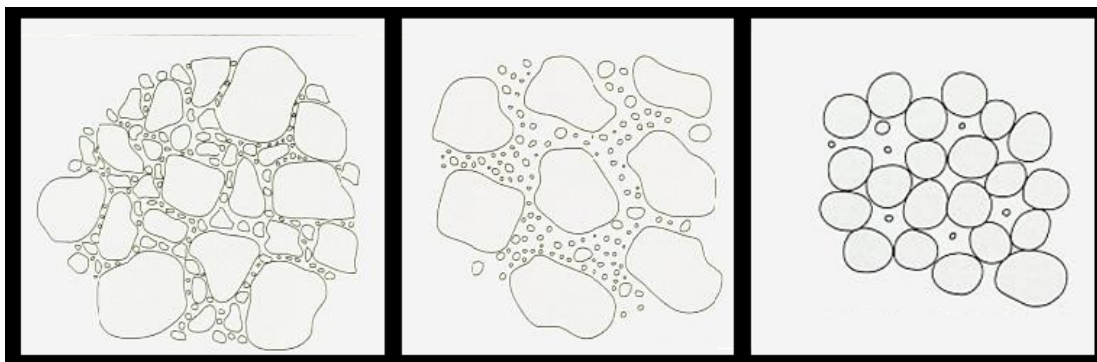
Vann

Vann er nødvendig for at hydrasjonsprosessen skal skje. Mengde vann i forhold til sement, og i forhold til sement+tilsetningsstoffer er utslagsgivende for hvilke egenskaper betongen vil få. Effekter og egenskaper man kan oppnå vil diskuteres nærmere i kapittelet om hydrasjon.

Tilslag

Dette er steinene i betongen, og utgjør den største delen av volumet i betongen. Det er vanlig å dele opp tilslag i fint og grovt tilslag. Da henholdsvis tilslag med komponenter i størrelsesorden 0-8mm og 8-16mm i diameter. Disse deles ytterligere opp i flere fraksjoner.

Grunnen til at tilslaget deles opp på denne måten, er at en ideell betong skal ha så lite som mulig luftrom mellom steinene. Man skal man fylle hulrommet mellom de største steinene med litt mindre steiner, så hulrommet som er igjen da med enda mindre steiner. Dette beskrives bedre ved hjelp av en figur;



Figur 1: Tre forskjellige tilsalgssammensettning[7].

De tre tilsalgssammensettningene i figur 1 viser forskjellen mellom en god tilsalgsfordeling og en mindre god tilsalgsfordeling. Tilsalgssammensettningen til venstre er god, og vil etterlate seg mindre hull mellom tilslaget. Tilsalgssammensettningen til høyre i illustrasjonen er bestående av tilslagsmateriale der nesten alt tilsalget har samme størrelse. Det vil da være store hull mellom tilsalget. Hulerommene mellom tilslaget skal ideelt sett fylles av sementpastaen. Det er enklere å fordele sementpastaen i den gode tilsalgsfordelingen, og i den mindre gode risikerer man å få store luftporer da man ikke klarer å fordele sementpastaen inn i alle hulerommene.

For å best mulig kunne fordele tilslaget, og unngå store luftporer, eller for porøs betong bruker man siktekurver som et hjelpemiddel.

Tilsetningsstoffer

Dette er stoffer som tilsettes betongen i varierende mengder, for å tilføre ønskede egenskaper. Disse stoffene kan utgjøre en forskjell for både fersk og ferdigheret betong.

Under vil noen tilsetningsstoffer presenteres;

- *Silikastøv og flygeaske*; Pozzolane tilsetningsstoffer som blant annet gir betongen en høyere fasthet.
- *Retarderende og akselererende tilsetningsstoffer*; Disse stoffene vil ha en innvirkning på hastigheten betongen størkner, henholdsvis tregere og raskere. Disse er gode hjelpere i forbindelse med utstøping.

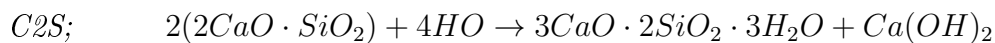
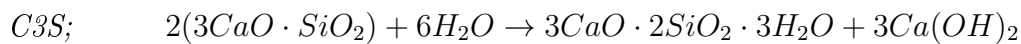
- *Plastiserende/Superplastiserende stoffer*; Stoffer som vil øke flyten i betongen. Disse vil også bidra til en enklere støpeprosess. Ved å bruke superplastiserende tilsetningsstoffer trenger man ikke å vibrere betongen.
- *Luftinnførend tilsetningsstoffer*; Innføre luftporer i betongen, dette kan gjøres, bandt annet for å beskytte betongen mot frost.

1.2 Hydrasjon

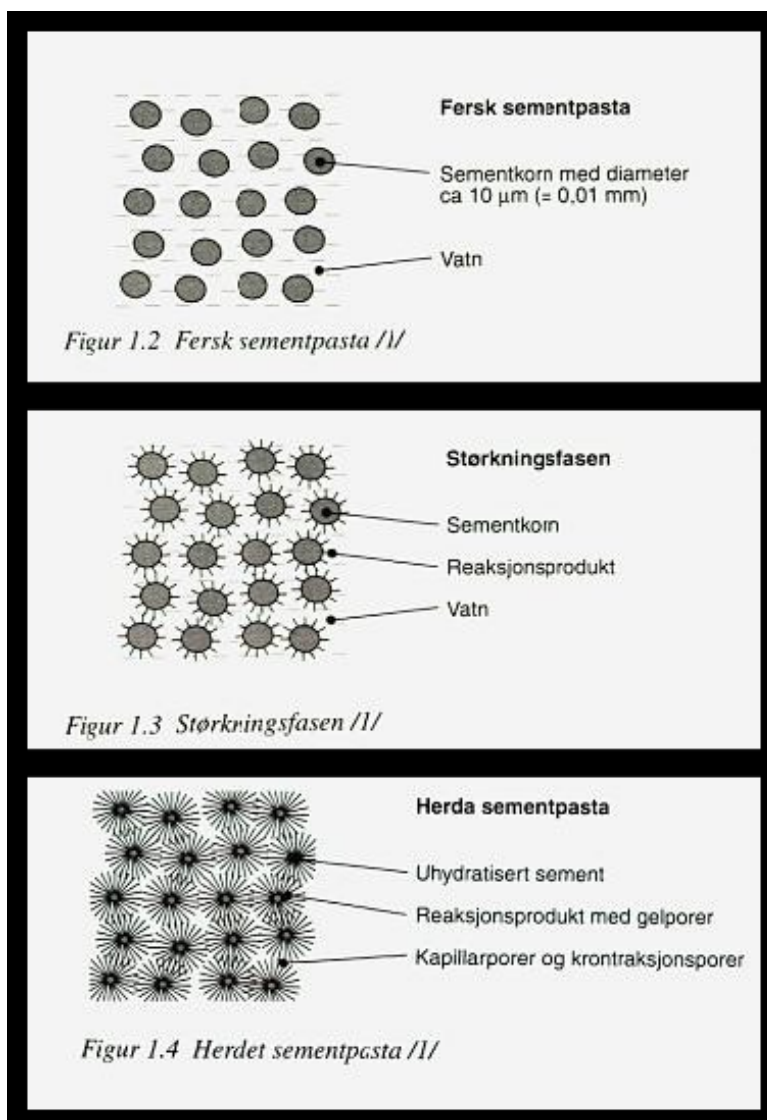
Sement er et hydraulisk bindemiddel, det betyr at i kontakt med vann vil det skje en kjemisk reaksjon, som vil føre til et fast reaksjonsprodukt. Denne prosessen kalles hydrasjon. Hydrasjon av sement resulterer i fire faste faser; C-S-H gel, $Ca(OH)_2$, AFm-fasen og AFt-fasen. Gangen i hydrasjonsprosessen vil forklares i det følgende kapitlet.

1.2.1 Dannelsen av C-S-H gel

Den dominerende reaksjonen i størknings og herdeprosessen er dannelsen av C-S-H gel. Dette er reaksjonen mellom vann og silisium- og kalsiumholdige komponentene i sementen. Dette er den dominerende reaksjonen fordi de tre komponentene som inneholder silisium mellom 60-80 vektprosent av sementen. De vil gi følgende reaksjoner;



De tre reaksjonene gir alle et $3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$ ledd, som er det som refereres til som sement gel eller C-S-H gel. Denne reaksjonen skje på overflaten av sementkornene.



Figur 2: Størkning av betongpastaen[7].

Figur 2 viser hydrasjonsprosessen i tre steg. Figuren viser først den ferske betongen. I det andre bildet vises hvordan størkningsfasen danner et nålformet reaksjonsprodukt ut i fra sementkornene. Når "nålene" treffer hverandre, som i det tredje bildet regnes betongen som stivnet. Da vil betongen få sin første fasthet, etter dette vil prosessen fortsette inn i herdefasen. Det vil si at hydrasjonsprosessen fortsetter i porene som er mellom "nålene".

Som vist i reaksjonene over vil både C3S og C2S ha to reaksjonsprodukter, både C-S-H lim og et kalsiumhydroksid ledd. De sistnevnte leddet er en sterk bidragsyter

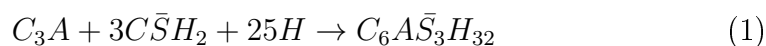
til betongens høye pH, som gunstig for armeringen i betong.

1.2.2 Hydrasjon av C3A

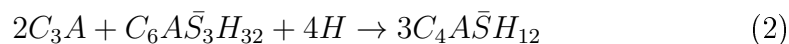
Hydrasjonen av C3A skjer raskt og danner øyeblikkelig et fast reaksjonsprodukt. Da resten av sementen trenger 2-5 timer på å reagere med vann, er det ønskelig å bremse hydrasjonen av C3A. Dette gjøres ved å tilsette gips i sementen. Gips blokkerer en reaksjon mellom vann og C3A, så lenge det er gips i sementpastaen som ikke har reagert. Det tilsettes vanligvis nok gips i en sement til å holde C3A utenfor evne til å reagere i 10-20 timer.

Reaksjonen mellom mellom vann, gips og C3A vil bestå av de to følgende reaksjonene;

- AFt (reaksjon 1);



- AFm (reaksjon 2);



Reaksjonsprodukter etter reaksjon 1 vil dannes på overflaten av C3A kornene, og vil redusere muligheten til C3A å hydratisere ytterligere. Reaksjonsprodukter er kun stabilt så lenge det er ureagert gips tilstede i blandingen. Når all gips sementen er oppbrukt på reaksjon 1, vil reaksjon 2 finne sted. Reaksjon 2 vil da danne monosulfat.

C4AF reagerer på samme måte som C3A, men prosessen skjer mye tregere.

1.3 Binding av klorider i betongen

Denne oppgaven omhandler i store deler klorider, om hvordan de trenger inn i betongen, og hvordan de kan være skadelig for betongen. Når klorider trenger inn i betong ved hjelp av diffusjon eller kapillærsug, vil betongen selv kunne binde

opp en andel av kloridene, og hindre dem å fortsette sin ferd inn mot armeringen. Kloridene kan bindes opp på to forskjellige måter; fysisk og kjemisk.

Når en betong er ferdig herdet vil den bestå av fire hovedbestanddelen; C-S-H gel, $Ca(OH)_2$, AFt-fasen og AFm-fasen. Av disse vil $Ca(OH)_2$ og AFt-fasen ha liten evne til å binde klorider. C-S-H gel vil på grunn av sin store overflate ha en evne til å binde opp ioner generelt, og AFm fasen vil kunne binde klorider ved å danne Friedels salt.

Grunnen til at det nettopp er disse to som har denne evnen, blir forklart i artikkelen “Electrokinetic potential of hydrated cement in relation to adsorption of chlorides”[6]. De to fasene blir ustabile ved høy pH, og når de blir ustabile vil overflatene ha en tendens til å bli positivt ladede.

Kloridioner er negativt ladede, og vil bli tiltrukket av positivt ladede overflater.

1.3.1 Fysisk binding av klorider

I sementpastaen vil det være en høy pH og C-S-H gelen vil da ha en tendens til å få en positivt ladede overflater. Dette vil føre til at Van der Waals krefter vil absorbere de negativt ladede kloridioner som måtte befinne seg i betongen, for å forsøke å utlikne den positive ladningen.

Portlanditt($Ca(OH)_2$) og Friedelsalt vil også kunne fysisk binde opp noen kloridioner på samme måte, men C-S-H gelen vil stå for mesteparten av denne bindingen.

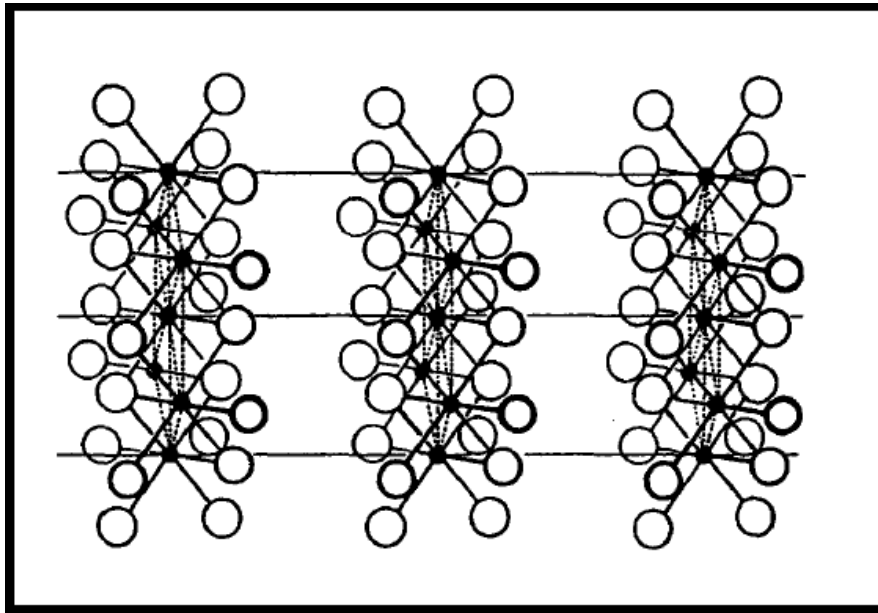
1.3.2 Kjemisk binding av klorider i Friedelsalt

Friedelsalt ble oppdaget av den franske vitenskapsmannen Georges Friedel. Saltet oppstår i betongpastaen når AFm-fasen reagerer med kloridioner. Gjennom forsøk[15] er det oppdaget at dannelsen av friedelsalt fører til en økning i hydroksidioner (OH^-) i porevannet. Økningen av hydroksider er ikke så stor at hvert kloridion erstatter hvert hydroksidion.

Det er derfor konkludert med at klorider bindes i friedelsalt på to måter. En mekanisme fører til utfelling av hydroksidioner og en fører ikke til hydroksidioner. Hvordan de to reaksjonene skjer er forklart av Suryavanshi[15].

Dannelsen av friedelsalt uten utfelling av hydrogen ioner

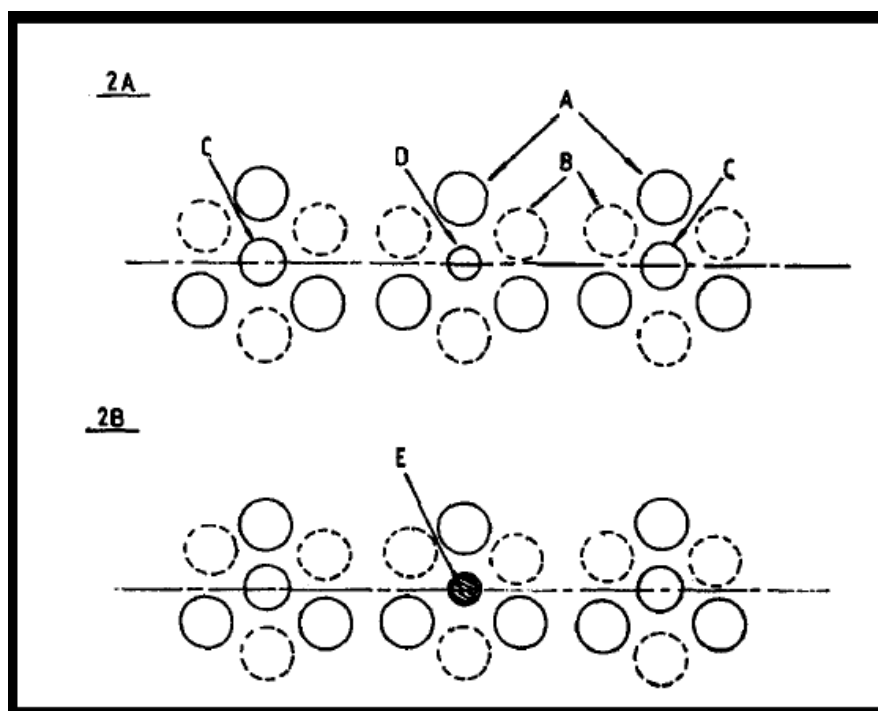
AFm-fasen er en kompleks krystall, men er bygget opp på samme måte som portlanditt krystaller. For å illustrere reaksjonen framstilles det her at reaksjonen skjer i en portlanditt krystall. Figur 3 viser her krystallene;



Figur 3: Portlandittkrystaller[15]

Figur 3 viser krystallstrukturen i $Ca(OH)_2$, der de svarte prikkene er Ca^{2+} ioner og de hvite ringene er OH^- ioner. Ca^{2+} er omgitt av seks OH^- ioner i to lag.

I reaksjonen som ikke fører til utfelling av hydroksidioner vil positivt ladede aluminium ioner ta plassen til et kalsiumion. Aluminiumionet (Al^{3+}) er mer positivt ladet enn sin forgjenger i krystallen, kalsium (Ca^{2+}). Dette fører til at krystallen ønsker om å utlikne spenningen som da er oppstått. Dette løser krystallen ved å binde et kloridion (Cl^-) sammen med aluminiumet. Disse får plass i samme rommet som kalsiumionet var tidligere. Kalsiumionet binder seg videre med C-S-H gelen.



Figur 4: Portlanditt sett ovenifra i to lag[15].

Figur 4 viser portlanditt krystallen som vist i figur 3, sett ovenifra, der kalsiumionet(C) blir erstattet av aluminium(D) og klorid(E). De to illustrasjonene er rett over hverandre, langs en av de tre svarte linjene i figur 3. De øvrige ionene i figuren er hydroksidioner, i to lag, der de stiplede ionene(B) er i et overliggende lag, og de heltrukkede ionene(A) er underliggende. Denne figuren er hentet fra samme artikkel som figur 3[15].

Dannelse av friedelssalt med utfelling av hydroksidioner

I reaksjonen som fører til utfelling av hydroksidioner er det en ren utskiftning mellom et kloridion og et hydroksidion.

Kun stabil ved høy pH

Når kloridene bindes opp i friedelsalt vil det være kjemisk bundet til den faste fasen i betongen, og vil ikke kunne vandre videre innover og bidra til korrosjon av

armeringsjernet. Freidel salt er kun stabilt ved høy pH, hvis pH-verdien synker i betonge vil saltet kunne løses opp. Dette vil og da også frigjøre kloridene. Dett kan skjer for eksempel ved karbonatisering.

2 Betongnedbryting

Hovedfokuset i denne oppgaven er på kloridinntrengning og korrosjon av armeringen i betong, men en betongs egenskaper kan svekkes på andre måter også. En fellesnevner for nedbrytingsmekanismene som beskrives i dette kapitlet er at nedbrytingen skjer i selve betongen. Teorien om betongnedbryting er i hovedsak hentet fra bøkene Grunnleggende Betongteknologi[7] og Concrete Technology 1[8].

2.1 Frost

Betongen vil bestå av en mengde porer og kapillaerer. Vann vil trekke inn i betongen gjennom disse. Ved minusgrader vil vannet fryse. Frostnedbryting skjer når vann går fra væske fase til fast fase. Det finnes to teorier som omhandler nedbryting av betong på grunn av frost; hydraulisk trykk teorien og den osmotisk effekt.

Hydraulisk trykk teorien

Baserer seg i hovedsak på volumøkningen som skjer når vann blir til is. Vann vil få et utvidet volum på rundt 9 % når det går over til fast fase. Dette overflødig volumet, som det da ikke er plass til i poren vil bli presset seg mot luftholdige porer. Dette vil skape indre spenninger, og når betongens strekkfasthet overskrides på grunn av disse spenningene vil man få sprekkdannelse i betongen.

Den osmotiske effekten

Baserer seg på en konsentrasjonsendring i porene. Ved tilstedeværelse av klorider i porevannet, vil kloridionene flytte seg til nærliggende porer når vannet i en pore fryser. Dette vil føre til at man får en høy konsentrasjon klorider i de "tilflyttede" porene. Man vil da få en høy konsentrasjon av klorider i porene som er nærliggende frostfronten. For å prøve å utjevne den plutselige høye konsentrasjonen av klorider, vil nærliggende vann bevege seg mot isfronten. Dette vil gi et overtrykk. Når dette overskrider betongens strekkfasthet vil man få sprekkdannelse.

Motstridende teorier

Ingen av de to hypotesene er bevist, og de er motstridende på noen punkter. I teorien som baserer seg på den osmotiske effekten vil tilstedeværelsen av salt ha en negativ effekt på betongens bestandighet. I teorien som baserer seg på hydraulisk trykk vil tilstedeværelsen av salt i porevannet være positivt, da tilstedeværelsen av salt vil gjøre at det dannes mindre is, som da igjen vil føre til en mindre volumøkning.

Forebygging

Luftinntrengende stoffer er blant annet brukt for å unngå problemer med frost. Og riktig bruk av disse stoffene vil fordele mengden luft på en gunstig måte, så betongen blir mer frostbestandig. De jevnere fordelte kapillær porene vil blant annet gi en lavere avstand L . Dette er halvlengden mellom porene. Et lavt v/c tall er også en fordel, da betongen da er tettere, og det er en mindre vannandel som medfører at det er mindre masse som kan fryse. Luftinntrengende stoffer vil også bidra til de negative effektene en porøs betong medfører, som redusert fasthet, og redusert bestandighet mot kloridinntrenging og karbonatisering.

2.2 Mekanisk nedbryting

Mekanisk nedbryting er nedbryting som resultat av krefter som kommer utenfra. Slitasje på dekker, og bevegelse på grunn av vind kan være årsak til slitasje på betongmassen. Både i form av riss og avskalling. Skader fra mekanisk nedbryting er ikke nødvendigvis utslagsgivende for at en konstruksjon ikke lengre møter kravene som er satt til den. Men denne typen nedbryting kan gjøre det enklere for andre typer nedbryting å skje.

2.3 Kjemisk nedbryting

Betong har mange forskjellige bruksområder, og brukes også der konstruksjonen blir utsatt for et aggressivt miljø.

Kjemisk nedbryting er et samlebegrep for nedbryting av betong som skyldes kjemiske reaksjoner, og kan deles opp i to hovedgrupper; oppløsning eller utvasking av betongens bindestoffer og kjemiske reaksjoner som gir et reaksjonsprodukt med større volum enn betongen, og derfor vil sprenges seg plass inne i betongen.

2.3.1 Utvasking av bindestoff

To eksempler på utvasking av bindestoff er utlutning og syreangrep.

Utluting

Dette er samme reaksjonen som foregår når betongen blir karbonatisert, der CO_2 , H_2O og Ca reagerer med hverandre. Forskjellen er at under karbonatisering reagerer karbondioksiden med kalsiumhydroksid i porevannet, men under utluting reagerer karbondioksiden med kalsiumet i fast fase i betongen.

Utlutingen vasker ut kalsiumet av betongen, men vil sjelden skape store problemer for betongens bæreevne. I tilfeller der den aggressive væsken kan trenge gjennom hele strukturen og betongen har et høyt v/c tall vil det kunne ha en effekt. Allikevel vil denne prosessen gå veldig tregt og vil være ganske ufarlig.

Utluting kan allikevel skape problemer da det kan påvirke betongens estetikk. Kalsiumkarbonat kan danne et hvitt belegg på betongen, og kan oppfattes som stygt. Bortsett fra den estetiske delen vil sjelden utluting påvirke bæreevnen på en normalt sterk betong.

Syreangrep

Betong har en generelt dårlig motstandsevne mot syrer. Ved kontakt med syrer vil bindemiddelet i betongen reagere med stoffene med lav pH, og går fra å være bundet i sementlimet til å binde seg til syrene. Mørtelen vil løses opp, og tilslaget vil frigis. En betong som utsettes for sterke syrer bør beskyttes, ideelt sett med overflatebehandling.

2.3.2 Reaksjonsprodukt med stort volum

To eksempler på reaksjoner med stort reaksjonsprodukt er alkalireaksjoner og sulfat og nitrat angrep.

Sulfat og nitrat sprenging

I motsetning til nedbrytingsmekanismene nevnt over, som er et resultat av utvasking av bindemiddelet i betongen vil Sulfater og Nitrater reagere annerledes. Sement med høyt C3A innhold vil være ekstra utsatt for denne typen angrep. $3CaO \cdot Al_2O_3$ (C3A) er et av de fire vanligste mineralene i sement. Ved tilstedeværelse av sulfater eller nitrater vil mineralets aluminat reagere med de nevnte stoffene.

Disse reaksjonsproduktene vil lage en binding med vann, og få en stor volumøkning. Reaksjonsproduktet vil først fylle opp luftporene. Når disse er fylt opp vil det skapes et trykk, som kan sammenliknes med frostsprenging.

For å redusere hvor utsatt en konstruksjon er for nitrat og sulfat angrep bør man i hovedsak bruke en sulfat bestandig sement.

Alkaliereaksjoner

Denne type nedbryting kan oppstå når betong lages med et tilslag som reagerer med alkalier. Et reaktivt tilslag av denne typen vil reagere med alkaliene i sementen. Denne reaksjonen vil tiltrekke seg vann, og svulle. Man vil da få den samme sprengningseffekten som sulfat og nitratangrep.

Hvor reaktivt en tilslagsfraksjon er med alkalier varierer med type stein tilslaget er utvunnet fra, og miljøet rundt området det er tatt ut i fra. Har man et alkaliereaktivt tilslag må man to forhåndsregler i forhold til dette, og proporsjoner betongen deretter.

Ved å bruke Pozzolaner tilsetningsstoffer reduserer man de alkalsammensetningene i figur 1 viser forskjellen mellom en god tilslagsfordeling og en mindre god tilslagsfordeling. Tilslagsfordelingen til venstre er god, og vil etterlate seg mindre hull mellom tilslaget. Tilslagsfordelingen til høyre i illustrasjonen er bestående av tilslagsmateriale der nesten alt tilslaget har samme størrelse. Det vil da være store hull mellom tilslaget. Hulerommene mellom tilslaget skal ideelt sett fylles av sementpastaen. Det er enklere å fordele sementpastaen i den gode tilslagsfordelingen, og i den mindre gode risikerer man å få store luftporer da man ikke klarer å fordele sementpastaen inn i alle hulerommene. iske innholdet i betongen, og igjen gjør betongen mer bestandig mot alkaliereaksjoner. Dette vises godt i reaksjonene som er vist i kapittel 1.2.1, der reaksjonene med C2S og C3S har et

alkalisk reaksjonsprodukt i form av $Ca(OH)_2$, og reaksjonen fra pozzolaner ikke gir dette alkaliske produktet.

