



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Konstruksjoner og materialer/bygg	Vårsemesteret, 2015 Åpen / Konfidensiell
Forfatter: Grete Falk Gabrielsen (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Kjell Tore Fosså Veileder: Kjell Tore Fosså	
Tittel på masteroppgaven: Effekten av riss på betongens bestandighet Engelsk tittel: The effect of cracks on the durability of concrete	
Studiepoeng: 30	
Emneord: Betong Riss Bestandighet Vannpermeabilitet Kloridinntrengning	Sidetall: 62 + vedlegg: 56 Stavanger, 15.6.2015

Sammendrag

Denne oppgaven omhandler hvilken effekt riss i betongkonstruksjoner har på bestandigheten. Riss kan redusere betongens bestandighet, og dermed redusere konstruksjonens levetid. Det er valgt å fokusere på effekten riss har på vannpermeabilitet og kloridinntrengning, da betongens bestandighet i stor grad bestemmes av disse to mekanismene. Permeabilitet beskriver hvor gjennomtrengelig et materiale er, og brukes ofte som et mål på betongens bestandighet. Kloridinitiert armeringskorrosjon er en av de viktigste nedbrytningsmekanismene som virker på armert betong i dag, og bidrar dermed til kraftig reduksjon av bestandigheten.

Opgaven beskriver ulike typer riss og årsaker til at de utvikles. Bestandighet, permeabilitet og kloridinntrengning er også nøye gjennomgått, og riss i sammenheng med disse begrepene står sentralt. I tillegg er det sett på kravene norsk standard (og eurokode) stiller i forbindelse med riss og bestandighet.

Det er utført tester i laboratoriet for å undersøke vannpermeabilitet og kloridinntrengning i opprisset betong. Forsøkene er utført på prøvestykker med ulike rissvidder for å se i hvilken grad rissets størrelse påvirker betongens bestandighet. Rissviddene (0,2 mm, 0,4 mm, 0,6 mm og 1,0 mm) er valgt på grunnlag av krav i norsk standard, for å se om rissviddene innenfor og utenfor kravet utgjør store forskjeller på bestandigheten. Den største rissvidden er valgt med tanke på plastiske svinriss.

På grunn av ønsket om å måle effekten av riss, og ikke betongen i seg selv, er alle tester utført på betong som normalt, uten riss, har god bestandighet. Valget falt da på høyfast betong, tilsatt silikastøv og SP-stoff. Høyfast betong har som regel lav permeabilitet og god bestandighet. Silikastøv gir lavere permeabilitet og redusert kloriddiffusjon. SP-stoff bedrer støpeligheten i betong med lavt v/c-tall.

Resultatet fra prøvene viser at både vannpermeabilitet og kloridinntrengning øker dersom det er riss i betongen. Dette gjelder også de rissviddene som tilfredsstiller kravene i standarden.

Vannpermeabilitet ble testet ved å sette vanntrykk på prøvestykkene, men allerede ved 0,2 mm rissvidde ved overflaten ble det betydelig vannlekkasje, og ingen trykkoppbygging.

Kloridinntrengningen økte betydelig med riss i betongen, og det gjorde store utslag allerede ved minste rissvidde på 0,2 mm. Uavhengig av rissvidde viste alle de rissede prøvene høyere diffusjon enn de urissede prøvene, men det ble ikke funnet noen sammenheng mellom rissvidde og diffusjon.

Kloridkonsentrasjonen ved overflaten var mindre i rissede prøver enn urissede prøver. Likevel var tendensen at kloridkonsentrasjonen ved overflaten økte med rissvidden.

Innhold

Sammendrag	2
1 Forord	5
2 Innledning.....	6
3 Teori.....	7
3.1 Riss.....	7
3.1.1 Generelt om riss	7
3.1.2 Riss i NS-EN 1992-1-1	9
3.1.3 Plastisk svinnriss	10
3.1.4 Plastisk setningsriss	14
3.1.5 Svinnriss.....	15
3.1.6 Termisk riss.....	16
3.1.7 Selvrepasjon	17
3.2 Bestandighet.....	18
3.2.1 Riss og bestandighet.....	19
3.3 Permeabilitet	20
3.3.1 Darcys lov	23
3.3.2 Riss og permeabilitet	24
3.4 Kloridinntrengning.....	25
3.4.1 Ficks lov	25
3.4.2 Kloridinitert armeringskorrosjon.....	26
3.4.3 Riss og kloridinntrengning.....	30
4 Metode	32
4.1 Proporsjonering.....	32
4.1.1 Fuktinnhold.....	32
4.2 Blanding og utstøping.....	32
4.3 Ferskegenskaper.....	33
4.3.1 Synk	33
4.3.2 Luft.....	33
4.3.3 Densitet	34
4.4 Riss.....	35
4.5 Vannpermeabilitet.....	36
4.6 Kloridinntrengning.....	37
4.7 Trykkfasthet.....	40

5	Prøvingsprogram	41
5.1	Bakgrunn	42
5.2	Endringer og avvik fra standard testmetode.....	43
5.2.1	Proporsjonering.....	43
5.2.2	Trykkfasthet ved et gitt tidspunkt	43
5.2.3	Vannpermeabilitet.....	44
5.2.4	Kloridinntrengning.....	46
6	Resultat.....	48
6.1	Ferskegenskaper.....	48
6.2	Trykkfasthet.....	48
6.3	Vannpermeabilitet.....	48
6.4	Kloridinntrengning.....	49
7	Diskusjon	50
7.1	Trykkfasthet.....	50
7.2	Metode for å lage riss.....	50
7.3	Permeabilitet	51
7.4	Kloridinntrengning.....	53
7.5	Feilkilder	57
7.5.1	Riss.....	57
7.5.2	Permeabilitet	57
7.5.3	Kloridinntrengning.....	57
8	Konklusjon	59
9	Litteraturliste.....	60
10	Vedlegg.....	62

1 Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved Universitetet i Stavanger, våren 2015. Den er siste del av studieprogrammet "konstruksjoner og materialer". Oppgaven er en fordypning innen betongfaget, og med særlig fokus på effekten av riss på betongens bestandighet. Den praktiske delen av oppgaven er utført i byglaboratoriet, Ivar Langens hus, ved Universitet i Stavanger.

Jeg ønsker å rette en stor takk til Kjell Tore Fosså for god veiledning og oppfølging gjennom hele prosessen. Jeg vil også takke Samdar Kakay for hjelp i byglaboratoriet.

I tillegg vil jeg takke medstudenter Jørgen Evjen, Phong Vo og Roald Wigestrands for godt og hyggelig samarbeid i forbindelse med arbeid i laboratoriet.

2 Innledning

Riss i betong er et vanlig problem, og kan komme av mange ulike årsaker, som temperatur, svinn, spenninger, ytre påkjenninger og miljø. Riss kan påvirke betongens bestandighet og redusere den planlagte levetiden selv om kravene til styrke og miljøpåvirkninger teoretisk er ivaretatt.

Riss kan være skadelig for betongen av flere grunner, men ofte er det innvirkningen de har på andre nedbrytningsmekanismer som er den største bekymringen.

Aggressivt miljø fører til raskere nedbrytning av betongen, og det er derfor nødvendig at konstruksjoner som plasseres på utsatte steder har god bestandighet. Norsk standard har satt noen krav som skal følges ved prosjektering for å sikre at bestandigheten er tilpasset miljøet der konstruksjonen skal stå. Kravet til største tillatte rissvidde er i området 0,3-0,4 mm.

Betongens bestandighet påvirkes av mange faktorer. Nedbrytning av betongen reduserer naturligvis bestandigheten. Kloridinitiert armeringskorrosjon er en nedbrytningsmekanisme som opptrer svært ofte i armerte betongkonstruksjoner i marint miljø. Armeringskorrosjon kan være svært alvorlig. Dersom armering korroderer i stykker, mister betongen strekkeegenskapene og den kan sprekke opp. Den viktigste egenskapen i betongen som har betydning for bestandigheten, er permeabiliteten. Denne oppgaven forsøker å identifisere eventuelle effekter av riss og rissvidde på betongens vannpermeabilitet og kloridinntrengning.

Opgaven består av en teoridel og en eksperimentell del.

Teoridelen gir en innføring i de aktuelle temaene for oppgaven. Den eksperimentelle delen av oppgaven går ut på å teste høyfast betong, med forskjellige rissvidder, for vanngjennomtrengning og kloridinntrengning.

3 Teori

3.1 Riss

3.1.1 Generelt om riss

Riss oppstår svært ofte i mange betongkonstruksjoner. Betongens dårlige strekkapasitet er en viktig, medvirkende årsak til at riss utvikles [1] [2].

Når betongen herder endres volumet av betongen, i større eller mindre grad. Disse dimensjonsendringene kan ofte føre til at det oppstår strekkspenninger i betongen som er større enn det betongen klarer å stå imot, og dermed sprekker den opp. Mekanismer som forårsaker volumendringer i betongen er ulike typer svinn, setninger og temperaturendringer. Gode herdeforhold er derfor viktig for å unngå riss i nye konstruksjoner. Dimensjonsendringer kan også skje i eksisterende betongkonstruksjoner på grunn av fuktighet og temperatur i omgivelsene som overføres til betongen.

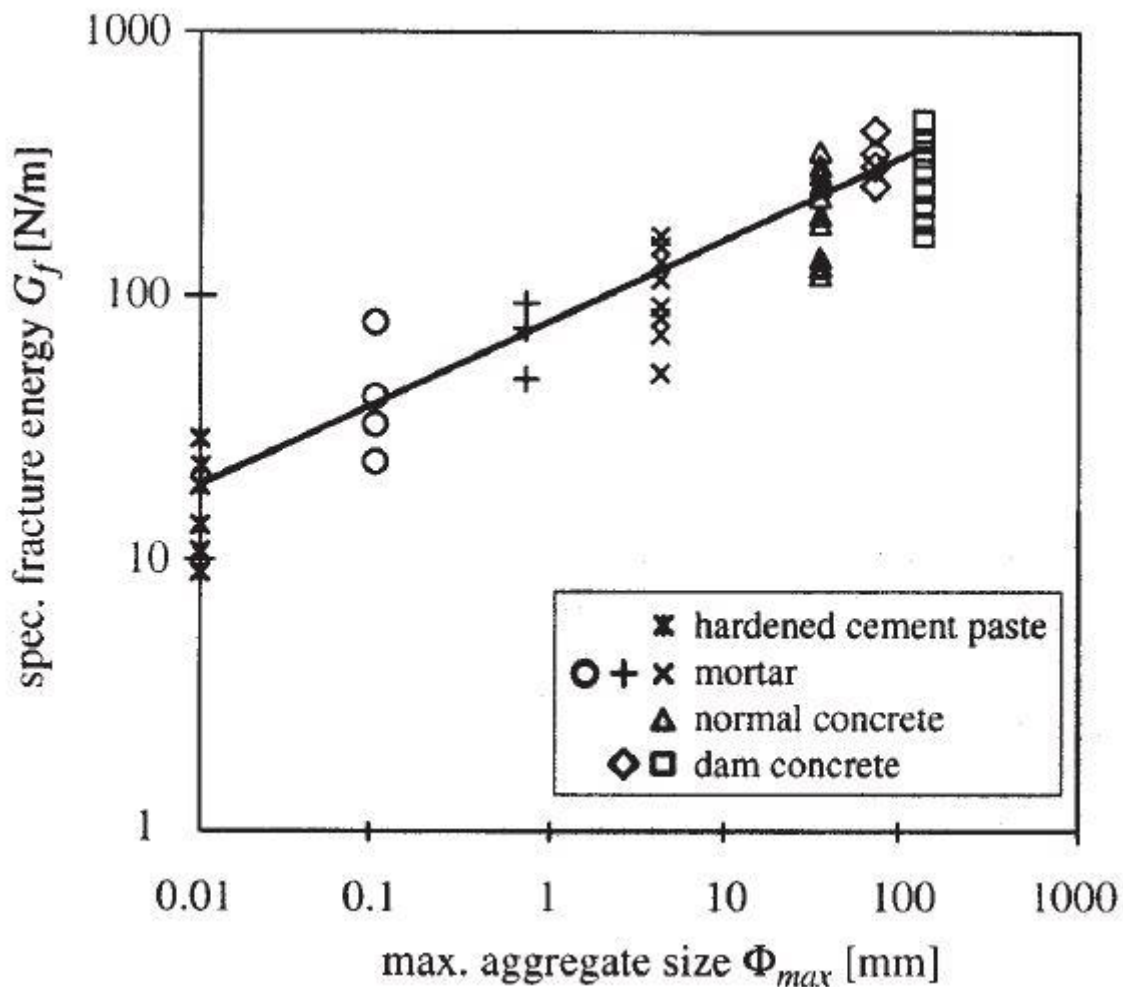
Belastninger som påføres konstruksjonen, enten det er betongens egenvekt eller ytre krefter, kan også fremtvinge riss. Ved påføring av ytre laster vil det oppstå tøyninger i betongen. Disse kan være enten fastholdte eller frie. Fastholdte tøyninger betyr at betongen ikke kan gi etter for tøyningene, og dersom de overskrider betongens kapasitet, kan riss utvikles.

En annen grunn til at riss utvikles er nedbrytning av betong. Samtidig er en av hovedgrunnene til at riss bør begrenses nettopp at de fremskynder andre nedbrytningsmekanismer i betongen. Hvor mye nedbrytningshastigheten øker på grunn av riss er avhengig av materialsammensetning, produksjonsforhold, herdeforhold, miljø og eventuell selvreparasjon (av riss) [3].

Betongstandarden gir en grenseverdi for største tillatte rissvidde. Denne ligger omtrent på 0,3 - 0,4 mm (eller mindre), avhengig av hvor konstruksjonen står og hva slags laster som virker på den (se kapittel 3.2.1). Dette kravet er satt fordi at så stor rissvidde på overflaten ofte betyr at risset går helt inn til armeringen, og dermed øker faren for at armeringskorrosjon skal oppstå [1]. For andre nedbrytningsmekanismer, som for eksempel kjemisk nedbrytning, er det forskning som tyder på at til og med riss på under 0,1 mm påvirker nedbrytningen [3].

Det er viktig å ta hensyn til effekten av riss for at dimensjonering av betongens bestandighet skal være realistisk [4]. Utelates rissene i dimensjoneringen kan konstruksjonens forventede levetid være overvurdert, og tidlige og uventede skader kan oppstå.

Rissdannelse, rissbane og bruddenergi avhenger av de mekaniske bindingene mellom de ulike betongkomponentene [5]. I herdet sementpasta og mørtel kan riss utvikles langs en tilnærmet rett flate. Matrikskomponentene er sterke, men små, og skaper bare ubetydelige variasjoner fra en ideell bruddflate. Det er gjort målinger som viser at bruddenergien er lavest i ren, herdet sementpasta (se Figur 1). Ved økende tilslagsstørrelse øker også den nødvendige bruddenergien.



Figur 1: Spesifikk bruddenergi for sementbaserte materialer som funksjon av største tilslagsstørrelse[5].

I normalbetong, med større tilslag, må rissene gå rundt steinene for å komme videre innover i betongen fordi tilslaget er sterkere enn den sementbaserte matriksen. Rissene tvinges dermed til å skifte retning eller bevege seg ut av planet. Dette er en energikrevende prosess fordi hver gang risset støter på en hindring må det bygges opp nye spenninger som må overskride betongens bruddfasthet for at risset kan utvikles videre. De mekaniske bindingene mellom partikler og matriks blir så sterk at bruddenergien som kreves er større enn den som kreves for partikler og matriks hver for seg.

I høyfast betong er bruddenergien som kreves så høy at riss ikke blir hindret av tilslag, men går rett gjennom, og bruddflatene kan minne om de som er for sementpasta og mørtel. Fordi bruddenergien i seg selv er så høy, rekker ikke bindingene mellom partikler og matriks å aktiveres før betongen går til brudd. Høyfast betong er derfor et sprøere materiale enn normalbetong. Det fører til at det er større fare for utvikling av riss i høyfast betong enn i normalbetong.

3.1.2 Riss i NS-EN 1992-1-1

Den norske standarden for prosjektering av betongkonstruksjoner, NS-EN 1992-1-1 [6], omtaler riss i flere sammenhenger. I standardens kapittel 2.3.2 står det at i prosjekteringen skal det tas hensyn til følgene av deformasjon som skyldes temperatur, kryp og svinn. I den forbindelse nevnes også rissdannelse som et resultat av disse faktorene.

Kapittel 3.1.3, elastisk deformasjon, opplyser om forskjellig verdi for Poissons tall for risset og urisset betong.

I standardens kapittel 5, står det hvordan en konstruksjonsanalyse skal gjennomføres for å beregne fordelingen av indre krefter, momenter, spenninger, tøyninger og forskyvninger. Kapittel 5.4 tar blant annet for seg elastisk lineær analyse av konstruksjoner, og det forklares hvordan riss bør behandles når virkningene av temperatur, kryp og svinn skal beregnes.

Kapittel 5.8 omhandler analyse av andre ordens virkninger med aksial belastning. I for eksempel søyler, vegger, pæler, buer og skall kan andre ordens effekter ha betydning for den totale stabiliteten i konstruksjonen, og for påvisning av bruddgrensetilstanden i kritiske snitt. I analysen av andre ordens effekter skal likevekt og kapasitet kontrolleres i deformert tilstand, og det skal blant annet tas hensyn til opprissing.

For å bestemme om andre ordens effekter skal tas med, kan konstruksjonens slankhet beregnes og vurderes opp mot en grenseverdi. Ved beregning av slankheten i denne sammenhengen skal det tas hensyn til opprissing av avstivede deler.

Dersom andre ordens effekter skal tas hensyn til, skal det også tas hensyn til virkningen av kryp. Det er beskrevet tre måter å gjøre det på, og i den ene av disse inngår det en faktor for virkningene av opprissing. Det står også en kommentar om at i statisk ubestemte konstruksjoner bør det tas hensyn til ugunstig virkning av opprissing i tilstøtende konstruksjonsdeler.

Standardens kapittel 6.2 handler om skjærkrefter. Ved bestemmelse av skjærarmoring inngår det en fasthetsreduksjonsfaktor for betong som er opprisset på grunn av skjærkraft.

I kapittel 6.8.2 tar standarden for seg indre krefter og spenninger for påvisning av utmatting. Beregning av spenninger skal bygge på forutsetningen om rissede tverrsnitt. Påvisning av utmatting skal foretas separat for betong og stål, og det ses bort fra betongens strekkfasthet.

I kapittel 7, bruksgrensetilstander, har riss fått stor plass i standarden. Kapittel 7.2 tar for seg spenningsbegrensninger. Trykkspenningen i betongen skal begrenses for å unngå riss i lengderetningen. Riss i lengderetningen kan oppstå dersom spenningsnivået for den karakteristiske lastkombinasjonen overskrider en kritisk verdi, og trykkspenningen bør derfor begrenses til en verdi lik betongens karakteristiske trykkfasthet ganget med en faktor på 0,6 i områder utsatt for miljø tilsvarende eksponeringsklasse XD, XF eller XS (se kapittel 3.2). (For betongkvalitet B70 vil det si at trykkspenningen bør begrenses til ca 40 MPa). Dette gjelder med mindre det er truffet andre tiltak, som for eksempel økning av armeringens overdekning.

Strekkspenninger i betongen skal også begrenses for å unngå blant annet uakseptabel opprissing. Så lenge strekkspenningen i armeringen ikke overskrider armeringens karakteristiske flytegrense ganget med en faktor på 0,8, antas det at uakseptabel opprissing ikke oppstår. Er det en påført deformasjon

som fører til strekkspenningen, bør den ikke overskride armeringens karakteristiske flytegrense (ganget med en faktor på 1,0).

Kapittel 7.3 i standarden handler om rissviddebegrensninger. Første punkt sier at opprissing skal begrenses slik at ikke konstruksjonens egentlige funksjon eller bestandighet skades. Opprissing skal heller ikke gi konstruksjonen et uakseptabelt utseende. Riss er tillatt uten krav til begrensning dersom de ikke reduserer konstruksjonens funksjon.

Der det er krav om rissviddebegrensning kreves det også minimumsarmering med heft. Dette er for å begrense opprissingen i områder der strekk kan oppstå. Minimumsarmeringen kan beregnes ut fra likevekt mellom strekkraften i betongen umiddelbart før opprissing og strekkraften i armeringen ved flyting. Dersom det er nødvendig for å begrense rissvidden kan det istedenfor strekkraften i armeringen ved flyting brukes en lavere verdi.

Beregningsmessig rissvidde kan bestemmes ved hjelp av følgende uttrykk:

$$w_k = s_{r,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

Formel 1

Der:

w_k = beregnet rissvidde

$s_{r,max}$ = største rissavstand

ε_{sm} = midlere tøyning i armeringen for den aktuelle lastkombinasjonen, inkludert virkningen av påførte deformasjoner der det tas hensyn til virkningene av stivhetsøkning fra betong mellom rissene. Det er kun tillegget i strekktøyning ut over null-tøyningstilstanden for betongen i samme nivå som tas i betraktning

ε_{cm} = midlere tøyning i betongen mellom riss

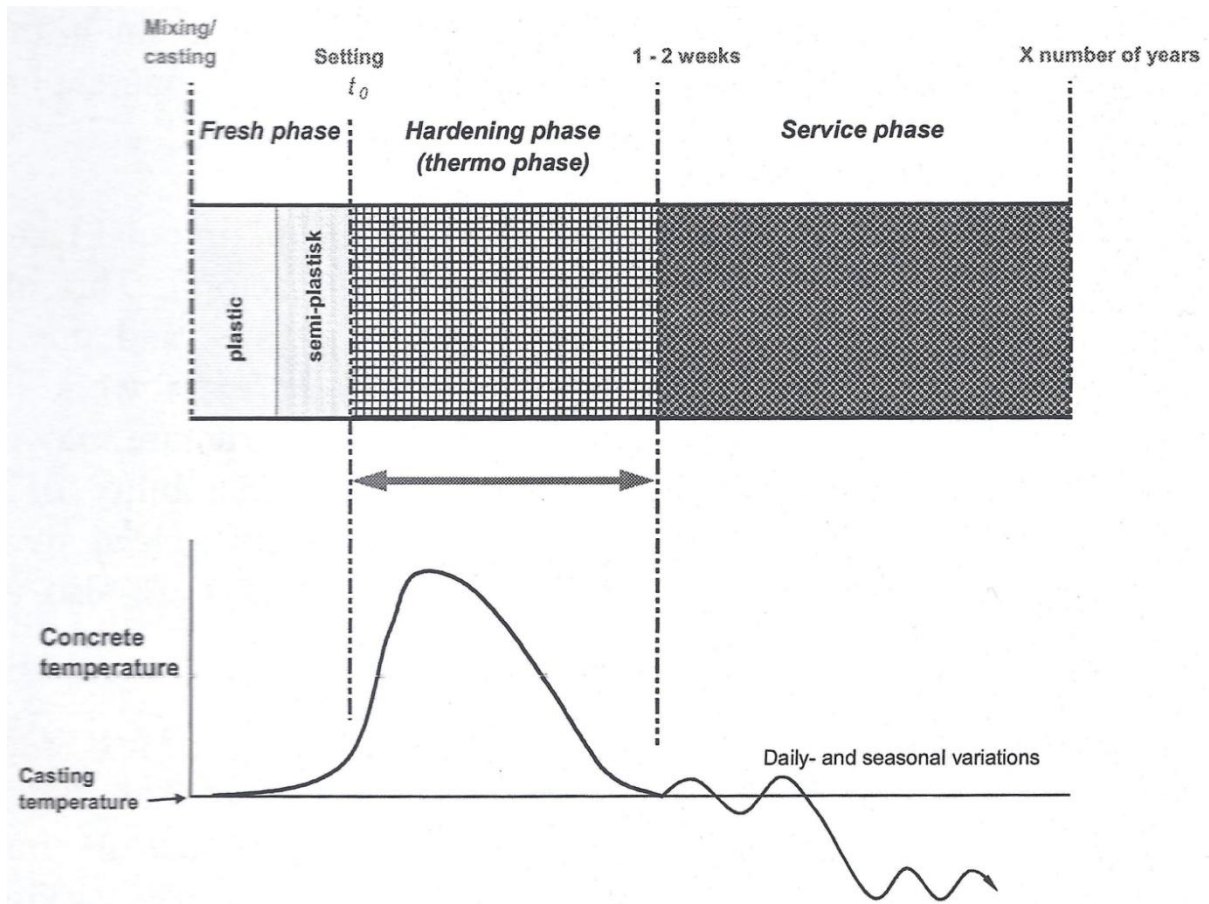
En grenseverdi for den beregningsmessige rissvidden fastsettes ut fra hensyn til konstruksjonens planlagte funksjon og type, og kostnadene ved å begrense rissvidden. Grenseverdiene finnes i nasjonalt tillegg til standarden, tabell NA.7.1N, og høyeste grenseverdi er 0,4 mm.

Rissviddebegrensning kan også gjøres forenklet uten direkte beregning. Nødvendig armering bestemmes da ut fra tabeller.

3.1.3 Plastisk svinnriss

Plastisk svinnriss er en vanlig form for riss. Slike riss oppstår vanligvis på horisontale flater [1] [2]. De er ofte store, 1-3 mm tykke, og går gjerne veldig dypt inn i konstruksjonen.

Fra betongen blir blandet til den kan tas i bruk, kan man si at den går gjennom forskjellige faser. Disse er illustrert i Figur 2. Den første fasen etter blanding, før betongen har størknet, kalles for fersk fase. Det er i denne fasen at plastisk svinnriss kan utvikles. Den ferske fasen kan igjen deles inn i plastisk fase og semiplastisk fase. Det er særlig i den semiplastiske fasen at plastisk svinnriss oppstår.



Figur 2: Skjematisk fremstilling av forskjellige faser av betong og temperaturutvikling[1].

Plastisk svinnriss kommer av uttørking av betongoverflaten. Dersom vannet på overflaten fordamper raskere enn den ferske betongmassen klarer å transportere vann til overflaten, vil den tørke ut. Når overflaten tørker ut dannes det små vannmenisker på overflaten, som fører til undertrykk i porevannet og sammentrekningskrefter mellom partiklene i betongen. På grunn av disse sammentrekningskreftene blir avstanden mellom partiklene mindre og massen trekker seg sammen. Dette kalles for plastisk svinn. Plastiske svinnriss oppstår som et resultat av plastisk svinn, men plastisk svinn fører ikke alltid til plastisk svinnriss.

Ifølge LaPlace er kapillærkreftene som opptrer inverst proporsjonale med radiusen av vannmenisken:

$$dp = -\frac{2\sigma^{lg}}{r}$$

Formel 2

Der:

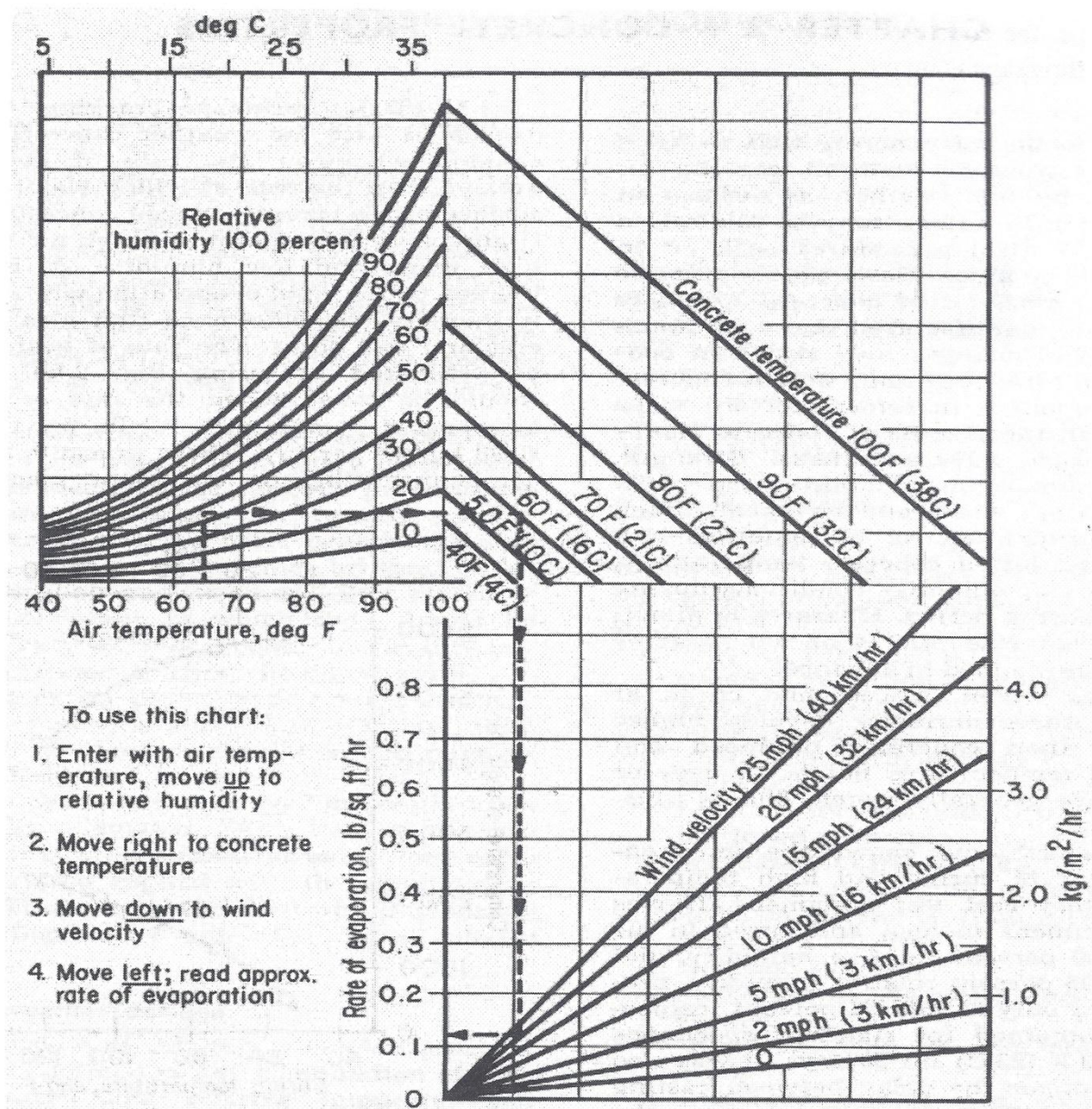
$$dp = \text{sug}$$

r = krumningsradius

σ^{lg} = overflatespenning væske-gass (=0,073 N/m ved 20 °C)

På grunn av dette vil kreftene være størst når avstanden mellom partiklene er liten. Lavt v/c-tall og høyt matriksvolum gir liten avstand mellom partiklene. Disse faktorene reduserer også transporten av vann til overflaten, et fenomen som kalles bleeding, og bidrar til å øke faren for uttørking av overflaten. Dette er også en årsak til at plastisk svinnriss er et stort problem i høyfast betong.

Skal faren for plastisk svinnriss reduseres må det fattes tiltak som hindrer at overflaten tørker ut. Det er flere ting som påvirker uttørkingen, men særlig viktig er betongtemperatur, omgivelsestemperatur, luftfuktighet og vindhastighet. Vindhastighet er kanskje den aller viktigste parameteren. Figur 3 viser en sammenheng mellom lufttemperatur, luftfuktighet, betongtemperatur, vindhastighet og fordampning av vann på fri overflate.



Figur 3: Fordampningsdiagram, basert på fordampning av fri vannoverflate[1].

Praktisk erfaring sier at plastisk svinnriss oftest oppstår på varme, tørre sommerdager med sterk vind. For å unngå uttørking er det vanlig å dekke til overflaten av konstruksjonen med plast eller presenning mens herdingen pågår. Eventuelt kan overflaten vannes eller en herdemembran kan benyttes.

I hovedsak oppleves autogent svinn (se kapittel 0) etter at betongen har herdet. Det er likevel en oppfatning at autogent svinn kan bidra til plastisk svinn i herdefasen. Autogent og kjemisk svinn kan da sies å være det samme. For høyfast betong kan autogent svinn i herdefasen være på 0,1 – 0,2 ‰, men kan bli høyere dersom betongen har veldig lavt v/c-tall. Spenning/tøyningskapasiteten til betong ligger vanligvis på omtrent 0,1 ‰.

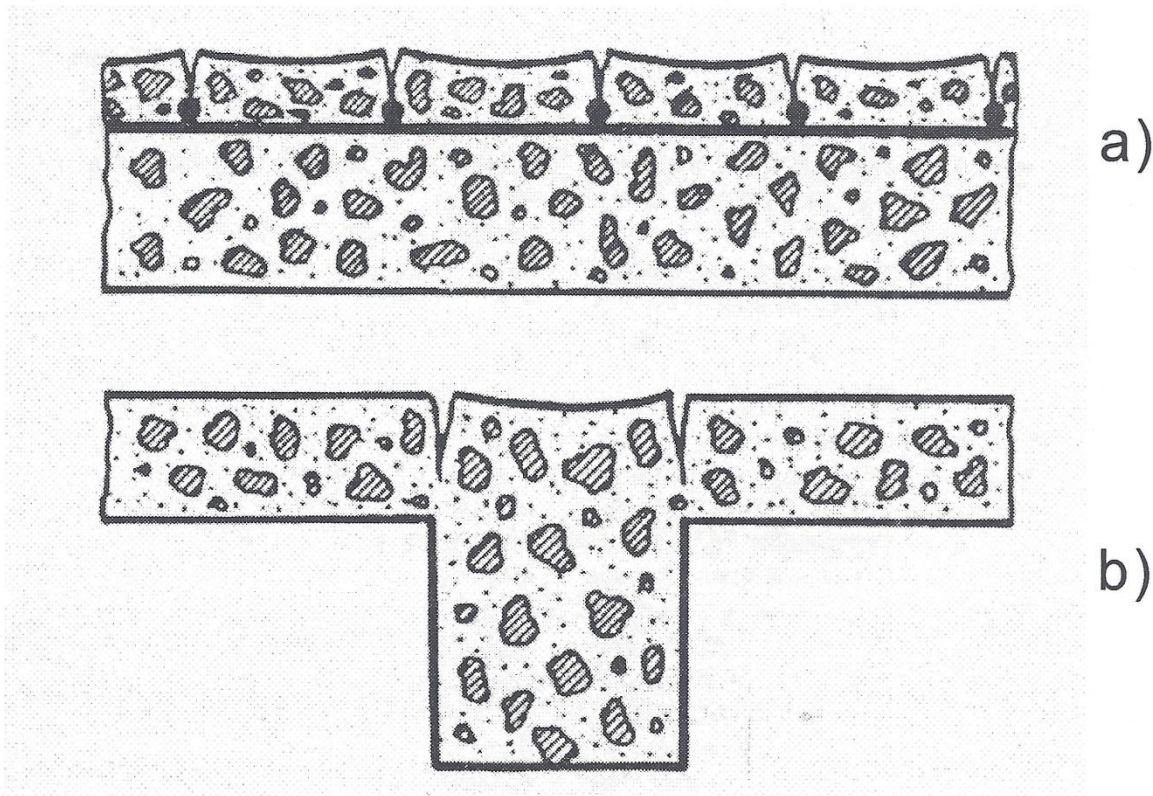
I dag tilsettes ofte plastiserende og superplastiserende stoffer i betongen for å bedre støpeligheten. Det har vist seg at betong som krever store mengder av disse stoffene har større tendens til å utvikle plastiske svinnriss. Betong med høyt fillerinnhold er også svært utsatt for denne typen riss.

3.1.4 Plastisk setningsriss

Plastisk setning skjer også mens betongen ennå er i fersk fase. Faste partikler beveger seg nedover til bunnen av betongen og gjør at hele den faste overflaten synker. Det er ganske normalt med setning på noen få promille. Densitetsforskjeller mellom de faste partiklene og vann fører til at partiklene beveger seg nedover og vannet presses oppover. Dette fører til bleeding, som er en av mekanismene som kan føre til plastisk setning.

En annen faktor som kan bidra til setning er luftbobler som flyter opp til overflaten og forsvinner ut av betongen. Dette kan skje dersom luftinnholdet i betongen ikke er stabilt. I tillegg bidrar fordampning av vann fra overflaten, plastisk svinn og autogent svinn til setning.

Hvis setningen blir hindret lokalt, for eksempel av armering, er det fare for at betongen sprekker opp (se Figur 4a). Ved forskjeller i tverrsnittet kan det også oppstå setninger, og det er fare for at det oppstår riss i overgangene (se Figur 4b). Som plastisk svinnriss, er også plastisk setningsriss store sprekker som kan bli 1-3 mm store. De går ofte parallelt med armering eller overgangene i tverrsnittet. De kan også gå ganske dypt, gjerne helt inn til armeringen eller enda lenger.



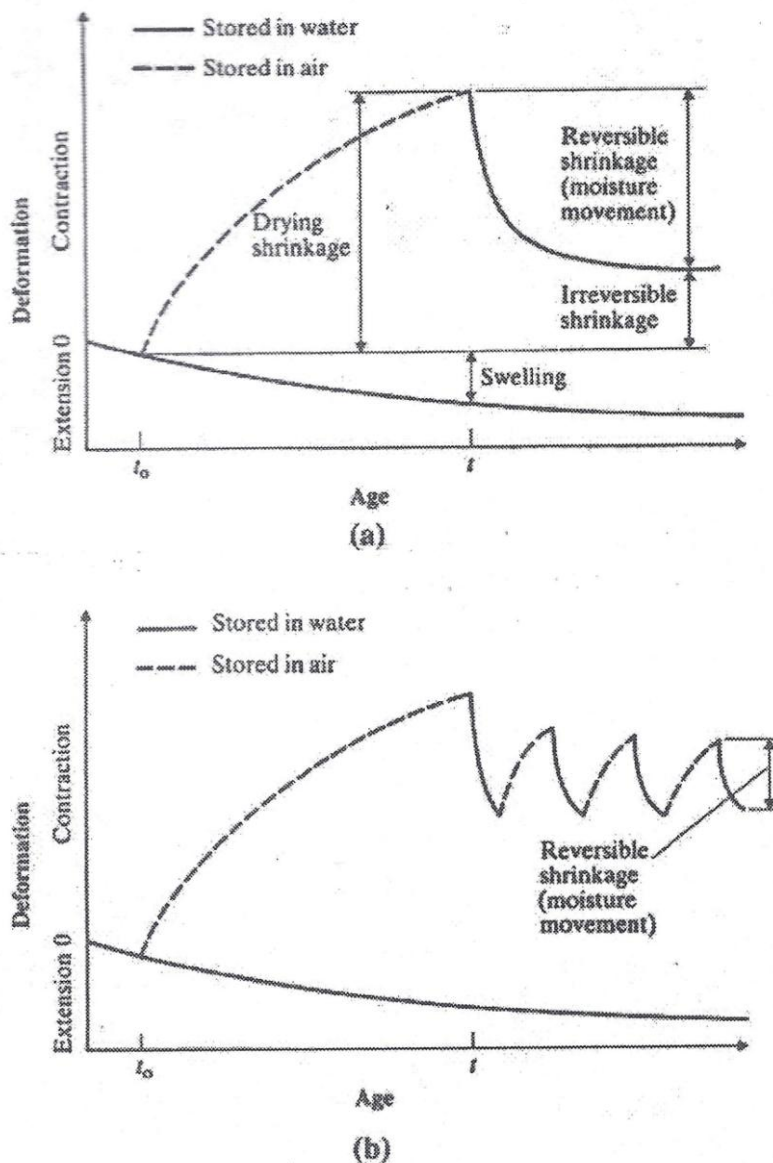
Figur 4: a) Plastisk setningsriss over armering. b) Plastisk setningsriss ved tverrsnittsoverganger[1].

Betong tilsatt silikastøv opplever sjelden bleeding, og silikastøv er derfor bra for å unngå plastisk setningsriss. Derimot øker faren for plastisk svinnriss ved tilsetning av silikastøv i betongen.

3.1.5 Svinnriss

Som plastisk svinnriss, oppstår også svinnriss på grunn av uttørking av overflaten, men etter at betongen har herdet. Kapillærspenninger og negativt poretrykk som gradvis øker er selve drivkraften bak uttørkingssvinn. Uttørkingen starter på overflaten og går stadig dypere inn i betongen. Allerede når betongen avformes begynner uttørkingen. Svinnet er størst med en gang og avtar etter hvert i hastighet. Dersom spenningene blir større enn betongens strekkfasthet oppstår svinnriss.

Tørr luft er en viktig årsak til at uttørkingssvinn oppstår. Luftfuktigheten er derfor avgjørende. Øker fuktigheten i omgivelsene kan betongen svulle opp igjen. Uttørkingssvinn blir derfor betegnet som en reversibel prosess. Fordampingen av vann fra overflaten er en tregere prosess enn kapillærsuget som fører til at fuktighet kommer inn i betongen (se Figur 5b). Likevel er det bare en viss del av uttørkingssvinn som er reversibelt. Den første uttørkingen er den som har størst betydning for svinn, og mye av dette svinnet er irreversibelt (se Figur 5a). Denne første uttørkingen fører til mikrosprekker i betongen.



Figur 5: Svinn og svelling i betong som følge av uttørking og oppfukning[1].

Betongens potensiale for uttørkingssvinn varierer fra 0,3 – 1,0 ‰, som er betydelig større enn betongens tøyningsskapasitet på omtrent 0,1 ‰.

Riss som formes på grunn av uttørkingssvinn lager ofte et uregelmessig mønster over betongflaten, eller følger mønsteret til armeringen.

Autogent svinn kan også bidra til at riss oppstår. Autogent svinn kommer av den kjemiske reaksjonen som skjer når sement og vann reagerer med hverandre. Når vann og sement reagerer og hydratiseringen tar til, skjer det en endring i betongens volum fordi reaksjonsproduktene tar større plass før de reagerer med hverandre enn etter. Dette kalles kjemisk svinn, og fører til at det dannes porer i betongen. Inni porene fortsetter hydratiseringen mellom porevann og uhydratisert sement også etter at betongen har herdet. På grunn av dette kan porene nesten tømmes for vann, og betongens relative fuktighet reduseres med tiden. Dette kalles for selvuttørking. Selvuttørkingen skaper kapillærkrefter og undertrykk i porevannet. Trykket overføres til faste deler av betongen og resulterer i bulksammentrekninger av betongen, og det er dette som er autogent svinn. Betong med lavt v/c-tall er særlig utsatt for autogent svinn, og høyfast betong er av den grunn ofte utsatt for autogent svinn. Dersom betongen er fastholdt fører autogent svinn til at det oppstår strekkspenninger i betongen, og betongen kan sprekke opp.

3.1.6 Termisk riss

Betong kan deformeres med selvproduserte og ytre temperaturforandringer. Selvproduserte temperaturforandringer oppstår i herdefasen, mens de ytre temperaturforandringene kommer av daglige og sesongavhengige klimavariasjoner. Temperaturvariasjoner fører til termisk utvidelse (tøyning) som bestemmes ved hjelp av følgende ligning:

$$\varepsilon_T = \alpha_T \cdot \Delta T$$

Formel 3

Der:

ε_T = termisk utvidelse

α_T = termisk utvidelseskoeffisient (for betong brukes ofte $\alpha_T = 0,01 \text{ ‰/}^\circ\text{C}$, avhengig av tilslaget)

ΔT = temperaturforskjell

Under herdeprosessen utvikles det varme i betongen. Betongkonstruksjonen beveger seg termisk i henhold til Formel 3. Når temperaturen stiger utvides betongen, og når temperaturen synker igjen trekker betongen seg sammen. Maksimal temperatur som utvikles under herdingen øker med betongtykkelse. Det betyr at tykkere betongkonstruksjoner har større temperaturlast. Dersom betongen er fastholdt kan det føre til at termisk riss oppstår.