3 Armeringskorrosjon

Armering er tilsatt betong konstruksjoner fordi betong i seg selv tåler veldig lite strekk krefter. Armering er stål eller jern som er tilstede nettopp for å ta opp strekk krefter som betongen i seg selv ikke klarer å hankes med. Mengden armering som blir brukt er dimensjonert ut i fra laster den aktuelle strukturen er utsatt for.

For å kunne ta opp størst mulig indre moment er det ønskelig å plassere armeringen så langt som mulig bort fra de elastiske nøytralaksene i et tverrsnitt. Dette medfører en ideell plassering av armeringen er i betongtverrsnittets ytterkanter. Å plassere armeringen helt i ytterkanten av tverrsnittet vil ikke ha noen hensikt, da armeringen da ikke vil oppnå nok heft med betongen.

Av den grunn plasseres armeringen i betong et par centimeter inne i betongen. Denne overdekningen gir også en positiv effekt for å bevare armeringen i forhold til korrosjon. Den vil verne armeringen mot omgivelsene rundt betongkonstruksjonen, som kan ha nedbrytende effekt på armeringen.

Ved å befinne seg inne i betongen vil armeringen også bli omgitt av et svært basisk miljø. Dette basiske miljøet vil også ha en beskyttende effekt på armeringen, da den høye pH-verdien vil hjelpe armeringen å danne et beskyttende oksidlag på sin overflate, som vil gjøre at korrosjonsprosessen blir midlertidig passivert.

De følgende kapitlene vil ta for seg hvorfor og hvordan metaller korroderer. Etter dette vil de to typene armeringskorrosjon vil bli forklart.

3.1 Korrosjon

De fleste metaller er vanskelige å finne i ren form i naturen. De forekommer oftest som malmforbindelser. For å fremstille jern eller konstruksjonsstål slik det brukes i bygg i dag, må det tilvirkes. Tilvirkningen skjer ved tilføring av energi, ofte ved oppvarming. Disse kunstig fremstilte materialene vil ha en stor mengde fri energi.

Armeringsjern er et slikt kunstig fremstilt metall. Den store mengde fri energi i materialet, gjør at det har et stort potensiale til å returnere til sitt naturlige opphav. Prosessen dette kunstige fremstille materialet gjennomgår for å gå tilbake til sin naturlige lavenergiske malm tilværelse kalles korrosjon, og vil forklares i de neste kapitlene. De følgende kapitlene er basert på tre bøker; Korrosjon og

korrosjonsvern[1], Overflatebehandling mot korrosjon[9] og Corrosion for science and engineering[17].

3.1.1 Termodynamikk

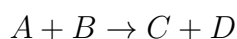
For å forstå hvordan korrosjon fungerer kan man ta utgangspunkt i termodynamikk. Caplex.no[5] definerer termodynamikk som læren om varmeenergi og dens overgang til andre former for energi. Termodynamikkens to første lover er sentrale i korrosjonsmekanismen.

- Termodynamikkens første lov; Energi kan hverken oppstå eller forsvinne.
- Termodynamikkens andre lov; Varme kan ikke forflytte seg fra en kald kilde til en varm kilde på egenhånd.

I henhold til den andre loven kan man holde for eksempel en varm kopp med kaffe varm, i et kaldt rom, hvis man tilfører energi, som for eksempel varme. Denne loven sier oppsummert at naturen alltid vil, hvis mulig, omgjøre og minimere energien tilstede.

Det finnes mange typer energi, men den energien som driver korrosjon er kjemisk energi. Alle stoffer har en indre energi, denne av varierende størrelsesorden. Det meste av denne energien er fast i bindingene. Allikevel er det en liten andel av denne energien, som kalles fri energi, som kan omdannes til andre typer energi eller arbeid. Den frie energien er drivkraften i en reaksjon mellom to stoffer, og vil være utslagsgivende for om to stoffer kan reagere. Som tidligere nevnt ønsker naturen å minimere energien i en hver situasjon, og hvis to stoff kan reagere med hverandre og danne et eller flere produkt som gir en lavere sammenlagt fri energi vil reaksjonen kunne skje.

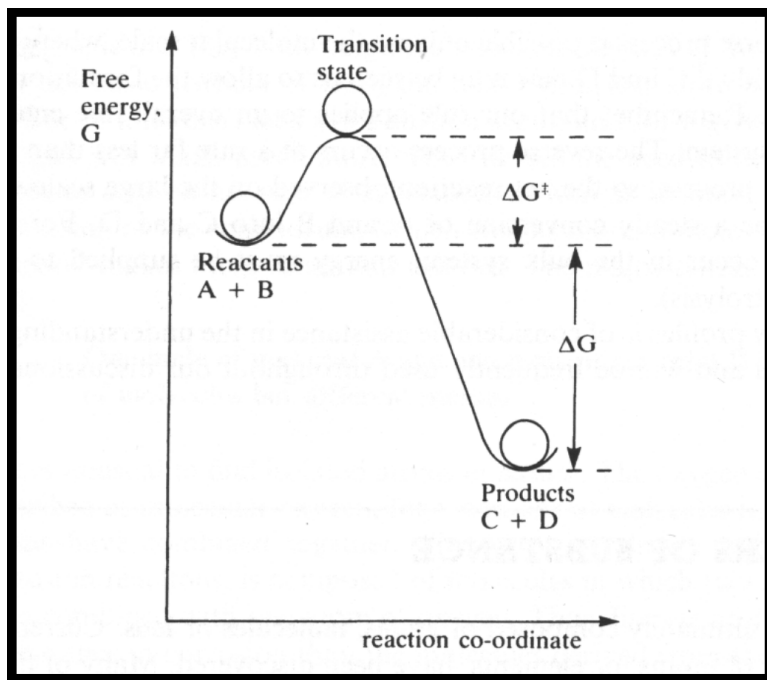
For å kunne beskrive energioverførselen i en reaksjon kan man bruke den følgende enkle formelen;



Der $A + B$ er stoffene som reagerer med hverandre og der $C + D$ er Reaksjonsproduktet. For at denne reaksjonen skal kunne skje må de to opprinnelige

komponentene $A + B$ fysisk binde seg sammen til en sammensatt overgangsfase AB . Hvor lenge de to stoffene er i denne tilstanden varierer, men det må allikevel skje for at reaksjonen skal forekomme. Drivkraften i denne reaksjonen er et ønske om å alltid minimere energien tilstede.

Figur 5 illustrerer reaksjonen mellom de to stoffene $A + B$, den midlertidige fasen AB og til slutt reaksjons produktene $C + D$. Profilen av reaksjonen viser at stoffene $A + B$ som i utgangspunktet har en høyere indre energi enn Reaksjonsproduktet $C + D$. Profilen viser også hvordan den midlertidige fasen AB har den høyeste frie energien. Differansen mellom den frie energien i $A + B$ og den midlertidige fasen AB er vist i figuren som ΔG^\ddagger , og vil være den nødvendige tilførte energien for å oppnå den midlertidige fasen, som er nødvendig for å kunne realisere reaksjonen $A + B \rightarrow C + D$.

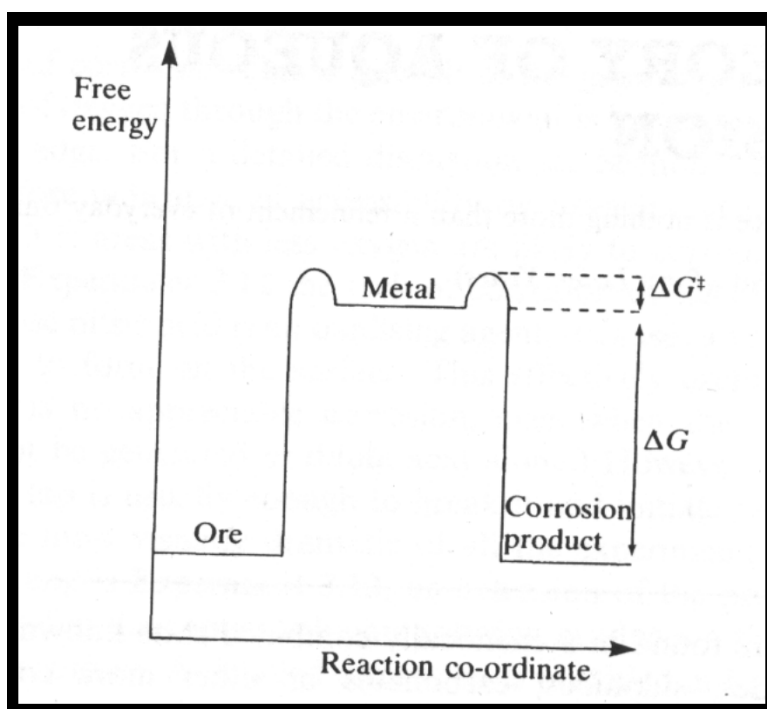


Figur 5: Fra $A+B$ til $C+D$ [17]

Korrosjon er en spontan reaksjon, dette medfører at ΔG^\ddagger , den mengden energi som skal til for at reaksjonen skal forekomme, vil nås uten tilført energi.

3.1.2 Korrosjonspotensialet i metall

I naturen forekommer metaller som oftest i malm forbindelser. Dette er ofte oksider, sulfider, karbonater eller andre komplekse sammensetninger. Felles for disse forbindelsene av disse har en lav mengde fri energi. For å utskille rent metall fra malm må man tilføre store mengder energi. Dette gjøres ofte ved oppvarming. Et eksempel er jernmalm i form av jernoksid. For å utvinne jern av jernmalmen må den varmes opp til 1600°C , det må da også være kull til stede for å reagere med oksidene. Varmen som er blitt tilført jernmalmen for å få reaksjonen til å skje fører til at jernatomene absorberer en stor mengde energi. Metallene vil da gå fra å ha vært i en lav energiforbindelse som malm, med lite potensiale for for å reagere med andre stoffer, til rene metaller med en stor mengde fri energi. Mange rene metaller har derfor et stort potensiale til å reagere med andre stoffer for å redusere sin frie energi.



Figur 6: Fra malm til metall til korrosjon[17]

Figur 6 viser prosessen fra malm til korrosjonsprodukt. Det krever som nevnt tilført energi for å øke den frie energien fra malm til metall, og da ende opp med en

negativ ΔG . Når man først har metall, vil prosessen fra metall til korrosjonsprodukt gå spontant.

3.1.3 Våt korrosjon

Korrosjon av metalliske materialer kan deles opp i tre hovedgrupper; våt korrosjon, korrosjon i andre flyende medier og tørr korrosjon. Denne oppgaven vil kun omfatte våt korrosjon.

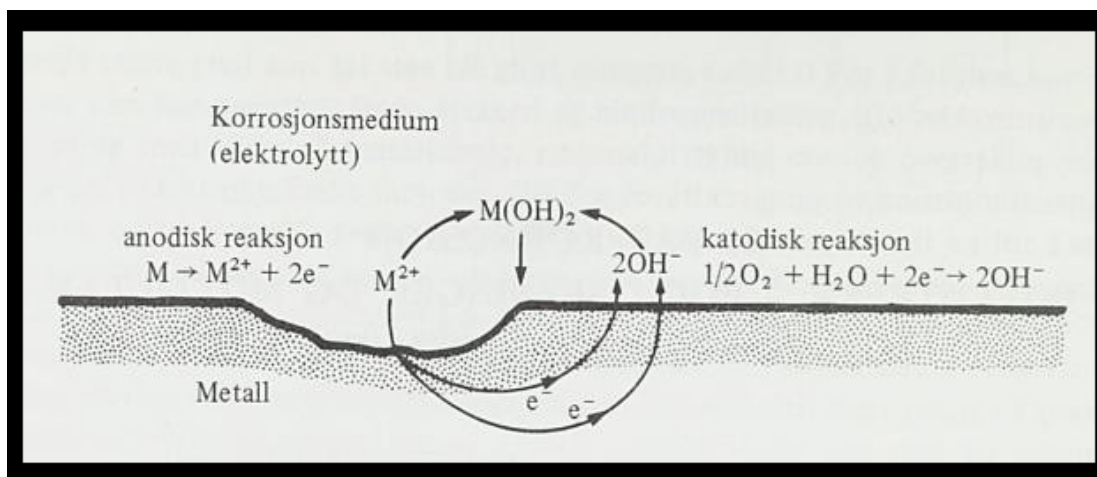
For at våt korrosjon skal forekomme må fire komponenter være tilstede;

Anode Der den anodiske reaksjonen skjer. En anodisk reaksjon er at metallet utfeller positivt ladete metallioner ut i elektrolytten. For eksempel; $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$, der Fe^{2+} ionet overføres til elektrolytten, og de to overflødig elektronene overføres til katoden gjennom lederen.

Katode Der den katodiske reaksjonen skjer. En katodisk reaksjon er der de overflødig elektronene fra den anodiske reaksjonen tas opp av en reaksjon med elektrolytten. For eksempel; $\frac{1}{2}O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^-$, der vannet og oksygenet tar opp de to elektronene og danner to negative hydroksidioner.

Elektrolytt Et medium som kan ta opp og lede ioner.

Leder En fysisk kontakt mellom anoden og katoden, som kan lede elektroner.



Figur 7: Illustrasjon av de fire elementene i våt korrosjon[1].

Våt korrosjon kan forekomme både når den anodiske og katodiske reaksjonen skjer i to forskjellige metaller som er i kontakt med en elektrolytt og en leder, eller som i figur 7, der et og samme metall er både anode og katode. Den sist nevnte er den mest aktuelle i korrosjon av armering i betong, da armeringen gjerne består av samme stoff.

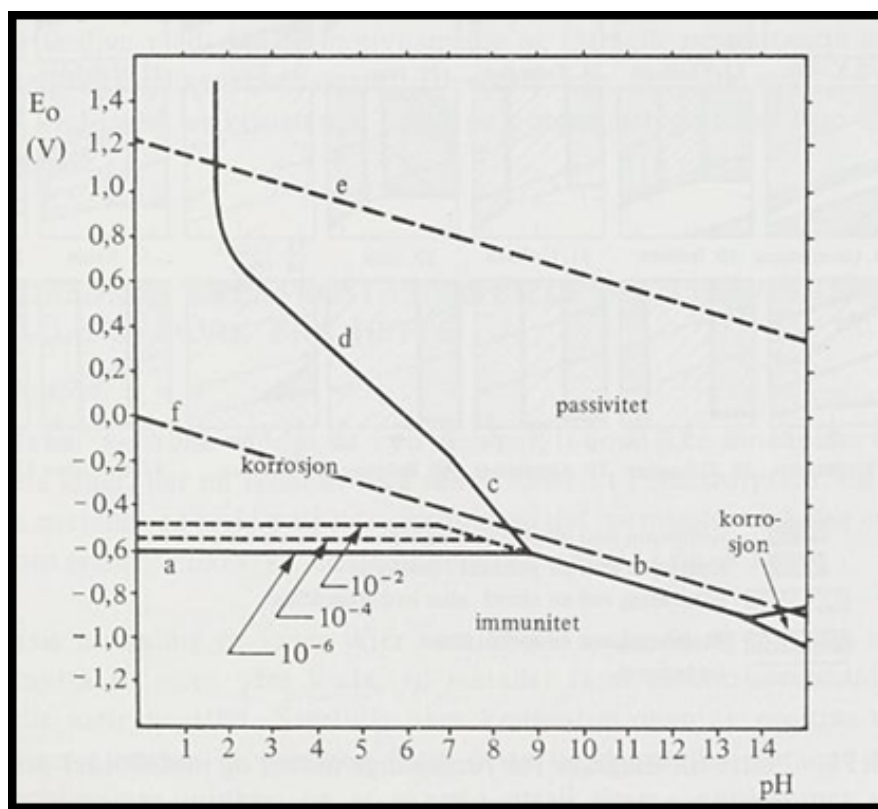
Korrosjon kan angripe et metallet på forskjellige måter, og armering i betong vil vanligvis bli angrepet på følgende to måter;

- *Jevnt fordelt korrosjon/jevn korrosjon*; Når hele metallflaten brytes ned. For at dette skal forekomme vil anoden og katoden bytte plass hele tiden, elektrolytten må kunne utjevne konsentrasjonene av reaksjonsproduktet.
- *Punkt korrosjon/groptæring*; Der man vil få et konsentrert angrep på metallet. Denne typen korrosjon vil kunne danne store hull i metall, og på sikt kunne jobbe seg gjennom et helt armeringstverrsnitt.

3.1.4 Passivering av metaller i betong

Reaksjonene mellom vann og bindemiddel i betong kalles hydrasjon. Reaksjonsproduktet av hydrasjonen er blandt annet alkaliske stoffer, og disse fører til at betongen har en høy pH-verdi. Hvor basisk en betong er varierer med type sement og tilsetningsstoffer, men de fleste betonger ligger rundt 12 i pH-verdi. Denne høye pH-verdien gir spesielt gunstige levevilkår for armeringsjernet i betongen.

Som tidligere nevnt har metaller mye fri energi, og har et ønske om å redusere denne frie energien. Siden det er snakk om betong som er mettet med vann i denne oppgaven, regner man at stålet befinner seg i et fuktig miljø. I fuktige miljøer har den Belgiske korrosjonsforskeren Marcel Pourbaix utviklet diagrammer for forskjellige metaller som avgjør under hvilke forhold de aktuelle metallene korroderer. De to forholdene som tas hensyn til i et Pourbaix-diagram er potensiale i metallet og pH i den vanndige løsningen.



Figur 8: Pourbaix diagram for jern i vann[1]

PH-verdien i porevannet i betongen er på rundt 12 og standard reduksjonspotensialet til jern i saltvann er $-0,44$ V. Derfor vil jernet befinne seg i det passive området i diagrammet. I dett området vil det dannes en beskyttende passiv film på jernet.

En løsning med høy pH-verdi, altså en basisk løsning, vil ha et stort potensiale for å ta opp hydrogenioner(H^+), og da tilsvarende potensiale for å gi fra seg hydroksidioner(OH^-). Det er dette som skjer ved metallens overflate ved dannelse av en passiverende film. Metallet, i vårt tilfelle, jern(Fe), vil reagere med den basiske løsningen, altså porevannet. Reaksjonen mellom væsken som avgir hydroksidioner og jernet som avgir positivt ladede ioner vil skje på overflaten av metallet. Det vil dannes en jevnt $Fe(OH)_3$ og $Fe(OH)_2$ film, som har liten ioneledningsevne, og lav løselighet.

At den passive filmen dannes, og at den opprettholdes ved hjelp av et supplement av metallioner er en form for korrosjon. Dette er allikevel en så langsom prosess at det omtales som en passiv tilstand.

3.2 Armeringskorrosjon i betong

Korrosjon av armering i betong skjer gjennom to hovedmekanismer; karbonatisering og kloridinntrenging. De vil begge bryte ned metallet som beskrevet over. Allikevel virker de på forskjellige måter, og skaper også forskjellige problemer for en betongkonstruksjon.

Karbonatisering vil være ved inntrengning av surt CO_2 holdig vann i betongtverrsnittet. Dette vil senke pH-verdien i betongen, og på denne måten fjerne det passiverende laget på armeringen. Dette vil skje jevnt over den forsurende betongen, og vil føre til en jevn korrosjon. Korrosjonsproduktet har et større volum enn selve metallet, og som en følge av dette vil man på samme måte som ved issprening få uønskede sprekker og riss i betongen. Dette vil igjen kunne føre til økt inntak av CO_2 , som vil akselerere korrosjonen ytterligere.

Betongen vil kunne få tydelige sår, som i første omgang er sjenerende å se på, men som etterhvert også kan få konsekvenser for betongens bæreevne.

Kloridinntrenging skjer når kloridholdig holdig vann trenger inn i betongen. Kloridene vil ikke umiddelbart senke pH-verdien i betongen som karbonatisering, men vil heller gå direkte til angrep på det passiverende oksidlaget på armeringen. Angrepet starter når det har samlet seg en stor nok konsentrasjon av klorider ved armeringen.

Kloridene vil ha et konsentrert angrep, som kan tære groper i armeringen. I stedet for sjenerende sprekker i betongen vil resultatet av kloridangrep kunne dele armeringen i to. Dette vil kunne gå ut over betongkonstruksjonens evne til å ta opp strekk krefter.

Videre vil de to korrosjonsmekanismene beskrives.

3.2.1 Karbonatisering

Alkaliske stoffer oppløst i vann gir løsningen en høy pH-verdi. Porevannet i betong kan være utsatt for flere alkalier, og kan inneholde kalium-, kalsium- og natriumhydroksider. Det toneangivende alkaliet er kalsiumoksidet, da det er dette alkaliet det er størst konsentrasjon av. Ved å holde pH-verdien høy vil alkaliene også hjelpe armeringen å opprettholde det passiverende laget, som forhindrer korrosjon.

Karbonatisering finner sted når betongoverflaten blir eksponert for karbondioksid. Dette kan for eksempel forekomme hvis en betongstruktur er i et område som er hyppig utsatt for sur nedbør, og den sure nedbøren får mulighet til å bli liggende på betongoverflaten.

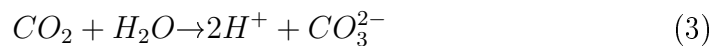
Karbondiaoksidet vil da trenge innover i betongen, og reagere med porevannet. Karbondioksidet er en sur løsning, og når denne reagerer med de basiske alkaliene, vil det senke pH-verdien i porevannet.

Den følgende utledningen av karbonatisering av betong er beskrevet i boka *Corrosion in reinforced concrete structures*[3].

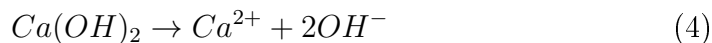
Da kalsiumhydroksid er den dominerende alkalien i betongen, vil karbonatisering videre forklares ved hjelp av den kjemiske reaksjonen mellom kalsiumhydroksid og karbondioksid i porevannet.

Følgende reaksjoner vil kunne forekomme;

1. Porevannet tar opp karbondioksid



2. Kalsiumoksidet vil kunne splittes opp for å reagere med vann og karbondioksid

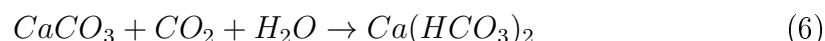


3. Det vil medføre følgende reaksjon



Denne reaksjonen vil føre til at de i utgangspunktet basiske bindingene binder

seg til sure karbonoksid grupper. Når alkaliene binder seg til sure stoffer vil pH-verdiene naturligvis reduseres. Er det tilstrekkelig med vann og karbondioksid vil det skje en ny reaksjon som vil binde mer karbondioksid til de alkaliske stoffene, som vil igjen redusere pH-verdien i porevannet.



Når også denne reaksjonen finner sted vil det være bundet to karbon atomer per kalsium atom. Når disse reaksjonene får gå sin gang med rikelig av vann og karbondioksid tilgjengelig vil den generelle pH-verdien synke. I henhold til Pourbaix diagrammet for jern må omgivelsene ha en pH-verdi på over 9 for å opprettholde den passiverende effekten på armeringens overflate.

Når pH-verdien er redusert til denne kritiske verdien vil det dannes en karbonatiseringsfront. Denne fronten vil først gjøre seg gjeldende ved betongens overflate. Men med tid, og fortsatt tilstedeværelse av karbondioksid ved betongoverflaten vil karbonatiseringsfronten bevege seg innover i betongen.

3.2.2 Kloridinntrenging

Klorider kommer inn i betong ved hjelp av diffusjon, som karbonatisering, og gjennom kapilærsug.

Kloridangrep vil i motsetning til karbonatisering ha et konsentrert angrep på jernet, og det vil skje punktkorrosjon. I henhold til Einar Bardal[1] er teorien rundt initieringen av kloridangrep på en passiv film lite utviklet, men det antas at det starter med at ett kloridion vil diffundere gjennom den passiverende filmen. Dette vil skje ved en strukturfeil eller et svakt punkt i jernets passiverende lag. Det diffunderte ionet vil bidra til en sterk økning i ioneledningsevnen i metallet, og vil føre til at flere kloridioner kan transporteres gjennom det passive laget, og til slutt oppløse det passive laget lokalt.

Det finnes også en alternativ teori, der det påstås at initieringen av punktkorrosjonen kommer av en kortvarig svakhet i den passive filmen. Der et eventuell halogen, i vårt tilfelle kloridioner vil opprettholde svakheten, og forhindre repassivering.

Den lokale oppløsningen av det passiverende laget vil gjøre denne delen av armeringen til anoden. Delen av armeringen som fortsatt er passivert blir katoden. De

negativt ladede kloridionene vil ikke være direkte innblandet i korrosjonsprosessen, men vil fungere som en katalysator for prosessen. Tilstedeværelsen av de negativt ladede kloridionene vil få det depassiverte metallet til arbeide for å utlikne ladningen i elektrolytten.

Det vil da oppstå en galvanisk celle, der det i gropen vil løses ut positivt ladede metallioner, for å utlikne spenningen. De overflødige elektronene vil fraktes til den passive delen av armeringen, her vil oksygenmolekyler(O_2) reduseres til hydroksidatomer(OH^-).

I gropen vil armeringsmetallet og klorid reagere med porevannet. De vil danne henholdsvis metallhydroksid og saltsyre(HCl) som langsomt senke pH-verdien i gropen, og med tid vil akselerere korrosjonsprosessen ytterligere.

4 Transportmekanismer

Når karbonatisering og kloridinntrenging forekommer, beveger de uønskede komponentene seg innover i betongen tilsynelatende av seg selv. Hvordan de beveger seg innover i det porøse materialet vil forklares i dette kapitlet, og kan deles opp i to hovedmekanismer, som intreffer ved to forskjellige forutsetninger.

I et tilfelle der en betong som ikke er mettet med vann neddykkes i vann eller utsettes for et fuktig miljø vil betongens system av porer og kapillarer suge vann inn i porene til den er mettet.

Når betongen er fullstendig vannmettet vil bevegelsen av ioner, atomer og molekyler være dominerende.

De to vil skje om hverandre, og ofte samtidig.

Boka "Overflate og kolloidkjemi: grunnleggende prinsipper og teorier"[11] har i dette kapitlet vært til stor hjelp.