3.1.7 Selvreparasjon

Et interessant fenomen som kan oppstå i forbindelse med riss er såkalt selvreparasjon. Som navnet tilsier betyr det at risset reparerer seg selv, og i noen tilfeller kan til og med betongens mekaniske egenskaper forbedres der de først har blitt redusert av risset. Selvreparasjon kan deles inn i tre kategorier: fysiokjemisk, mekanisk og "smarte materialer" [3].

Innenfor fysiokjemisk selvreparasjon finner man blant annet repassivering av armeringen i risset. Dette kan skje på grunn av indre transport av betongkonstituentene mot risset. Når risset avdekker armeringen ødelegges passivfilmen som i utgangspunktet var dannet på overflaten av armeringsjernet (se kapittel 3.4.2). Repassivering vil si at stålet reagerer med betongkonstituentene (alkalier, kalsiumhydroksid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)) og lager en ny passivfilm på overflaten av armeringen i risset.

Magnesium fra sjøvann kan også reagere med betongkonstituentene. Reaksjonen kan føre til at det dannes produkter med høy tetthet som kan stoppe utviklingen av korrosjon i risset. Det er i hovedsak snakk om dannelse av brucitt ($\text{Mg}(\text{OH})_2$).

Hydratisering og oppsvulming av sementpasta i risset fører til at flere hydratiseringsprodukter dannes (ettringitt, kalsiumhydroksid, C-S-H). Denne formen for selvreparasjon er mest effektiv for mikrosprekker fordi hydratiseringsproduktene er så små at de sjelden overstiger 10 μm .

Mekanisk selvreparasjon innebærer blokkering av risset. Risset kan bli fylt igjen av rust og korrosjonsprodukter eller partikler fra rissveggen. Partikler utenfra som føres inn i betongen, kan også blokkere risset.

Utskillelse av kalsiumkarbonat (CaCO_3) er kanskje den faktoren som har størst betydning for mekanisk selvreparasjon. Dette skyldes karbonatisering og reaksjoner fra oppløsning av $\text{Ca}(\text{OH})_2$ og CO_2 . Utskilleleshastigheten påvirkes av gjennomstrømningsmengde, hydraulisk trykk og rissvidde [7] [3].

Selvreparasjon ved hjelp av "smarte materialer" går ut på å frigjøre selvreparerende virkestoffer i risset. Dette er ikke i kommersiell bruk ennå.

I Lund i Sverige er det nå en gruppe forskere som driver et utviklingsprosjekt der de har dyrket frem en bestemt type bakterier som kan reparere betongsprekker [8]. Bakteriene trives og vokser raskt i fuktige og sterkt basiske miljøer. De liker seg dermed godt i betong. De finnes naturlig i saltvann, alkalisk vann og i varme kilder. Sporene er mekanisk stabile og har en levetid på opptil 300 år, som er lengre enn vanlig forventet levetid på en betongkonstruksjon.

Bakteriene kan tilføres betongen direkte under blandingsprosessen eller de kan påføres en ferdig konstruksjon etter at riss har oppstått. Hvis bakteriene tilsettes når betongen blandes, lever de inne i betongen og begynner først å "virke" dersom det oppstår et riss. Risset kan da være hvor som helst i konstruksjonen. Tilføres bakteriene i risset etter at det har oppstått vil kappillærkreftene sørge for at bakterieløsningen blir sugd helt inn til enden av risset. Der produserer bakteriene krystaller som tetter sprekken. Krystallene er lange og nålformede, og de har, ifølge forskerne i Lund, høyere fasthet enn sfæriske krystaller som bakterier i tidligere prosjekter har produsert. Denne formen på krystallene gjør også at de likner mer på krystallene som formes når sement hydratiserer. Inni sprekken får bakteriene arbeide, og etter et par uker er sprekken reparert. Prosessen kalles for biomineralisering.

Det er observert større selvreparasjonspotensiale i betong med høyt v/c-tall enn i betong med lavt v/c-tall [3]. Det spekuleres derfor i om selvreparasjon ikke er like fremtredende i høyfast betong som i normalbetong. Likevel er det ting som tyder på at selvreparasjon kan skje i høyfast betong fordi mikrosprekker som oppstår på grunn av uttørking i betong med lavt v/c-tall kan repareres ved å tilføre fuktighet. Det er ikke forsket like mye på selvreparasjon av høyfast betong som for normalbetong.

Selvreparasjon skjer i hovedsak bare på riss som er mindre 0,2 mm.

3.2 Bestandighet

Bestandighet er et uttrykk for hvor holdbar betongen er. I norsk standard for prosjektering av konstruksjoner, NS-EN 1990 [9], kapittel 2.4(1), står det at *”Konstruksjonen skal prosjekteres slik at dens nedbrytning under dens dimensjonerende brukstid ikke forringer konstruksjonens egenskaper mer enn forutsatt når det tas behørig hensyn til miljøpåvirkninger og forventet vedlikeholdsnivå”*.

Det finnes en rekke ting som påvirker betongens bestandighet. For å ivareta bestandigheten er det i den norske betongstandarden, NS-EN 1992-1-1, [6] satt noen krav det skal tas hensyn til ved prosjektering. Det stilles krav til brukbarhet, styrke og stabilitet. Korrosjonsbeskyttelse av armeringsstål er et svært viktig område når det gjelder bestandigheten, og det er derfor flere av dimensjoneringskravene som dreier seg om overdekning for armering. Det stilles også krav til tetthet og kvalitet av betongen for at beskyttelsen av armeringen skal være god nok til det formål konstruksjonen er tenkt.

Miljøpåvirkninger er svært sentrale når det kommer til bestandighet. Med miljøpåvirkninger menes de kjemiske og fysiske forholdene konstruksjonen utsettes for. I NS-EN 1992-1-1 [6] er miljøpåvirkningene delt inn i 20 eksponeringsklasser. Disse er igjen delt inn i åtte grupper som beskriver faren for korrosjon og angrep:

1. Ingen risiko for korrosjon eller angrep (X0)
2. Korrosjon framkalt av karbonatisering (XC1, XC2, XC3, XC4)
3. Korrosjon framkalt av klorider som ikke stammer fra sjøvann (XD1, XD2, XD3)
4. Korrosjon framkalt av klorider fra sjøvann (XS1, XS2, XS3)
5. Fryse-/tineangrep (XF1, XF2, XF3, XF4)
6. Kjemiske angrep(XA1, XA2, XA3)
7. Kjemisk angrep fra husdyrgjødsel (XA4)
8. Særlig aggressivt miljø (XSA)

I NS-EN 206-1 [10] er bestandighetsklasser som definerer betongens motstand mot nedbrytning beskrevet. Det finnes seks bestandighetsklasser. De stiller krav til masseforholdet, og klassene er betegnet av bokstaven M etterfulgt av et tall som er klassens maksimale masseforhold ganger 100. I noen tilfeller er også bokstaven F representert, og denne forteller at klassen er frostbestandig.

Ved å kombinere eksponeringsklasse og bestandighetsklasse kan kravene til betongoverdekning til armeringen med hensyn på bestandighet bestemmes.

Det finnes også kloridklasser som det skal tas hensyn til med tanke på bestandighet. Avhengig av om det finnes armering (eller annen form for innstøpt metall) i betongen er det stilt krav til maksimalt kloridinnhold gitt i prosent av sementvekt. For betongkonstruksjoner med vanlig stålarmering er dette kravet i NS-EN 206-1 [10] satt til 0,4 % av sementvekten. Det tilsvarer kloridklasse CL 0,40. I nasjonalt tillegg i NS-EN 1992-1-1 [6], er det gitt spesifikasjoner for når de ulike kloridklassene skal brukes. Generell erfaring viser at risikoen for korrosjon av vanlig armeringsstål er lav når kloridinnholdet i betongen er lavere enn 0,4 % av sementvekten [11]. Det er derfor vanlig å bruke dette som kritisk kloridkonsentrasjon ved bestandighetsanalyser av konstruksjoner.

Standarden påpeker også at spesielle former for aggressive eller indirekte påvirkninger bør vurderes. Her nevnes kjemiske og fysiske angrep, og innunder disse kategoriene ligger blant annet klorider i betong (kjemisk) og vanninntrengning (fysisk).

3.2.1 Riss og bestandighet

Rissdannelse kan ødelegge korrosjonsbeskyttelsen, og det er derfor viktig å ta hensyn til dette i prosjekteringen. I nasjonalt tillegg i NS-EN 1992-1-1, tabell NA.7.1N [6], er det gitt grenseverdier for beregningsmessig rissvidde i forhold til eksponeringsklasse og lastkombinasjon, med tanke på konstruksjoners bestandighet. For eksponeringsklasse X0 (ingen risiko for korrosjon eller angrep) er grenseverdien for rissvidde satt til 0,4 mm. Kravet er kun satt for å gi et akseptabelt utseende og det er lov å øke grenseverdien dersom det visuelle ikke er viktig. For resten av eksponeringsklassene er verdien på største tillatte rissvidde avhengig av overdekningen ved en faktor som aldri blir større enn 1,3. I de fleste tilfeller skal denne faktoren ganges med 0,3 mm og det fører til at største tillatte rissvidde er 0,39 mm. I noen spesielle tilfeller er den enda mindre.

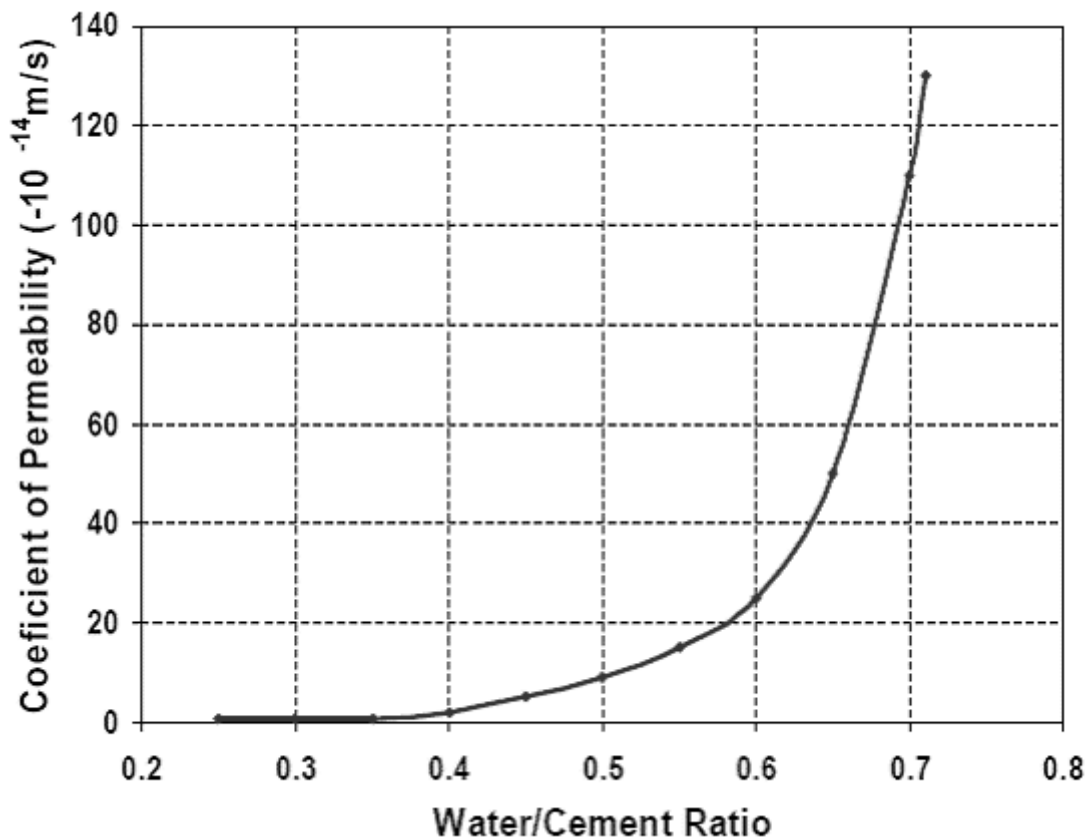
I tilfeller der det stilles krav om å begrense rissvidden, er det påkrevd minimumsarmering med heft for å begrense opprissing i områder der strekk kan oppstå (se kapittel 0).

Kunnskap om gjennomstrømmingsegenskapene til både feilfri og oppsprukket betong er viktig for å kunne forutsi bestandigheten til betongen fordi mange nedbrytningsmekanismer er avhengig av strømning av aggressive virkestoffer gjennom materialet [12].

3.3 Permeabilitet

Permeabilitet er en beskrivelse av hvor gjennomtrengelig et materiale er. Høy permeabilitet gjør at det er lett for vann (og andre stoffer) å trenge inn i betongen. Riss vil naturlig nok øke permeabiliteten. En bestandig betong har lav permeabilitet.

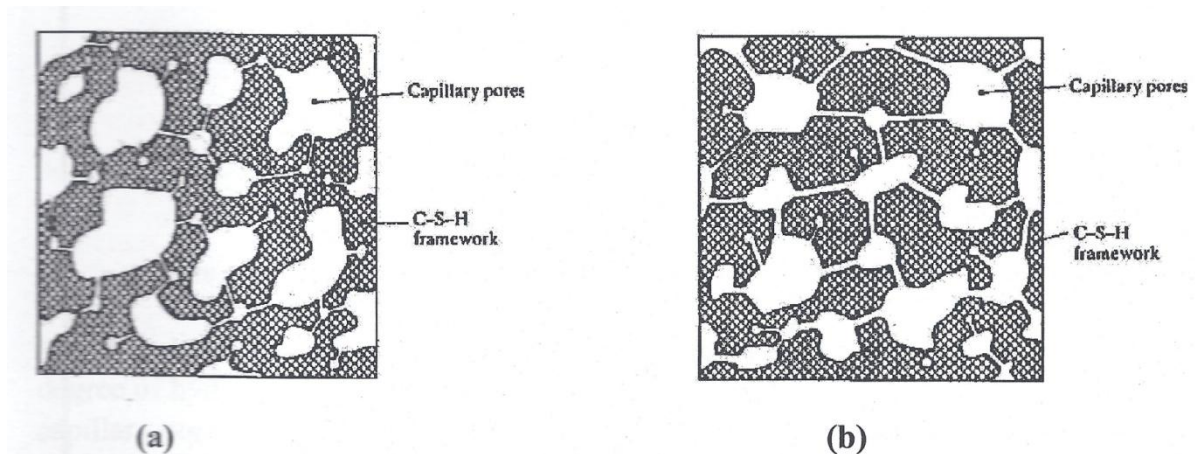
Permeabilitet henger tett sammen med porøsitet [13] [2]. Porøsiteten kan beskrives som porevolumet i sementen. Porøsiteten i sementpastaen bestemmes i stor grad av v/c-tallet. Et høyt v/c-tall gir høy permeabilitet. En generell regel internasjonalt er at betong som skal være vanntett bør ha et v/c-tall på under 0,5. Bakgrunnen for dette kravet kommer fra Powerkurven i Figur 6, som viser sammenhengen mellom v/c-tall og permeabilitetskoeffisienten. Permeabilitetskoeffisienten angir hastigheten på gjennomtrengningen.



Figur 6: Powerkurven. Sammenheng mellom v/c-tall og permeabilitetskoeffisient[14].

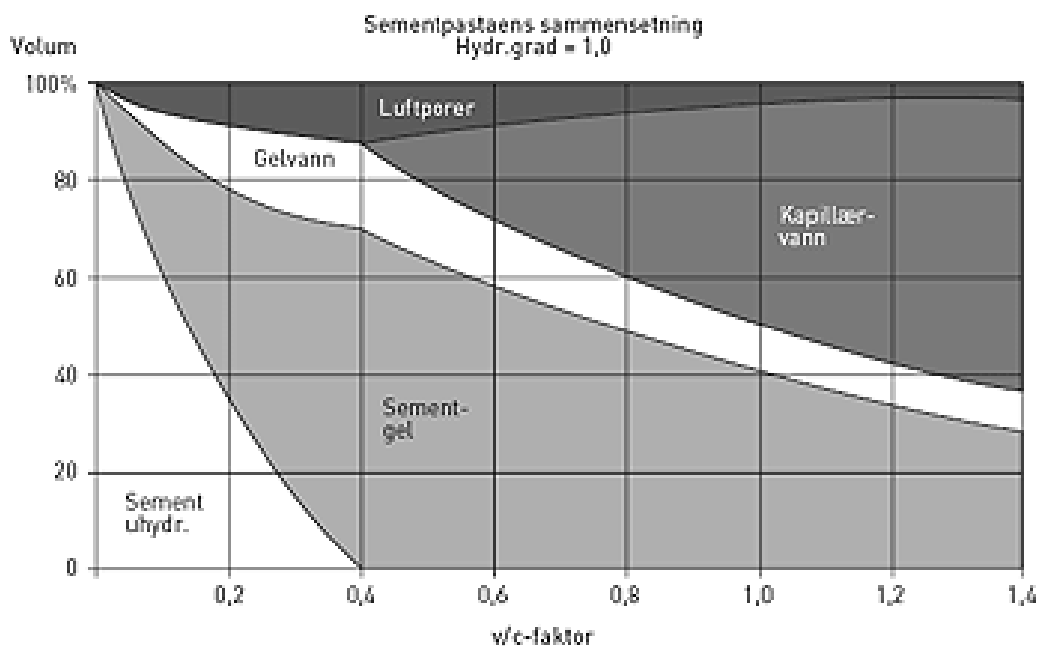
Er v/c-tallet større enn 0,4 kan det dannes kapillærporer i betongen. Det er overskudd av vann i betongblandingen som fører til at kapillærporer oppstår. V/c-tallet er derfor en svært viktig faktor for betongens permeabilitet.

Porenes størrelse og form har også stor betydning for permeabiliteten. Kapillærporene regnes som store porer, og det er generell enighet om at det i hovedsak er sementpastaens kapillærpørøsitet som bestemmer betongens permeabilitet. Den totale porøsiteten bestemmes av både kapillærporer og gelporer. Dersom v/c -tallet overskrider 0,6-0,7 kan det dannes sammenhengende kapillærporer, som blir som kanaler inne i betongen. I Figur 7 er porestrukturen i sementpastaen illustrert. De to materialene har samme porøsitet, men a) har lavere permeabilitet enn b), som har sammenhengende kapillærporer.



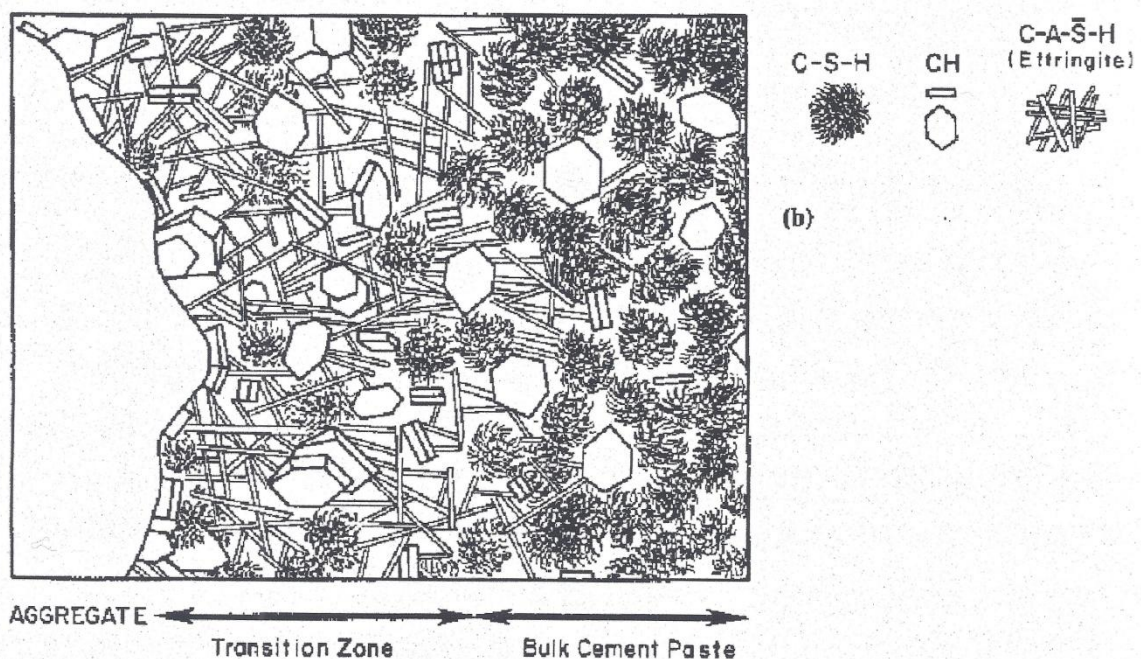
Figur 7: Skjematiske fremstilling av materialer med samme porøsitet, men ulik permeabilitet[13].

Hydratiseringsgraden har også stor betydning for sementens porøsitet. God hydratisering reduserer porøsiteten og kontinuiteten i poresystemet. Hydratiseringen går fortest i begynnelsen av herdeprosessen, men kan fortsette over lengre tid i et langsommere tempo. I porer som er fylt med vann og uhydrisert sement kan hydratiseringen pågå i lang tid, og porene blir mindre. I betong med lavt v/c -tall vil mye sement forbli uhydrert. Figur 8 illustrerer sammenhengen mellom porefordelingen i forhold til v/c -tallet ved maksimal hydratiseringsgrad.



Figur 8: Sammenheng mellom v/c -tall og porevolum ved maksimal hydratiseringsgrad[15].

Tilslaget og dets porøsitet påvirker også permeabiliteten i betongen. Norsk tilslag er kjent for å være godt tilslag med lav porøsitet. Normalt antas det at permeabiliteten til norsk tilslag er lavere enn permeabiliteten til sementpastaen, men betongens permeabilitet øker likevel med større tilslag. Dette kommer av at det i overgangen mellom tilslaget og sementpastaen er vanskelig å pakke alle partiklene tett nok sammen. Denne overgangssonen kalles ofte ITZ ("Interfacial Transition Zone") (se Figur 9). ITZ har høyere porøsitet enn resten av sementpastaen. Det kan også oppstå mikrosprekker i denne sonen, og det kan derfor konkluderes med at ITZ er en avgjørende årsak til at betongens permeabilitet ofte er høyere enn permeabiliteten til sementpastaen i seg selv. Det er anslått at ITZ utgjør mer enn halvparten av volumet av sementpastaen. På grunn av dette kan betongen sees på som et trekomponentsystem (sementpasta, tilslag og ITZ) istedenfor et tokomponentsystem (sementpasta og tilslag). ITZ er ikke like avgjørende i betong med lavt v/c-tall eller i betong tilsatt pozzolaner.

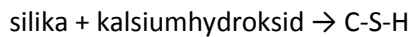
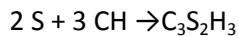
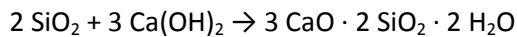


Figur 9: Tilslag, ITZ og sementpasta[13].

Siden betong består av mange ulike komponenter med forskjellige egenskaper som påvirker hverandre, er det laget en forenklet modell som deler betongen inn i et tokomponentsystem bestående av partikler og matriks. Partikler er alle tilslagskomponenter over 0,125 mm. Matriks er alle partikler mindre enn 0,125 mm, i tillegg til alle flytende komponenter. Bestanddelene i matriks er så små at de kan fylle tomrom som ofte finnes rundt større tilslag. Høyt matriksvolum fører til færre porer i betongen, og dermed lavere permeabilitet.

Selv med et lavt v/c-tall og gode herdeforhold, kan betongen være porøs dersom komprimeringen ikke er riktig utført. Når betongen støpes ut er det viktig å komprimere godt slik at mest mulig innekaplet luft forsvinner.

Pozzolaner har positiv effekt på permeabiliteten [16]. I Norge er silikastøv et av de vanligste pozzolanene. Det består av 85 -90 % silisiumdioksid (SiO₂). Når sement reagerer med vann produseres det blant annet kalsiumhydroksid. Silikastøv reagerer med kalsiumhydroksid og produserer C-S-H-gel (C: CaO, S: SiO₂, H: H₂O) som er det viktigste bindemiddelet i sementpastaen:



Silikastøv er små partikler (0,1 til 0,2 μm), men har forholdsvis stort overflateareal (ca 20 m²/g), noe som gjør at det lettere reagerer med kalsiumhydroksid og raskt produserer C-S-H. Siden silikastøv består av svært små partikler egner det seg også godt som filler.

Dersom sement erstattes med silika i forholdet 1:1, vil betongens porøsitet øke noe [17]. Dette er fordi silika har lavere densitet enn sement, og erstatningen vil skje på vektbasis. Vannpermeabiliteten vil likevel bli mindre fordi silikastøv gir en mer homogen betong og mer finfordelt porestruktur. Silika fører til bedre fordeling av C-S-H-gel, og en større andel av porene er små gelporer.

Herdetemperaturen påvirker også permeabiliteten. Er herdetemperaturen for høy (over 50 °C) kan det føre til grov porestruktur, lavere trykkfasthet og redusert densitet.

Høy porøsitet øker risikoen for svinn [2].

3.3.1 Darcys lov

Darcys lov er sentral når det kommer til permeabilitet. Den baserer seg på at forholdet mellom hastigheten på massetransporten og trykkfallet er proporsjonalt. Darcys lov kan uttrykkes på følgende måte [18]:

$$Q = K \cdot A \cdot \frac{\Delta h}{l}$$

Formel 4

Der:

$$Q = \text{gjennomstrømningsmengde [m}^3\text{/s]}$$

$$l = \text{tykkelse [m]}$$

$$K = \text{permeabilitetskoeffisient [m/s]}$$

$$A = \text{areal [m}^2\text{]}$$

$$\Delta h = \text{hydraulisk trykkehøyde [m]} = \frac{\Delta P}{\rho g}$$

Der:

$$\Delta P = \text{trykkforskjell [Pa]}$$

$\rho = \text{densitet [kg/m}^3\text{]}$

$g = \text{tyngdeakselerasjon [m/s}^2\text{]}$

3.3.2 Riss og permeabilitet

Selv i godt komprimert betong med et relativt lavt v/c-tall (under 0,5) og optimal hydratiseringsgrad, kan det oppstå lekkasjer. Da skyldes det ofte riss.

Det har vist seg at det er passende å relatere transportegenskaper i riss til rissvidde [4].

Vannpermeabiliteten til opprisset betong øker med rissvidden. Tidligere forskning har kommet fram til at riss under 0,1 mm har liten betydning for permeabiliteten, mens rissvidder større enn 0,1 mm fører til rask økning av permeabiliteten [7] [12].

Når det oppstår sprekker i betongen endres permeabilitetsmønsteret inni betongen [7].

Uregelmessige riss som oppstår i startfasen kan etter hvert bli koblet sammen av nye riss og danne store, gjennomtrengende sprekker. Dette fører til at permeabilitetskoeffisienten kan øke fra 100 til 1000 ganger. I slike tilfeller er permeabiliteten totalt avhengig av riss.

Ved selvreparasjon i riss, minker permeabilitetskoeffisienten i takt med økende selvreparasjon i risset. I noen tilfeller kan riss tettes helt igjen, og videre lekkasje gjennom riss forhindres.

Høyfast betong er kompakt, og har lav porøsitet og har derfor ofte lav permeabilitet. Faren for oppsprekking er likevel ikke mindre for høyfast betong, da den som regel har svært lav duktilitet, noe som øker risikoen for riss [5].

3.4 Kloridinntrengning

Kloridinntrengning er en av hovedårsakene til armeringskorrosjon i marine miljøer og miljøer der salt brukes til avising. Kloridinitert armeringskorrosjon blir regnet som et av de største problemene for bestandigheten til armerte betongkonstruksjoner. Selve betongen påvirkes i svært liten grad av klorinntrengning, så det er inntrengningsdybden i forhold til armeringen som er av betydning [19]. Klorider kan komme inn i betongen under blanding, og det er derfor satt en øvre grense for tillatt kloridinnhold i fersk betong.

Fra ytre miljøer kan klorider trenge inn i betongen ved gjennomtrengning av vann som inneholder klorider pga kapillærsug, eller ved diffusjon av klorider i porevannet. Hastigheten på kloridinntrengningen kan derfor uttrykkes ved en diffusjonskoeffisient. Dette gir et godt bilde på hvor lang tid det vil ta før kloridene trenger inn til armeringen.

I Tabell 1 er det vist en sammenheng mellom kloriddiffusivitet og betongens motstandsevne mot kloridinntrengning.

Kloriddiffusivitet, D_{28} $\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	Motstandsevne mot kloridinntrengning
>15	Lav
10 – 15	Moderat
5 – 10	Høy
2.5 – 5	Svært høy
< 2.5	Særdeles høy

Tabell 1: Empirisk sammenheng mellom betongens kloriddiffusivitet D_{28} og betongens motstandsevne mot kloridinntrengning[11].

3.4.1 Ficks lov

Inntrengningshastigheten av klorider kan bestemmes av Ficks andre lov:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial C}{\partial x} \cdot \left(D \cdot \frac{\partial C}{\partial x} \right)$$

Formel 5

Der:

x =dybde

t =tid

D =diffusjonskoeffisient

C =kloridkonsentrasjon

Ved å anta at diffusjonskoeffisienten er konstant kan Ficks andre lov uttrykkes på følgende måte:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

Formel 6

Diffusjonskoeffisienten kan regnes ut ved hjelp av feilfunksjonsløsningen av Ficks andre lov [19]:

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

Formel 7

Der:

x =dybde

t =tid

D =diffusjonskoeffisient

C =kloridkonsentrasjon

C_s =kloridkonsentrasjon på overflaten

C_0 =opprinnelig kloridkonsentrasjon

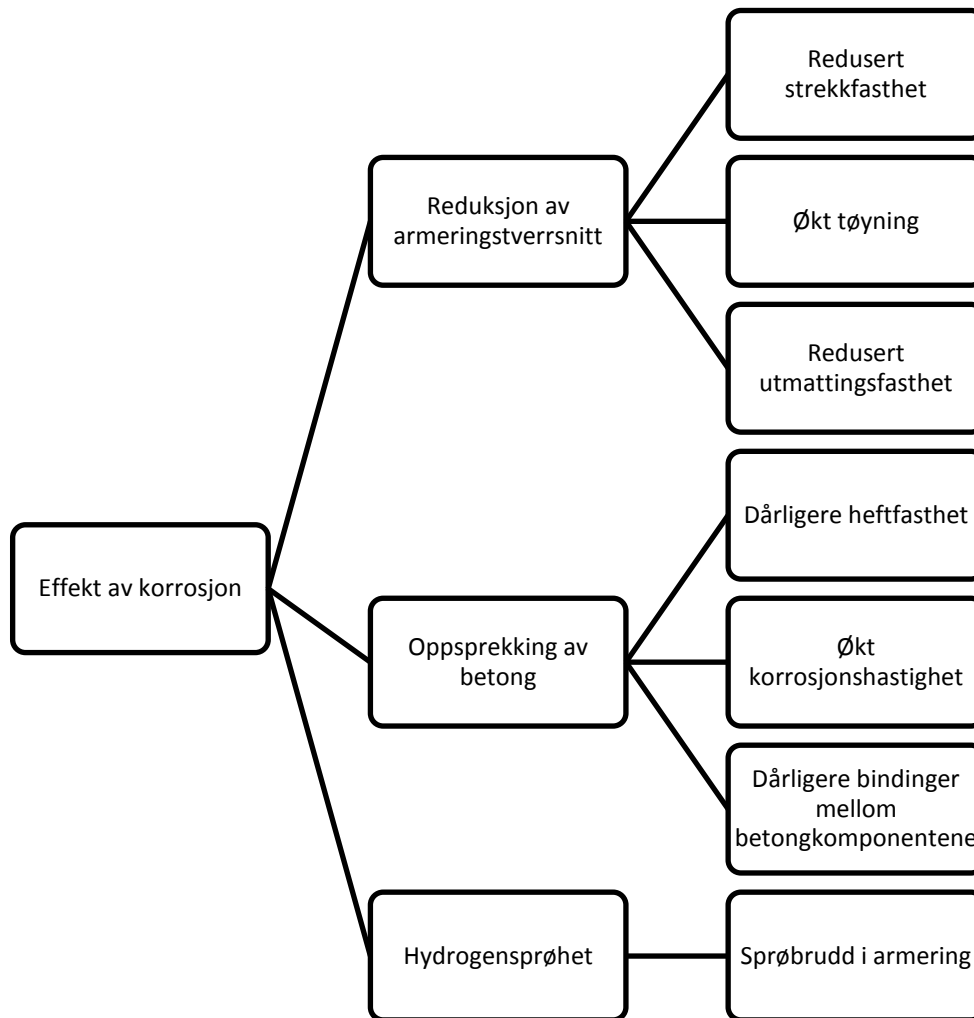
erf =feilfunksjon

I dette uttrykket antas diffusjonskoeffisienten å være konstant. I virkeligheten vil diffusjonskoeffisienten avta med tiden.

3.4.2 Kloridinitiert armeringskorrosjon

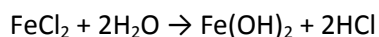
Betongkonstruksjoner armeres for å bedre strekkapasiteten. Som oftest er det stål som brukes til dette. Materialene passer godt sammen fordi de har samme varmeutvidelseskoeffisient [19]. En annen fordel er at både betong og stål er relativt billige materialer som er lette å få tak i i store mengder. Betongen virker også beskyttende mot korrosjon av stålet.

På grunn av betongens høye alkaliinnhold, med en pH-verdi på ca 13, dannes det et tynt lag med passivfilm på overflaten av stålet inne i betongen. Denne passiviseringen av stålet starter av seg selv rett etter at hydratiseringen av sementen har begynt. Passivfilmen består av $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ som henger tett fast på stålet [20]. Så lenge denne passivfilmen er intakt, er armeringen beskyttet mot korrosjon. Blir passivfilmen ødelagt kan stålet korrodere. Dette kan igjen føre til mange andre skader i betongen (se Figur 10).



Figur 10: Strukturelle konsekvenser av armeringskorrosjon i betong[19].

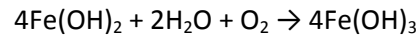
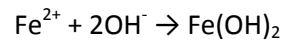
Passivfilmen rundt armeringen blir ustabil dersom betongens pH reduseres til en verdi på omtrent 9, eller hvis klorider har trengt seg inn til armeringen. Klorider ødelegger passivfilmen, og dersom vann og oksygen er til stede vil armeringen korrodere. Både en anodisk og en katodisk reaksjon er nødvendig for at korrosjon skal finne sted. Når det er forskjeller i det elektriske potensialet langs stålet i betongen opprettes en elektrokjemisk celle. Denne kan oppstå på grunn av forskjellige miljøer i betongen, variasjon i saltkonsentrasjon i porevannet eller ulik tilgang til oksygen. Når passivfilmen er brutt, aktiverer klorider overflaten av stålet til å forme en anode, og den passiviserte overflaten fungerer som katode. Reaksjonene som skjer er som følger:



Kloridene regenereres og er ikke en del av korrosjonsproduktet, selv om jernklorid (FeCl_2) formes på et midlertidig stadium. Den elektrokjemiske cellen krever at det er en forbindelse mellom anoden og katoden. Porevannet i den størknede sementpastaen fungerer som elektrolytt. Armeringen skaper også en forbindelse i seg selv. Ved anoden oppløses stålet, og positivt ladde jernioner, Fe^{2+} , strømmer ut i løsningen. Negativt ladde frie elektroner, e^- , går gjennom stålet og inn i katoden der de absorberes av bestanddelene i elektrolytten. Slik kombineres de med vann og oksygen og former

hydroksider, OH^- . Hydroksidene går gjennom elektrolytten og kombineres med jernionene og former jernhydroksider. Ved videre oksidasjon transformeres de til rust ($\text{Fe}(\text{OH})_3$).

Anodisk reaksjon: $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$

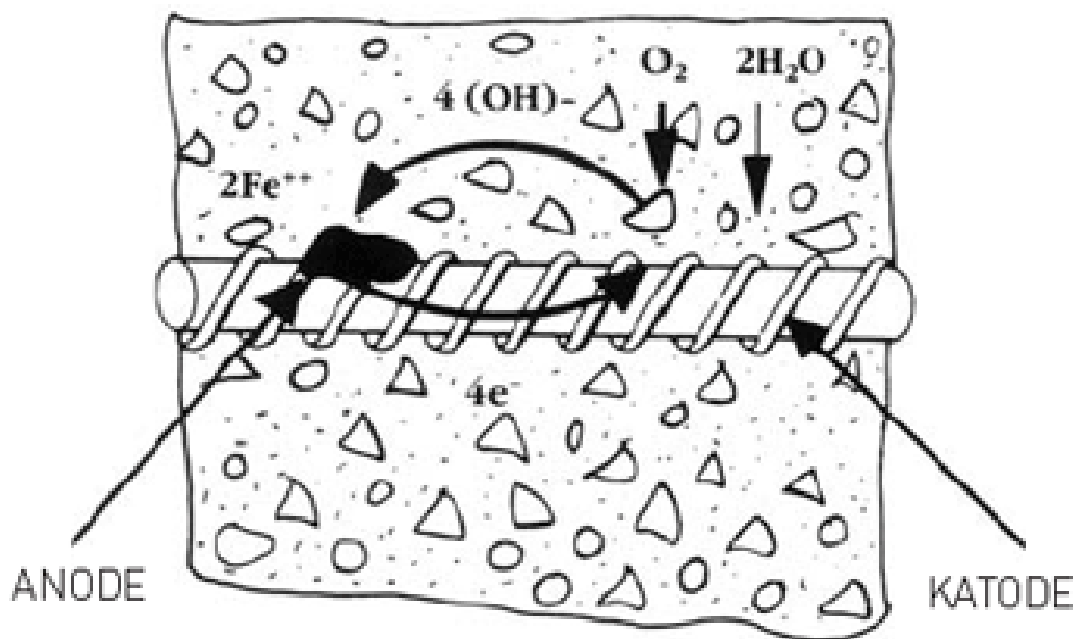


Katodisk reaksjon: $4\text{e}^- + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{OH}^-$

Som reaksjonene viser, brukes oksygenet opp og vannet regenereres. Begge deler trengs for at prosessen skal kunne fortsette.

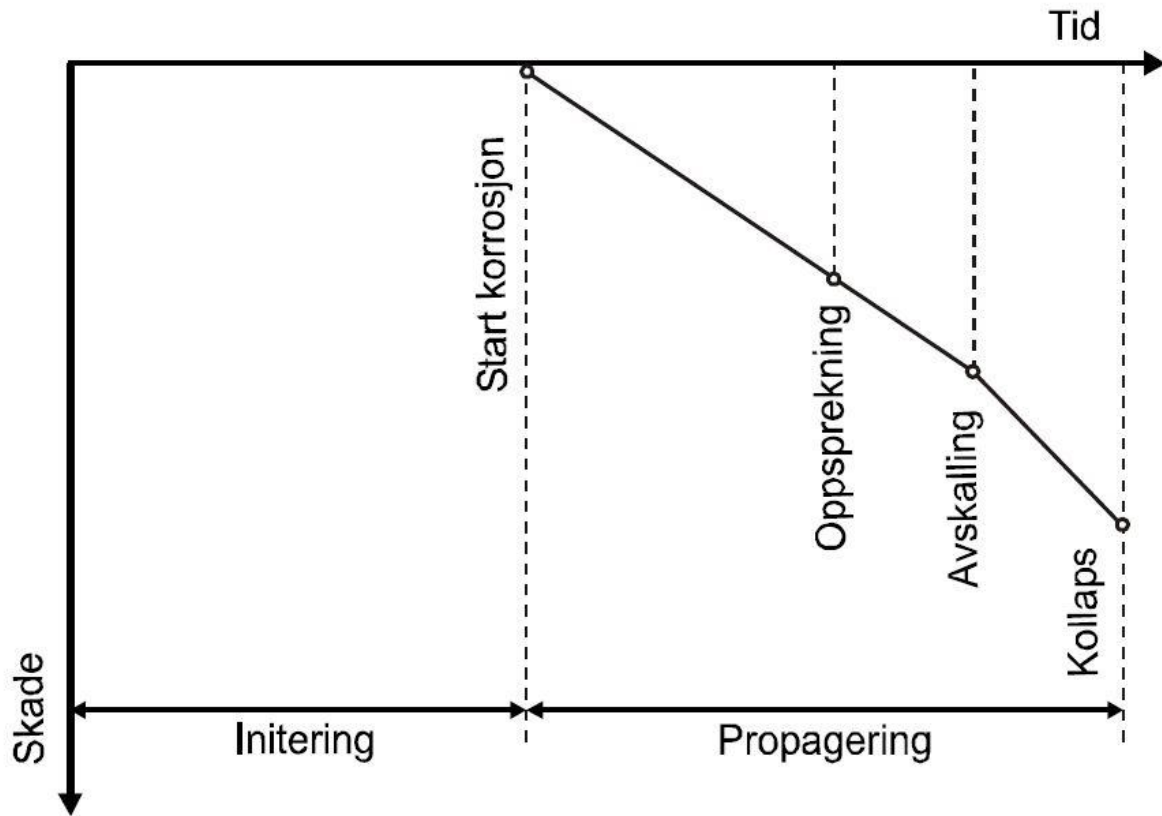
Betongkonstruksjoner som står i helt tørre omgivelser, det vil si relativ luftfuktighet lavere enn omtrent 60 %, opplever ikke armeringskorrosjon. Betongkonstruksjoner helt neddykket i vann vil heller ikke oppleve armeringskorrosjon med mindre det kan være luft "fanget" inne i vannet, for eksempel på grunn av bølger.

Poresystemet, vanninnholdet og kontinuiteten i porene i betongen er av stor betydning for armeringskorrosjonen. Det er nemlig dette som bestemmer den elektriske motstanden i betongen.



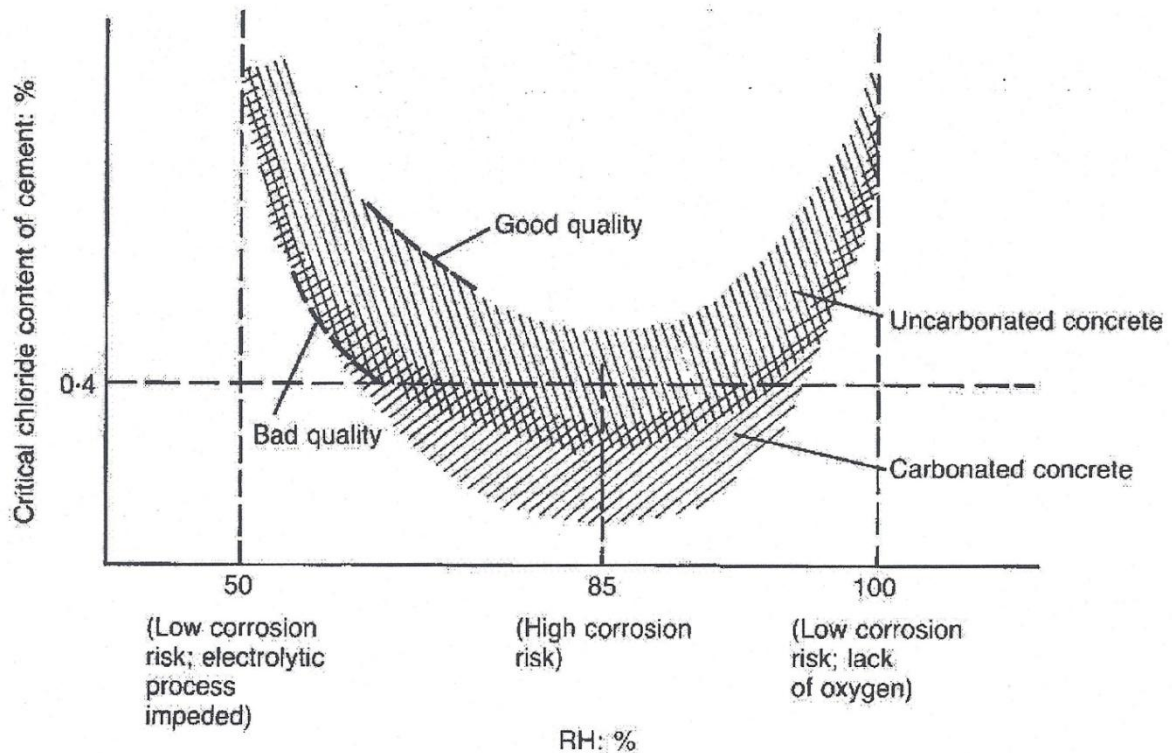
Figur 11: Armeringskorrosjon[21].