4.1 Kapilærsug og grenseflatespenninger

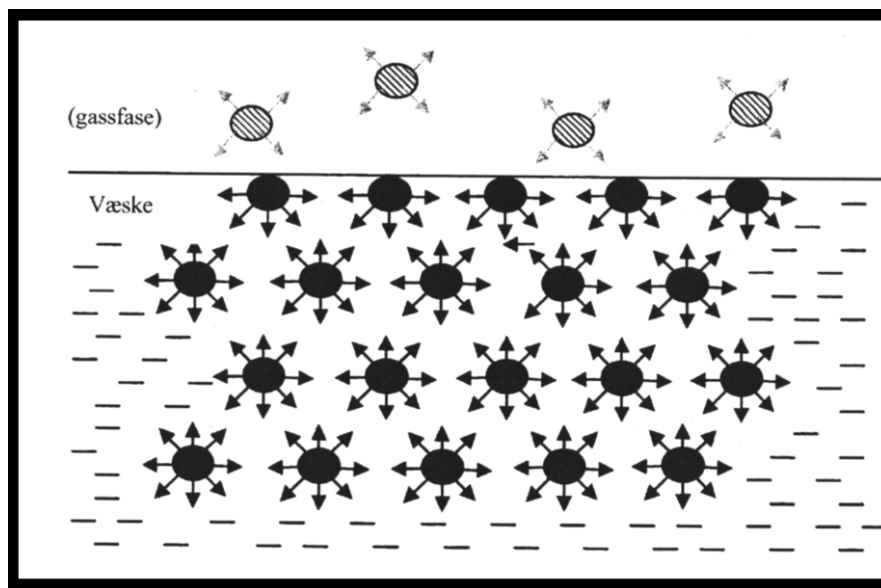
Dette vil være hovedmekanismen for innføring av klorider og karbonater for de fleste betongkonstruksjoner som ikke er neddykket permanent i vann. Vann som forekommer på både på vertikale og horisontale flater kan bli liggende. Det vil da kunne bli trukket inn av kapillære krefter i porer og kapillarer i betongen.

4.1.1 Grenseflatespenninger og krummingen av grenseflater

Der to forskjellige faser møtes vil det alltid oppstå en spenning i fasegrensen. Denne spenningen oppstår på grunn av kohesjonskrefter, dette er krefter som virker mellom molekylerne i en fase, og holder molekylerne sammen. Uten disse kreftene ville for eksempel en vanddråpe blitt oppløst i løse luften, fordi det ikke hadde vært noe som holdt molekylerne sammen.

Molekylerne i en fase vil som nevnt ha kohesive krefter seg i mellom. Ved grenseflater til andre faser, som i figur 9 vil disse kohesive kreftene være mer ustabile. De kohesive kreftene vil ikke virke ut mot den andre fasen. Dette fører til at de kohesive kreftene vil fungere sammentrekkende innad i fasen, og vil minimere

overflatespenninger der fasene møtes. For å minimere denne overflatespenningen vil en hver fase ha et ønske om å ha en så liten overflate per volum som mulig.



Figur 9: Grenseflate mellom gass og væske[11]

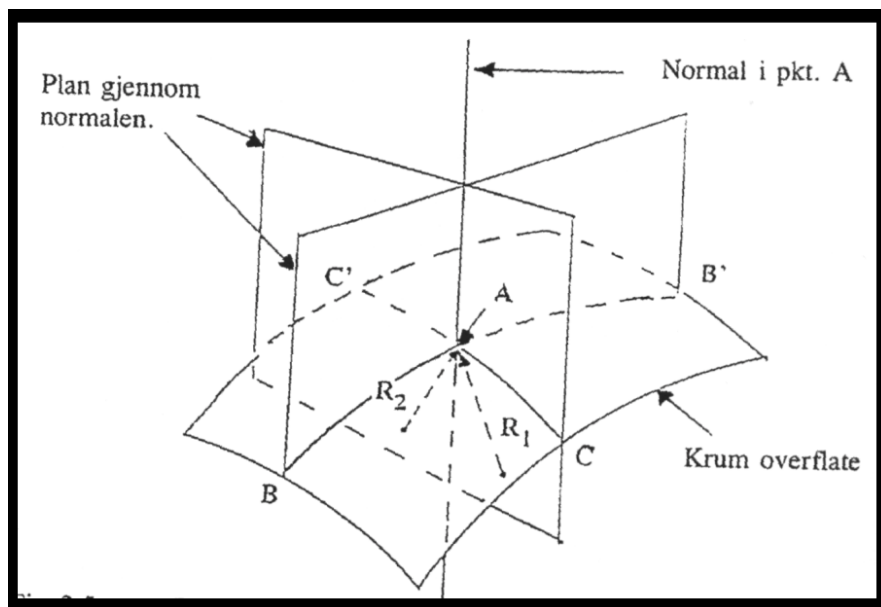
En krummet flate vil ha en mindre areal per volum enn en plan flate. Derfor vil en hver grense mellom to faser jobbe mot tyngdekraften for å oppnå en så krummet grense som mulig. Den geometriske formen med minst overflate per volum er en kule, og den ideelle grenseflaten, energimessig, vil være formet som nettopp en kule.

Overflatespenningen som oppstår på grunn av denne sammentreknings-effekten har benevnningen γ . Overflatespenning defineres som den kraft per lengde enhet som virker på hvilket som helst linje på grenseflaten. Overflatespenningen for en fase vil variere med hva slags stoff, og hvilken fase det andre stoffet er.

4.1.2 Young-Laplace likningen

Det vil alltid oppstå krefter på begge sider av en krummet grenseflate. Dette ble bevist og utledet av Laplace og Young i 1805. De kom frem til Young-Laplace

likningen som beskriver forskjellen mellom trykket på den konvekse og den konkave siden av en krummet overflate.



Figur 10: Krumme overflater[11]

$$\Delta P = \gamma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

ΔP Forskjellen i trykk mellom konkav og konveks side av krummet flate

γ Overflatespenning mellom de to fasene

R_1 Radius på den krummede fasen langs en vilkårlig linje

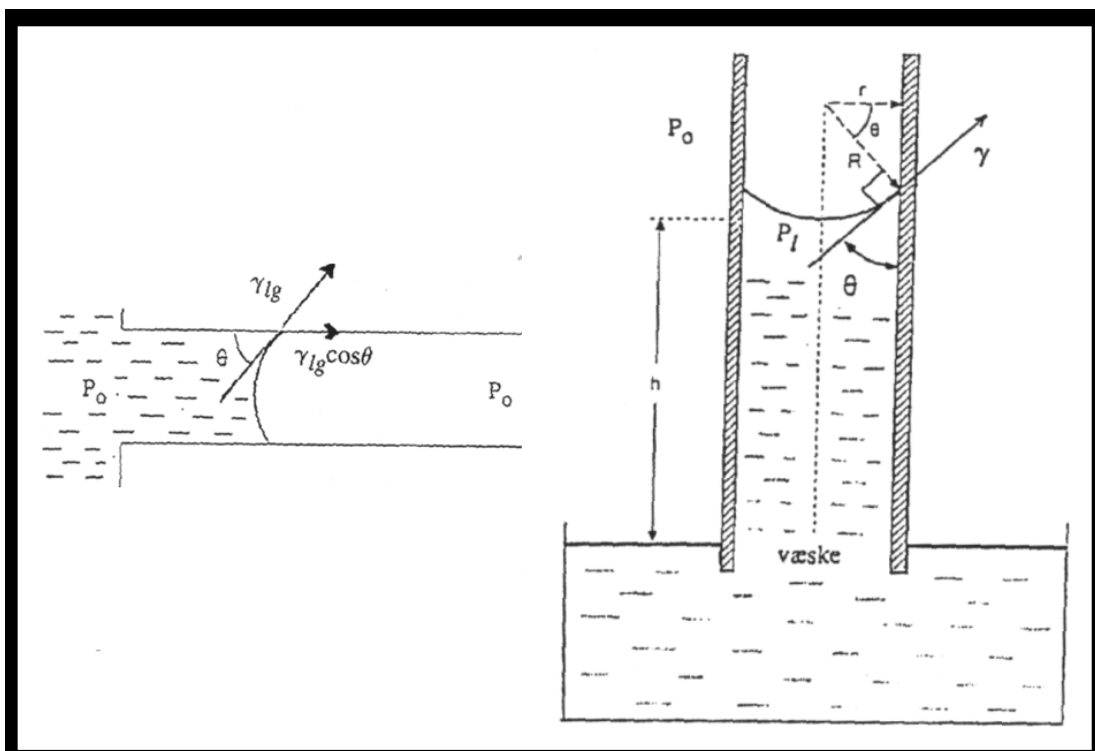
R_2 Radius på den krummede flate normalt på R_1

Hvilken vei trykk differansen virker er ikke godt definert i formelen, men trykket vil alltid være størst på den konkave siden av grenseflaten.

4.1.3 Kapillærkrefter

Kapillarer er tynne rør i samme størrelsesorden som hårstrå. I disse tynne rørene vil grenseflater være en svært viktig faktor. På grunn av kapillærenes størrelse vil R_1 og R_2 være veldig små. I henhold Young-Laplace likningen vil dette igjen føre til store trykk differanser. En stor trykk differanse (ΔP), vil føre til et stort overskudd av kraft på den konkave siden av en grenseflate. Disse kreftene, kombinert med at det er små volum som skal transporteres, fører til at væsker kan bevege seg vertikalt oppover i en kapillar uten tilført energi.

Hvor stor radiusen på en linjene langs den krummede flaten er, er også avhengig hvor godt væsken fukter overflaten av fast stoffet. Hvor godt en væske fukter en faststoffoverflate beskrives av kontakt vinkelen mellom veggene i kapillaren og tangenten til væske menisken. Denne vinkelen som oppstår i trefasepunktet kalles ofte også fukte vinkelen (θ). En lav fukte vinkel medfører at en væske sprer seg godt utover en gitt fast stoff flate. Ut i fra Young-Laplace likningen kan man lese at jo lavere fukte vinkel man har, jo større kapillærkrefter vil oppstå.



Figur 11: Illustrasjon av væsketransport i kapillarer[11]

Når vann fukter betong i en kapillar vil fukte vinkelen være rundt null. Dette medfører en svært små R_1 og R_2 , som igjen vil føre til en stor trykk differanse.

Hvor fort metningen av betong skje er avhengig av størrelsen på kapillarene. Kraften som fører væsken inn i betongen er definert som;

$$F = 2\pi r \gamma_{lg} \cos\theta$$

θ	Fukte vinkelen
r	Kapillar radius
γ_{lg}	Overflatespenningen mellom væske og gass
F	Kapillærkreftene ($P \cdot A$)

I henhold til Mørk[11] vil overflate trykket mellom luft og vann medføre $\gamma = 72,8mN/m$ ved 20 grader celsius, og det antas at vann mot betong vil ha en fukte vinkel tilnærmet lik null. Dermed vil farten på vanninntrengningen og størrelsen på kapillærkreftene være veldig avhengig av størrelse på porer og kapillarer.

4.2 Diffusjon

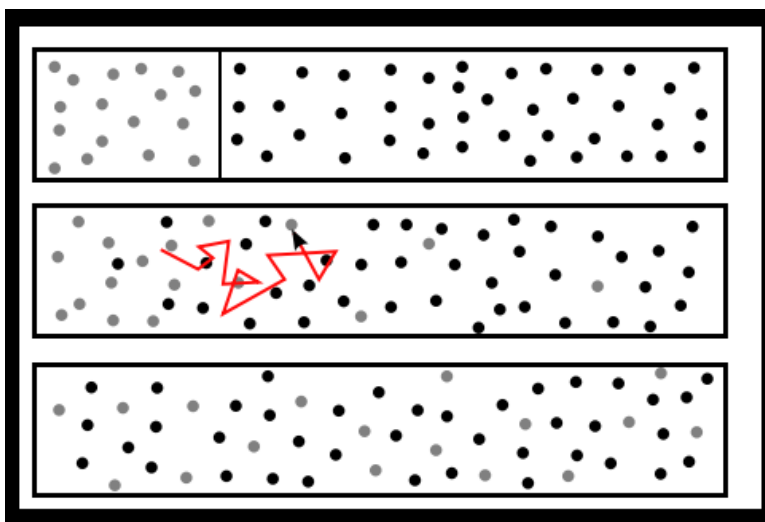
Boken Overflate og Kolloid kjemi[11] beskrives diffusjon som et stoffs tendens til å forflytte seg fra et område med høyere konsentrasjon til et med lavere konsentrasjon som et resultat av Brownske bevegelser.

4.2.1 Diffusjon og brownske bevegelser

Diffusjon er altså at en gass sprer seg ut over i et rom, eller at man får konsentrasjonsutjevning når to væsker blandes. Drivkraften i diffusjon er termiske bevegelser i molekylerne. Ved temperaturer over 0 kelvin vil alltid atomer og molekyler bevege seg noe. Gasser og væsker i romtemperatur vil bevegelsen være stor nok til at molekyler vil kollidere. Hvis man da for eksempel blander to væsker med

omtrent samme densitet som kolliderer med seg selv, så vil de starte å kollidere med hverandre. Molekylene vil få en tilfeldig bane, da de kolliderer med andre molekyler hele tiden. Bevegelsene i tilfeldig retning ble først beskrevet av Robert Brown, og kalles brownske bevegelser.

Over tid vil disse brownske bevegelsene føre til maksimal entropi, altså at de to væskene som blandes er jevnt fordelt utover volumet som er tilgjengelig. Selv om man har oppnådd maksimal entropi vil de brownske bevegelsene allikevel fortsette, og diffusjon vil fortsatt skje, men konsentrasjonen vil ikke endre seg og væsken være tilsynelatende uendret.



Figur 12: Diffusjon[18]

Figuren viser hvordan to faser blandes. Det første bildet viser to adskilte væsker. Det andre bildet viser hvordan væskene blander seg, og den røde bevegelses linjen er en illustrasjon for et enkelt molekyls brownske bevegelse. Det tredje bildet viser at de to væskene har oppnådd maksimal entropi.

4.2.2 Sedimentasjon

Sedimentasjon er det motsatte av diffusjon, og er en motvirkende kraft. Sedimentasjon vil prøve å samle alle like partikler i en blanding på ett sted, og sedimentasjonens drivkraft er gravitasjon og sentrifugal krefter.

4.2.3 Diffusjons koeffisient

Diffusjon er en beskrivelse av hvor mye masse av et stoff som blander seg med andre stoff over tid, altså massetransport per tid (dm/dt). Det kan også beskrives ved hjelp av begrepet masseflux(J), som er netto mengde stoff som passerer gjennom en enhets flate per tidsenhet. Masseflux multiplisert med arealet diffusjonen skjer vil gi følgende likhet;

$$dm/dt = J \cdot A \quad (7)$$

Et hvert punkt(x) i diffusjons retningen til et stoff vil ha en konsentrasjons gradient(C), som sier noe om mengden stoff i det gitte punkt. Denne vil bli mindre jo større x er, altså en lavere konsentrasjon jo lengre vekk man kommer fra den høye konsentrasjonen. Dette gjelder selvfølgelig før alt er i likevekt. dC/dx regnes som drivkraften i diffusjons prosessen, og vil være proporsjonal med massefluxen. I diffusjons retningen vil massefluxen være positiv, samtidig som drivkraften vil være negativ, fordi konsentrasjonen er mindre jo lengre ut i diffusjons retningen man kommer. Man kan derfor sette disse to like hverandre, hvis man legger til en proporsjonalitetskoeffisient(D). Denne proporsjonalitetskoeffisienten kalles også diffusjons koeffisienten.

$$J = -D(dC/dx) \quad (8)$$

Ved å kombinere de to foregående likningene kan man komme frem til *Ficks første lov*;

$$dm/dt = -AD(dC/dx) \quad (9)$$

Ficks første lov beskriver diffusjons hastigheten som en funksjon av konsentrasjons gradienten. Dette blir i de fleste diffusjons tilfeller vanskelig å bruke til noe fornuftig, da konsentrasjons gradienten hele tiden er i endring. For å kunne gi en generell beskrivelse av diffusjons prosessen må man ha en sammenheng mellom C , t og x . Denne sammenheng kan man finne i Ficks 2. lov, den uttrykker hastigheten dC/dt der konsentrasjonen C forandrer seg med tid og posisjon.

Ficks 2. lov tar utgangspunkt i en liten volumenhet med lengden dx og enhets tverrsnitt($A=1$). Konsentrasjonen endres med tiden som et resultat av forskjellen

i netto massetransport inn og ut av elementet. Fluxen vil også variere med tid ($\partial J/\partial x$), og ved å betrakte et tidsintervall som er så lite at $\partial J/\partial x$ er tilnærmet konstant, kan man finne masse økningen (dm) i elementet;

$$dm = Jdt - (J + (\partial J/\partial x)dx)dt = -(\partial J/\partial x)dxdt \quad (10)$$

Ved å ta i bruk relasjonen $dC = dm/Adx = dm/dx$ der A er 1, vil vi få følgende likning;

$$dC/dt = -(\partial J/\partial x) \quad (11)$$

Ved så vider å differensiere likning 5, vil man få følgende resultat;

$$\partial J/\partial x = -D(\partial^2 J/\partial^2 x) \quad (12)$$

Ved å kombinere de to foregående likningene (8 og 9) vil man få *Ficks andre lov*;

$$dC/dt = D(\partial^2 J/\partial^2 x) \quad (13)$$

Denne varianten av Ficks andre lov er veldig generell, og må tilpasses til hvert enkelt bruksområde.

4.2.4 Ficks andre lov i betong

I denne oppgaven brukes en variant av Ficks andre lov som er tilpasset kloridinntrenging i betong. Denne er gjengitt i både NT build 443 og SINTEF sin intern prosedyre KS 14-05-04-108;

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

$C(x, t)$ Konsentrasjonen av konsentrasjoner ved gitt tid og sted

C_0 Initialkonsentrasjon av klorider

C_i Målt konsentrasjon av klorider i gitt punkt

erf	Feilfunksjonen
x	Avstand fra betongoverflaten i diffusjonsretningen
D_{cl}	Diffusjonskoeffisienten for kloridinntrening
t	Tid

Denne varianten av Ficks andre lov tar utgangspunkt i et kjent kloridinnhold, og ut i fra flere målinger ved forskjellige sjikt vil en kunne angi en diffusjonskoeffisient. Denne diffusjonskoeffisienten gjør det mulig å beregne hvor lang tid det vil ta før klorider vil nå armeringen i betongen, og kunne initiere korrosjon.

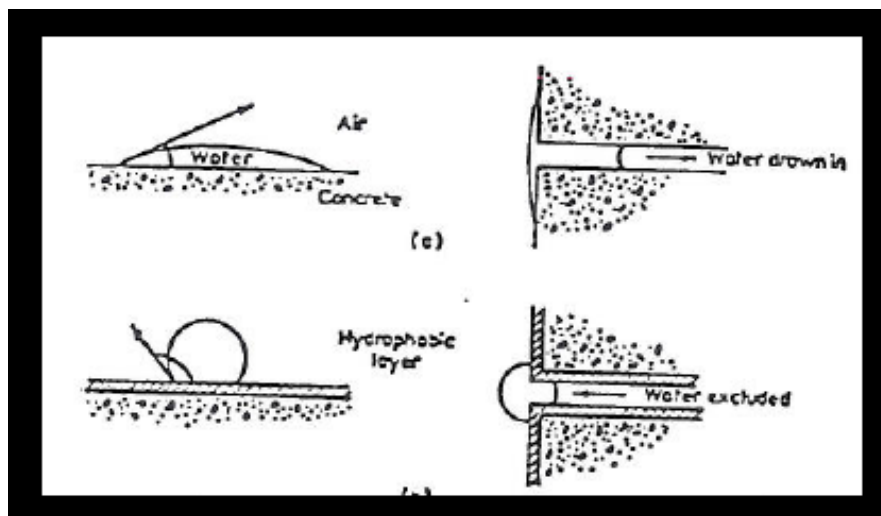
5 Overflatebeskyttelse

Som tidligere omtalt er kloridinntrenging og karbonatisering uønskede elementer i betong. Og dette er noe man ønsker å unngå, for å oppnå en så lang som mulig levetid. Det finnes flere mulige tiltak for å hindre inntrengning av uønskede stoffer. Denne oppgaven har hatt hovedvekt på behandling av overflater for å redusere inntrenging.

Overflatebehandling dreier seg om å påføre stoffer som reduserer inntrenging av uønskede komponenter. Behandlingene deles opp i kategorier for hvordan de forhindrer inntrengning.

5.1 Hydrofobe overflatebehandlinger

Et hydrofoberende middel vil påføres betongoverflaten, og trekker noen millimeter inn i betongens porer. Stoffet vil dekke veggene i porer og kapillærer. Stoffets vannavvisende egenskaper vil føre til at man får den motsatte effekten av kapillærsug. Den avvisende effekten den overflatebehandlede delen av betongen vil presse væskeminisken til å snu seg i forhold til hva en væskeminisk ville gjort i en normal situasjon i en kapillar. Fukteinkelen vil altså bli over over 90 grader, og kapillarkreftene vil bidra til å holde vannet ute, fremfor å suge det til seg.



Figur 13: De to øverste bildene viser en kapillar som suger inn vann, de nederste bildene viser en hydrofobert kapillar[10]

Disse overflatebehandlingene er basert på syntetisk fremstilte materialer. Materialene er en kombinasjon mellom uorganiske komponenter sammensatt av silikon og oksygen, og organiske hydrokarboner.

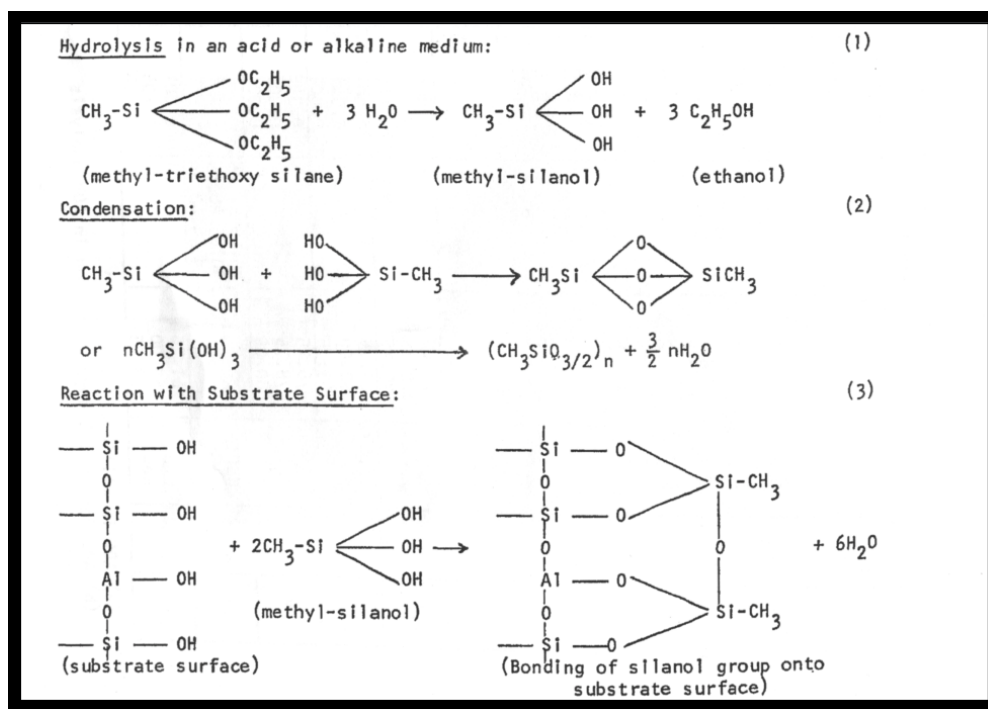
5.1.1 Løsemiddelbaserte silaner

Stoffer som inneholder både silaner og en type løsemiddel. Stoffet blir påført, og blir trukket de nødvendige millimeterene inn i betongens poresystem. Løsemiddelet vil evaporere, og vil etterlate seg vannavstøtende silanoverflate både på betongens overflate, og noen millimeter inn i betongen.

Testet; Cl-brems

5.1.2 Alkyl Alkoxy Silaner

I artikkelen “The Retardation Of Reinforcin Steel Corrosion By Alkyl-Alkoxy Silane”[19] beskrives bindingen av alkyl alkoxy silaner til betongmatriksen. I den følgende illustrasjonen som er hentet fra samme artikkel[19], vil den kjemiske bindingen av et alkyl-alkoksy silan til en betongoverflate beskrives.



Figur 14: Bindingen av Alkoxy Alkyl Silan[19]

Illustrasjonen viser i tre trinn hvordan, i dette tilfellet alkyl-alkoxy (methyl triethoxy) silan, binder seg til betongoverflaten.

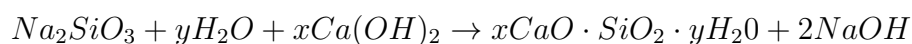
1. Beskriver hvordan det tilsatte alkyl-alkoxy silanet hydraliseres med vann i basisk miljø. Hydrolysens fører til den del methyl-silan og en del ethanol. Veien videre for methylsilanet er todelt, og ethanolet blander seg med porevannet, eller fordamper.
2. Beskriver en reaksjon der alkyl-alkoxy silanet reagerer med seg selv. Denne reaksjonen er ideelt sett ikke ønskelig hvis man ønsker å oppnå en beskyttende effekt av overflatebehandlingen på betongen. Denne reaksjonen kan skje hvis alkyl-alkoxyen eksponeres for vann i forkant av påføring på betong.
3. Beskriver den ønskelige effekten av påføringen. Methyl-silanet binder seg med betongoverflaten. Det bindes sterke bond, og overflaten blir vannavvisende.

Testet; Silimp 100

5.2 Vannglass

Denne type overflatebehandling er basert på silikater. Dette er ingen maling eller impregnering, men en tilsetning av re aktive silikater, som vil hydratisere ureagert kalsium. I artikkelen “Caractarization of silicate sealers on concrete”[16] brukes et eksempel på vannglass bestående av Natriumsilikat. Derfor brukes dette videre som et eksempel her. Na_2SiO_3 vil bli påført betongoverflaten, og bli trukket innover ved hjelp av kappilærsug og diffusjon. Natriusilikatet vil reagere med ureagert Ca og H_2O . Disse vil sammen reagere og danne C-S-H gel, som beskrevet i kapittelet om dannelse av C-S-H gel.

Reaksjonen mellom tilsatt vannglass med natrium vil være som følgende;



Denne reaksjonen som vil i hovedsak skje ved overflaten av betongen. Den vil gjøre tettere, og som en følge av dette vil det slippe mindre væske inn. Vannglasset vil også forbedre betongens mekaniske egenskaper. Siden vannglass går inn i overflaten, og gjør betongen tettere, vil betongen bli mindre porøs, og dette vil høre til en noe høyere trykkfasthet.

Testet; Mapecure Hardner

5.3 Filmdannende belegg

Disse overflatebehandlingene baserer seg på å stenge alt av væske ute. Hvis ingen væske slippes gjennom vil man også kunne unngå potensielt skadelige komponenter som vann vil kunne bringe med seg. Det ble testet tre forskjellige filmdannende belegg i forbindelse med denne oppgaven.

En akryl i vanddispresjon, der 85% av det påførte materialet fordamper før filmen er størknet.

Testet; Malech

En løsemiddelbasert maling, som etterlater seg et tykkere lag med maling.

Testet; Protect Lasur

En to komponent epoxy der størkningsprosessen skjer som følge av den kjemiske reaksjonen når de to komponentene blandes, og det er minimalt med tapt materiale i forhold til hva som er påført.

Testet; Mapecoat CFS

5.4 Råolje

Det er en teori framsatt av veileder Kjell Tore Fosså, som baserer seg på en beskyttende effekt av vann som er eller har vært i kontakt med Råolje.