Nedbrytning av betong kan deles inn i to faser; en initieringsfase og en propageringsfase. I initieringsfasen trenger aggressive stoffer (i dette tilfellet klorider) inn i betongen til de når et kritisk nivå. Ved det kritiske nivået går initieringsfasen over i propageringsfasen og selve nedbrytningen begynner. Dette er illustrert i Figur 12.



Figur 12: Nedbrytning av betong på grunn av armeringskorrosjon[11].

Det kritiske nivået for kloridinnholdet i betongen avhenger blant annet av fuktigheten i omgivelsene og kvaliteten på betongen. Dersom kloridinnholdet i betongen overskrider det kritiske kloridinnholdet er det fare for armeringskorrosjon. Det kritiske kloridinnholdet i forhold til relativ fuktighet i betongen vises i Figur 13.



Figur 13: Kritisk kloridinnhold som funksjon av relativ fuktighet i betongen[19].

Ved tilsetning av silikastøv i betongen reduseres pH-verdien i porevannet [16]. Som tidligere nevnt øker faren for kloridinitiert armeringskorrosjon med lavere pH-verdi. Kloriddiffusjonen blir likevel vesentlig mindre ved tilsetning av silikastøv. Betongens elektriske motstandsevne øker betraktelig, noe som antyder lav korrosjonsrate.

3.4.3 Riss og kloridinntrengning

Riss kan gjøre det lettere for klorider å trenge inn i betongen og dermed føre til armeringskorrosjon. Armeringskorrosjon kan også føre til at betongen sprekker opp fordi rust har større volum enn armeringen.

Diffusjonen er ikke like fintfølelse for rissvidden som permeabiliteten. Dette skyldes at diffusjonen øker proporsjonalt med rissvidden, mens permeabiliteten øker proporsjonalt med rissvidden i tredje potens [4] [3]. Flere eksperimenter viser at riss øker diffusjonen i størrelsesorden 1 til 10 [3].

I selve risset er det ingen diffusjon, men kloridholdig vann kan trenge inn i risset. Er risset lite kan kapillærkrefter føre til at kloridene kommer helt inn i bunnen av risset. Klorider som har kommet inn i risset kan trenge inn i resten av betongen ved diffusjon.

Praktisk erfaring viser at rissenes geometri har større innvirkning på armeringskorrosjon enn rissvidden. Langsgående sprekker, parallelt med armering, er mye farligere enn sprekker som går på

tvers av armeringen. Dette er typisk for plastisk setningsriss (se kapittel 3.1.4). Rissvidden er ofte ganske stor (1-3 mm) for denne type riss.

Studier viser at riss som er mindre enn 0,2 mm har liten betydning for kloridinntrengning [3]. Rissvidder over 0,5 mm derimot, fører til stor inntrengning av klorider dersom konstruksjonen står i et miljø der klorider er til stede. Flere forskere mener at det finnes en såkalt "terskelrissvidde" på 0,015 mm [4]. Riss som er under denne størrelsen har liten effekt på transportegenskapene. Her spiller selvreparasjonsegenskapene en stor rolle.

4 Metode

Til alle tester, bortsett fra de som går på ferskegenskaper, benyttes prøvestykker i form av terninger med dimensjoner 100 x 100 x 100 mm. Testene utføres kun på én type betong, siden det er rissene og ikke betongkvaliteten som er hovedformålet med testene.

4.1 Proporsjonering

Betongblandingen proporsjoneres ved hjelp av et regneark [22]. I regnearket legges tilslagets siktekurver, ønsket sementtype, v/c-tall, matriksvolum og tilsetningsstoffer inn. På grunnlag av disse parametrene regnes den ønskede betongresepten ut.

4.1.1 Fuktinnhold

For å få riktig mengde vann i betongen måles fuktinnholdet i tilslaget rett før betongen skal blandes. Dette legges inn i regnearket, og vannmengden som skal tilsettes blir justert.

Fuktinnholdet måles ved hjelp av en Speedy Moisture Tester. 20 gram av tilslaget måles opp og helles inn i beholderen sammen med to skjeer av en reagens. Lokket plasseres på beholderen og festes godt. Deretter vendes beholderen opp og ned i ett minutt før fuktinnholdet leses av måleren i bunnen av beholderen. Dette fuktinnholdet er basert på våtvekten, og må regnes om til tørrvekten siden det er den som skal inn i regnearket. Dette gjøres ved hjelp av følgende formel:

$$\%Fukt_{tørrvekt} = \frac{\%Fukt_{våtvekt} \times 100}{100 - \%Fukt_{våtvekt}}$$

Formel 8

4.2 Blanding og utstøping

Blanding gjøres i henhold til prosedyre beskrevet i Statens vegvesens håndbok 14.621 [23].

Utstyr:

- Tvangsblander
- Vekt
- Støpeformer
- Murerskje
- Formolje
- Vibrobord
- Plast for tildekking av prøvestykker

Nødvendig mengde tilslag, sement, vann, silikastøv og SP-stoff måles opp. Tvangsblanderens fuktet før materialene legges i. For å unngå mye støving legges materialene i tvangsblanderens i denne rekkefølgen: grovt tilslag, sement, silikastøv og fint tilslag. Materialene tørrblandes så i ett minutt. Deretter tilsettes vann mens maskinen går i ca ett minutt, før SP-stoff tilsettes til ønsket konsistens er oppnådd i løpet av en 30 sekunders blandeperiode. Materialene våtblandes deretter i ca ett og et halvt minutt.

Uttøpingen gjøres i henhold til Statens vegvesens håndbok 14. 626 [23] og NS-EN 12390-2 [24]. Formene smøres med formolje før ifylling. Formene skal fylles og komprimeres i minst to lag. Ved bruk av vibrobord skal lagene vibreres i ca 30 sekunder, til store tilslagskorn er dekket med et tynt lag

av sementmørtel. Det må ikke vibreres så lenge at prøven separeres. Overflødig betong fjernes og overflaten avrettes. Prøvestykkene dekkes med plast for å beskyttes mot uttørking. De skal lagres ved en temperatur på $(20 \pm 5)^\circ \text{C}$ i minst 16 timer og maksimalt 72 timer før de avformes. Etter avforming legges prøvestykkene i vannbad.

4.3 Ferskegenskaper

4.3.1 Synk

Synk måles i henhold til NS-EN 12350-2:2009 [25].

Utstyr:

- Synkkjegle
- Glatt, ikke-absorberende underlag
- Komprimeringsstav
- Metermål

Synkkjeglen og underlaget fuktes. Mens betongen fylles i kjeglen er det viktig å holde den på plass mot underlaget. Kjeglen fylles i tre lag, som dekker ca en tredjedel av høyden til kjeglen. Hvert lag komprimeres med 25 støt jevnt fordelt utover flaten av det aktuelle laget. Det første laget komprimeres helt til bunnen. Lag to og tre komprimeres ned til underliggende lag. Dersom betongen synker etter komprimering av det siste laget etterfylles kjeglen med betong. Overflaten avrettes, og kjeglen løftes forsiktig rett opp i løpet av to til fem sekunder. Hele operasjonen skal ta omtrent 150 sekunder. Med en gang kjeglen er løftet av måles synk ved å måle høydeforskjellen mellom høyden av synkkjeglen og det høyeste punktet på betongen.

4.3.2 Luft

Luftinnhold måles i henhold til NS-EN 12350-7:2009 [26].

Utstyr:

- Trykkmåler
- Komprimeringsstav
- Vannsprøyte
- Gummihammer

Beholderen fylles i to lag, der hvert lag komprimeres med 25 støt. For å fjerne lommer med innesluttet luft bankes det forsiktig på beholderen med gummihammeren til det ikke lenger er store luftbobler på overflaten, og fordypninger etter komprimeringsstaven er borte.

Flensene på beholderen rengjøres grundig før overdelsstykket klemmes på plass. Hovedluftventilen stenges og de to andre ventilene åpnes. Vannsprøyten brukes til å presse vann inn i den ene av de to ventilene til det tyter ut av den andre. Gummihammeren brukes igjen til å slå forsiktig på utstyret til innesluttet luft er drevet ut. Avtappingsventilen for luft til luftkammeret stenges før luft pumpes inn i kammeret til trykkmåleren viser opprinnelig trykknivå. Når luften er avkjølt til romtemperatur etter noen sekunder, kan trykket justeres ved å pumpe inn mer luft, eller ved å slippe ut luft via avtappingsventilen. Hovedluftventilen åpnes og luftandelen i prosent leses av trykkmåleren.

4.3.3 Densitet

Densitet måles i henhold til NS-EN 12350-6:2009 [27].

Utstyr:

- Stiv og vanntett beholder med kjent volum og masse
- Komprimeringsstav
- Vekt
- Gummihammer

Beholderen veies. Deretter fylles den i to lag, der hvert lag komprimeres med 25 støt. For å fjerne luftlommer brukes gummihammeren til å slå forsiktig på beholderen til store luftbobler på overflaten, og fordypninger etter komprimeringsstaven er borte. Overflaten avrettes og utsiden av beholderen rengjøres. Beholderen veies igjen med innhold. Densiteten beregnes ved hjelp av følgende formel:

$$D = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

Formel 9

Der:

D = densitet [kg/m³]

m_1 = beholderens masse [kg]

m_2 = beholderens masse med innhold [kg]

V = beholderens volm [m³]

4.4 Riss

Terningene tas opp av vannbad og overflatetørkes før selve prosessen med å lage riss begynner.

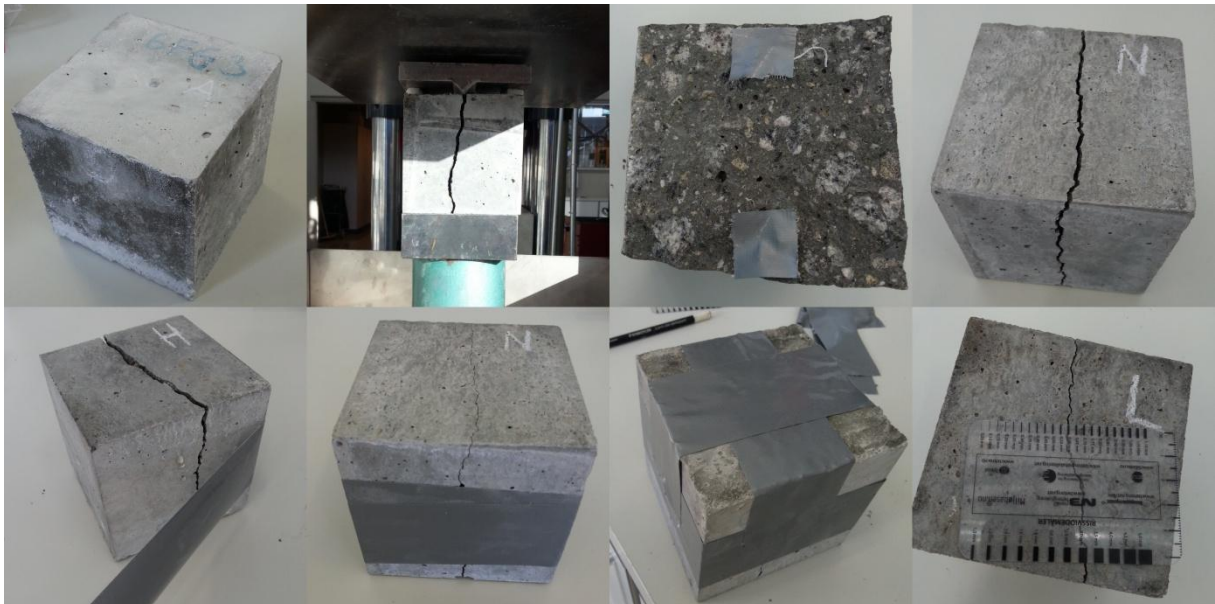
Rissene lages ved at prøvestykkene deles i to deler som settes sammen igjen med en bestemt rissvidde imellom.

En terning settes inn i trykkpressen med støpeflaten opp. Oppå terningen legges et kløyveverktøy (se Figur 14), som presses ned og fremprovoserer en sprekk i betongen. Til slutt deles terningen helt i to. Videre betraktes støpeflatens motstående side som "hovedoverflaten", det vil si den siden som vender ned når terningen deles.



Figur 14: Kløyveverktøy for å lage riss.

Prøvestykkene settes sammen igjen ved bruk av teip. For de største rissviddene legges teipbiter imellom de to delene av prøvestykkene for å få stor nok rissvidde.



Figur 15: Metode for å lage riss, steg for steg.

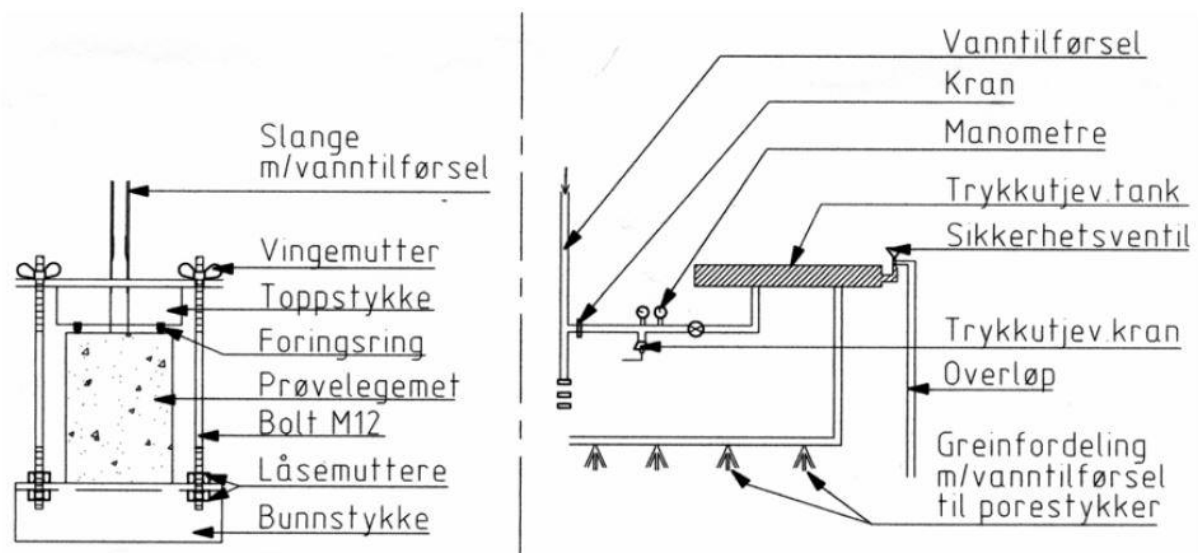
4.5 Vannpermeabilitet

Testing av vannpermeabilitet utføres i henhold til Statens vegvesens håndbok 14.633 [28], basert på metode i NS 3420.

Utstyr:

Det benyttes fastmontert utstyr, bestående av [28]:

- Rigg for fastmontering av prøvestykker
- Kompressor som gir stabile trykk under prøvingen
- Vanntilførsel med kran
- Manometre for trykkavlesning, før og etter trykkutjevningstank
- Kran for utjevning/regulering av trykket før trykkutjevningstank
- Trykkutjevningstank med sikkerhetsventil for overtrykk og overløp for vann
- Tilkoblinger til prøverigg, antall avhengig av kapasiteten til utstyret



Figur 16: Utstyr for testing av vanninntrengning[28].

Prøvestykkene skal være minst 28 døgn når prøvingen utføres. Terningformede prøvestykker skal være av dimensjon 100 x 100 x 100 mm. Den eksponerte flaten skal være plan.

Prøvestykkene plasseres sentrisk i riggen. En gummiring, kalt O-ring, plasseres på eksponeringsflaten for å sikre tett forbindelse. Toppstykket legges oppå prøvestykkene og festes godt. Prøveriggen kobles på resten av utstyret, før vannet kobles til. Vanntrykket reguleres til 0,3 MPa. Etter 24 timer reguleres trykket på nytt til 0,5 MPa, og etter nye 24 timer reguleres trykket igjen til 0,7 MPa. Etter totalt tre døgn tas prøvestykkene ut av riggen og splittes parallelt med vanninntrengningsretningen (det vil i dette tilfelle si i risset). Umiddelbart etter splittingen skal vannfronten tegnes på prøvestykket og leses av. Vanninntrengningen måles i ti punkter jevnt fordelt over splittflaten.

4.6 Kloridinntrengning

Måling av kloridinntrengning ble gjort etter NT Build 443 [29].

Utstyr:

Reagenser:

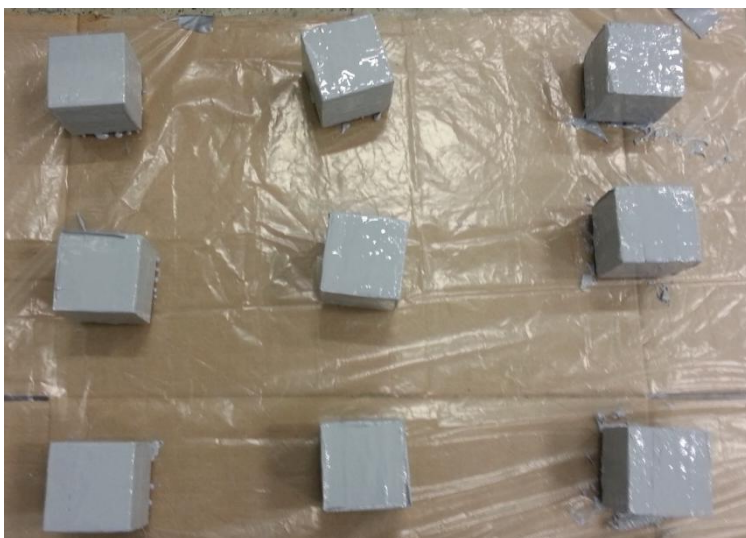
- Vann
- Kalsiumhydroksid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)
- Natriumklorid (NaCl)
- Epoksy
- Ampuller med ekstraksjonsvæske
- Kalibreringsvæsker

Instrumenter:

- Vekt med nøyaktighet $\pm 0,01$ g
- Termometer
- Plastbeholder
- Bor til å slipe av og samle betongstøv
- Elektrode
- Elektrometer

Prøvestykker som skal brukes for å teste kloridinntrengning skal herdes i minst 28 dager før testen utføres. For å klargjøre prøvestykkene veies de og legges i en løsning av $\text{Ca}(\text{OH})_2$, med blandingsforhold 2 g $\text{Ca}(\text{OH})_2$ per liter vann. Metningsgraden måles en gang i døgnet ved at prøvestykkene tas opp av $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -løsningen og veies. Dette skal gjøres helt til vekten ikke forandrer seg mer enn 0,1 masseprosent. Beholderne med $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -løsningen skal være helt tette.

Når prøvestykkene er mettet av $\text{Ca}(\text{OH})_2$ legges epoksy på alle sider bortsett fra eksponeringsflaten. Epoksybelegget påføres i to omganger, for å være sikker på at det blir helt tett.



Figur 17: Epoksybelagte terninger.

Etter at epoksybelegget har tørket legges prøvestykkene tilbake i løsningen av Ca(OH)_2 til de er mettet. Dette gjøres på samme måte som beskrevet over.

En NaCl-løsning med konsentrasjon på $165 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$ NaCl per liter vann klargjøres, og de mettede terningene legges i denne. Også denne beholderen skal være helt tett. Temperaturen måles kontinuerlig, for å registrere eventuelle temperaturavvik, da temperaturen bør ligge ganske stabilt mellom $21 \text{ }^\circ\text{C}$ og $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Prøvestykkene skal ligge i NaCl-løsningen i minst 35 dager.

Når prøvestykkene har ligget tilstrekkelig lenge i løsningen av NaCl samles det betongstøv fra åtte sjikt, hvert på 5 mm, i hver terning. Støvet samles ved å bore sakte inn i prøvestykkene. Mellom hvert sjikt må utstyret rengjøres slik at det bare kommer med støv fra det aktuelle sjiktet i hver støvprøve. Det må også bores ut støv av referanseprøver som ikke er eksponert for NaCl.



Figur 18: Utstyr til utboring av betongstøv.

Betongstøvet brukes til å måle kloridinnholdet i betongen ved hjelp av en RCT-test (Rapid Chloride Test) [30]. Fra hvert sjikt måles det opp 1,5 g betongstøv som blandes ut i ekstraksjonsvæske i en ampulle.



Figur 19: Oppmåling av betongstøv til ampuller med ekstraksjonsvæske.

Ampullene bør stå et døgn for at alt støvet skal løse seg skikkelig opp før neste steg i prosessen. Ved hjelp av en elektrode måles spenningen i alle sjiktene. Elektroden må først kalibreres, og spenningsverdiene fra kalibreringsvæskene settes inn i et skjema. For hver prøve (8 sjikt) utføres en ny kalibrering. Spenningsverdiene fra de aktuelle sjiktene settes inn i samme skjema som kalibreringsverdiene, og kloridinnholdet i prosent av betongmasse leses av.