Teorien er at råolje i sjøvann vil legge seg som et belegg på overflaten og påvirke inntrengning av klorider. Tidligere erfaringer tyder på at oljen i produksjonsvann (aggressivt sjøvann iblandet råolje fra produksjonsbrønner) har dannet et belegg som har redusert nedbrytningsprosessen og inntrengning av klorider. Dette er basert på observasjoner fra offshore konstruksjoner hvor aggressivt produksjonsvann har vært lagret i store lagertanker av betong, og hvor resultatet viser at nedbrytningen er små og kvaliteten fremdeles kanskje langt bedre enn hva som er forventet.

Mengder råolje konsentrasjoner i forhold til mengde vann ble testet; 1cl/l, 1dl/l og 1l/l

6 Forsøksprogram og metode

Prøveprogrammet i forbindelse med denne oppgaven er basert på tre hovedprosedyrer. To av disse beskriver hele prosessen, mens den tredje prosedyren er en underprosedyre som beskriver arbeidet gjort på kjemilaboratoriet. Ikke alle detaljer er beskrevet i prosedyrene, og hvordan forsøket er utført i detalj vil beskrives i dette kapitlet. De tre prosedyrene som er brukt er;

NT Build 443 og KS 14-05-04-126, Akselerert kloridinntrenging, Bulk diffusjon

Disse to prosedyrene beskriver fremgangsmåten for å teste kloriddiffusjon i utstøpte betongsyndere. Grunnen til at det er brukt to prosedyrer er at de utfyller hverandre på enkelte punkter.

KS 14-05-04-108, Kloridanalyse-spektrofotometer

Prosedyre som beskriver fremgangsmåten for å måle kloridinnhold i betongstøv på kjemi laboratoriet.

6.1 Betonglaboratorium

Ved betonglaboratoriet på Universitetet i Stavanger ble sylindere klargjort for forsøket. Her ble forskalingen laget, sylindere utstøpt, overflatebehandlinger ble påført og sylindere ble neddykket i NaCl-løsningen. Enkle tester av betongens egenskaper ble også utført.

6.1.1 Betongresepten

Hovedhensikten ved forsøket er å teste forskjellige overflatebehandlinger. For å få størst mulig utsalg i testene ble det valgt å lage en porøs betong. Alle sylindere som skulle brukes i testen ble laget ut av samme blanding. Mengde betong som ble utstøpt ble beregnet ut i fra hvor mange sylindere og terninger det var behov for. Her følger utregningen for mengde betong som ble blandet.

Minimum mengde betong			
Sylindere	44 stykker	$\frac{\pi}{4}$ liter/sylinder	11π liter
Terninger	6 stykker	1 liter/terning	6 liter
Til porøsitetstest	8 liter		
Total mengde	48,56 liter		

Tabell 3: Beregning av mengde betong

Ut i fra denne beregningen ble det laget 60 liter betong. Et v/c tall på 0,6 ble valgt.

Ved hjelp av Sverre Smedplass sitt excel ark, betongproposjonerin.xls[12], ble betongen proposjonert. Ved å putte inn siktekurver og ønsket v/c tall betongen ble resultatet denne betongresepten.

Proposjonering av betong med høyt v/c tall.	
0-5mm	56,81 kg
5-8mm	2,99 kg
8-16mm	19,32kg
11-16mm	35,88 kg
Vann	8,50 kg
Sement	17,61 kg

Tabell 4: Betongproposjonering

Tilslaget som ble brukt i betongen kommer fra Forsand, og ble siktet i samarbeid med medstudent Henning Rasmusen før støping. Siktekurver for tilslaget finnes som vedlegg til denne oppgaven.

Det ble av hensyn til porøsiteten ikke brukt pozzolane tilsetningsstoffer. SP-stoff ble vurdert fortløpende under støping, men konklusjonen underveis var at det ikke var nødvendig å tilsette plastiserende eller superplastiserende stoff for å støpe ut de ønskede formene.

Før sylindere og terninger ble utstøpt ble det utført tre tester av den ferske betongen;

Test av fersk betong	
Slumpmål	13,5 <i>cm</i>
Luftinnhold	1,9 %
Egenvekt	2299 <i>kg/m³</i>

Tabell 5: Fersk betong

6.1.2 Forskaling og former

I henhold til prosedyrene skal testprøvestykkene være sylindere, med en minimumsdiameter på 75mm og en minimumshøyde på 100mm. Ved universitetet i Stavanger fantes det ingen standardiserte betongformer for de overnevnte sylindere.

Forskalingen ble derfor laget ved hjelp av plast rør med 100mm diameter. De i utgangspunktet 4 meter lange rørene ble kappet opp i deler på 200mm. De 200mm høye sylindere ble montert på en plate ved hjelp av fugemasse. Da platen sylindere stod på var av tre, ble det også festet en plastpose i bunnen av hver sylinder, for å unngå at vannet i betongen skulle trekke inn i treplaten.



Figur 15: Sylindarforskaling

Det ble også støpt ut 100mm x 100mm terninger for porøsitet og trykktesting.

6.1.3 Saging av størknede betongsylindere

Den overnevnte forskalingen resulterte i et sett med 22 sylindere med en høyde på 200mm. I henhold til prosedyren skal sylindere sages i to ved hjelp av en betongsag. Den ene delen skal brukes som selve prøven, så skal det også kappes en 20mm referanse skive, og det som da er igjen av cylinderen er avkapp.

I dette tilfellet er alle sylindere fra samme betongblanding, og vil naturligvis ha samme betongkvalitet og egenskaper. Derfor var det kun nødvendig med en referanseskive. De resterende sylindere ble derfor delt på midten, og resulterte i 2 sylindere med 100mm høyde og 100 mm diameter.

Flaten som ble saget er den flaten som senere i forsøket skal eksponeres for kloridholdig løsning, og det er krav til at denne flaten er finslipt. Betongsagen som var tilgjengelig ved Universitetet i Stavanger ga denne flaten en tilfredsstillende finhet, og det var ikke nødvendig å slippe flaten ytterligere før eksponering av sylindere.



Figur 16: Sag og sylindere

6.1.4 Trykktesting, måling av porøsitet og måling av fukt i betongstøv

Det ble som nevnt tidligere også støpt ut terninger med mål 100mm x 100mm. Disse ble anvendt til å teste 7 og 28 dagers trykkfasthet, samt porøsitet på den ferdigherdede betongen.

Trykktesting

Trykktester ble utført ved betonglaboratoriet ved Universitetet i Stavanger.

Porøsitet

Porøsiteten av betongen ble testet. Den ble testet i henhold til "KS 14-05-04-110 Betongprøving - kapillær sug evne og porøsitet". Det ble testet hvor mye vann porer og kapillærer i betongen hadde evne til å trekke til seg i atmosfæriske omgivelser. Sylinderne ble først vannmettet og veid, før de ble tørket ved 105 grader celsius til vekt differansen ikke overskred 0,01 vektprosent per time.

Sugeporøsiteten kan beregnes ved følgende formel;

$$p_s = \frac{(g_2 - g_1)/\rho_w}{V}$$

p_s	Sug porøsiteten [%]
g_2	Vekt, vannmettet
g_1	Vekt, tørr
ρ_w	Densitet, vann ($1000\text{kg}/\text{m}^3$)
V	Volum på terninger ($1\text{l} / 1\text{dm}^3$)

Fukt i betongstøv

I Excel arket som brukes til beregning av kloridinnholdet i betongstøvet tas det hensyn til hvor stor prosentandel fukt det er i det utskårede betongstøvet. Dette ble testet ved å veie 50g betongstøv slik det ble testet, det ble så tørket ved 105 grader celsius i tre dager før det ble veiet igjen. Differansen mellom det fuktige og det tørre betongstøvet ble regnet som en prosentdel av andelen tørt støv. Dette gir fuktprosent i betongstøvet.

6.1.5 Kalsiumhydroksid metning av målesylindere

I henhold til prosedyren skal alle sylindere i forkant av eksponering mettes med Kalsiumhydroksid($Ca(OH)_2$). Sylindere skal ligge i et bad med destillert vann, og 2g $Ca(OH)_2$ per liter vann. Metningen skal skje i en lukkbar beholder og skal fylles helt opp, for å unngå karbonatisering av væsken.

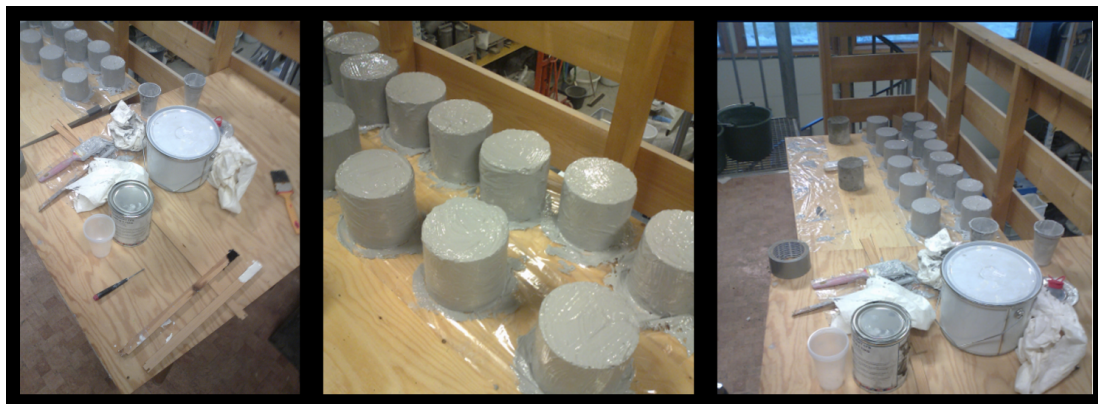
Metningsprosessen skal gå sin gang frem til vekten på prøvestykket ikke endrer seg mer enn 0,1% per dag.

6.1.6 Påføring av epoxy på flater som ikke skal eksponeres

For å kunne måle hvor dypt inn i sylindere kloridene trenger fra eksponeringsflaten, må de resterende overflatene tildekkes. Dette ble oppnådd ved å bruke Mapecoat CFS fra Rescon Mapei. Dette er en tokomponent epoxy, som ikke slipper noe væske gjennom. For å få sylindere overflater tilstrekkelig overflatetørre til å kunne påføre epoxyen ble sylindere oppbevart i et varmeskap med 50% relativ luftfuktighet og 20 grader celsius. Etter fem timer i varmeskapet ble epoxyen påført med pensel.

For å forsikre seg mot helligdager i epoxy malingen, og for å unngå å risikere inn-trenging av klorider gjennom andre steder enn den tiltenkte eksponerte overflaten, ble det malt et tykt lag med den overnevnte epoxyen i tre strøk.

Etter påføring og herding av epoxy skal igjen prøvestykkene mettes med kalsiumhydroksid, og ble igjen neddykket.



Figur 17: Påføring av epoxy på sylindere

6.1.7 Påføring av overflatebehandling

Før påføringen av overflatebehandling ble samme tørkeprosess som før påføringen av epoxy gjennomført. Etter fem timer ble overflatebehandlingene påført i henhold til de respektive databladene. Alle behandlingene ble påført i ett lag, og fikk 24 timers tørke, før de ble neddykket i NaCl-løsningen.

6.1.8 Råolje innblandet i NaCl bad

Tre sylindere skulle neddykkes i NaCl-løsninger tilsatt forskjellige mengder råolje. Henholdsvis 1cl råolje/l vann, 1dl råolje/l vann og 1l råolje/l vann. Disse prøvene ble neddykket i en løsning med de respektive blandings forholdene, uten tilsatt NaCl. De ble eksponert for denne blandingen i 5 døgn, før blandingen ble tilsatt riktig mengde NaCl.

6.1.9 Neddykking i NaCl-løsning

Ved dette tidspunkt er alle prøvestykker klare for å neddykkes i NaCl prøver. I henhold til prosedyren skal en hver av de forskjellige prøvene eksponeres for en løsning bestående av $165g \pm 1g$ NaCl per liter vann.

Hvert bad var bestående av 4 liter vann tilsatt 660g NaCl. I hvert bad var det tre sylindere.

6.2 Uttak av betongstøv

For å teste hvor langt kloridene har diffundert inn i betongen i løpet av 35 dager, skjæres det ut betongstøv av sjikt innover i betongen. Det tas ut fem sjikt på to millimeter, og to sjikt på fem millimeter. For å oppnå en så fin presisjon ble det anvendt en dreiebenk.

Et tilsvarende forsøk er blitt utført ved NTNU tidligere, og de har utarbeidet et system for å ta ut betongstøv. Magne Maage ved Skanska/NTNU har bidratt med

bilder og veiledning for hvordan ta ut støv av en betongsylinder på en så effektiv og nøyaktig som mulig måte.

En løsning de har brukt ved NTNU er å montere en motor på en dreiebenk. Ved å montere et betongkjerneborr på motoren, som igjen er festet på dreiebenken, er tanken at man skal ha to roterende enheter. Da altså at betongsylinderen blir dreiet rundt av dreiebenken, og motoren driver et betongkjerneborr. Ved å gjøre det på denne måten vil man kunne få en jevn utskjæring av betongstøvet, og samtidig unngå overoppheting av boret.

Denne løsningen ble montert, og prøvet ut. Problemet når det skulle gjennomføres var antageligvis kvaliteten på kjerneborret. Det ble for varmt, og smeltet. Det ble gjort flere forsøk, uten at resultatet ble tilfredsstillende.



Figur 18: Motor og borr

En alternativ løsning ble utarbeidet i samarbeid med medstudent Qasim Ali, der man isteden for å bruke et roterende kjerneborr, tok i bruk et ordinært betongborr. Dette ble montert på dreiebenken. Løsningen kan sees på bildet under. Denne løsningen fører til en litt mindre nøyaktighet i sjiktene som skal pulveriseres, men det ga et tilfredsstillende resultat.

De fem første sjiktene som ble tatt ut av sylindere var på to millimeter, henholdsvis; 0mm-2mm, 2mm-4mm, 4mm-6mm, 6mm-8mm og 8mm-10mm. De to siste sjiktene hadde en dybde på 5mm, og var henholdsvis 10mm-15mm og 15mm-20mm.

Pulveret fra de forskjellige sjiktene og fra de forskjellige prøvene ble oppbevart i tette poser frem til de skulle testes på kjemi laboratoriet.



Figur 19: Utskjæring av pulver

6.3 Kjemisk testing av betongpulver

Det finnes flere metoder å teste betongstøv for kloridinnhold. En av de mer nøyaktige metodene er å teste det i et kjemilaboratorium ved hjelp av et fotospektrometer. Ved å følge SINTEF sin internprosedyre skal dette gi et optimalt, og så nøyaktig resultat som mulig. Prosedyren som følges er “KS 14-05-04-108, Kloridanalyse-spektrofotometer”.

Et spektrofotometer er et apparat som måler absorbans i en væske. Ved å avlese mengde absorbert lys i en væske, kan man bestemme mengde av et gitt stoff, hvis man kjenner det resterende innholdet.

I denne prosedyren blander man betongstøvet som skal sjekkes for klorider med utvannet salpetersyre, for å løse ut kloridene. Dette filtreres videre gjennom membranfiltere, for kvitte seg med det resterende av betongstøvet. Filtratet tynnes så ytterligere ut med vann, før det tilsettes kjemikalier som gir en farge reaksjon med kloridene.

Dette fører til at jo større prosentandel klorider det er i denne siste løsningen, jo sterkere farge vil løsningen ha, og desto større utslag på absorbansen i spektrofotometeret.

6.3.1 Kjemikalier og reagenser

For gjennomføring av spektrofotometer testing trenger man følgende reagenser;

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. 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
5. Kontrolløsning 1, Natriumklorid $20\mu\text{g}/\text{ml}$ kloridioner fortynnet salpetersyre 1+9
6. Kontrolløsning 1, Natriumklorid $500\mu\text{g}/\text{ml}$ kloridioner fortynnet salpetersyre 1+9

I dette tilfellet var en tilsvarende test utført ved Universitetet i Stavanger ved en tidligere anledning. Dette førte til at reagens 2 og 3 allerede var tilgjengelige ved kjemilaboratoriet.

6.3.2 Kalibrering og kallibreringskurve

I forkant av testing av dybdesjiktene i betongen må det lages en referansekurve. Dette gjøres ved å bruke knust referansebetong som ikke er utsatt for klorider. Det skal gjøres minst ti målinger for å lage en referansekurve. Referansepulveret lages ved å bruke 5,00 g betongpulver tilsatt forskjellige konsentrasjoner tørr NaCl . De tilsatte konsentrasjonene skal inneholde fra og med 0,00% til 2,00% vektprosent klorid av betongstøvet.

De ti konsentrasjonene med pulver testes gjennom samme prosedyre som beskrives i "KS 14-05-04-108, Kloridanalyse-spektrofotometer". Avlest absorbans skal plottes i en graf med absorbans langs X-aksen og kloridkonsentrasjon [mol/l] langs Y-aksen.

Det skal lages to sett referanseprøver og kurver, og gjennomsnittet mellom disse to skal brukes når kloridinntrenging skal måles. Utifra den gjennomsnittlige grafen skal det utarbeides en tredjegradslikning som samfaller best mulig med kurven. Denne likningen skal brukes når man bestemmer kloridkonsentrasjon ved hjelp av avlest absorbans.

For å gå fra mengde NaCl tilsatt betongpulveret i gram, til antall mol klorid i kyvetten kreves det en omregning, fordi betongpulveret tynnes ut av destillert vann og de tre reagensene før absorbansen avleses ved hjelp av spektrofotometeret. Til det formål brukes følgende formel;

$$Cl_{kyvette} = \frac{NaCl[g]}{(22,99 + 35,453) \cdot R_1 \cdot \frac{1l}{1000ml}} \cdot \frac{F}{(F + V + R_2 + R_3)}$$

$Cl_{kyvette}$ Antall mol klorider per liter av løsning i kyvette

$NaCl$ Mengde tilsatte klorider [g]

22,99 Atommassen for Natrium [g/mol]

35,453 Atommassen for Natrium [g/mol]

$\frac{1l}{1000ml}$ Dette gjør verdien av sluttresultatet om til mol/liter

F Mengde filtrat [ml]

V Mengde destillert vann [ml]

R_1 Mengde reagens 1 [ml]

R_2 Mengde reagens 2 [ml]

R_3 Mengde reagens 3 [ml]

Denne formelen gir i utgangspunktet antall mol NaCl per liter løsning, men da NaCl består av ett Na atom og et Cl atom vil denne verdien være den samme.

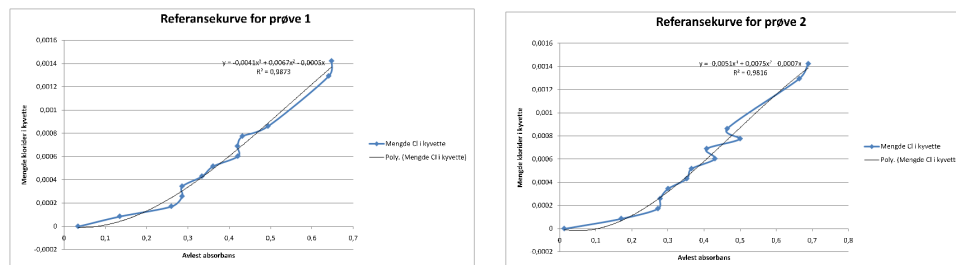
Kalibreringen for denne oppgaven ble utført i samarbeid med medstudent Qasim Ali. Følgende kloridmengder og referansekurver ble produsert;

Innhold i enkelt prøve

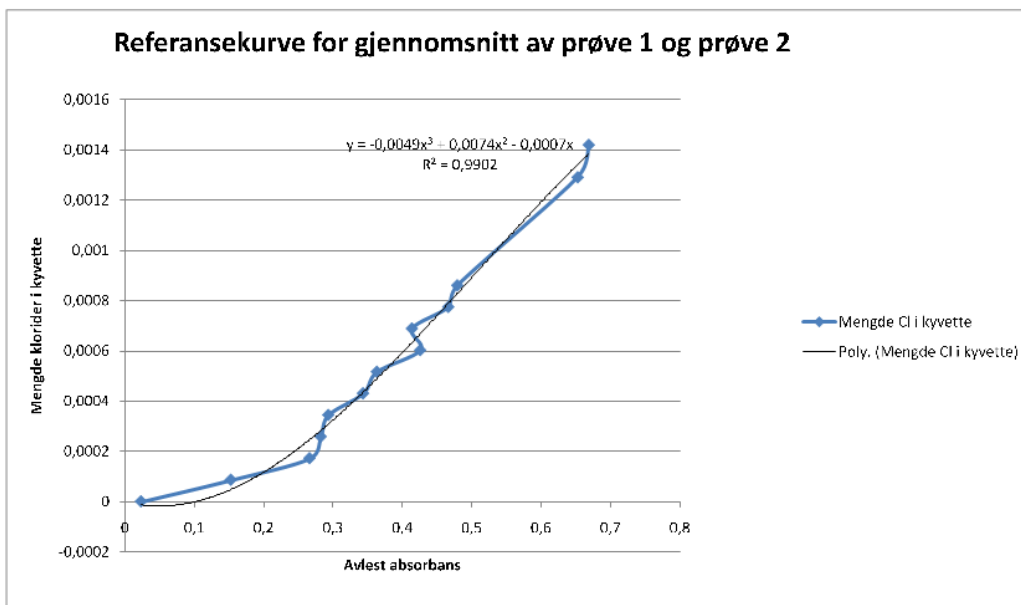
Fukt i testet betongpulver [%]	0,6
Tørt betongpulver i prøver [g]	4,97
Mengde varm syre[m]	50
Mengde filtrat[ml]	0,25
Mengde vann til fortyning[ml]	8
Mengde Fe reagen 0	0,835
Mengde Hg reager 0	0,835

Tilsatt NaCl[g]	Cl i filtrat [mol/l]	Avlest absorbans [ABS]			Mengde Cl i kyvette [mol/l]
		Prøve 1	Prøve 2	Gjennomsnitt	
0	0	0,034	0,012	0,023	0
0,01	0,003422138	0,135	0,17	0,1525	8,62434E-05
0,02	0,006844276	0,26	0,272	0,266	0,000172487
0,03	0,010266413	0,286	0,278	0,282	0,00025873
0,04	0,013688551	0,286	0,3	0,293	0,000344974
0,05	0,017110689	0,334	0,352	0,343	0,000431217
0,06	0,020532827	0,361	0,365	0,363	0,00051746
0,07	0,023954965	0,421	0,43	0,4255	0,000603704
0,08	0,027377102	0,42	0,407	0,4135	0,000689947
0,09	0,03079924	0,432	0,5	0,466	0,000776191
0,1	0,034221378	0,494	0,464	0,479	0,000862434
0,15	0,051332067	0,641	0,664	0,6525	0,001293651
0,165	0,056465274	0,648	0,689	0,6685	0,001423016

Tabell 6: Utregning av kloridinnhold i referansebetong



Figur 20: De to referansekurvene



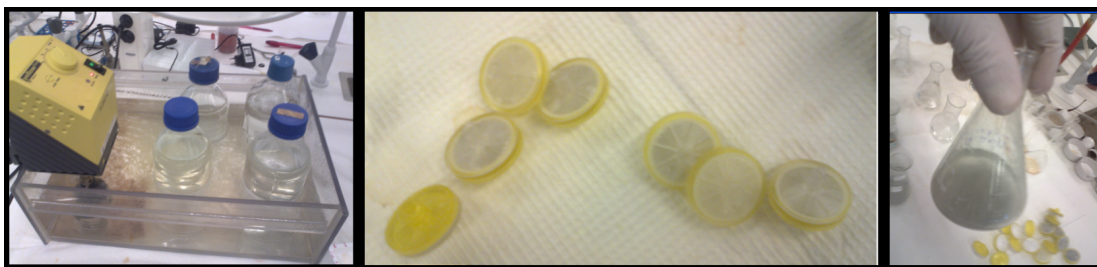
Figur 21: Gjennomsnitts referansekurve som gir følgende formel;
 $y = -0,0049x^3 + 0,0074x^2 - 0,0007x$

6.3.3 Utskilling av klorider fra betongstøv

For å kunne måle mengde klorider i betongstøv må kloridionene skilles ut fra betongstøvet. Dette gjøres ved hjelp av 65% salpetersyre. Salpetersyren tynnes i destillert vann. Løsningen inneholder da 1 del salpetersyre og 9 deler destillert vann. Denne løsningen varmes opp til 80 grader celsius. Dette er reagens 1.

Fem gram fra et sjikt av det utborrede betongstøvet puttes i en kolbe. Det tilsettes så 50ml av reagens 1. Blandingen ristes og røres, før kolben skal hvile minst en time. Dette for at reaksjonen skal få tid til å finne sted.

Når kolben har hvilt over en time tas det noen milliliter ut av blandingen med en sprøyte. Denne løsningen filtreres gjennom et membranfilter i en ny kolbe. Denne løsningen er da en klar væske, og fri for betongstøv.



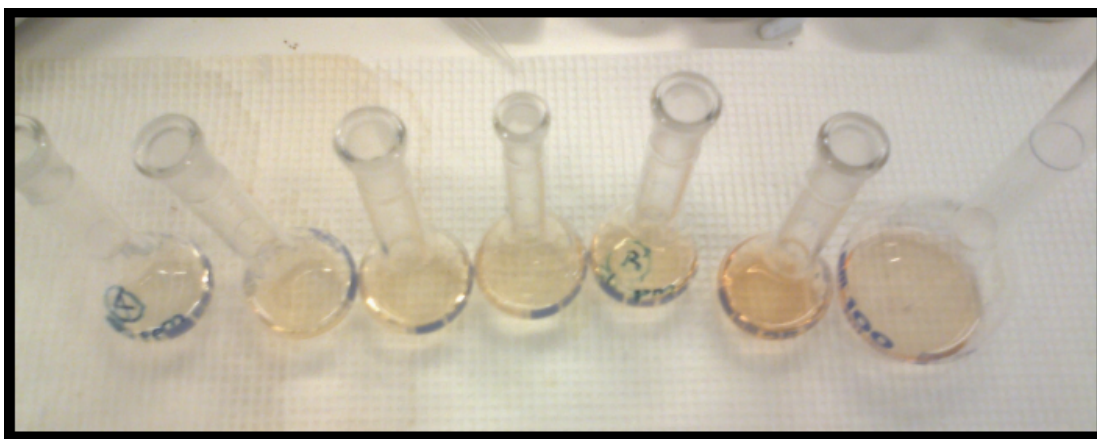
Figur 22: Varming av salpetersyre, betong støv, vekt og membranfilter

6.3.4 Testløsningen

En tredje kolbe forberedes ved å tilsette 8ml destillert vann. Videre tilsettes følgende løsninger i respektiv rekkefølge;

1. $250\mu\text{l}$ av filtratet
2. $850\mu\text{l}$ av reagens 2
3. $850\mu\text{l}$ av reagens 3

Når disse fire løsningene er tilsatt kolben ristes den godt, før den skal hvile i ti minutter. Reaksjonen mellom de tre tilsatte løsningene gir en rød-gul farge. En farge som er mer intens ved høy kloridkonsentrasjon.