Figur 20: Måling av spenning i betongstøv.

Verdiene legges inn i et regneark [31] der kloriddiffusjonskoeffisienten og kloridkonsentrasjonen på overflaten beregnes, og et kloridprofil kommer fram. Diffusjonskoeffisienten beregnes ved hjelp av Ficks lov (se kapittel 3.4.1). For å kunne sammenligne kloridinnholdet med kravene i standarden regnes kloridkonsentrasjonen om fra % av betongvekt til % av sementvekt på denne måten:

$$Cl^- \text{ i \% av sementvekt} = Cl^- \text{ i \% av betongvekt} \cdot \frac{\text{Betongdensitet}}{\text{Sementvekt}}$$

Formel 10

4.7 Trykkfasthet

Trykkfasthet testes i henhold til NS-EN 12390-3:2009 [32].

Utstyr:

- Trykkprøvingsmaskin

Alle overflater i maskinen må være rene. Prøvestykkene overflatetørkes før de plasseres sentrisk i testmaskinen. Terninger skal plasseres slik at pålastningen er vinkelrett på støperetningen. De skal plasseres med en nøyaktighet på 1 % av terningens bestemte sidelengde, altså 1 mm. Belastningen påføres kontinuerlig med en pålastningshastighet på 0,8 MPa/s.

I henhold til NS-EN 206-1, tabell 14 [10], kontrolleres resultatene for å se om de tilfredsstiller kravene til karakteristisk trykkfasthet. Ved testing av trykkfasthet på et fåtall av testlegemer (<15) skal middelveiden være større eller lik $f_{ck} + 4$ MPa. For individuelle testresultater skal ikke trykkfastheten være mindre enn $f_{ck} - 4$ MPa.

For fasthetsklasser fra B60 og oppover (standarden stopper på B90 [6]) er differansen mellom karakteristisk sylindrefasthet og karakteristisk terningfasthet på 15 MPa. Plassering av betongen i riktig fasthetsklasse gjøres derfor ved å trekke 15 MPa fra den målte terningfastheten og runde av nedover til nærmeste hele 5 MPa.

5 Prøvingsprogram

Det skal støpes ut minst 30 prøvestykker (terninger 100x100x100 mm) av en betongblanding av høyfast kvalitet (B70). Det skal lages riss i terningene, på henholdsvis 0,2 mm, 0,4 mm, 0,6 mm og 1,0 mm. For hver rissvidde skal det være minst to terninger som skal testes for kloridinntrengning og minst to terninger som skal testes for vannpermeabilitet. Trykkfastheten skal testes på urissede terninger etter 7 dager, 14 dager og 28 dager. I tillegg skal ferskegenskapene luftinnhold, densitet og synk måles.

En oversikt over prøvestykker og tester er vist i Tabell 2.

Prøve- stykke	Riss- vidde	Trykkfasthet			(Vann- permeabilitet)	Vann- gjennomtrengning	Klorid- inntrengning
		7d	14d	28d			
A	0	X					
B	0	X					
C	0	X					
D	0		X				
E	0		X				
F	0		X				
G	0,4						X
H	0,2						X
J	0,2						X
K	0,4						X
L	0,6						X
M	0,4						X
P	0,6						X
Q	1,0						X
R	1,0						X
S	1,0						X
T	0			X			
U	0			X			
V	0			X			
W	0,2				X	X	
X	0,2				X	X	
Y	1,0				X		
Z	0,6				X		
Æ	0,2				X	X	
Ø	0,4				X	X	
AA	0,4				X	X	
BA	1,0				X		
CA	0,4				X	X	
EA	0,6				X		
FA	1,0				X		
GA	0,6				X		
HA	0						X (referanseprøve)
IA	0						X (referanseprøve)

Tabell 2: Oversikt over prøvestykker og tester.

5.1 Bakgrunn

På grunn av ønsket om å måle effekten av riss, og ikke betongen i seg selv, skal alle tester utføres på betong som normalt, uten riss, har god bestandighet. Høyfast betong blir sett på som bestandig betong. Konstruksjoner som er utsatt for store miljøpåkjenninger er ofte laget av høyfast betong for å tåle kreftene som virker på dem. Testene utføres derfor på høyfast betong; fasthetsklasse B70, v/c-tall lik 0,335 og matriksvolum 350 l/m³.

Riss oppstår oftere i betong med lavt v/c-tall og høyt matriksvolum. Høyfast betong er derfor mer utsatt for riss enn normalbetong.

Betong som er tilsatt silikastøv har lavere permeabilitet og høyere motstandsevne mot kjemikalier enn betong uten silikastøv. Dette er positivt for bestandigheten, og det skal derfor tilsettes 5 % silikastøv i blandingen.

For å oppnå god støpelighet med lavt v/c skal også SP-stoff tilsettes blandingen.

Trykkfastheten er en svært viktig egenskap i betongen, og for å dokumentere betongens fasthet, skal trykkfastheten testet.

Kloridinitert armeringskorrosjon er kanskje den største årsaken til at betongkonstruksjoner i marine miljøer brytes ned, og bestandigheten reduseres. Av den grunn skal kloridinntrengning testes.

Alt som trenger inn i betongen avhenger av betongens permeabilitet, og dette er i mange sammenhenger sett på som det viktigste målet på betongens bestandighet. Vannpermeabilitet skal derfor testes.

Formålet med forsøkene er å teste hvilken effekt riss, med ulike rissvidder, har på betongens bestandighet. Rissviddekravet i NS-EN 1992-1-1 [6] ligger på ca 0,4 mm. Rissviddene som skal testes er derfor en rissvidde som oppfyller kravet, en rissvidde som er akkurat på grensen og en rissvidde som overskrider kravet, på henholdsvis 0,2 mm, 0,4 mm og 0,6 mm. I tillegg skal det testes en rissvidde på 1,0 mm med tanke på blant annet plastisk svinriss.

5.2 Endringer og avvik fra standard testmetode

5.2.1 Proporsjonering

I proporsjoneringsarket [22] ble det lagt inn at mengden SP-stoff skulle være 2,5 % av sementvekten. Under blandingen ble bare SP-stoff tilsvarende 1,25 % av sementvekten tilsatt.

5.2.2 Trykkfasthet ved et gitt tidspunkt

Det er mulig å angi betongens trykkfasthet ved et gitt tidspunkt ved beregning ut fra sementtype, temperatur og herdeforhold. Ved alder mellom 3 og 28 dager, middeltemperatur på 20 °C og normale herdeforhold etter NS-EN 1992-1-1, kapittel 3.5-3.6 [6], beregnes den på følgende måte:

$$f_{ck}(t) = f_{cm}(t) - 8$$

Formel 11

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t)f_{cm}$$

Formel 12

$$\beta_{cc}(t) = e^{s\left(1 - \sqrt{\frac{28}{t}}\right)}$$

Formel 13

Der:

$f_{ck}(t)$ = Betongens trykkfasthet på et tidspunkt t

$f_{cm}(t)$ = Middelerdi av betongtrykkfasthet ved en alder av t døgn

f_{cm} = Middelerdi av betongtrykkfasthet etter 28 døgn i henhold til tabell 3.1 i NS-EN 1992-1-1

$\beta_{cc}(t)$ = Koeffisient som avhenger av betongens alder t

t = Betongens alder i døgn

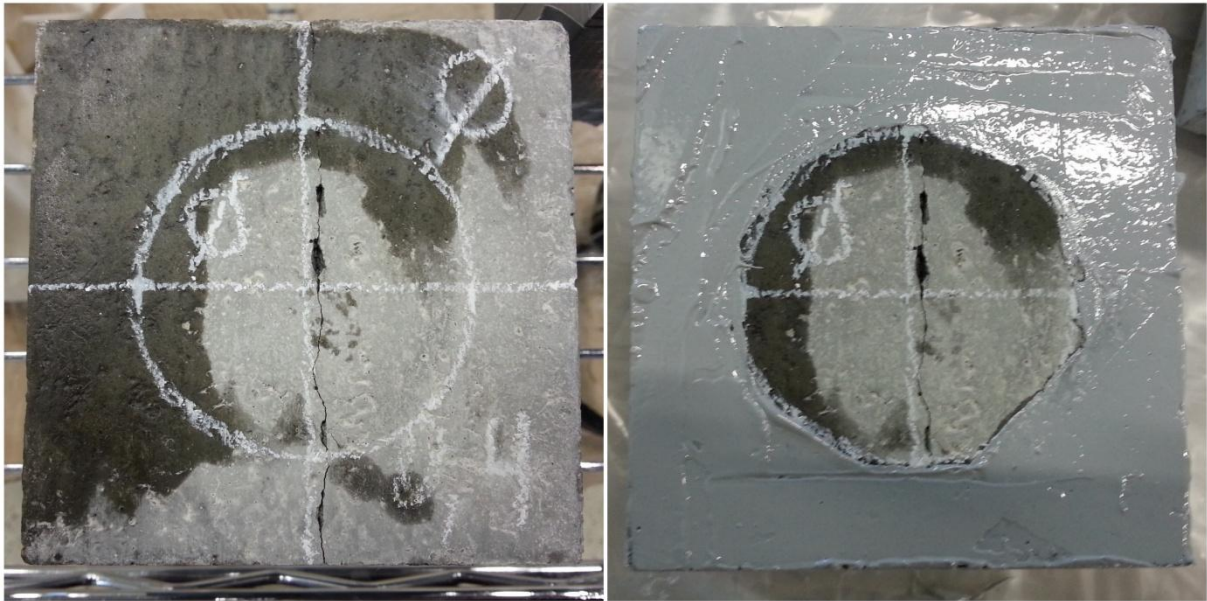
s = Koeffisient som avhenger av sementtypen

Dette ble regnet ut som en indikasjon på hva trykkfastheten burde ligge på før standard 28 dagers trykkfasthet.

5.2.3 Vannpermeabilitet

På grunn av problemer med gjennomføringen av den opprinnelige testmetoden ble en alternativ metode benyttet, og prøvestykkene ble testet for vanngjennomtrengning istedenfor vanninntrengning.

Alle flatene, bortsett fra bunnen, ble dekket med epoksy. På toppen gikk epoksyen bare inn til O-ringen, som vist i Figur 21.



Figur 21: Prøvestykker til testing av vanngjennomtrengning før og etter epoksybelegg.

Epoksybelegget ble lagt på i to omganger for å være sikker på at det skulle være helt tett.

Da epoksybelegget hadde tørket ble én og én terning testet. (En "dummy"-terning ble også satt inn i riggen for at det skulle være lettere å skru alt sammen). Terningen ble strammet til med to tvinger slik at risset ikke skulle utvides når trykket ble satt på. For at de største rissviddene ikke skulle bli for små var det viktig å ikke stramme for mye. Riggen ble satt opp på ei bølge for at vannet som trengte gjennom skulle samles og måles. Oppsettet er vist i Figur 22. Det ble satt på vanntrykk på 0,2 MPa i et tidsintervall på 2 minutter. Ut fra disse parametrene ble en permeabilitetskoeffisient regnet ut ved hjelp av Darcys lov (se kapittel 3.3.1).



Figur 22: Måling av vanngjennomtrengning.

Terningene ble lagt i vannbad før utførelsen av testen, slik at de var mettet av vann. Dette var for å unngå kapillære krefter i selve betongen og sikre at vanninntrengningen skjedde primært i risset. Vannet ville naturligvis trenge inn i selve betongen, men sannsynligvis ubetydelig på grunn av den høye kvaliteten sammenliknet med risset.

5.2.4 Kloridinntrengning

Prøvestykkene som ble brukt til testen var terninger. Allerede etter 14 dager ble de lagt i løsningen av $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Det var ikke mange nok lokk tilgjengelig på laben til å tette beholderne med. Isteden ble det lagt et stykke plast over hver beholder som deretter ble teipet igjen (se Figur 23).



Figur 23: Beholdere med prøvestykker i en løsning av $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Prøvestykkene lå i NaCl -løsningen i 48 til 50 dager. Temperaturen holdt seg rundt $21\text{ }^\circ\text{C}$ hele tiden.

Det ble boret ut to ganger åtte sjikt fra hver terning; én prøve fra betongen rundt risset i terningen og én fra terningens urissede del (se Figur 24).

Prøven fra den urissede delen av prøvestykke Q består bare av fire sjikt (fra 0-20 mm).



Figur 24: Prøvestykker der det er boret ut to prøver med betongstøv; i riss og utenfor riss.

6 Resultat

De viktigste resultatene er presentert under. For flere detaljer og utregninger, se vedlegg.

6.1 Ferskegenskaper

Synkmål	120 mm
Luftinnhold	2,7 %
Densitet	2386 kg/m ³

Tabell 3: Ferskegenskaper.

6.2 Trykkfasthet

Alle verdier i MPa

Prøvestykke	7 dager	14 dager	28 dager
A	78,1		
B	79,1		
C	77,2		
D		82,4	
E		85,7	
F		84,1	
T			93,0
U			94,0
V			91,5
Gjennomsnitt	78	84	93
Fasthetsklasse	B55	B60	B70

Tabell 4: Trykkfasthet.

6.3 Vannpermeabilitet

Prøvestykke	Rissvidde	Permeabilitetskoeffisient, K [m/s]
W	0,2	$1,5 \cdot 10^{-6}$
Æ	0,2	$3,6 \cdot 10^{-6}$
Ø	0,4	$5,2 \cdot 10^{-6}$
AA	0,4	$1,5 \cdot 10^{-5}$
CA	0,4	$2,3 \cdot 10^{-5}$

Tabell 5: Vannpermeabilitet.

6.4 Kloridinntrengning

I betong nær riss:

Prøvestykke	Rissvidde	Diffusjonskoeffisient, D [10^{-12} m ² /s]	Kloridkonsentrasjon på overflaten, C ₀ [% av sement]
H	0,2	9,9	4,1
J	0,2	69,0	2,1
G	0,4	79,2	2,6
K	0,4	26,9	3,1
M	0,4	72,3	3,1
L	0,6	46,3	2,6
P	0,6	6,1	5,1
Q	1,0	62,9	4,1
R	1,0	28,3	6,2
S	1,0	5,5	6,7

Tabell 6: Kloriddiffusjon i forhold til rissvidde.

I betong utenfor riss:

Prøvestykke	Diffusjonskoeffisient, D [10^{-12} m ² /s]	Kloridkonsentrasjon på overflaten, C ₀ [% av sement]
H	3,9	4,6
J	4,0	5,7
G	4,0	4,6
K	4,0	5,1
M	2,8	6,2
L	3,7	7,7
P	3,9	4,1
Q ⁱ	3,8	5,7
R	3,9	5,7
S	4,1	4,1

Tabell 7: Kloriddiffusjon utenfor riss.

ⁱ Denne prøven består bare av fire sjikt (fra 0-20 mm) innover i terningen.

7 Diskusjon

7.1 Trykkfasthet

I proporsjoneringen ble det lagt inn et lavt v/c -tall og høyt matriksvolum for å oppnå tilstrekkelig høy fasthet, tilsvarende B70-75. Trykkfastheten presentert i Tabell 4 stemmer godt overens med forventningene.

7.2 Metode for å lage riss

Tanken bak å lage riss ved å kløyve terningene på den måten som står beskrevet i kapittel 4.4, var at det skulle bli et riss som fant den "naturlige" veien gjennom betongen og lage et mest mulig realistisk riss. Det ble vurdert slik at denne metoden ville gi en riktigere fremstilling av riss enn ved for eksempel å sage over betongterningene. Ved å sage dem i to, ville rissflatene blitt helt jevne og glatte, noe som er lite realistisk i forhold til riss som oppstår i faktiske konstruksjoner. Ved å se på resultatene fra de andre testene (vannpermeabilitet og kloridinntrengning), kan det se ut som at den valgte metoden å lage riss på ikke er nøyaktig nok.

Kraften som krevdes for å dele hele terningen i to, og det faktum at det ble presset en kile inn i terningen, førte i mange tilfeller til at rissene litt større i den ene enden av terningen enn den andre. I tillegg var det av og til biter som skallet av under splittingen. Selv om de to terningdelene ble satt så tett sammen som mulig i de minste rissene, kan det ha vært variasjoner i rissvidden gjennom terningen. Noen terninger hadde også små variasjoner i rissvidden helt ytterst på grunn av små kanter som skallet av, men rissene hadde ellers riktig rissvidde hele veien rundt, med unntak av bunnflaten, der kilen var presset inn.

Dersom det skal gjøres flere undersøkelser der det er behov for å lage riss, kan det være lurt å revurdere metoden. Det kan være en idé å lage et spor i overflaten der det er ønsket at risset skal gå. Et forslag er å gjøre testene på sylindre, slik at det kan lages riss i prøvestykkene ved å dele dem i en bøyestrekfasthetstest [12] [7]. Betongens strekkapasitet er vesentlig lavere enn trykkapasiteten, og det kreves derfor mindre energi for å splitte prøvestykker på denne måten.

7.3 Permeabilitet

Målingene av vannpermeabilitet gikk ikke som planlagt, og resultatene som er presentert kommer fra en alternativ testmetode (se kapittel 5.2.3).

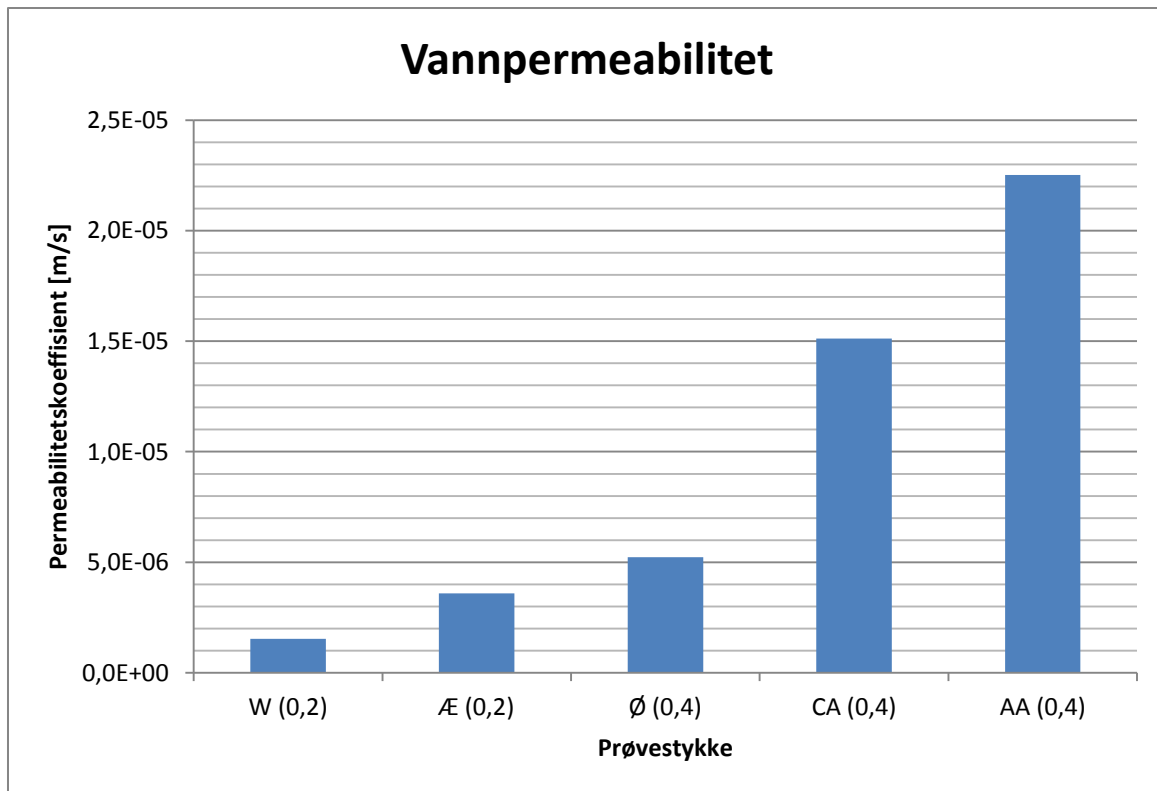
Den opprinnelige testen, etter standard prosedyre (se kapittel 4.5), førte til full vanngjennomtrengning gjennom rissene til alle kanter. Dette skjedde for alle rissviddene, og det var av den grunn ikke mulig å bygge opp vanntrykket selv ved den laveste rissvidden på 0,2 mm. Det ble derfor umulig å måle vanninntrengning på standardisert måte. Figur 25 viser hvordan rant gjennom terningene og ut av rissene.

Selv om dette forsøket ikke gav noen tallresultater indikerer det at selv små riss gir en betydelig økning i permeabiliteten.



Figur 25: Forsøk på å måle vannpermeabilitet.

Den alternative testmetoden gav ikke så mange resultater som ønsket, men tendensen ser ut til å være at det er høyere vanngjennomtrengning ved økende rissvidde (se Figur 26). Selv om alle sideflatene, bortsett fra toppen og bunnen, hadde to lag med epoksy, klarte vannet å trenge seg ut gjennom sidene på noen av terningene. Vanntrykket fylte risset og terningen med vann, og "blåste" opp epoksyen og lagde sprekker i teipskjøtene som vannet rant ut av. Vanngjennomtrengningen i risset gikk derfor ikke an å måle på prøvestykkene der dette var tilfelle.



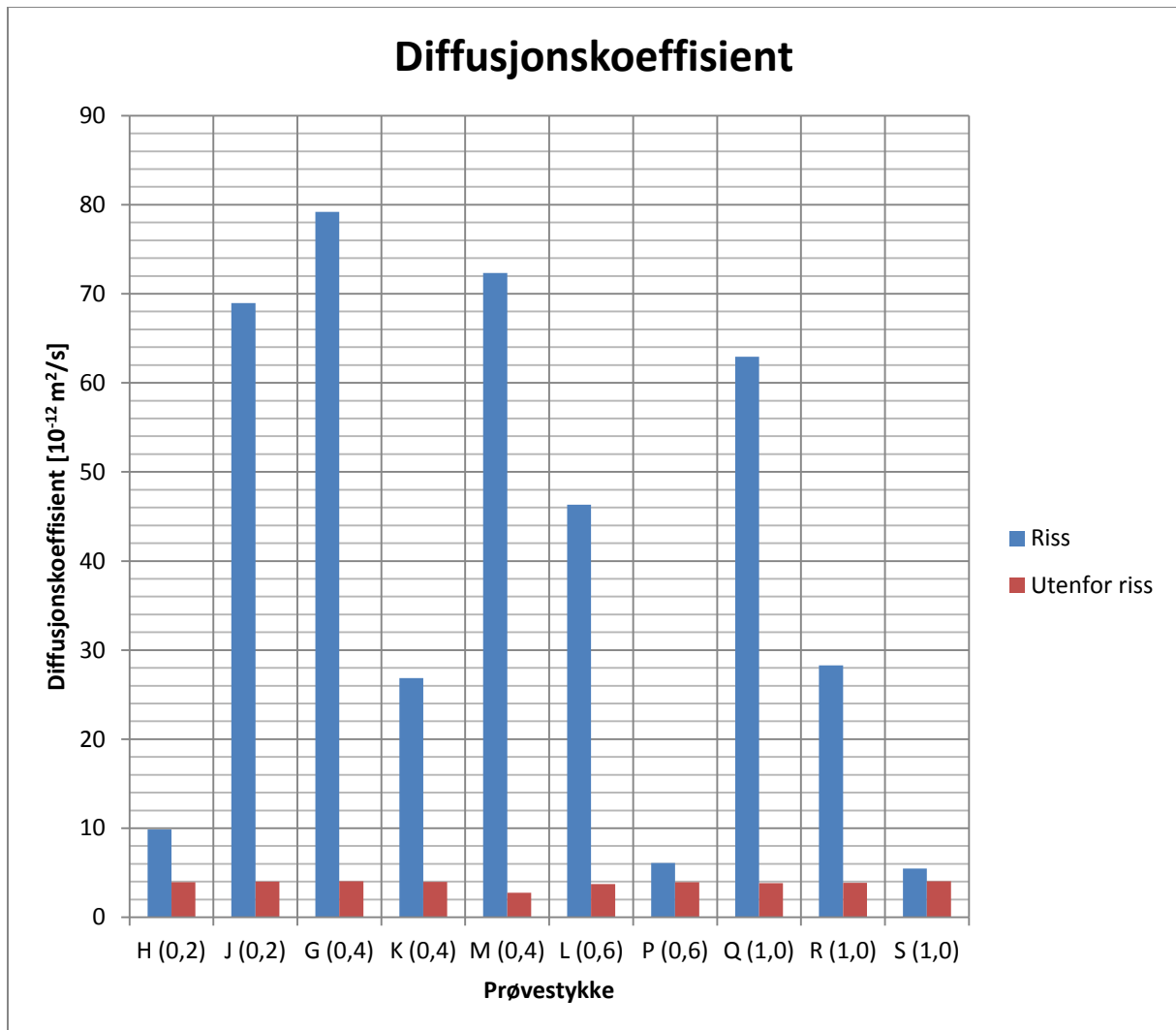
Figur 26: Vannpermeabilitet i forhold til rissvidde.

Permeabilitetskoeffisientene som kom fram i disse forsøkene er ganske høye. Figur 26 viser at de er i størrelsesorden 10^{-5} og 10^{-6} m/s. Figur 6 viser at for betong med tilsvarende v/c-tall kan det forventes en permeabilitetskoeffisient i størrelsesorden 10^{-14} m/s.

Dersom resultatene fra dette forsøket skal sammenlignes med kravet til største tillatte rissvidde etter norsk standard på ca 0,4 mm, er ikke kravet strengt nok, da det var full vanngjennomgang også for rissvidde på 0,2 mm. I tillegg til modifisert testmetode kan blant annet ujevnheter i rissene og rissviddene ha spilt en rolle her, og det må flere forsøk til for å kunne si noe sikkert. Det er mulig at rissvidden varierte noe innover i prøvestykket, men ved overflaten ble det tilstrebet å holde den ønskede rissvidden.

7.4 Kloridinntrengning

Som forventet var det dypere kloridinntrengning i betongen i rissene enn utenfor. Sannsynligvis har det kloridholdige vannet trengt raskt inn i prøvestykkene. Klorider har dermed fått tilgang til betongens "indre del" på grunn av risset.

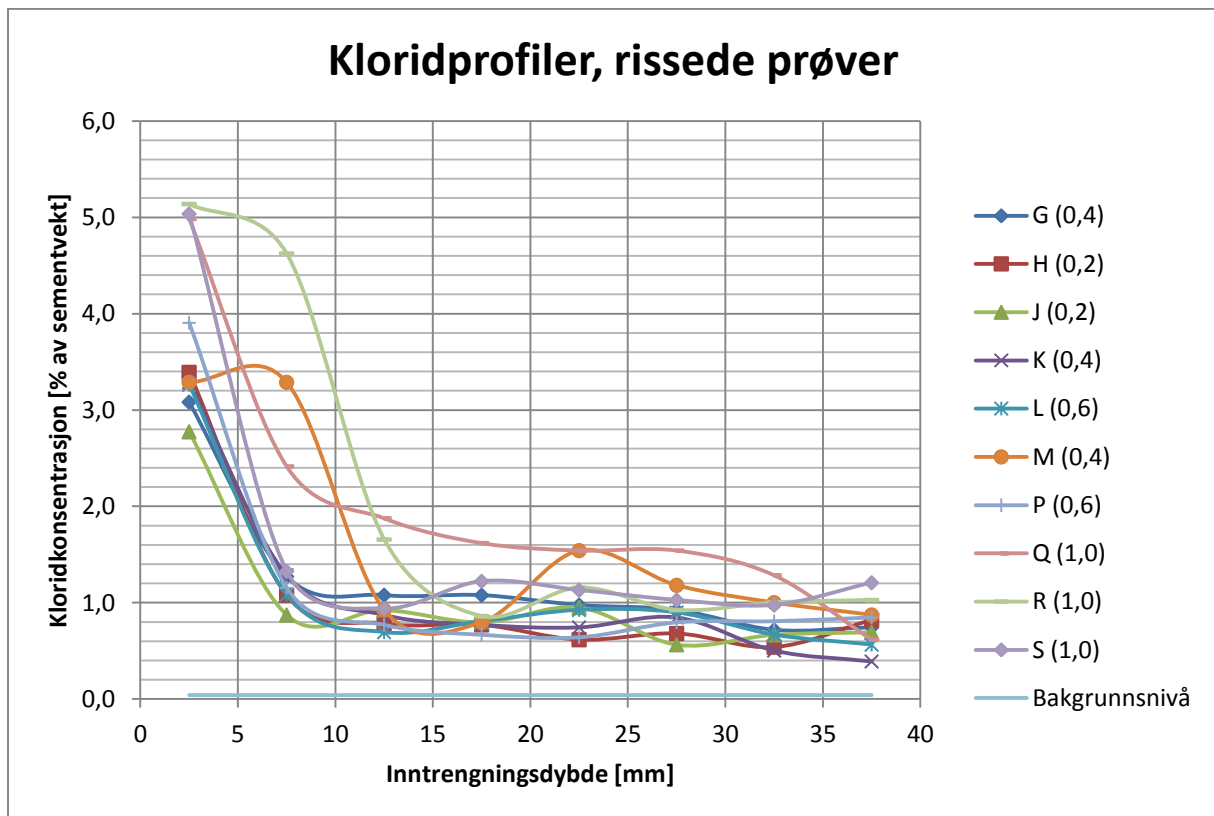


Figur 27: Diffusjonskoeffisient i forhold til rissede og urissede prøvestykker, samt rissvidde.

I Figur 27 vises det at diffusjonskoeffisienten for alle de urissede prøvene er ganske like, der verdien ligger på rundt $4 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$. Sammenlignet med verdiene i Tabell 1 tilsier det at betongen i de urissede prøvene har høy motstandsevne mot kloridinntrengning.

Resultatene for de rissede prøvene er varierende, og det er vanskelig å se noen sammenheng mellom rissvidde og diffusjonskoeffisient. Svært uventet var også resultatet som viser at prøvestykke S, med rissvidde 1,0 mm, har den laveste diffusjonskoeffisienten av alle de rissede betongprøvene (se Figur 27). Med sin verdi på $5,47 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ er den bare så vidt litt høyere enn diffusjonskoeffisientene til de urissede prøvene. Prøvestykke P og H, med rissvidde på henholdsvis 0,6 mm og 0,2 mm, hadde også vesentlig lavere diffusjonskoeffisient (under $10 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$) enn de andre rissede prøvestykkene. I forhold til tallene i Tabell 1 er den rissede betongens motstandsevne for kloridinntrengning lav. Dette er med unntak av de tre prøvestykkene S, P og H, som gir moderat motstandsevne for kloridinntrengning.

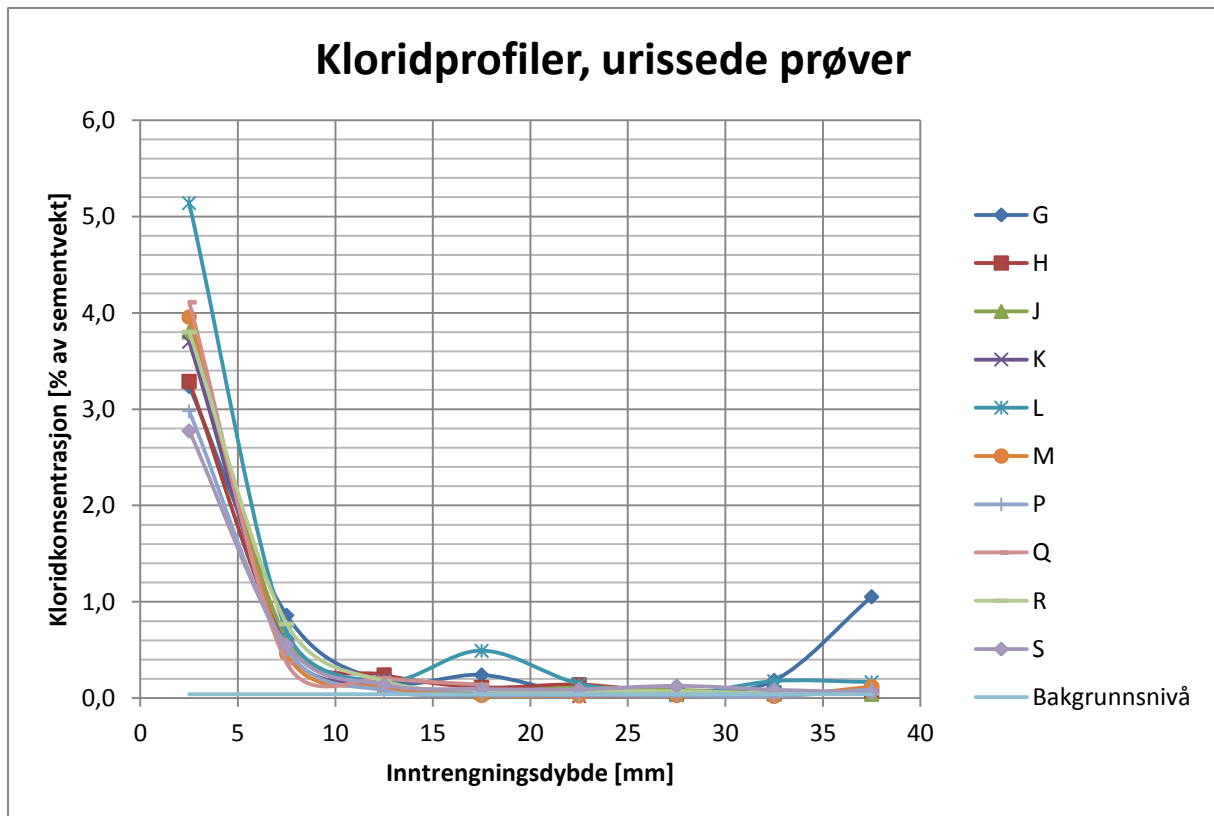
Resultatene viser at klorider trenger raskere inn i betongen dersom det er riss.



Figur 28: Kloridprofiler, rissede prøver.

Rissene i prøvestykkene som ble benyttet til denne testen, var gjennomgående. Utfallet av vannpermeabilitetsforsøket tilsier at NaCl-løsningen lett kunne trenge inn i og fylle hele sprekken. Som vist i Figur 28, avtar kloridkonsentrasjonen innover i prøvestykkene. Med noen unntak, ser det ut som at kloridkonsentrasjonen er ganske stabil fra omtrent 10 mm fra overflaten og innover i terningene. Kloridkonsentrasjonen ligger her mellom ca 0,6 og 1,2 % av sementvekten, igjen med noen unntak. Resultatene viser at ingen av de rissede prøvene tilfredsstiller kravet til kloridklasse Cl 0,40, på maksimalt 0,4 % av sementvekten, i henhold til NS-EN-206-1 [10], selv 40 mm inn i terningene. Kloridinnhold på 0,4 % av sementvekten er også nivået for det som generelt betegnes som kritisk kloridkonsentrasjon for konstruksjoner med vanlig armeringsstål. Med kloridkonsentrasjon større enn kritisk kloridkonsentrasjon er det fare for at armeringskorrosjon oppstår.

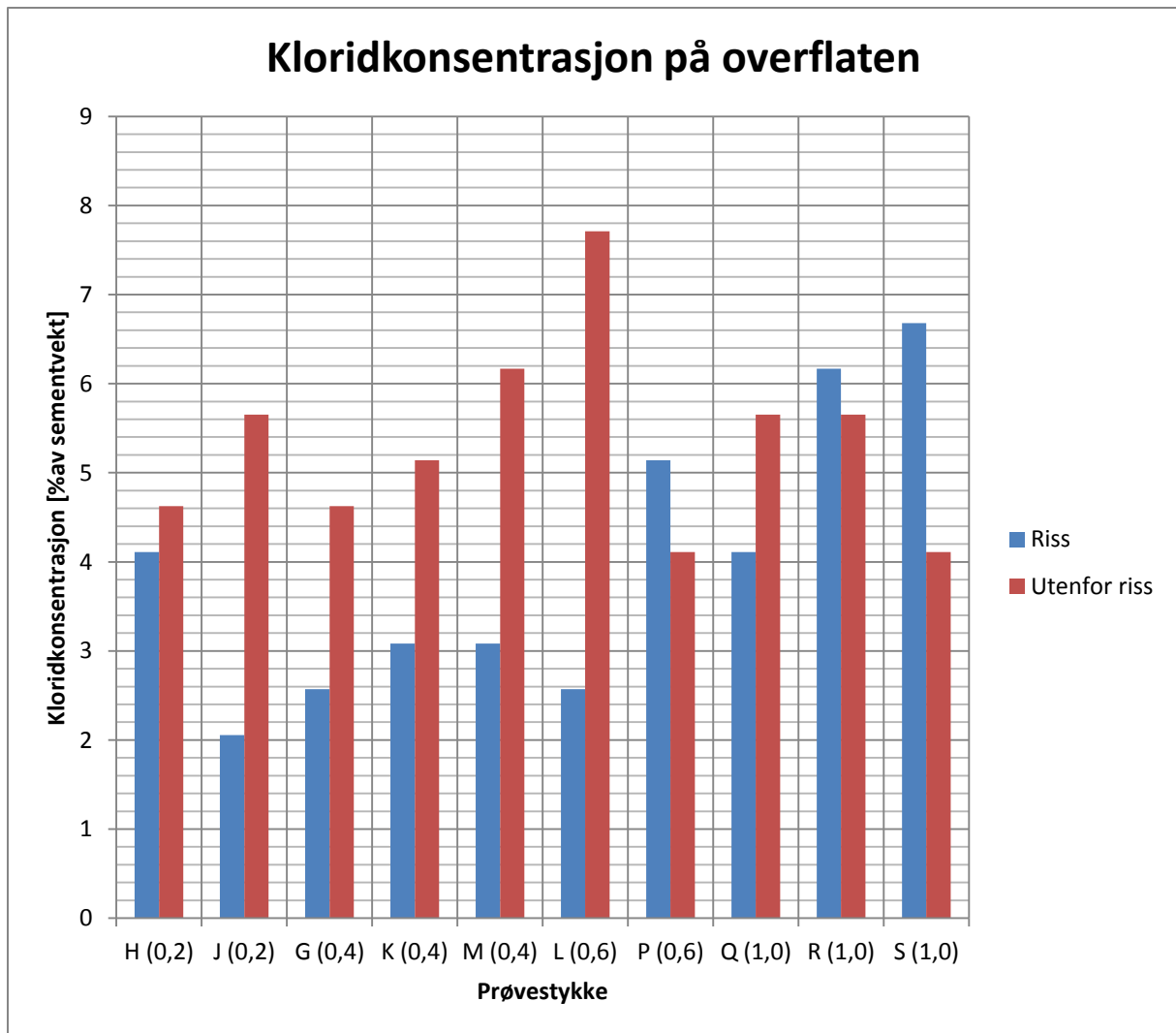
I noen prøver øker konsentrasjonen ganske kraftig et godt stykke inn i terningen.



Figur 29: Kloridprofiler, urissede prøver.

Kloridprofilene for urisset betong viser høy konsentrasjon like under overflaten og en ganske rask nedgang i kloridkonsentrasjon innover i prøvestykkene. Den lyseblå streken, "bakgrunnsnivå", i Figur 29, viser kloridinnholdet målt i referanseterninger som ikke har vært i NaCl-løsningen.

Kloridkonsentrasjonen for de fleste urissede prøvene er nesten tilbake på bakgrunnsnivået ca 20 mm inn i terningen, i motsetning til de rissede prøvene (se Figur 28) der ingen prøver har nådd opprinnelig nivå, selv 40 mm inn i prøvestykket. Allerede 10 mm inn i terningene er kloridkonsentrasjonen i alle de urissede prøvene innenfor kravet til kloridklasse Cl 0,40 i NS-EN-206-1 [10] på maksimalt 0,4 % av sementvekten. De fleste oppfyller også kravet til en strengere kloridklasse CL 0,20, der største tillatte kloridkonsentrasjon er 0,2 % av sementvekten. Det er liten fare for armeringskorrosjon i de urissede prøvene siden kloridinnholdet er lavere enn kritisk kloridkonsentrasjon.



Figur 30: Overflatekonsentrasjon i forhold til rissede og urissede prøvestykker, samt rissvidde.

Kloridkonsentrasjonen på overflaten av betongterningene varierer fra omtrent 2 % av sementen til omtrent 7,5 % (se Figur 30). Generelt er overflatekonsentrasjonen høyest utenfor rissene, men med noen avvik. Som en trend kan det se ut som at overflatekonsentrasjonen i rissene øker med rissvidden, men også her er det noen avvik.

I og med at prøvene med og uten riss er tatt fra samme prøvestykke, ser det ut som at riss påvirker kloridinntrengningen først og fremst lokalt i betongen nær risset.

7.5 Feilkilder

7.5.1 Riss

Rissene buktet seg svært forskjellig gjennom terningene. Noen prøvestykker ble utelatt fra videre testing fordi rissene ikke gikk gjennom hele prøvestykket, eller fordi store biter løsnet (se Figur 31).



Figur 31: Venstre: Riss som ikke går gjennom hele prøvestykket. Høyre: Riss med biter som løsnet.

Det kan ha vært variasjoner i rissvidden gjennom terningene selv om det ble tilstrebet å holde riktig rissvidde på overflaten. Noen terninger hadde små variasjoner i rissvidden helt ytterst på grunn av små kanter som skallet av. På bunnflaten av terningene, der kilen ble presset inn avvek også rissvidden fra det som var ønsket.

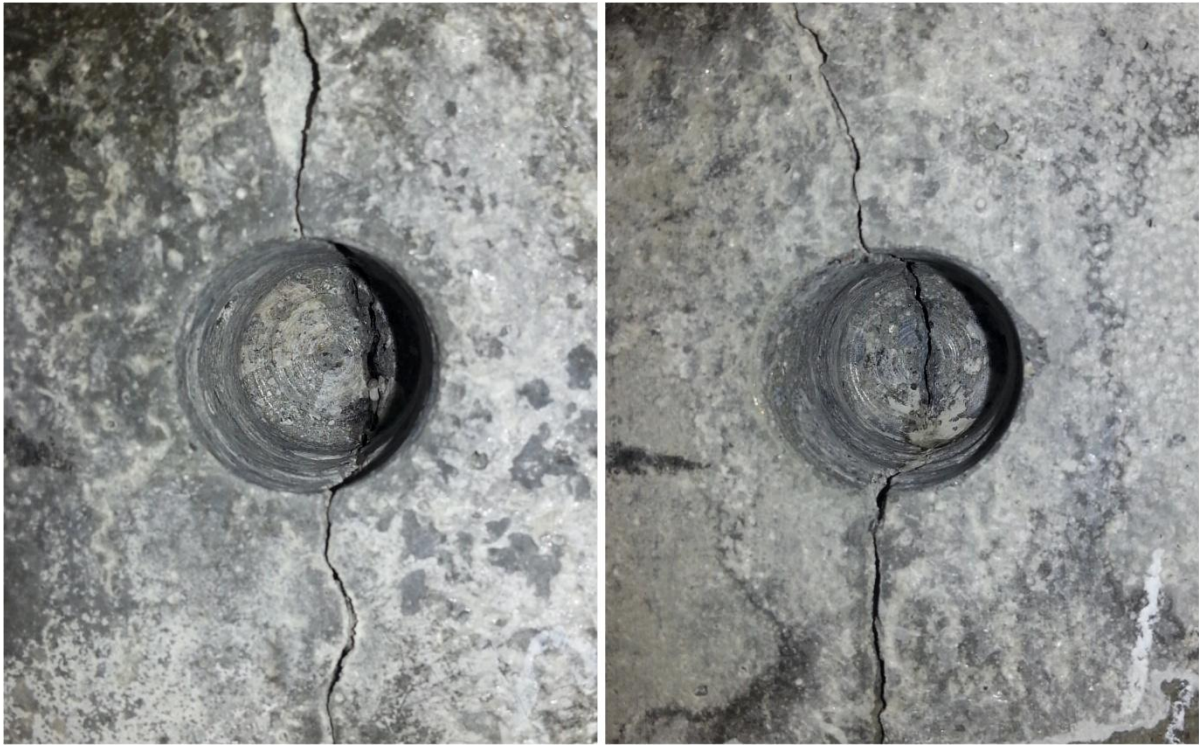
7.5.2 Permeabilitet

Ved testing av prøvestykke AA, ble ikke pakningen på toppen helt tett, selv etter mange forsøk.