Figur 23: De syv sjiktene

6.3.5 Blindprøve og kontroll løsningen

Før hver dag med forsøk må spektrofotometeret nullstilles. Dette gjøres ved å lage en blindprøve. Blindprøven består av;

1. 8,2 ml destillert vann
2. 850 μ l av reagens 2
3. 850 μ l av reagens 3

I blindprøven er det kloridholdige filtratet erstattet av destillert vann. Denne løsningen overføres til en kyvette, og det velges autozero på spektrofotometeret. Med dette velges blindprøven, som ikke inneholder kloridioner, som utgangspunkt for de resterende prøvene den dagen.

6.3.6 Testing av prøvene

Den ferdigblandede løsningen fra punkt 8.3.4 helles over i en kyvette. Fotospektrometeret skal være innstilt på en bølgelengde på 460nm, og skal alltid være påslått i 20 minutter før det tas i bruk for dagen.

Når spektrofotometeret har vært påslått i ønsket tid, og blindprøven har nullstilt spektrofotometeret kan prøvekyvettene testes. De tørkes og puttes ned i spektrofotometeret. Absorbansen[ABS] av prøven kommer opp på skjermen og noteres.

Når dette er gjort er testen utført.



Figur 24: Fotospektrometer testen

6.4 Beregninger og etterarbeid

6.4.1 Beregning av kloridinnhold

Den noterte absorpsjonen må nå omregnes til konsentrasjon av kloridioner, som igjen kan gi en diffusjonskoeffisient.

For å gjøre dette må man gå via kalibreringskurven fra punkt 8.3.2. Absorpsjonen settes inn for x i den utarbeidende tredjegradslikningen. Når man løser denne likningen vil man få ut en verdi som gir antall mol klorider per liter for løsningen i kyvetten.

For å omgjøre antall mol klorider per liter i kyvetten om til vektprosent av tørt betongstøv må en ny omregning gjøres. Dette vil være i nærheten av det motsatte man gjorde når man laget kalibreringskurven. Følgende formel er da brukt;

$$\frac{Cl_{kyvette} \cdot (F + V + R_2 + R_3) \cdot R_1 \cdot 35,453 \cdot 100}{R_1 \cdot 1000 \cdot P} = Cl_{prosent}$$

P Mengde betongpulver [g]

$Cl_{prosent}$ Vektprosentandel klorid i forhold til tørt betongstøv

6.4.2 Beregning av diffusjonskoeffisient og levetid

Vektprosentandelen klorider ble videre satt inn i Kloriddiffusjon.xls[13], som lager kloridprofiler og beregner diffusjonskoeffisienter.

Diffusjonskoeffisienten til et betong vil avta med tid, grunnet at en betong vil få en høyere permabilitet med tid. Dette er beskrevet i "IN-FIELD PERFORMANCE OF NORTH SEA HSC/HPC OFFSHORE PLATTFORMS WITH REGARD TO CHLORIDE RESISTANCE"[14], og for å få en diffusjonskoeffisient ved en gitt tid brukes følgende formel;

$$\frac{D(t)}{D_0} = \left(\frac{t_0}{t}\right)^\alpha$$

$D(t)$	Diffusjonskoeffisienten med hensyn på tid
D_0	Initial diffusjonskoeffisient
t_0	Ferdigherdet betong
t	Gitt tid
α	Aldringsfaktoren

En aldringfaktor på 0,6 er anbefalt i samme artikkel som over[14], og denne brukes i oppgaven. Bergningene for levetid er gjort i excelarket “beregning diffusjon klorid 10122008.xls”[2], der tiden er variert, til kritisk kloridnivå er nådd.

Excelark med utregnede levetider er å finne i vedlegget.

7 Resultat

Resultatet av forsøkene ble utregnet ved hjelp av tre excel regneark som er anskaffet gjennom veileder Kjell Tore Fosså, og stammer opprinnelig fra Skanska. Resultatene i absorban er omregnet til å utgjøre prosentandel av mengde tørt betongstøv som er testet. Resultatene vil bli presentert som tabeller med avlest absorban, en mellom regning og prosentandel klorider. Det presenteres også en diffusjonskurve med tilhørende diffusjonskoeffisient.

Selv om overflatebehandlingene er forskjellige i virkemåte og effektivitet er de alle testet på samme måte, og blir også presentert i dette kapitlet med samme tabeller og grafer.

7.1 Betongens egenskaper

7.1.1 Porøsitet og egenvekt av betongen

Følgende tre porøsiteter ble målt;

Terning nummer	Vekt, mettet terning	Vekt, tørket terning	Porøsitet
1	2373,0g	2240,8g	13,22 %
2	2400,1g	2262,3g	13,78%
3	2393,7g	2259,2g	13,45 %
Gjennomsnitt	2388,9g	2254,1 g	13,48 %

Tabell 7: Egenvekt og porøsitet av terningene

En gjennomsnitts porøsitet på 13,48% er i tråd med hva som var forventet ut i fra v/c -tallet på betongen.

7.1.2 Fuktinhold i betongstøvet

Betongen ble tørket i en glasskolbe, og egenvekten av den måtte tas hensyn til i beregningene.

Kolbe [g]	Kolbe + fuktig betong [g]	Kolbe + tørr betong [g]
273,89	324,07	232,78

Tabell 8: Fuktinnhold i betongstøvet

Vekt vann;

$$(Kolbe + fuktigbetong) - (Kolbe + tørrbetong) = 0,29g$$

Prosentandel fukt av tørr betong;

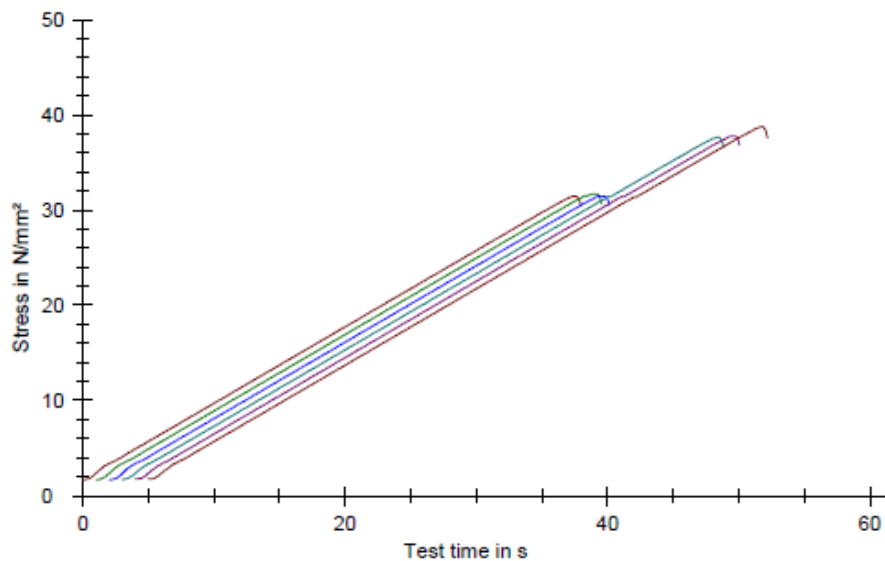
$$\frac{Vannvekt[g]}{Tørrbetong[g]} \cdot 100\% = \frac{0,29g}{232,78g - 273,89g} \cdot 100\% = 0,5813\%$$

Faktoren som ble brukt beregningene er avrundet til 0,6%

7.1.3 7 og 28 dagers trykktest

Resultater:

Nr	ID	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
83	7dagerstest01	314,43	31,44	100,0	100,0	100,0
84	7dagerstest02	317,02	31,70	100,0	100,0	100,0
85	7dagerstest03	314,85	31,48	100,0	100,0	100,0
86	28dagerstest01	376,07	37,61	100,0	100,0	100,0
87	28dagerstest02	377,65	37,76	100,0	100,0	100,0
88	28dagerstest03	387,11	38,71	100,0	100,0	100,0

Grafisk fremstilling:**Statistikk:**

Series n = 6	F_m kN	σ_m N/mm ²	a mm	b mm	h mm
x	347,85	34,79	100,0	100,0	100,0
s	35,73	3,57	0,0	0,0	0,0
v	10,27	10,27	0,00	0,00	0,00

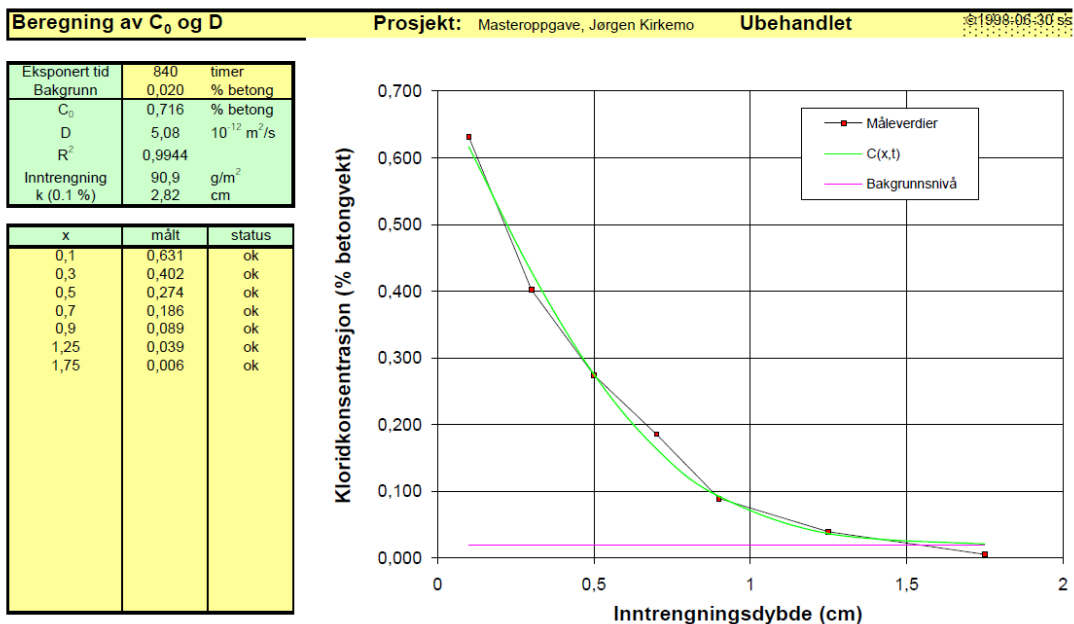
Figur 25: Trykktestresultat, 7 og 28 dager. Dett ble gjennomført med trykkpressen ved Universitetet i Stavanger, sylindere ble trykket til den gikk til brudd.

7.2 Kloridinntrenging

Overflatebehandling	Ubehandlet
---------------------	------------

Sjikt[mm]	Absorbans [ABS]		
	Prøve 1[ABS]	Prøve 2[ABS]	Prøve 3[ABS]
0-2	0,301	0,365	0,375
2-4	0,303	0,275	0,271
4-6	0,225	0,214	0,281
6-8	0,179	0,215	0,228
8-10	0,126	0,194	0,164
10-15	0,088	0,165	0,134
15-20	0,022	0,141	0,080

Sjikt[mm]	Klorider i kyvette [N]			Prosentandel klorider i tørr prøve [%]			
	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	Gjennomsnitt
0-2	0,000	0,000	0,001	0,462	0,696	0,736	0,631
2-4	0,000	0,000	0,000	0,468	0,375	0,363	0,402
4-6	0,000	0,000	0,000	0,228	0,200	0,395	0,274
6-8	0,000	0,000	0,000	0,118	0,202	0,236	0,186
8-10	0,000	0,000	0,000	0,028	0,151	0,089	0,089
10-15	0,000	0,000	0,000	-0,011	0,091	0,039	0,039
15-20	0,000	0,000	0,000	-0,017	0,049	-0,016	0,006

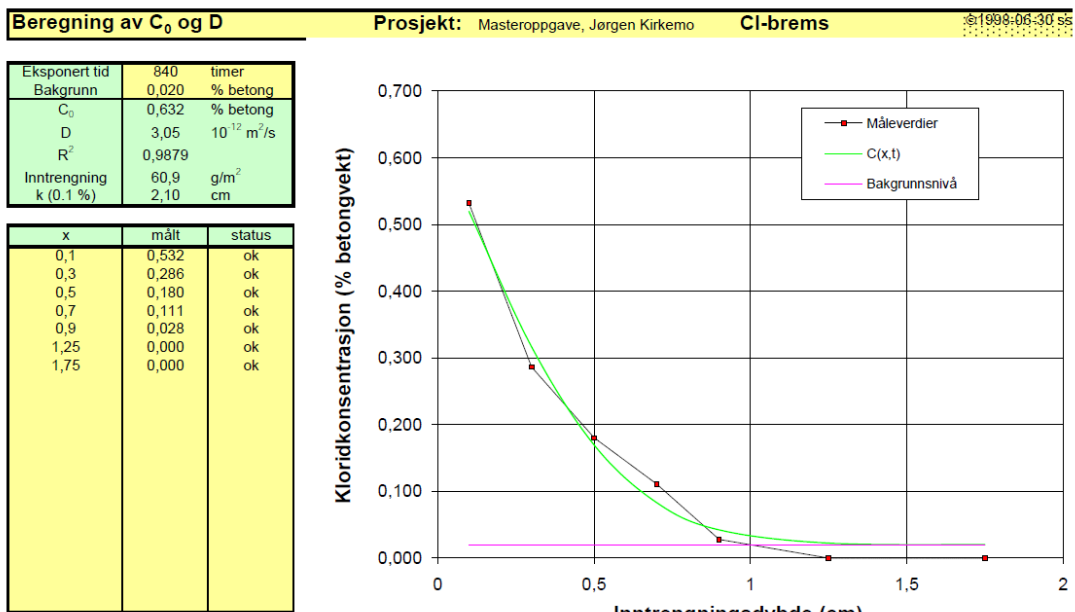


Figur 26: Kloridkonsentrasjon og kloridinntrengingskurve for *ubehandlet prøvestykke*

Overflatebehandling	Cl-brems
---------------------	----------

Sjikt[mm]	Absorbans [ABS]			Gjennomsnitt
	Prøve 1[ABS]	Prøve 2[ABS]	Prøve 3[ABS]	
0-2	0,347	0,327	0,287	0,320
2-4	0,311	0,253	0,145	0,236
4-6	0,216	0,204	0,198	0,206
6-8	0,188	0,188	0,146	0,174
8-10	0,115	0,142	0,119	0,125
10-15	0,078	0,081	0,061	0,073
15-20	0,053	0,061	0,026	0,047

Sjikt[mm]	Klorider i kvette [N]			Prosentandel klorider i tørr prøve [%]			
	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	Gjennomsnitt
0-2	0,000	0,000	0,000	0,628	0,553	0,414	0,532
2-4	0,000	0,000	0,000	0,496	0,307	0,055	0,286
4-6	0,000	0,000	0,000	0,205	0,175	0,161	0,180
6-8	0,000	0,000	0,000	0,138	0,138	0,057	0,111
8-10	0,000	0,000	0,000	0,014	0,051	0,019	0,028
10-15	0,000	0,000	0,000	-0,017	-0,015	-0,023	0,000
15-20	0,000	0,000	0,000	-0,024	-0,023	-0,019	0,000



Figur 27: Kloridkonsentrasjon og kloridinntrengingskurve for Cl-brems

Overflatebehandling	Silimp 100
---------------------	------------

Korreksjon for løst komponent på dreiebenken.

Sjikt[mm]	Prøve 1[ABS]	Prøve 2[ABS]
0-1	0,297	0,296
1-2	0,303	0,233
2-3	0,244	0,216
3-5	0,236	0,189
4-5	0,225	0,173
5-8,5	0,186	0,124
8,5-10	0,156	0,156

Sjikt[mm]	Absorbans [ABS]		
	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3
0-2	0,300	0,265	0,251
2-4	0,240	0,203	0,261
4-6	0,206	0,149	0,202
6-8	0,171	0,140	0,173
8-10	0,156	0,156	0,104
10-15	0,000	0,000	0,058
15-20	0,000	0,000	0,025

Sammenslåing av halverte sjikt

Sjikt[mm]	Prøve 1[ABS]	Prøve 2[ABS]
0-2	0,300	0,265
2-4	0,240	0,203
4-6	0,2055	0,1485
6-8	0,171	0,14
8-10	0,156	0,156

Sjikt[mm]	Klorider i kyvette [N]			Prosentandel klorider i tørr prøve [%]			
	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	Gjennomsnitt
0-2	0,000	0,000	0,000	0,458	0,342	0,301	0,367
2-4	0,000	0,000	0,000	0,270	0,171	0,332	0,257
4-6	0,000	0,000	0,000	0,179	0,061	0,170	0,137
6-8	0,000	0,000	0,000	0,102	0,048	0,106	0,085
8-10	0,000	0,000	0,000	0,074	0,074	0,002	0,050
10-15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,024	0,000
15-20	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,018	0,000

Beregning av C₀ og D

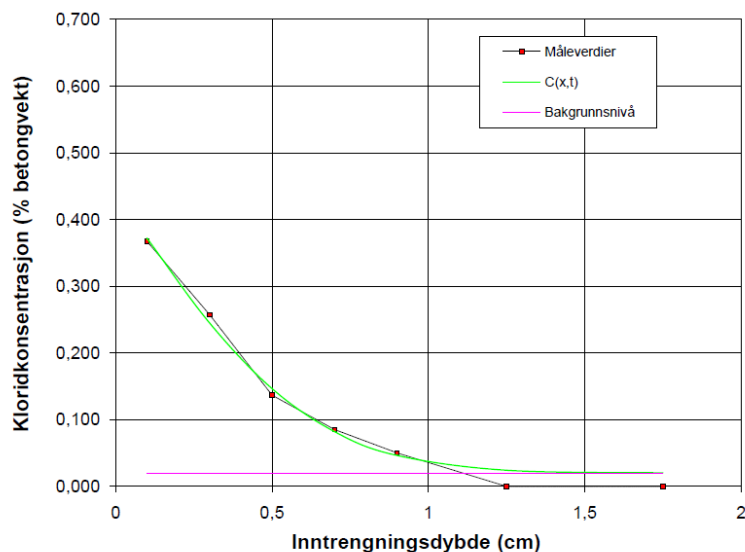
Prosjekt: Masteroppgave, Jørgen Kirkemo

Silimp 100

1999-06-30 ss

Ekspontert tid	840	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C ₀	0,441	% betong
D	3,85	10 ⁻¹² m ² /s
R ²	0,9924	
Inntrengning k (0.1 %)	46,0	g/m ²
	2,04	cm

x	målt	status
0,1	0,367	ok
0,3	0,257	ok
0,5	0,137	ok
0,7	0,085	ok
0,9	0,050	ok
1,25	0,000	ok
1,75	0,000	ok



Figur 28: Kloridkonsentrasjon og kloridinntrengningskurve for *Silimp 100*

Overflatebehandling	Mapecure Hardner
---------------------	------------------

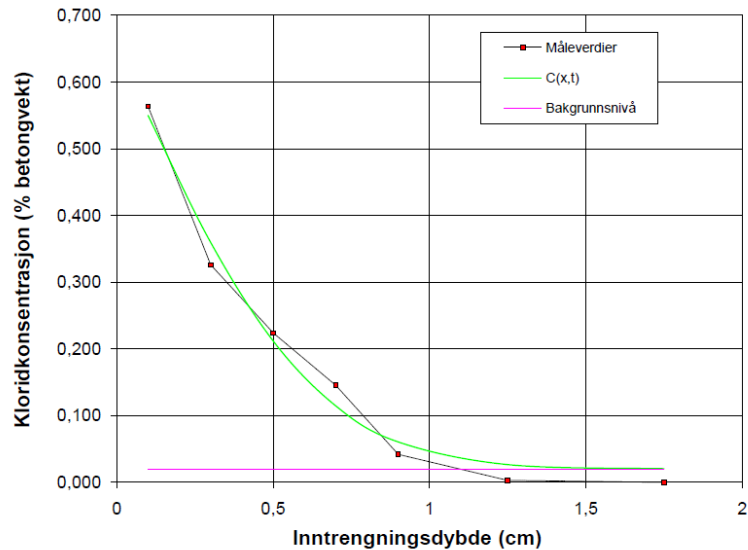
Sjikt [mm]	Absorbans [ABS]		
	Prøve 1 [ABS]	Prøve 2 [ABS]	Prøve 3 [ABS]
0-2	0,335	0,303	0,350
2-4	0,268	0,245	0,264
4-6	0,247	0,189	0,230
6-8	0,192	0,196	0,186
8-10	0,111	0,169	0,118
10-15	0,090	0,129	0,084
15-20	0,037	0,096	0,059

Sjikt [mm]	Klorider i kyvette [N]			Prosentandel klorider i tørr prøve [%]			
	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	Gjennomsnitt
0-2	0,000	0,000	0,000	0,583	0,468	0,639	0,563
2-4	0,000	0,000	0,000	0,353	0,284	0,341	0,326
4-6	0,000	0,000	0,000	0,290	0,140	0,242	0,224
6-8	0,000	0,000	0,000	0,147	0,156	0,133	0,145
8-10	0,000	0,000	0,000	0,010	0,098	0,018	0,042
10-15	0,000	0,000	0,000	-0,009	0,032	-0,013	0,003
15-20	0,000	0,000	0,000	-0,023	-0,005	-0,023	0,000

Beregning av C_0 og D Prosjekt: Masteroppgave, Jørgen Kirkemo Mapecure Hardener 1998-06-30 ss

Eksponert tid	840	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C_0	0,653	% betong
D	3,90	10^{-12} m ² /s
R^2	0,9870	
Inntrengning k (0.1 %)	70,6	g/m ²
	2,39	cm

x	målt	status
0,1	0,563	ok
0,3	0,326	ok
0,5	0,224	ok
0,7	0,145	ok
0,9	0,042	ok
1,25	0,003	ok
1,75	0,000	ok



Figur 29: Kloridkonsentrasjon og kloridinntrengingskurve for *Mapecure Hardner*

Overflatebehandling	Malech
---------------------	--------

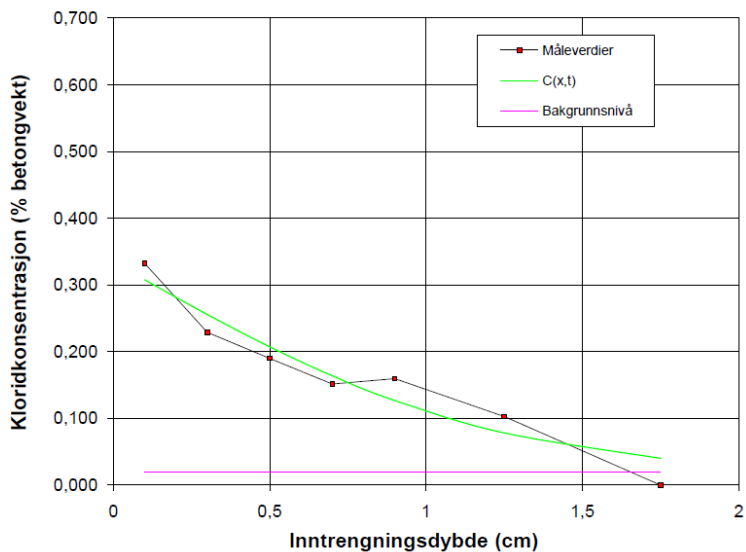
Sjikt[mm]	Absorbans [ABS]		
	Prøve 1[ABS]	Prøve 2[ABS]	Prøve 3[ABS]
0-2	0,102	0,308	0,315
2-4	0,222	0,184	0,263
4-6	0,169	0,198	0,254
6-8	0,177	0,182	0,220
8-10	0,189	0,137	0,249
10-15	0,088	0,185	0,209
15-20	0,086	0,069	0,110

Sjikt[mm]	Klorider i kyvette [N]			Prosentandel klorider i tørr prøve [%]				Gjennomsnitt
	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3		
0-2	0,000	0,000	0,000	0,001	0,486	0,510	0,332	
2-4	0,000	0,000	0,000	0,220	0,129	0,338	0,229	
4-6	0,000	0,000	0,000	0,098	0,161	0,310	0,190	
6-8	0,000	0,000	0,000	0,114	0,125	0,215	0,151	
8-10	0,000	0,000	0,000	0,140	0,043	0,296	0,160	
10-15	0,000	0,000	0,000	-0,011	0,131	0,187	0,103	
15-20	0,000	0,000	0,000	-0,012	-0,021	0,009	0,000	

Beregning av C_0 og D Prosjekt: Masteroppgave, Jørgen Kirkemo Malech 1998-06-30 ss

Ekspontert tid	840	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C_0	0,334	% betong
D	14,67	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9228	
Inntrengning	66,0	g/m^2
k (0.1 %)	3,46	cm

x	målt	status
0,1	0,332	ok
0,3	0,229	ok
0,5	0,190	ok
0,7	0,151	ok
0,9	0,160	ok
1,25	0,103	ok
1,75	0,000	ok



Figur 30: Kloridkonsentrasjon og kloridinntrengingskurve for *Malech*

Overflatebehandling		Protect Lasur						
		Absorbans [ABS]						
Sjikt[mm]	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	Gjennomsnitt	
0-2	0,061	0,029	0,030	-0,023	-0,020	-0,020	0,000	
2-4	0,086	0,045	0,051	-0,012	-0,024	-0,024	0,000	
4-6	0,115	0,097	0,083	0,014	-0,004	-0,014	0,000	
6-8	0,025	0,030	0,059	-0,018	-0,020	-0,023	0,000	
8-10	0,026	0,049	0,015	-0,019	-0,024	-0,013	0,000	
10-15	0,002	0,008	0,002	-0,002	-0,007	-0,002	0,000	
15-20	0,018	0,000	0,006	-0,014	0,000	-0,006	0,000	

Figur 31: Kloridkonsentrasjon for *Protect Lasur*. Ettersom det ikke er registrert noen kloridinntrenging i sylindrene er det heller ikke hensiktsmessig å presentere en kloridprofil.

Overflatebehandling		Mapecoat CFS						
		Absorbans [ABS]						
Sjikt[mm]	Prøve 1[ABS]	Prøve 2[ABS]	Prøve 3[ABS]	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	Gjennomsnitt	
0-2	0,022	0,102	0,033	-0,017	0,001	-0,022	0,000	
2-4	0,037	0,032	0,077	-0,023	-0,021	-0,017	0,000	
4-6	0,028	0,046	0,032	-0,020	-0,024	-0,021	0,000	
6-8	0,008	0,025	0,027	-0,007	-0,018	-0,019	0,000	
8-10	0,013	0,012	0,025	-0,011	-0,010	-0,018	0,000	
10-15	0,012	0,005	0,022	-0,010	-0,005	-0,017	0,000	
15-20	0,022	0,044	0,017	-0,017	-0,024	-0,014	0,000	

Figur 32: Kloridkonsentrasjon for *Mapecoat CFS*. Ettersom det ikke er registrert noen kloridinntrenging i sylindrene er det heller ikke hensiktsmessig å presentere en kloridprofil.

Overflatebehandling	Råolje 1cl/l
---------------------	--------------

Sjikt[mm]	Absorbans [ABS]		
	Prøve 1[ABS]	Prøve 2[ABS]	Prøve 3[ABS]
0-2	0,375	0,327	0,334
2-4	0,308	0,280	0,254
4-6	0,260	0,233	0,224
6-8	0,222	0,179	0,227
8-10	0,187	0,185	0,180
10-15	0,144	0,105	0,120
15-20	0,093	0,093	0,034

Sjikt[mm]	Klorider i kvvette [N]			Prosentandel klorider i tørr prøve [%]			
	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	Gjennomsnitt
0-2	0,001	0,000	0,000	0,736	0,553	0,579	0,623
2-4	0,000	0,000	0,000	0,486	0,391	0,310	0,396
4-6	0,000	0,000	0,000	0,329	0,250	0,226	0,268
6-8	0,000	0,000	0,000	0,220	0,118	0,234	0,191
8-10	0,000	0,000	0,000	0,136	0,131	0,121	0,129
10-15	0,000	0,000	0,000	0,054	0,003	0,020	0,026
15-20	0,000	0,000	0,000	-0,007	-0,007	-0,022	0,000

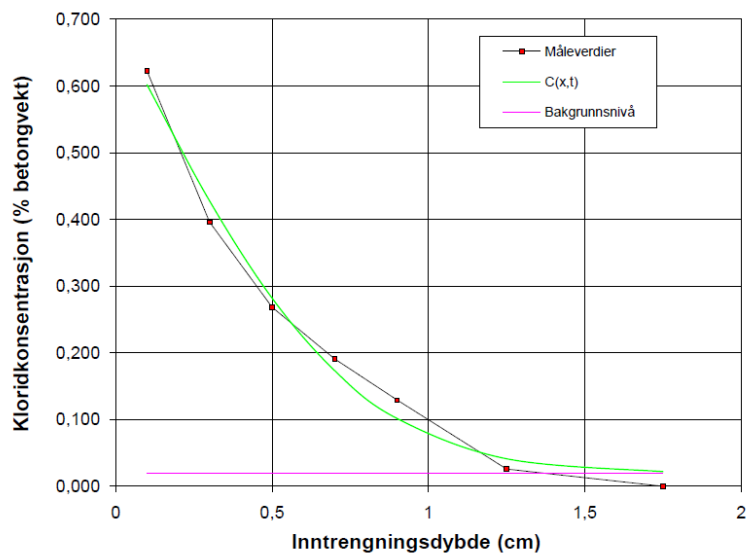
Beregning av C_0 og D

Prosjekt: Masteroppgave, Jørgen Kirkemo Råolje 1cl/l

1998-06-30 ss

Eksponert tid	840 timer
Bakgrunn	0,020 % betong
C_0	0,694 % betong
D	5,56 10^{-12} m ² /s
R^2	0,9884
Inntrengning k (0.1 %)	92,1 g/m ² cm

x	målt	status
0,1	0,623	ok
0,3	0,396	ok
0,5	0,268	ok
0,7	0,191	ok
0,9	0,129	ok
1,25	0,026	ok
1,75	0,000	ok



Figur 33: Kloridkonsentrasjon og kloridinntrengingskurve for 1cl Råolje/liter NaCl løsning

Overflatebehandling	Råolje 1dl/l
---------------------	--------------

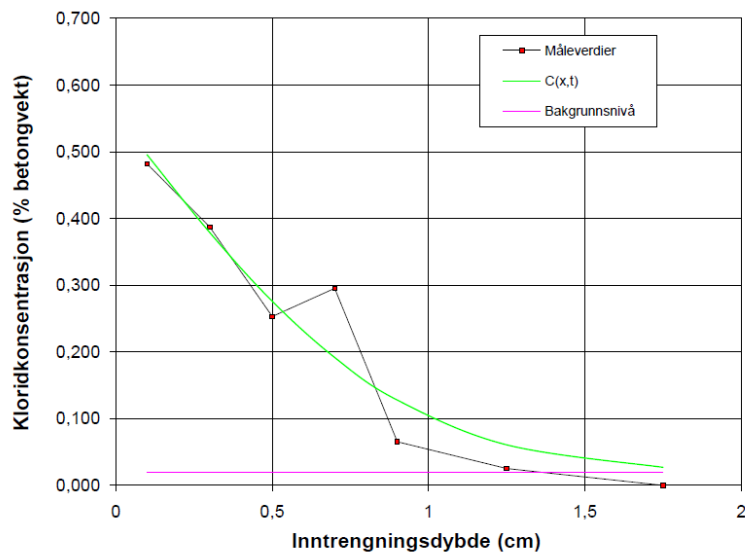
Sjikt[mm]	Absorbans [ABS]		
	Prøve 1[ABS]	Prøve 2[ABS]	Prøve 3[ABS]
0-2	0,300	0,296	0,324
2-4	0,316	0,262	0,255
4-6	0,209	0,235	0,256
6-8	0,269	0,203	0,269
8-10	0,144	0,135	0,171
10-15	0,074	0,107	0,164
15-20	0,028	0,035	0,075

Sjikt[mm]	Klorider i kyvette [N]			Prosentandel klorider i tørr prøve [%]			
	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	Gjennomsnitt
0-2	0,000	0,000	0,000	0,458	0,445	0,543	0,482
2-4	0,000	0,000	0,000	0,514	0,335	0,313	0,387
4-6	0,000	0,000	0,000	0,187	0,256	0,316	0,253
6-8	0,000	0,000	0,000	0,356	0,172	0,356	0,295
8-10	0,000	0,000	0,000	0,054	0,040	0,102	0,065
10-15	0,000	0,000	0,000	-0,019	0,005	0,089	0,025
15-20	0,000	0,000	0,000	-0,020	-0,022	-0,018	0,000

Beregning av C_0 og D Prosjekt: Masteroppgave, Jørgen Kirkemo Råolje 1dl/l 1998-06-30 ss

Eksponert tid	840	timer
Bakgrunn	0,020	% betong
C_0	0,556	% betong
D	8,20	10^{-12} m ² /s
R^2	0,9229	
Inntrengning k (0.1 %)	81,4	g/m ²
	3,28	cm

x	målt	status
0,1	0,482	ok
0,3	0,387	ok
0,5	0,253	ok
0,7	0,295	ok
0,9	0,065	ok
1,25	0,025	ok
1,75	0,000	ok

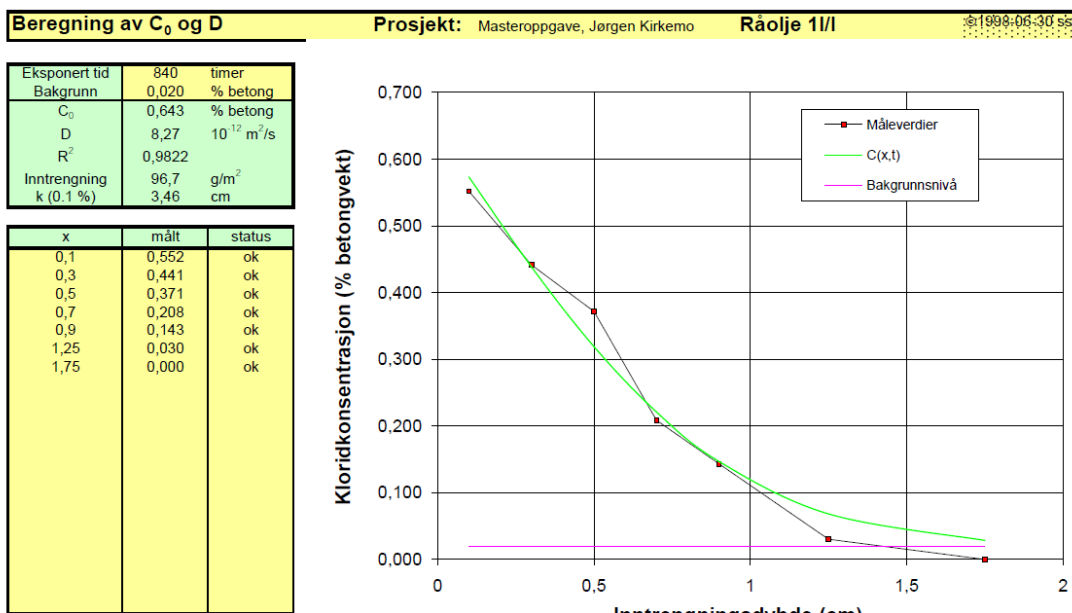


Figur 34: Kloridkonsentrasjon og kloridinntrengingskurve for 1dl Råolje/liter NaCl løsning

Overflatebehandling	Råolje 1l/l
---------------------	-------------

Sjikt[mm]	Absorbans [ABS]		
	Prøve 1[ABS]	Prøve 2[ABS]	Prøve 3[ABS]
0-2	0,319	0,301	0,358
2-4	0,246	0,264	0,365
4-6	0,320	0,240	0,256
6-8	0,221	0,188	0,240
8-10	0,163	0,183	0,220
10-15	0,117	0,098	0,158
15-20	0,095	0,047	0,078

Sjikt[mm]	Klorider i kyvette [N]			Prosentandel klorider i tørr prøve [%]			
	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	Gjennomsnitt
0-2	0,000	0,000	0,000	0,525	0,462	0,669	0,552
2-4	0,000	0,000	0,000	0,287	0,341	0,696	0,441
4-6	0,000	0,000	0,000	0,528	0,270	0,316	0,371
6-8	0,000	0,000	0,000	0,218	0,138	0,270	0,208
8-10	0,000	0,000	0,000	0,087	0,127	0,215	0,143
10-15	0,000	0,000	0,000	0,016	-0,003	0,078	0,030
15-20	0,000	0,000	0,000	-0,006	-0,024	-0,017	0,000



Figur 35: Kloridkonsentrasjon og kloridinntrengingskurve for 1l Råolje/liter NaCl løsning

8 Diskusjon

8.1 Betongen benyttet

8.1.1 Trykkfasthet

Det ble som nevnt over støpt ut seks terninger til trykktesting. Disse ble testet etter henholdsvis 7 og 28 dager. Resultatet kan leses under.

7 dagers trykkfasthet [N/mm^2]			
Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	Gjennomsnitt
31,44	31,70	31,48	31,54
28 dagers trykkfasthet [N/mm^2]			
Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	Gjennomsnitt
37,61	37,76	38,71	38,03

Tabell 9: Trykkfasthet

I henhold til NS-EN 1992-1-1:2004/NA:2008, tabell 3.1, vil betongen innenfor fasthetsklasse C30. Dette er langt i fra den høyeste kvaliteten man kan oppnå, men dette var heller ikke hensikten. Hensikten med betongen var å få utslag på kloridinntrengingen. Uten pozzolane tilsetningsstoffer og med et høyt v/c tall vil man få en lav fasthet. Dette er i tråd med ønsket.

8.1.2 Porøsitet

Betongen er ment å være porøs, og det er den også.

8.1.3 Sementinnhold i betongen

Kritisk kloridnivå beregnes ut i fra vektprosent i forhold til sement. Det er derfor vesentlig å vite hvor stor andel av betongen som er sement.

Sementinnhold i betongen	
Betongdensitet	2254,1 g/l
Sementvekt at betongblandingen	12,48%
Sementvekt per liter betong	278,365 g/l

Tabell 10: Prosentandel sement i betongen

Betongen i forsøket har et høyt v/c -tall, og har deretter en relativt lav prosentandel sement.

8.1.4 Overdekning

I henhold til NS-EN 206-1:2000+NA:2007, tabell NA.1-Eksponeringsklasser, befinner betong permanent neddykket i sjøvann seg i eksponeringsklasse XS2. Dette tas videre hensyn til i NS-EN 1992-1-1:2004/NA:2008, tabell NA-4.4N, der det kreves 40mm overdekning for 50 års levetid, og 50mm overdekning for 100års levetid.

8.1.5 Levetid

Når beregningene er gjort for å estimere levetiden til betongen som er påført de forskjellige overflatebehandlingene er det forutsatt at en ønskelig levetid på 50 år. Levetiden er beregnet at vil vare frem til kloridinnholdet i betongen er nådd den kritiske verdien der det er sannsynlig at korrosjon initieres. I henhold til NS-EN 206-1:2000+NA:2007, tabell 10 - Største kloridinnhold i betong, befinner normal armert betong seg i kloridklasse Cl 0,4. Dette medfører at det maksimale tillate kloridinnholdet er 0,4% av betongens tilsatte sement.

Levetidsberegningene i denne oppgaven vil derfor sjekke hvor lang tid det tar før kritisk kloridnivå er nådd ved 0,4 mm i betongen. Beregningene er gjort i et excelark fremskaffet av veileder Kjell Tore Fosså. De utfyllte excelarkene er vedlagt i vedlegget.

8.2 Overflatebehandlinger benyttet

8.2.1 Ubehandlet prøvestykke

Dette prøvestykket er en referanse i forhold til de andre prøvene. Denne var ikke forventet å møte noen krav til bestandighet eller permabilitet. Med den beregnede diffusjonskoeffisienten på $5,06 \cdot 10^{-12} m^2/s$ og overflatekonsentrasjon av klorider på 0,716% av betongvekten, hadde denne betongen en beregnet levetid på en underkant av 10 år.

8.2.2 Hydrofoberende overflatebehandlinger

Cl-brems

Med hjelp av denne hydrofoberende overflatebehandlingen vil NaCl trenge inn i betongen med en diffusjonskoeffisient på $3,05 \cdot 10^{-12} m^2/s$, og den vil ha en overflatekonsentrasjon av klorider på 0,632% av betongen. Dette forsøket med denne betongen vil det ta 35 år før andelen klorider i porevannet vil nå opp til 0,4% ved armeringen, hvis armeringen befinner seg ved minstekravet i standarden, som er 40mm fra betongoverflaten.

Silimp 100

Silimp 100 er også en hydrofoberende overflatebehandling, og forventes å ha ganske tilsvarende resultater som Cl-brems. Med en diffusjonskoeffisient på $3,85 \cdot 10^{-12} m^2/s$, har den en større noe større inntrenging av NaCl enn Cl-brems. Overflatekonsentrasjonen derimot betydelig mindre enn Cl-brems, og er på 0,441% klorider av betongen. Levetiden vil allikevel bli relativt lik som for Cl-brems, og er beregnet til å være 33 år.

Hydrofoberende tiltak

Dette viser at Silimp 100 slipper mindre klorider gjennom overflatesjiktet enn Cl-brems. Silimp 100 slipper mindre klorider gjennom, men de som slipper gjennom får vandre fritt. Cl-brems later til å tillate et større opptak av klorider i overflaten,

men bremse den videre inntreningen vesentlig. Summen av de to effektene er mer eller mindre den samme, da de gir en differanse i levetid på 2 år.

I følge Trond Helgedagsrud hos Rescon Mapei er disse to hydrofoberende behandlingene ikke beregnet på permanent neddykkede konstruksjoner, og han kunne også foretrekke en noe tørrere betong under påføringen.

8.2.3 Vannglass

Mapecure Hardner

Mapecure hardner er den eneste vannglasset som er blitt testet. Med en så porøs betong som er blitt testet, later det til at tetning av overflaten ved hjelp av påføring av vannglass har forbedret betongens egenskaper. Mapecure Hardner gir en diffusjonskoeffisient på $3,9 \cdot 10^{-12} m^2/s$, og gir en overflatekonsentrasjon på 0,653% av betongen. Dette vil medføre en beregnet levetid på 19 år.

Sett i forhold til det ubehandlede prøvestykket, har Mapecure hardner forbedret motstandsdyktigheten. Den får en litt lavere overflate konsentrasjon og en litt lavere diffusjonskoeffisient. Dette er rimelige verdier i forhold til hverandre, da vannglass sin oppgave når den blir påført en overflate er å reagere betongen ytterligere, og gjøre overflaten ekstra tett.

Ved påføringen av Mapecure hardner er det en reaksjon som skal skje med betongen. Denne tar tid. I henhold til databladet, skal det holde med 6 timer. I følge Trond Helgedagsrud hos Rescon Mapei burde den kanskje stått noen dager før den ble neddykket, for å oppnå et bedre resultat.

8.2.4 Akryl

Malech

Denne akrylbaserte overflatebehandlingen gir en diffusjonskoeffisient på $14,65 \cdot 10^{-12} m^2/s$, dette er i underkant av tre ganger så mye som diffusjonskoeffisienten til de ubehandlede prøvestykkene. Den gir en overflatekonsentrasjon på 0,332% av betongen.

Overflatekonsentrasjonen er den laveste av de testede behandlingene, og tilsier at Malech muligens forhindrer et stort opptak av klorider. En annen grunn til den lave overflatekonsentrasjonen kan være diffusjonsraten. Siden klorider diffunderer så raskt innover i betongen rekker det kanskje aldri å hope seg opp noen større konsentrasjon enn 0,332% av betongen.

Selv om Malech gir en lav overflatekonsentrasjon er diffusjonen såpass stor, at den får en levetid på kun 3 år.

Malech er i utgangspunktet en primer som brukes for å gjøre en vegg lettere å male. Den anbefales å bruke på betongflater, og skal tilpasse overflatens absorpsjonsevne og heftebetingelser. Den beskrives i databladet som en mikronisert akrylbasert primer i vanddispersjon.

Akryl behandlingen virker å akselerere diffusjonsprosessen. Dette fenomenet er også observert i artikkelen “CHLORIDE DIFFUSION THROUGH SURFACE-TREATED MORTAR SPECIMENS” [4].

Malech er som nevnt i utgangspunktet laget som en primer, med hensikten å gi gode heftebetingelser for en maling. Den gir gode heftebetingelser ved å absorbere malingen. Da det i denne testen aldri ble påført noen maling utenpå Malech, før den ble utsatt for NaCl løsningen, er det mulig at den har trukket til seg vannet, og da også klorider isteden for malingen.

8.2.5 Heldekkende overflatebehandlinger

De heldekkende malingene var forventet å være helt tette. Det var de også.

Protect Lasur

Denne enkomponents løsemiddelbaserte malingen gir et tynnere lag enn Mapecoat CFS. Dette fordi den er løsemiddelbasert, og den stivner ved at løsemiddelet fordampes. Den resulterte i en tynnere film en epoxyen, men viste seg å være helt tett i 35 dager.

Mapecoat CFS

Denne epoxyen ble ikke bare testet på eksponeringsflaten, men ble også brukt på alle sylindere for å dekke til og forhindre inntrenging av NaCl løsningen fra andre flater enn eksponeringsflaten. Det var derfor forventet at Mapecoat CFS skulle ha null inntrenging. Dette viste seg å stemme.

Testen av denne epoxyen er en referanse i andre enden av skalaen for de ubehandlede sylindere, og forsikrer at klorider kun har kunnet diffundere gjennom eksponeringsflaten.

Trond Helgedagsrud hos Rescon Mapei skal ha uttrykket bekymring for bruken av denne epoxyen, da det ikke ble brukt noen primer under epoxyen i dette forsøket. Epoxyen ga allikevel et tilfredsstillende resultat, selv uten primer. En grunn til at det allikevel gikk greit kan være testens relativt korte varighet, 35 dager.

Heldekkende overflatebehandlinger

De heldekkende malingene var forventet å være helt tette. Det var de også. De møter de kravene som er satt til dem, i alle fall i løpet av denne 35 dagers testen.

I henhold til disse beregningene, gir de heldekkende overflatebehandlingene en uendelig levetid. Dette er en sannhet med modifikasjoner. Behandlingen gir en uendelig levetid mot nedbryting av armeringen som en effekt av klorider. Effekten opprettholdes så lenge overflatebehandlingen holder seg inntakt.

Å holde det heldekkende laget heldekkende er relativt enkelt i testen som har blitt utført her. Det byr på betydelig større utfordringer for konstruksjoner i større skala, som er utsatt for nautlaster som vind, bølger og is. Et eksempel kan være en flytende isklump som treffer en betongplateform. Støtet kan føre til rifter i overflatebehandlingen. Et hull i en slik overflatebehandling vil ha en like stor motstand mot klorider som en ubehandlet betong. Dette vil føre til en drastisk reduksjon i levetiden for konstruksjonen.

8.2.6 Råolje

Teorien som er fremstilt om råoljens beskyttende effekt på en konstruksjon ble testet i dette forsøket. Med de tidsrammer og prøvingsmetoden denne testen er

utført med var det ikke mulig å bevise at råolje kan gi noen beskyttende effekt på betongoverflater.

Det ble prøvet ut tre forskjellige råolje konsentrasjoner, og alle tre virket å ha like liten innvirkning på inntrengingen av klorider. De havner alle tre i samme kategori som de ubehandlede prøvestykkene, med andre ord oppnådde man ingen effekt av råoljen.

To av råolje konsentrasjonene oppnådde en diffusjonskoeffisient på rundt $8 \cdot 10^{-12} m^2/s$. Dette gjelder konsentrasjonene med henholdsvis for løsningene med en desiliter råolje og en liter råolje per liter NaCl løsning. De høye diffusjonskoeffisientene kan skyldes feilmålinger. I begge tilfeller er $C(x,t)$ relativt høy i forhold til de målte verdiene.

Det er derfor grunn til å tro at de reelle diffusjonskoeffisienten vil være tilsvarende den ubehandlede prøven og løsningen med 1 centiliter råolje per liter NaCl-løsning. Disse hadde en diffusjonskoeffisient på rundt $5 \cdot 10^{-12} m^2/s$.

Det vil oppsumert si at effekten av råolje innblandet NaCl løsningen ikke ble påvist i dette forsøket. Det kan være mange grunner til den fraværende beskyttende effekten.

- NaCl løsningen i den akselererte testen har en langt høyere saltinnhold enn sjøvann. Saltinnholdet kan ha vært for stort for råoljen å binde opp noe som helst.
- Prøvestykkene fikk fem dager til å produsere en beskyttende film, der de befant seg i en løsning med råolje og vann uten NaCl til stede. Denne tiden kan ha vært for kort. Hvis betongen hadde vært eksponert for råolje i 6 måneder eller ett år, før det ble utsatt for NaCl holdig vann, kunne resultatene vært annerledes.
- Det kan være andre komponenter som gir den beskyttende effekten i produksjonsvannet i tankene, der effekten er observert.

Det ble ikke påvist noen effekt av råoljen i det utførte forsøket, men det er mulig effekten kan påvises i en annen type forsøk.

8.2.7 Generelt

Ingen av overflatebehandlingene gir en tilfredsstillende levetid, som kan ansees å være 50 år eller mer. Grunnen til denne korte levetiden kan skyldes at kritisk kloridnivå alltid beregnes ut i fra vektprosent av sementen i betongen. Med denne betongen med såpass høyt v/c tall, vil alltid prosenten av klorider i forhold til sementen være relativt høy. Dette vil igjen føre til en lav levetid.

Tanken bak det høye v/c-tallet, var å oppnå en stor inntrenging, da man oppnår en høy porøsitet, i så måte få store utslag på prøvene. Man oppnådde med dette stor utslag i testene, men kanskje litt store.

Selv om ingen av overflatebehandlingene gi en tilfredsstillende levetid, vil de to hydrofobere behandlingene og vannglasset gi tilfredsstillende diffusjonskoeffisienter. Dette gjør de selv om de ikke er påført under ideelle forhold.

8.2.8 Feilkilder

Under prosessen med dette forsøket er det mange mulige feilkilder. Forsøket er blitt utført i tre forskjellig laboratorium, og utført av en relativt uerfaren student i laboratorium sammenheng.

Betonglaboratorium

- Betongen ble utstøpt i en stor bulk. Noen av sylindere som ble utstøpt hadde mangelfull stamping. Resultatet kan sees i bildet under. At betongen har skilt seg, eller større luftporer har oppstått i nærheten av eksponeringsflaten kan ha innvirkning på porøsiteten, som igjen kan ha hatt innvirkning på inntrengning og diffusjonskoeffisient.

Maskinlaboratorium

- Til uttak av betongpulver ble det brukt en dreiebenk. Dette er ikke ideelt for uttak av betongstøv. Den varierende fastheten i materialet gjør det vanskelig å få en jevn utskjæringsflate med den metoden som ble brukt i dette tilfellet. Store steiner kan være tyngre å pulverisere enn rent betongstøv. Sjiktene ble derfor noe ruglete.



Figur 36: Ufullstendig stamping av betong.

- Det var også til tider slark i dreiebenken. Skruer som ikke var skikkelig skrudd til, og skruer som løsnet. Dette ble ekstra tydelig ved uttak av støv til testing i forbindelse med Silimp 100. Etter 20 mm med utborret støv, ble dybden på “gropen” målt med tommestokk. De 20 mm som var målt med dreiebenkens digitale avstandsmåler viste seg å kun være 10mm. For å kompensere ble dreiebenken skrudd til, og to nye sjikt på 5mm ble utborret. Utregningen for denne kompensasjonen kan sees i resultat kapittelet

Kjemilaboratorium

- Her ble det utført 7 tester per betong sylinder. Noe som medfører 210 enkelt tester tilsammen. Samtlige tester ble utført av studenten som er ansvarlig for oppgaven. Denne delen av oppgaven krever stor presisjon, og ideelt sett erfaring fra kjemi laboratoriet. Selv om opplæring ble gitt, og med god bistand fra de ansatte ved kjemi laboratoriet, bør det tas høyde for en feilmargin grunnet at den som utførte testen ikke har noen erfaring med bruk av utstyret på kjemi laboratoriet.

9 Konklusjon

Ut i fra forutsetningene som er satt ved forsøket som er utført i forbindelse med denne masteroppgaven trekkes følgende konklusjoner;

1. Betongen som er anvendt i forsøket, har en motstandsevne mot kloridinntrening fra sjøvann som er god nok til å gi den en levetid på 10 år.
2. *Mapecoat CFS* og *Protect Lasur* gir total beskyttelse mot inntrening av klorider så lenge de er heldekkende.
3. De hydrofobere overflatebehandlingene *Cl-brems* og *Silimp 100* gir en klar forbedring i motsatanden mot kloridinntrening. I henhold til beregningene utført, vil de to overflatebehandlingene gi betongen ca 35 års levetid, det er 3,5 ganger så lang levetid som en ubehandlede betongen.
4. Vannglasset *Mapecure Hardener* gir en forbedring i motstanden mot kloridinntrening. I henhold til beregningene utført vil det testede vannglasset doble levetiden for en betong.
5. Det er ikke påvist noen kloridbremsende effekt av betong som har vært i kontakt med råolje.

Referanser

- [1] Einar Bardal. *Korrosjon og korrosjonsvern*. Number 2. utg. Tapir, [Trondheim], c1994.
- [2] beregn diffusjon klorid 10122008.xls.
- [3] Hans Bèohni. *Corrosion in reinforced concrete structures*. CRC Press, Boca Raton, 2005.
- [4] N. R. Buenfeld and J. Z. Zhang. Chloride diffusion through surface-treated mortar specimens. *Cement and Concrete Research*, 28(5):665–674, May 1998.
- [5] Caplex.no. Artikkel om termodynamikk fra caplex; <http://www.caplex.no/web/articleview.aspx?id=9335687>.
- [6] Y. Elakneswaran, T. Nawa, and K. Kurumisawa. Electrokinetic potential of hydrated cement in relation to adsorption of chlorides. *Cement and Concrete Research*, 39(4):340–344, April 2009.
- [7] Pål Gjerp and Morten Opsahl. *Grunnleggende betongteknologi*. BA forlaget, Oslo, c1998.
- [8] Stefan Jacobsen. *Concrete Technology 1*. Norwegian University of Science and Technology Department of Structural Engineering, 2009.
- [9] Dag Kjernsmo, Kjell Kleven, and Jan Scheie. *Overflatebehandling mot korrosjon*. Universitetsforlaget, Oslo, 1997.
- [10] Bernt Kristiansen. Forvaltning, drift og vedlikehold av betongkonstruksjoner. Foredrag 15, Overflatebeskyttelse av betongkonstruksjoner.
- [11] Preben C. Mørk. *Overflate og kolloidkjemi: grunnleggende prinsipper og teorier*. Number 8. utg. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Institutt for kjemisk prosesseteknologi, Trondheim, 2004.
- [12] Sverre Smedplass. Excel ark for proposjonering av betong.
- [13] Sverre Smedplass. Kloriddiffusjon.xls.

- [14] Magne Maage Steinar Helland, Ragnar Aarstein. In-field performance of north sea hsc/hpc offshore plattformen with regard to chloride resistance. 2008.
- [15] A. K. Suryavanshi, J. D. Scantlebury, and S. B. Lyon. Mechanism of friedel's salt formation in cements rich in tri-calcium aluminate. *Cement and Concrete Research*, 26(5):717 – 727, 1996.
- [16] J. LaRosa Thompson, M. R. Silsbee, P. M. Gill, and B. E. Scheetz. Characterization of silicate sealers on concrete. *Cement and Concrete Research*, 27(10):1561–1567, October 1997.
- [17] Kenneth R. Trethewey and John Chamberlain. *Corrosion for science and engineering*. Number 2nd ed. Longman, London, 1995.
- [18] Wikipedia. Diffusjon; <http://no.wikipedia.org/wiki/diffusjon>, 2010.
- [19] K.H. Wong, R.E. Weyers, and P.D. Cady. The retardation of reinforcing steel corrosion by alkyl-alkoxyl silane. *Cement and Concrete Research*, 13(6):778–788, November 1983.

Vedlegg

Innhold

1	Datablad	2
1.1	Standard sement	2
1.2	Mapecoat CFS	6
1.3	Silimp 100	7
1.4	Cl-brems	8
1.5	Malech	9
1.6	Mapecure Hardner	11
1.7	Protect Lasur	12
2	Siktekurver	13
3	Betongresept	18
4	Livstidsberegninger	19

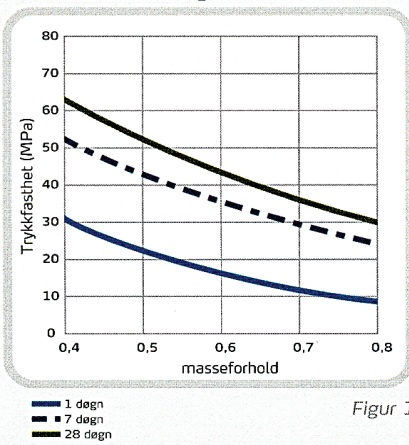
PRODUKTINFORMASJON

Standardsement





Fasthetsutvikling



Figur 1

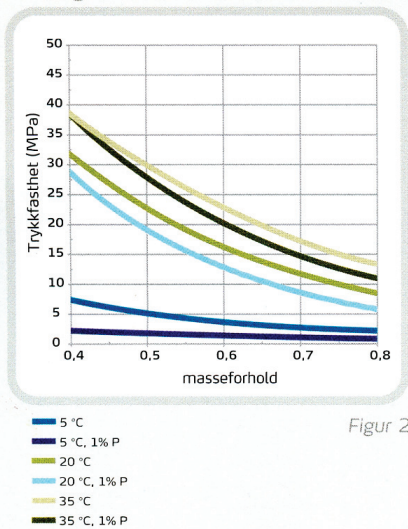
Fasthetsutvikling

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% plastiserende tilsetningsstoff (P-stoff) med Standardsement. Prøvene er lagret ved 95% luftfuktighet ved varierende temperatur.

Tidligfasthet



Figur 2

Fasthetsklasse - masseforhold

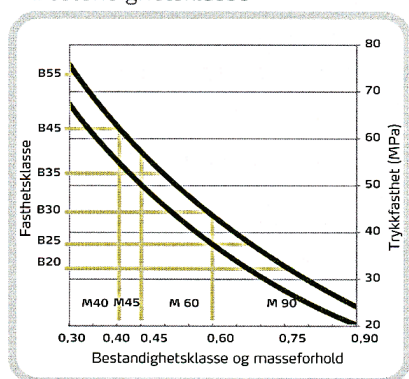
Med normal, god styring av betongproduksjonen, er det behov for en overhøyde på ca 7 MPa ved de ulike fasthetsklassene for å produsere med tilstrekkelig sikkerhet mot undermålere. Standardsement gir følgende retningsgivende verdier for minste og største masseforhold i ulike fasthetsklasser for betong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

Fasthetsklasse	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 tilfredsstillere 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 tilfredsstiller 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



Fleksibel epoxy

PRODUKTBESKRIVELSE

Mapecoat CFS er løsningsmiddelfri.

BRUKSOMRÅDE

Mapecoat CFS er en spesialformulert fleksibel epoxy til bruk som fugemasse eller coating.

Den benyttes der man har behov for en fleksibel masse med god heft. Produktet har god bestandighet mot kjemikalier. Heft til stål og betong er utmerket.

De verdier som oppnås varierer med de praktiske forhold under påføring og da særlig hvilken forbehandling som er gjort. Under «tøffe» feltforhold anbefales Mapecoat L-L som primer.

Mapecoat L-L er en lavviskøs tokomponent epoxy, se eget produktblad.

Mapecoat CFS er bestandig mot vann, saltvann, råolje, alkalier og svake syrer.

BRUKSANVISNING

Forbehandling

Et godt resultat er avhengig av en god forbehandling. Betong skal være tørr og fri for rust og olje. Vanlige forbehandlingmetoder er sandblåsing, meisling og stålborsting. Vann fjernes med propanflamme eller tørrluft.

Olje brennes vekk, eller vaskes av med Tynner.

Underlaget bør ha en temperatur på minst +5°C.

For beste resultat påføres flaten et strøk

Mapecoat L-L umiddelbart før

Mapecoat CFS skal appliseres.

Blanding

Epoxykomponentene bør ha en temperatur på ca. +15°C før blanding. Comp. A er en hvit pasta. Comp. B er en sort væske. Blandingen blir en grå tixotrop masse.

Comp. A og Comp. B blandes i 3 - 4 minutter med en visp på langsomtgående drill, til man får en grå homogen masse.

Påføring

Til horisontale fuger kan massen plasseres ved hjelp av en plastpose "kremsprøttemetoden".

Til vertikale fuger må massen gjøres mer tixotrop.

Dette kan gjøres ved å blande inn tixemiddel.

Påføring som coating på flater skjer med en stiv pensel, eventuelt med stål Brett eller myk sparkel. Tykkelse 1 - 3 mm.

VERNETILTAK

For helse-, miljø- og sikkerhetsinformasjon, se eget HMS-datablad.

HMS-databladene finnes på www.resconmapei.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 Rescon Mapei AS skjer i henhold til de til enhver tid gjeldende salgs- og leveringsbetingelser, som anses akseptert ved bestilling

TEKNISKE SPESIFIKASJONER

Identifikasjon:

Comp. A:

Hvit pasta

Comp. B:

Sort væske

Blandet produkt:

Grå tixotrop masse

Blandingsforhold:

Comp. A : Comp. B (vekt) = 2,25:0,75

Spesifikk vekt: g/cm³:

Ca. 1,23

Brukstid:

v/+30°C: 10 minutter.

v/+20°C: 20 minutter.

v/+10°C: 60 minutter.

Utherdning skjer:

v/+30°C: 6 timer.

v/+20°C: 12 timer.

v/+10°C: 36 timer.

v/+ 5°C: 72 timer.

Bruddforlengelse:

v/+20°C: Ca. 40%.

v/=10°C: Ca. 10%.

Shore hardness A:

Ca. 70.

Emballasje:

Sett à 3 kg.

Lagring:

Lagret frostfritt i originalemballasje har produktet en holdbarhet på minimum 2 år.

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



Lettflytende silanimpregnering for betong, tegl og murverk utendørs

PRODUKTBEKRIVELSE

Silimp 100 er en lettflytende, fargeløs, vannavstøtende, løsningsmiddelfri silanimpregnering for betong, tegl og murverk utendørs. Produktet er ferdig til bruk.

EGENSKAPER

Silimp 100 har følgende egenskaper:

- Diffusjonsåpen
- Velegnet på sugende underlag
- Danner ikke overflatefilm
- Reduserer vannabsorpsjonen.
- God inntrengningsevne, opp til 10 mm.
- Hindrer kloridinntrengning.
- Alkaliresistent
- Forebygger frostskaider.
- Hindrer mose- og algeoppblomstring på murverk.
- Reduserer inntrengning av karbon- og svoveldioksid.
- Lang holdbarhet.

BRUKSOMRÅDE

Silimp 100 egner seg meget godt til bru- og kaikonstruksjoner utsatt for kloridpåkjenning, betongfasader, frilagt betong, puss, kalkede flater, murverk og flislagte fasader. Impregneringen gjør overflaten vannavvisende (hydrofob), men samtidig diffusjonsåpen.

BRUKSANVISNING

Før **Silimp 100** påføres, må underlaget være rengjort, helst ved sandblåsing. Etter rengjøring med vann, høytrykks-spyling eller sandvasking, skal konstruksjonen være overflatetørr før påføring. Underlaget må videre være fritt for olje, løse partikler og annen forurensning. En betong med høyt fuktinnhold vil gi dårligere effekt enn en tørr betong. Fritt vann på overflaten må unngås.

Silimp 100 skal påføres i ett eller to strøk, avhengig av underlagets sugsevne. Ved påføring i to strøk, skal strøk nr. to påføres rett etter at "glansen" i første strøk har forsvunnet.

Silimp 100 skal påføres i temperatur over 0°C, og ikke i sterk vind eller regnvær.

Silimp 100 påføres best med lavtrykks-sprøyte, med en dyseavstand på 10 – 20 cm fra overflaten.

Utfør impregneringen ovenfra og ned. Glass, treverk, plast eller metall skal dekkes til før behandling, likeledes planter som kan komme i kontakt med impregnering. Verktøy rengjøres med teknisk sprit, white spirit eller **Tynner**.

VERNETILTAK

For helse-, miljø- og sikkerhetsinformasjon, se eget HMS-datablad. HMS-databladene finnes på www.resconmapei.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 Rescon Mapei AS skjer i henhold til de til enhver tid gjeldende salgs- og leveringsbetingelser, som anses akseptert ved bestilling.

**N.B! BØR UTFØRES
AV FAGFOLK**

TEKNISKE SPESIFIKASJONER

<i>Materialtype</i>	100 % alkylalkoxysilan
<i>Spesifikk vekt:</i>	0,88 kg/ltr.
<i>Molekylstørrelse:</i>	5 – 10 Ångstöm
<i>Diffusjonsmotstand:</i>	1,5 GPa s. m ² /kg
<i>Farge:</i>	Fargeløs
<i>Løsningsmiddel:</i>	Ingen
<i>Lukt:</i>	Nesten ikke merkbar
<i>Kokepunkt:</i>	186°C
<i>Flammepunkt:</i>	63°C
<i>Størkningspunkt:</i>	- 140°C
<i>Viskositet:</i>	0,85 MPa s.
<i>Forbruk (avhengig av sugsevne):</i>	0,15 kg/m ² pr. strøk, målt på betong.
<i>Lagring:</i>	Lagret frostfritt og i uåpnet original-emballasje, forandres ikke bruksverdien de første 12 mnd.
<i>Testrapporter:</i>	Silimp 100 er gjennom flere ulike dokumentasjoner testet for bl.a. heftfasthet, kloridinntrengning, karbonatisering, vannabsorpsjon, inntrengningsdybde, alkalieresistens, diffusjonsåpenhet, vannopptak, frysing/tining, langtids-påvirkning m.v.

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

CI-brems

Hydrofoberende betongimpregnering mot kloridinntrengning

PRODUKTBESKRIVELSE

CI-brems er en hydrofoberende betongimpregnering. **CI-brems** beskytter betongkonstruksjoner mot kloridinntrengning. Impregneringen er spesielt godt egnet på broer, kaier, parkeringsplasser etc. som utsettes for klorider som skyldes inntrengning av forurensninger. Godkjent av Statens Vegvesen, Vegdirektoratet for bruk på betongbruer.

BRUKSOMRÅDE

CI-brems har god inntrengningsevne, og er bestandig mot alkaliske miljøer. Impregneringen gjør overflaten vannavvisende, men samtidig diffusjonsåpen. Under herdingen blir hydrofobe forbindelser dannet i porene og i betongens kappilærsystem. Betongens opprinnelige vanddamp-permeabilitet opprettholdes.

BRUKSANVISNING

Før **CI-brems** kan påføres, må underlaget være rengjort med f.eks. sandblåsing. Underlaget må være fritt for olje, urenheter og all maling må fjernes. **CI-brems** påføres betongen vått i vått i to lag. **CI-brems** kan påføres med kost eller lav-trykk sprøyte.

VERNETILTAK

For helse-, miljø- og sikkerhetsinformasjon, se eget HMS-datablad. HMS-databladene finnes på www.resconmapei.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 Rescon Mapei AS skjer i henhold til de til enhver tid gjeldende salgs- og leveringsbetingelser, som anses akseptert ved bestilling.

TEKNISKE SPESIFIKASJONER

Materialtype	Silanbasis
Spesifikk vekt:	0,95 g/cm ³
Forbruk:	0,2 – 0,4 kg/m ² ved to strøk, avhengig av sugsevne.
Farge:	Klar, fargeløs væske
Konsistens:	Meget lettflytende væske
Kloridbremsende effekt:	88% reduksjon (ref. Sintef-rapport)
Inntrengning i høyfast betong:	2 – 3 mm
Inntrengning i overflatetørr betong:	1 – 2 mm
Løsningsevne for asfalt:	100% etter 60 minutter
Emballasje:	20 ltr. kanne og 200 ltr. fat
Lagring:	CI-brems må lagres tørt og beskyttes mot direkte sollys. I lukket emballasje, og ved riktig lagring er impregneringen holdbar i minst ett år.



Malech

**Mikronisert
akrylbasert
primer i
vanddispersjon**



BRUKSOMRÅDE

Malech brukes generelt som primer på veggflater (f.eks. betong, sementbasert reparasjonsmørtel) for å tilpasse underlagets absorberingsevne og som heftforbedrer, for det males med farget topcoat av **Elastocolor** eller **Elastocolor Rasante**.

Malech kan også brukes i **Aquaflex System** syklus for permanent innkapsling av asbest før belegging med **Aquaflex**.

Eksempler på bruk

- Som primer på godt herdet, gammel eller ny murpuss, såfremt disse ikke er skadet, for det males med **Elastocolor** eller **Elastocolor Rasante**.
- Som primer på gammel maling, selv om litt kalkaktig på overflaten, for det males med **Elastocolor** eller **Elastocolor Rasante**.
- Fordi **Malech** er luktfri kan den brukes som primer på overflater som må behandles i lukkede eller dårlig ventilerte rom, for overmaling med **Elastocolor** eller **Elastocolor Rasante**.

TEKNISKE OPPLYSNINGER

Malech er en mikronisert akrylharpiksbasert primer i vanddispersjon, som trenger inn i underlagets bedre enn tradisjonelle vannbaserte primere.

Malech er luktfri og løsemiddelfri, og kan dermed brukes i lukkede eller dårlig ventilerte omgivelser. **Malechs** formulering sikrer støvbinding på overflater som skal behandles.

P.g.a. dyp inntrengning reduserer **Malech** faren for saltutslag på overflaten.

ANBEFALINGER

- Bruk ikke **Malech** på metallflater.
- Påfør ikke **Malech** på fuktige flater.

- Bruk ikke **Malech** ved temperaturer lavere enn +10°C.

BRUKSANVISNING

Forberedelse av underlaget

Underlaget som skal behandles må være rengjort, fullstendig herdet, fast og tørt.

For belegging må overflaten være fri for olje, fett og løse partikler. Porøse områder må tettes og ujevne underlag må avrettes.

Forberedelse av produktet

Malech er klar til bruk.

Fortynning med opp til 50% vann anbefales for å unngå forglassing av ikke-absorberende underlag.

Påføring

Produktet røres om før bruk og påføres med kost, rulle eller sprøyte.

Må ikke utsettes for regn før etter 12 timer.

Malech kan overmales etter 4-24 timer avhengig av omgivelsestemperatur og fuktighet.

Rengjøring

Kost, rulle og sprøyteutstyr (luffri) kan vaskes med vann for **Malech** tørker.

FORBRUK

100-150 g/m² avhengig av underlagets poresitet.

EMBALLASJE

10 kg kanne.

LAGRING

Malech er holdbar i 24 måneder, lagret tørt, i originalemballasje og ved temperaturer mellom +5°C og +30°C.



TEKNISKE DATA (typiske verdier)

PRODUKTIDENTITET

Konsistens:	flytende væske
Farge:	klar
Densitet (kg/l):	1,01
Viskositet ved levering, +20°C, # 1 - 100 rpm (mPa·s):	20
Tørrestoffinnhold (%):	15
Lagring:	24 måneder i original emballasje
Helserisiko iht. EC 99/45:	Ingen
Tollklasse:	3903 90 00

ANVENDELSESDATA

Tørketid:	12 timer v/ +20°C
Ventetid til overmåling:	fra 4 til 24 timer avhengig av omgivelses-temperatur og fuktighet
Arbeidstemperatur:	fra +5°C til +35°C

HELSE- og SIKKERHETSINFORMASJON

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

MERK

N.B. - 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 forklare 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 referanser for produktet er tilgjengelige på forespørsel

Betongimpregnering

BRUKSOMRÅDE

Mapecure® Hardener er en fargeløs væske som tetter, styrker og impregnerer betongkonstruksjonen. **Mapecure® Hardener** trenger inn i mikroporer og mindre riss i betongen og vil ikke etterlate seg noen film etter behandling.

Behandling av betongkonstruksjonen vil tette overflaten og redusere vanninntrengningen. Dette vil igjen redusere nedbrytningen av betongen, hindre soppvekst, misfarging og vesentlig øke levetiden for konstruksjonen.

Behandling med **Mapecure® Hardener** vil:

- Styrke overflaten
- Redusere eller fjerne problemer med støving fra svake betongoverflater
- Forsegle betongen mot vanninntrenging
- Tette mindre riss og porer
- Forenkle vedlikehold
- Hindre soppvekst og misfarging
- Forlenge levetiden for konstruksjonen

Betongoverflaten må være ren, fri for løse partikler og tørr før påføring. Temperatur ved påføringen og det første døgnet etter påføring må være over + 5°C.

Mapecure® Hardener er en lettflytende væske som enkelt påføres med sprøyte, kost eller rull. **Mapecure® Hardener** påføres i to omganger. Så snart første strøk har tørket påføres andre omgang. Ved veldig opprisset og sugende overflater påføres et tredje strøk.

Herdetiden er avhengig av kvaliteten på betongen som behandles og kan pågå i opptil 3 uker. Man kan gå på behandlede gulver/dekker med en gang de er overflatetørre (1/2 til 1 time).

DOSERING

Normaldosering er fra 0,1 til 0,3 liter pr m² pr strøk.

EMBALLASJE

Mapecure® Hardener leveres i 25 liters kanne.

VERNETILTAK

For helse-, miljø- og sikkerhetsinformasjon – se eget sikkerhetsdatablad. Disse finnes på www.resconmapei.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 Rescon Mapei AS skjer i henhold til de til enhver tid gjeldende salgs- og leveringsbetingelser som anses akseptert ved bestilling.



TEKNISKE SPESIFIKASJONER	
Produktspesifikasjoner:	
Form:	væske
Farge:	klar
Viskositet:	lettflytende, < 15 mPa s ved 20°C
Tørrestoff, %:	13 ± 1,0
Spesifikk vekt, g/cm ³ :	1,10 ± 0,02
pH-verdi:	11 ± 1
Alkalier Na ₂ O-ekv, %:	< 3
Vannløselige klorider, %:	0,05

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

Protect Lasur

Klorid- og karbonatiseringsbremsende overflatebehandling av betong

PRODUKTBESKRIVELSE

Protect Lasur er en vannavvisende klorid- og karbonatiseringsbremsende overflatebehandling for betong. Benyttes ofte for å sløre ut fargeforskjeller mellom reparerte og ikke reparerte områder.

Protect Lasur er basert på silan og akrylat, og leveres ferdig til bruk.

BRUKSANVISNING

Ved påføring av **Protect Lasur** skal luftens og underlagets temperatur være minst +5°C.

Overflaten må ikke utsettes for regn eller sterk solpåvirkning rett etter påføring.

Underlaget må være tørt, rent, porefritt og uten sprekker.

All gammel maling må fjernes.

Før arbeidet påbegynnes, må **Protect Lasur** røres godt om for å få ens farge. Ved å påføre malingen i ett strøk oppnås en lasureffekt, mens 2. strøk vil gi mer dekkende farge.

2. strøk påføres når 1. strøk er overflate-tørt, dvs. etter 2 – 24 timer.

Protect Lasur kan påføres med kost, rull eller sprøyte.

Redskap kan rengjøres i tynner eller lignende aromatiske løsemidler.

Etter rengjøring av sprøyteutstyr med tynner, bør utstyret settes inn med White Spirit, da tynner kan virke nedbrytende på pakninger etc.

VERNETILTAK

For helse-, miljø- og sikkerhetsinformasjon, se eget HMS-datablad.

HMS-databladene finnes på

www.resconmapei.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 Rescon Mapei AS skjer i henhold til de til enhver tid gjeldende salgs- og leveringsbetingelser, som ansees akseptert ved bestilling.

**N.B! BØR UTFØRES
AV FAGFOLK**

TEKNISKE SPESIFIKASJONER

Tørrestoffinnhold:	45%
Egenvekt:	1,1
CO ₂ -motstand:	80%
Diffusjonsåpenhet, vanndamp, μ H ₂ O:	8155 (ref. SINTEF-rapport)
Heft:	> 2,0 MPa
Kloridbremsende effekt:	95% reduksjon (kfr. SINTEF-rapport)
Aldringsbestandighet:	Meget god
Materialforbruk:	Ca. 0,4 kg/m ² ved to strøk, dette avhenger av underlagets ruhet, sugesevne og påføringsmetode.
Emballasje:	Protect Lasur leveres i spann á 20 kg.
Lagring:	Produktet skal beskyttes mot sterk varme, oppbevares kjølig ved 0 – +25°C og i lukket emballasje.

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

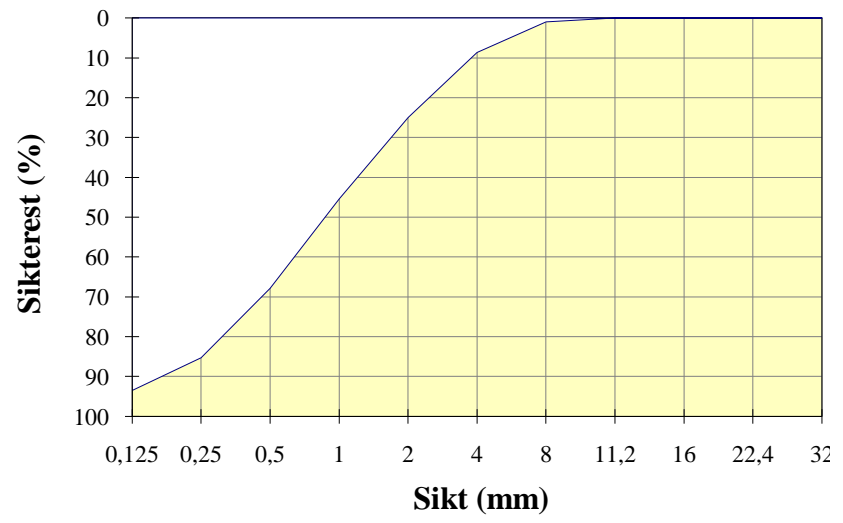
Rescon Mapei AS
et selskap i



Fraksjon IX

Type:	Forsand Forsøk 0-5
Dato:	07.02.2011
FM =	2,80

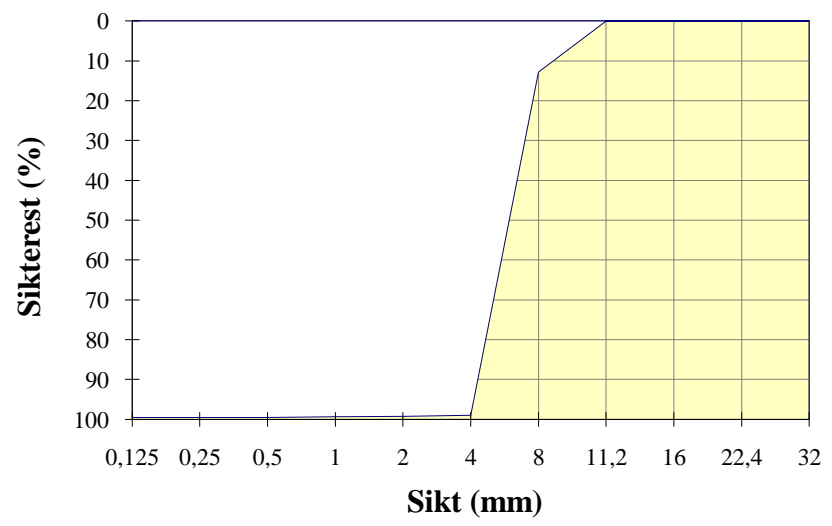
Åpning	Sikterest (g)		Sikterest (%)
	1	2	
32	0	0	0,0
22,4	0	0	0,0
16	0	0	0,0
11,2	0	0	0,0
8	9	9	1,0
4	80	80	8,7
2	231	231	25,0
1	420	420	45,5
0,5	627	627	67,9
0,25	788	788	85,3
0,125	864	864	93,5
Bunn	924	924	



Fraksjon VIII

Type:	Forsand Forsøk 5-8
Dato:	07.02.2011
FM =	5,59

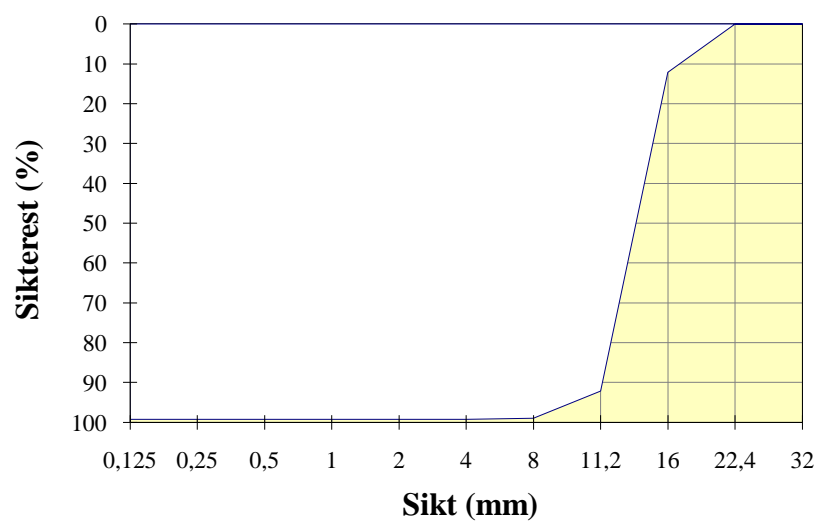
Åpning	Sikterest (g)		Sikterest (%)
	1	2	
32	0	0	0,0
22,4	0	0	0,0
16	0	0	0,0
11,2	0	0	0,0
8	137	137	12,8
4	1057	1057	99,0
2	1060	1060	99,3
1	1061	1061	99,3
0,5	1063	1063	99,5
0,25	1063	1063	99,5
0,125	1063	1063	99,5
Bunn	1068	1068	



Fraksjon X

Type:	Forsand Forsøk 11-16
Dato:	07.02.2011
FM =	6,57

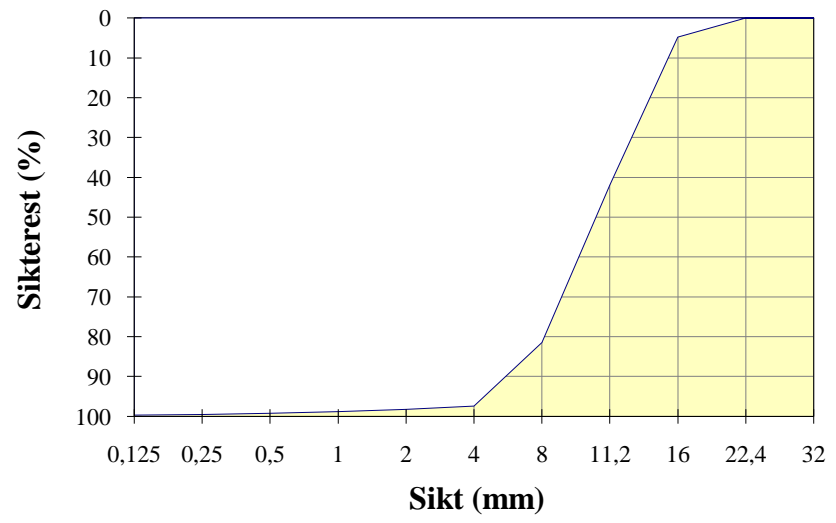
Åpning	Sikterest (g)		Sikterest (%)
	1	2	
32	0	0	0,0
22,4	0	0	0,0
16	176	176	12,1
11,2	1337	1337	92,1
8	1436	1436	99,0
4	1440	1440	99,2
2	1440	1440	99,2
1	1440	1440	99,2
0,5	1440	1440	99,2
0,25	1440	1440	99,2
0,125	1440	1440	99,2
Bunn	1451	1451	



Fraksjon VII

Type:	Forsand Forsøk 8-16
Dato:	07.02.2011
FM =	6,29

Åpning	Sikterest (g)		Sikterest (%)
	1	2	
32	0	0	0,0
22,4	0	0	0,0
16	93	93	4,8
11,2	812	812	41,9
8	1578	1578	81,5
4	1887	1887	97,4
2	1903	1903	98,2
1	1914	1914	98,8
0,5	1922	1922	99,2
0,25	1928	1928	99,5
0,125	1931	1931	99,7
Bunn	1937	1937	

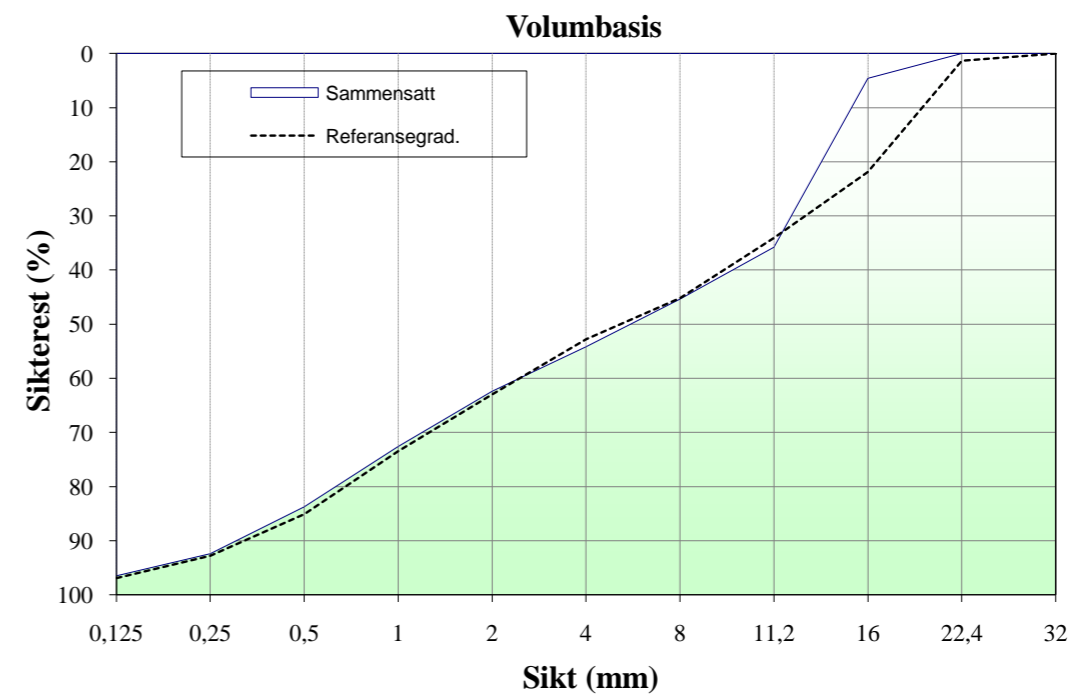
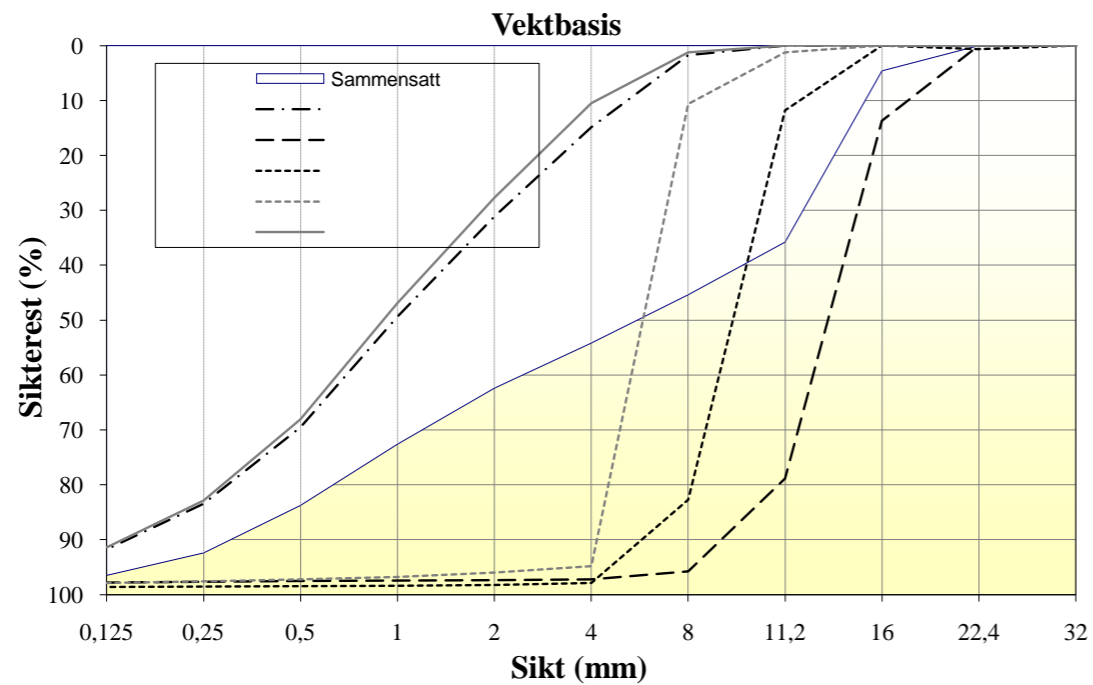


Sammensatt tilslag

Fraksjon	Navn	Densitet [kg/m ³]	Abs. fukt [%]	Alk. [%]	Klorider [%]	Andel		Bruk
						volum	vekt	
I		2650	0,8	0,0	0,00	0,000	0,000	
II		2680	0,5	0,0	0,00	0,000	0,000	
III		2680	0,5	0,0	0,00	0,000	0,000	
IV		2700	0,5	0,0	0,00	0,000	0,000	
V		2700	0,8	0,0	0,00	0,000	0,000	
VI		2700	0,8	0,0	0,00	0,000	0,000	
VII	Forsand Forsøk 8-16	2700	0,0	0,0	0,00	0,168	0,168	ok
VIII	Forsand Forsøk 5-8	2700	0,0	0,0	0,00	0,026	0,026	ok
IX	Forsand Forsøk 0-5	2700	0,0	0,0	0,00	0,494	0,494	ok
X	Forsand Forsøk 11-16	2700	0,0	0,0	0,00	0,312	0,312	ok
Sammensatt		2700		0,0	0,00	1,000	1,000	

Finhetsmoduler	
FM _{vekt} =	4,64
FM _{vol} =	4,64
FM _{ref} =	4,83
FM _g =	4,70

Åpning	Sikterest		Ref. grad. [vol. %]	Vekt ved tilpasning
	vol.[%]	vekt [%]		
32	0,0	0,0	0,0	1
22,4	0,0	0,0	1,3	1
16	4,6	4,6	21,9	1
11,2	35,8	35,8	34,1	1
8	45,4	45,4	45,2	1
4	54,2	54,2	52,8	1
2	62,4	62,4	63,0	1
1	72,6	72,6	73,5	2
0,5	83,7	83,7	85,1	2
0,25	92,4	92,4	92,8	2
0,125	96,5	96,5	97,0	2



Kloriddiffusjon - forenklet - i forh til overdekning i NS3473 tab.15.b

Feilfunksjonsløsning av Ficks 2. lov i 1 dimensjon med konstant D, randbetingelser konstant startkons (c_i) = 0 og konstant overflatekons (c_s):

sement: 281,31 kg/m³ **Betongdensitet:** 2254 kg/m³
C_s(m-%Cl) 0,716 m-% av betong) 16,1 (kg/m³) = 5,74 % av sement

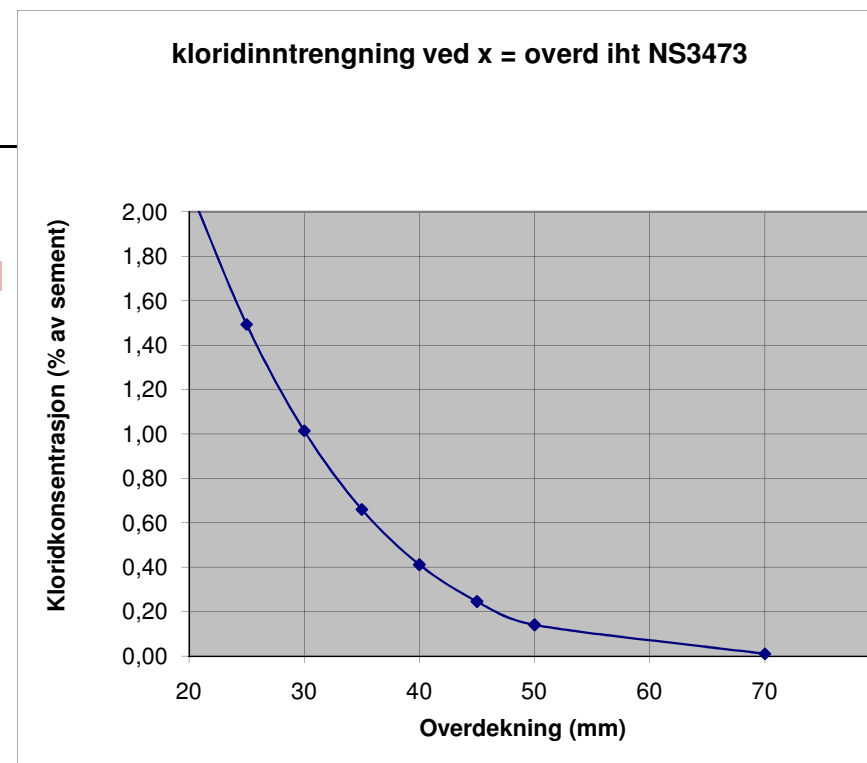
Ubehandlet

startkons c_i m-% betong	overfl.kons c_s m-% betong	overd. NS3473 tab15.b XD, XS (mm)	diffusivitet D (m ² /s)	tid t (år)	z	erf(z)	kloridkonsentrasjon c(x,t) c beregnet m-% % av sement	
0	0,716	20	7,82E-13	10	0,637	0,6322	0,26	2,11
		25			0,796	0,7397	0,19	1,49
		30			0,955	0,8233	0,13	1,01
		35			1,114	0,8850	0,08	0,66
		40			1,274	0,9283	0,05	0,41
		45			1,433	0,9573	0,03	0,25
		50			1,592	0,9756	0,02	0,14
		70			2,229	0,9984	0,00	0,01

Tools - addins - hak av Analysis ToolPak

Regnearket beregner hvordan kloridkonsentrasjonen $c = c(x,t)$ endrer seg innover i betongen som funksjon av overflatekonsentrasjon C_s ("potensiale") og diffusivitet D ("materialmotstand").

Merk at regnearket både kan brukes til å beregne C_s og D for en gitt profil $c=c(x,t)$ og til å beregne levetid ved å beregne hvor lang tid det tar før kloridkonsentrasjonen er lik 0,4 % av sementvekt (vanlig brukt kritisk verdi) ved armeringen.



Kloriddiffusjon - forenklet - i forh til overdekning i NS3473 tab.15.b

Feilfunksjonsløsning av Ficks 2. lov i 1 dimensjon med konstant D, randbetingelser konstant startkons (c_i) = 0 og konstant overflatekons (c_s):

sement: 281,31 kg/m³ **Betongdensitet:** 2254 kg/m³
C_s(m-%Cl) 0,632 m-% av betong) 14,2 (kg/m³) = 5,06 % av sement

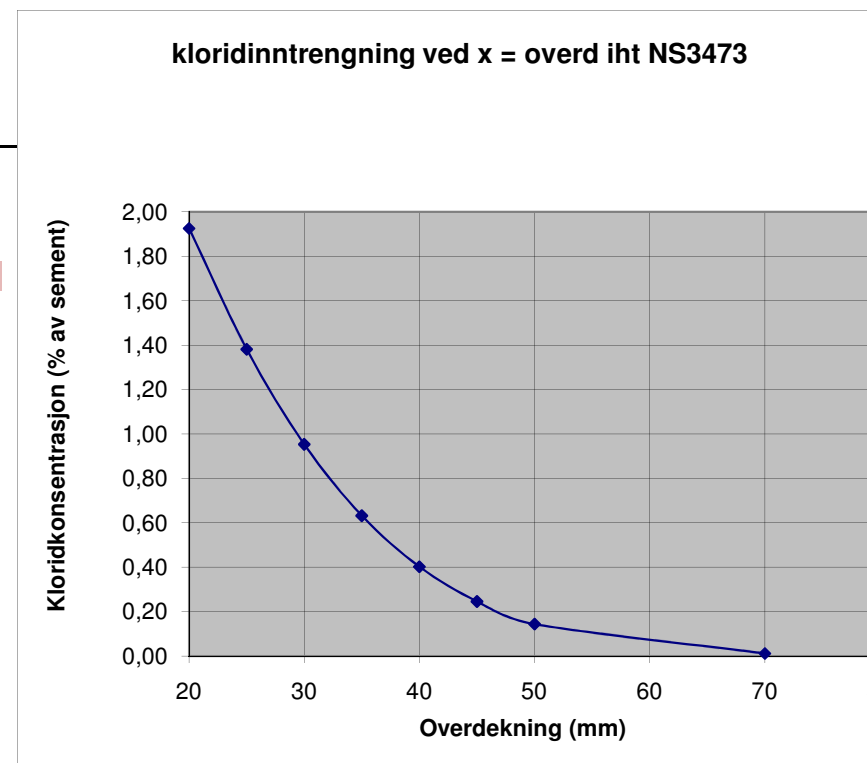
Cl-Brems

startkons c_i m-% betong	overfl.kons c_s m-% betong	overd. NS3473 tab15.b XD, XS (mm)	diffusivitet D (m ² /s)	tid t (år)	z	erf(z)	kloridkonsentrasjon c(x,t) c beregnet m-% % av sement	
0	0,632	20	2,36E-13	35	0,620	0,6196	0,24	1,93
		25			0,775	0,7271	0,17	1,38
		30			0,930	0,8117	0,12	0,95
		35			1,085	0,8752	0,08	0,63
		40			1,240	0,9206	0,05	0,40
		45			1,395	0,9516	0,03	0,25
		50			1,550	0,9717	0,02	0,14
		70			2,171	0,9979	0,00	0,01

Tools - addins - hak av Analysis ToolPak

Regnearket beregner hvordan kloridkonsentrasjonen $c = c(x,t)$ endrer seg innover i betongen som funksjon av overflatekonsentrasjon C_s ("potensiale") og diffusivitet D ("materialmotstand").

Merk at regnearket både kan brukes til å beregne C_s og D for en gitt profil $c=c(x,t)$ og til å beregne levetid ved å beregne hvor lang tid det tar før kloridkonsentrasjonen er lik 0,4 % av sementvekt (vanlig brukt kritisk verdi) ved armering.



Kloriddiffusjon - forenklet - i forh til overdekning i NS3473 tab.15.b

Feilfunksjonsløsning av Ficks 2. lov i 1 dimensjon med konstant D, randbetingelser konstant startkons (c_i) = 0 og konstant overflatekons (c_s):

sement: 281,31 kg/m³ **Betongdensitet:** 2254 kg/m³
C_s(m-%Cl) 0,441 m-% av betong) 9,9 (kg/m³) = 3,53 % av sement

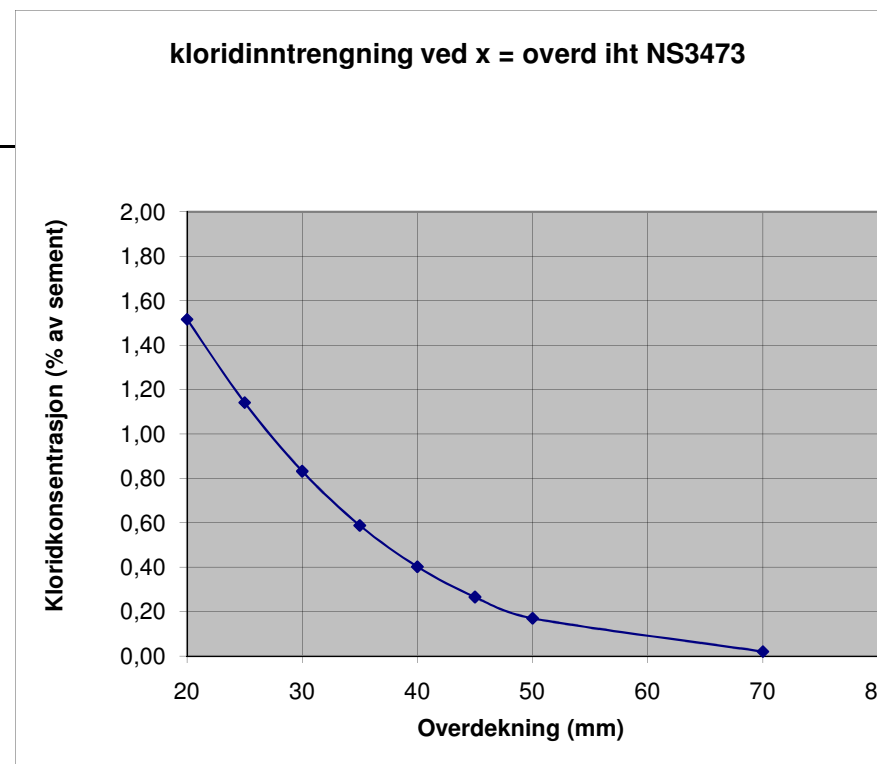
Silimp 100

startkons c_i m-% betong	overfl.kons c_s m-% betong	overd. NS3473 tab15.b XD, XS (mm)	diffusivitet D (m ² /s)	tid t (år)	z	erf(z)	kloridkonsentrasjon c(x,t) c beregnet m-% % av sement	
0	0,441	20	3,07E-13	33	0,559	0,5709	0,19	1,52
		25			0,699	0,6771	0,14	1,14
		30			0,839	0,7644	0,10	0,83
		35			0,978	0,8336	0,07	0,59
		40			1,118	0,8862	0,05	0,40
		45			1,258	0,9248	0,03	0,27
		50			1,398	0,9519	0,02	0,17
		70			1,957	0,9944	0,00	0,02

Tools - addins - hak av Analysis ToolPak

Regnearket beregner hvordan kloridkonsentrasjonen $c = c(x,t)$ endrer seg innover i betongen som funksjon av overflatekonsentrasjon C_s ("potensiale") og diffusivitet D ("materialmotstand").

Merk at regnearket både kan brukes til å beregne C_s og D for en gitt profil $c=c(x,t)$ og til å beregne levetid ved å beregne hvor lang tid det tar før kloridkonsentrasjonen er lik 0,4 % av sementvekt (vanlig brukt kritisk verdi) ved armering.



Kloriddiffusjon - forenklet - i forh til overdekning i NS3473 tab.15.b

Feilfunksjonsløsning av Ficks 2. lov i 1 dimensjon med konstant D, randbetingelser konstant startkons (c_i) = 0 og konstant overflatekons (c_s):

sement: 281,31 kg/m³ **Betongdensitet:** 2254 kg/m³
C_s(m-%Cl) 0,653 m-% av betong) 14,7 (kg/m³) = 5,23 % av sement

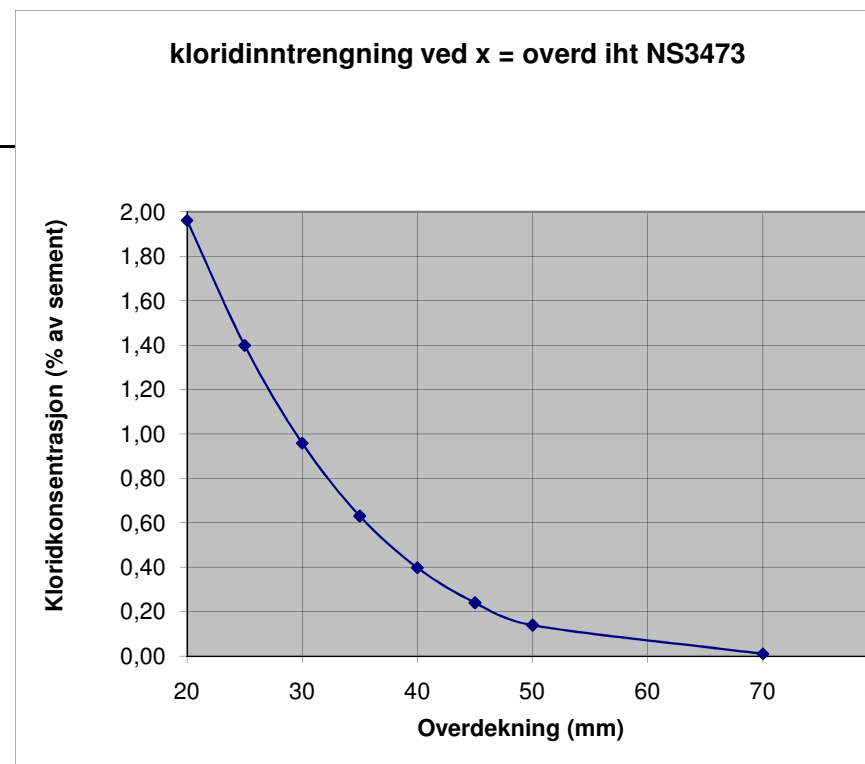
Mapecure Hardner

startkons c_i m-% betong	overfl.kons c_s m-% betong	overd. NS3473 tab15.b XD, XS (mm)	diffusivitet D (m ² /s)	tid t (år)	z	erf(z)	kloridkonsentrasjon c(x,t) c beregnet m-% % av sement	
0	0,653	20	4,24E-13	19	0,627	0,6251	0,24	1,96
		25			0,784	0,7326	0,17	1,40
		30			0,941	0,8168	0,12	0,96
		35			1,098	0,8795	0,08	0,63
		40			1,255	0,9240	0,05	0,40
		45			1,412	0,9541	0,03	0,24
		50			1,569	0,9735	0,02	0,14
		70			2,196	0,9981	0,00	0,01

Tools - addins - hak av Analysis ToolPak

Regnearket beregner hvordan kloridkonsentrasjonen $c = c(x,t)$ endrer seg innover i betongen som funksjon av overflatekonsentrasjon C_s ("potensiale") og diffusivitet D ("materialmotstand").

Merk at regnearket både kan brukes til å beregne C_s og D for en gitt profil $c=c(x,t)$ og til å beregne levetid ved å beregne hvor lang tid det tar før kloridkonsentrasjonen er lik 0,4 % av sementvekt (vanlig brukt kritisk verdi) ved armeringen.



Kloriddiffusjon - forenklet - i forh til overdekning i NS3473 tab.15.b

Feilfunksjonsløsning av Ficks 2. lov i 1 dimensjon med konstant D, randbetingelser konstant startkons (c_i) = 0 og konstant overflatekons (c_s):

sement: 281,31 kg/m³ **Betongdensitet:** 2254 kg/m³
C_s(m-%Cl) 0,332 m-% av betong) 7,5 (kg/m³) = 2,66 % av sement

Malech

startkons c_i m-% betong	overfl.kons c_s m-% betong	overd. NS3473 tab15.b XD, XS (mm)	diffusivitet D (m ² /s)	tid t (år)	z	erf(z)	kloridkonsentrasjon c(x,t) c beregnet m-% % av sement	
0	0,332	20	4,45E-12	3	0,509	0,5284	0,16	1,25
		25			0,636	0,6318	0,12	0,98
		30			0,763	0,7197	0,09	0,75
		35			0,891	0,7922	0,07	0,55
		40			1,018	0,8500	0,05	0,40
		45			1,145	0,8947	0,03	0,28
		50			1,272	0,9281	0,02	0,19
		70			1,781	0,9882	0,00	0,03

Tools - addins - hak av Analysis ToolPak

Regnearket beregner hvordan kloridkonsentrasjonen $c = c(x,t)$ endrer seg innover i betongen som funksjon av overflatekonsentrasjon C_s ("potensiale") og diffusivitet D ("materialmotstand").

Merk at regnearket både kan brukes til å beregne C_s og D for en gitt profil $c=c(x,t)$ og til å beregne levetid ved å beregne hvor lang tid det tar før kloridkonsentrasjonen er lik 0,4 % av sementvekt (vanlig brukt kritisk verdi) ved armering.