Testing av prøvestykke CA måtte avbrytes etter 30 sekunder, da vann trengte gjennom epoksyen.

7.5.3 Kloridinntrengning

Utboringen av betongstøv i risset ble forsøkt gjort slik at risset var midt i prøven. Siden rissene buktet seg ulikt gjennom terningen ble likevel ikke risset helt i senter av alle sjiktene i prøvene (se Figur 32).



Figur 32: Prøvestykker der det er boret ut betongstøv i riss. Venstre: Risset er ikke i senter av prøven i de innerste sjiktene. Høyre: Risset er omtrent i senter i alle sjiktene av prøven.

Kalibreringskurven i RCT-testen avviker noe fra ønsket kurve. Det er kalibreringsvæsken med lavest kloridinnhold (0,005% Cl⁻) som gjør utslaget.

8 Konklusjon

Resultatene fra vanngjennomtrengningsforsøket viser høyere permeabilitetskoeffisient enn forventet, også for minste rissvidde i testprogrammet, på 0,2 mm. På grunn av valgte, tilpassede testmetode og mulige variasjoner i rissvidde gjennom rissene, er det knyttet usikkerhet til gyldigheten av tallverdien til disse resultatene. Uansett ser det ut som at rissvidder som tilfredstiller kravet til største tillatte rissvidde i henhold til NS-EN-1992:1-1, kan påvirke betongens permeabilitet og dermed også betongens bestandighet. I hvilken grad et riss innenfor dette kravet har betydning for permeabiliteten er usikkert, på grunn av de mange usikkerhetsmomentene som er knyttet til forsøket. Det vil kreve videre testing for å kunne trekke en klar konklusjon. Resultatene indikerer i alle tilfeller at permeabiliteten øker med rissvidden.

Kloridinntrengning i betong øker betraktelig dersom det er riss i betongen. Resultatene fra vanngjennomtrengningsforsøket indikerer at kloridholdig vann fyller opp et riss fort, slik at kloridene raskt kommer langt inn i betongen. Betongen som befinner seg nærmest risset vil oppleve kloriddiffusjon både fra selve betongoverflaten og fra rissflatene. Kloridkonsentrasjonen øker dermed lokalt i betongen rundt risset. Diffusjonskoeffisienten er betydelig høyere i betongen nær risset enn i betongen utenfor risset, men resultatene viser ingen sammenheng mellom rissvidde og diffusjon. Dette strider imot det som er skrevet i teorigapitlet, og det er nødvendig med videre testing for å kunne verifisere sammenhengen mellom rissvidde og diffusjon. Diffusjonskoeffisientene viser at urisset betong har høy motstandsevne mot kloridinntrengning, mens opprisset betong har lav motstandsevne mot kloridinntrengning.

Kloridkonsentrasjonen på overflaten av betongen er størst der det ikke er riss. Likevel viser resultatene i oppgaven at kloridkonsentrasjonen på overflaten av betongen i rissene øker med rissvidden. Et stykke inn i terningene er kloridkonsentrasjonen høyere i risset betong enn i urisset betong.

Resultatet fra prøvingen og litteraturstudiet konkluderer med at selv små rissvidder har effekt på betongens bestandighet.

9 Litteraturliste

- [1] Ø. Bjøntegaard, «Chapter 13 - Shrinkage, Cracking,» i *TKT 4215 Concrete Technology 1*, Norwegian University of Science and Technology, 2009.
- [2] B. Sjøpler, *Betongboka*, 2 red., Oslo: Gyldendal Undervisning, 2004.
- [3] S. Jacobsen, B. Gérard og J. Marchand, *Riss i betong: observasjon, selvreparasjon, permeabilitet og bestandighet - en litteraturstudie*, Norges byggforskningsinstitutt, 1998.
- [4] S. Y. Jang, B. S. Kim og B. H. Oh, «Effect of crack width on chloride diffusion coefficients of concrete by steady-state migration tests,» *Cement and Concrete Research*, pp. 9-19, 2011.
- [5] F. H. Wittmann, «Crack formation and fracture energy of normal and high strength concrete,» *Sadhana*, nr. 27, pp. 413-423, August 2002.
- [6] *Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner, Del 1-1: Almenne regler og regler for bygninger*, NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008, 2004.
- [7] S.-T. Yi, T.-Y. Hyun og J.-K. Kim, «The effects of hydraulic pressure and crack width on water permeability of penetration crack-induced concrete,» *Construction and Building Materials*, nr. 25, pp. 2576-2583, 2011.
- [8] J. Gunnarsson, «Bakterier lagar betongsprickor,» 20 mai 2015. [Internett]. Available: <http://www.processnet.se/alla/bakterier-lagar-betongsprickor/>. [Funnet 21 mai 2015].
- [9] *Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner*, NS-EN 1990:2002+NA:2008, 2002.
- [10] *Betong - Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar*, NS-EN 206-1:2000, 2000.
- [11] Norsk Havneingeniørforening, *Bestandige betongkaier Del 2: Praktiske retningslinjer for bestandighetsprosjektering og kvalitetskontroll av betongarbeider*, 3 red., PIANC Norge/Norsk Havneingeniørforening, 2009.
- [12] C.-M. Aldea, S. P. Shah og A. Karr, «Permeability of cracked concrete,» *Materials and Structures*, nr. 32, pp. 370-376, Juni 1999.
- [13] E. Sellevold, «Chapter 14 - Permeability, moisture condition,» i *TKT 4215 Concrete Technology 1*, Norwegian University of Science and Technology, 2004.
- [14] «The Constructor, Civil Engineering Home,» [Internett]. Available: <http://theconstructor.org/practical-guide/water-cement-ratio-mix-design/5874/>. [Funnet 28 Mai 2015].
- [15] «Bygg uten grenser,» [Internett]. Available: <http://www.byggutengrenser.no/fordeler/tettheter-hovedparameter>. [Funnet 28 Mai 2015].

- [16] E. J. Sellevold, «Chapter 7 - Pozzolana,» i *TKT 4215 Concrete Technology 1*, Norwegian University of Science and Technology, 2008.
- [17] E. Sellevold, «Chapter 8 - Porosity, pore structure,» i *TKT 4215 Concrete Technology 1*.
- [18] G. Brown, «Darcy's Law Basics and More,» [Internett]. Available: <http://biosystems.okstate.edu/darcy/LaLoi/basics.htm>. [Funnet 20 Mai 2015].
- [19] M. Geiker, «Chapter 16 - Reinforcement corrosion,» i *TKT 4215 Concrete Technology 1*, Norwegian University of Science and Technology, 2012.
- [20] A. Neville, «Chloride Attack of reinforced concrete: an overview,» *Materials and Structures*, nr. 28, pp. 63-70, 1995.
- [21] «Bygg uten grenser,» [Internett]. Available: <http://www.byggutengrenser.no/fordeler/armeringskorrosjon>. [Funnet 28 Mai 2015].
- [22] S. Smeplass, *Proporsjoneringsark*.
- [23] Statens vegvesen, «Håndbok 14.62 Undersøkelse av fersk betong,» i *Håndbok R210 Laboratorieundersøkelser*, 2005.
- [24] *Prøving av herdnet betong - Del 2: Støping og herdning av prøvelegemer for fasthetsprøving*, NS-EN 12390-2:2009, 2009.
- [25] *Prøving av fersk betong - Del 2: Synkmål*, NS-EN 12350-2:2009, 2009.
- [26] *Prøving av fersk betong - Del 7: Luftinnhold - Trykkmetoder*, NS-EN 12350-7:2009, 2009.
- [27] *Prøving av fersk betong - Del 6: Densitet*, NS-EN 12350-6:2009, 2009.
- [28] Statens vegvesen, «Håndbok 14.663 Vanninntrengning,» i *Håndbok R210 Laboratorieundersøkelser*, 2005.
- [29] NT Build 443, Nordtest, 1995.
- [30] RCT, Germann Instruments.
- [31] S. Smeplass, *Kloriddiffusjon*.
- [32] *Prøving av herdnet betong - Del 3: Prøvelegemers trykkfasthet*, NS-EN 12390-3:2009, 2009.

10 Vedlegg

Innhold

Vedlegg A

- Proporsjoneringsark
- Betongresept
- Siktekurver

Vedlegg B

- Utgning av densitet

Vedlegg C

- Kloridprofiler m/utgning av diffusjonskoeffisient og overflatekonsentrasjon
- Omregning av kloridinnhold fra % av betongvekt til % av sementvekt

Vedlegg D

- Målinger fra RCT-test
- Kalibreringskurve

Vedlegg E

- Utgning av vannpermeabilitetskoeffisient

Vedlegg F

- Utgning av trykkfasthet

Vedlegg G

- Materialdata

Vedlegg A

Proporsjoneringsark

Betongresept

Siktekurver

Allle delmaterialer bortsett fra vann og TSS angis i tørr vekt. Ved beregning av volum, densiteter og masseforhold regnes vanninnholdet i TSS med i den tilvarende vannmengden. Dette gjelder også korrigert resept. Dersom innveid mengde TSS avviker fra proporsjonert mengde korrigeres masseforhold og mengde fritt vann i korrigert resept automatisk.

Merk at for pozzolaner, fillere og tilsetningsstoffer oppgis tørrstoffinnhold og fukt på våt basis, for tilslag på tørr basis. Fiber regnes ikke med i matriksvolumet.

Prosj./id.: Masteroppgave 2015/GFG

Blandevolum:	70 liter
Dato:	
Tidspunkt for vanntilsetning	
Ansvarlig:	
Utført av:	

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Industrisement	464,2	32,492			32,492
Elkem Microsilica	23,2	1,625	0	0,000	1,625
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
Fritt vann	171,0	11,973		-0,662	11,311
Absorbert vann	8,6	0,601			0,601
Forsand 0-8 mm	927,5	64,924	0,0	0,000	64,924
Velde 8-16 mm	790,1	55,306	0,0	0,000	55,306
Årdal 8/16mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Dynamon SX-N	11,6	0,812	81,5	0,662	0,812
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
Stålfiber	0,0	0,000			0,000
PP-fiber	0,0	0,000			0,000

11,912

*Se fotnote på delark "Proporsjonering" ** NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

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

Sammensatt tilslag

Fraksjon	Navn	Densitet [kg/m ³]	Abs. fukt [%]	Alk. reakt. [%]	Klorider [%]	Andel		Bruk
						volum	vekt	
I	Forsand 0-8 mm	2650	0,5	0,0	0,00	0,540	0,540	ok
II	Velde 8-16 mm	2650	0,5	0,0	0,00	0,460	0,460	ok
III	Ardal 8/16mm	2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
IV	Ardal 16/22 mm	2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
V		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
VI		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
VII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
VIII		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
IX		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
X		2700	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
Sammensatt		2650		0,0	0,00	1,000	1,000	

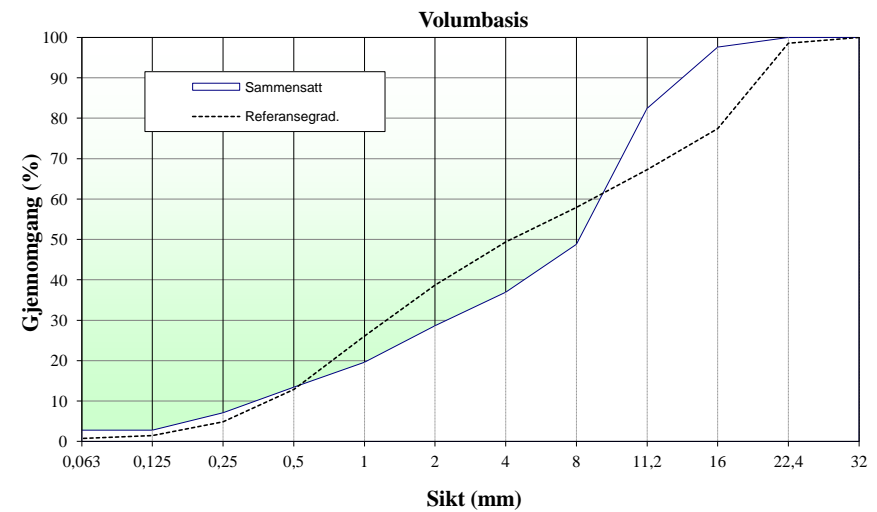
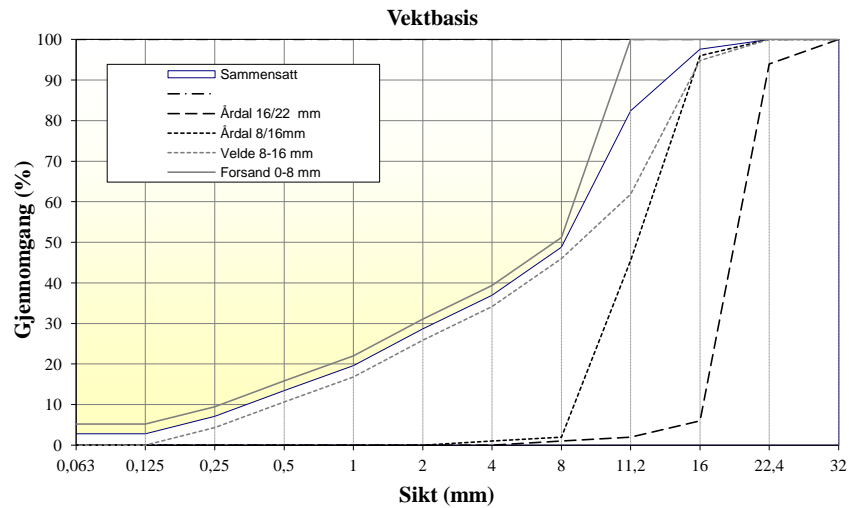
Finhetsmoduler	
FM _{vekt} =	4,96
FM _{vgl} =	4,96
FM _{ref} =	4,82
FM _g =	5,07

Tilpass til ref. gradering, Ctrl T

Sett ref. gradering, Ctrl R

Tilpass til FM_g, Ctrl F

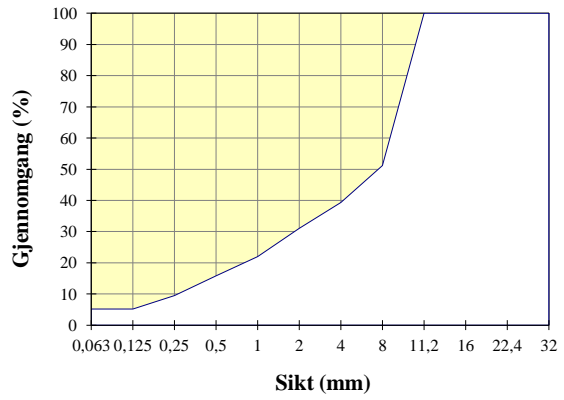
Åpning	Gjennomgang		Ref. grad. [vol. %]	Vekt ved tilpasning
	vol.[%]	vekt [%]		
32	100,0	100,0	100,0	1
22,4	100,0	100,0	98,6	1
16	97,6	97,6	77,4	1
11,2	82,4	82,4	67,3	1
8	48,8	48,8	58,0	1
4	37,0	37,0	49,3	1
2	28,7	28,7	38,7	1
1	19,6	19,6	26,1	2
0,5	13,4	13,4	12,9	2
0,25	7,1	7,1	4,8	2
0,125	2,8	2,8	1,5	2
0,063	2,8	2,8	0,8	2



Fraksjon I

Type:	Forsand 0-8 mm
Dato:	
FM =	4,79

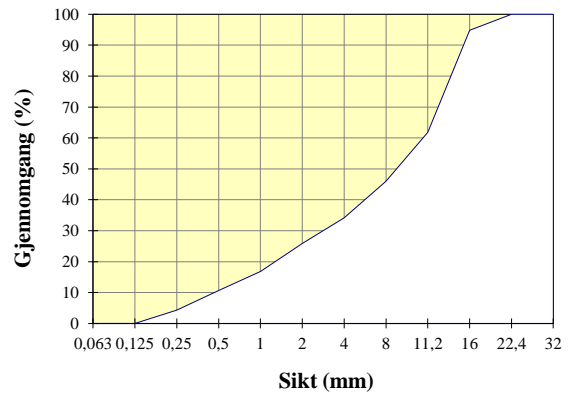
Åpning	Sikterest (g)		Sikterest (%)	Gjennomgang (%)
	1	2		
32	0	0	0,0	100,0
22,4	0	0	0,0	100,0
16	0	0	0,0	100,0
11,2	0	0	0,0	100,0
8	895	895	48,8	51,2
4	1112	1112	60,7	39,3
2	1264	1264	69,0	31,0
1	1430	1430	78,0	22,0
0,5	1543	1543	84,2	15,8
0,25	1659	1659	90,5	9,5
0,125	1738,0	1738,0	94,8	5,2
0,063	1738,0	1738,0	94,8	5,2
Bunn	1833	1833		



Fraksjon II

Type:	Velde 8-16 mm
Dato:	
FM =	5,17

Åpning	Sikterest (g)		Sikterest (%)	Gjennomgang (%)
	1	2		
32	0	0	0,0	100,0
22,4	0	0	0,0	100,0
16	95	95	5,2	94,8
11,2	700	700	38,2	61,8
8	990	990	54,0	46,0
4	1207	1207	65,8	34,2
2	1359	1359	74,1	25,9
1	1525	1525	83,2	16,8
0,5	1638	1638	89,4	10,6
0,25	1754	1754	95,7	4,3
0,125	1833	1833	100,0	0,0
0,063	1833	1833	100,0	0,0
Bunn	1833	1833	100,0	0,0



Vedlegg B

Utregning av densitet

Densitet

$$D=(m_2-m_1)/V$$

Densitet	D	2386	kg/m³
Betongens masse*	m_2-m_1	19,085	kg
Beholderens volum	V	0,008	m ³

* Beholderens masse med innhold - beholderens masse uten innhold

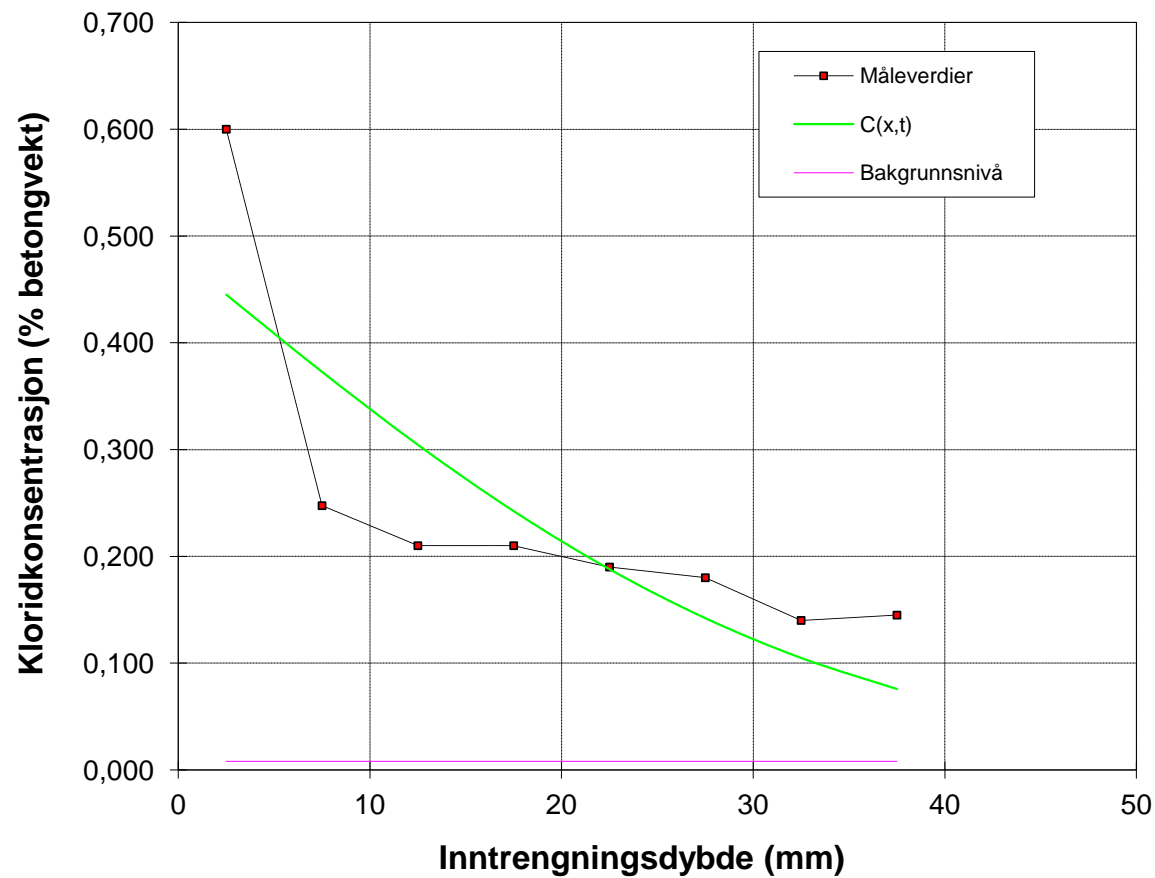
Vedlegg C

Kloridprofiler m/utregning av diffusjonskoeffisient og overflatekonsentrasjon

Omregning av kloridinnhold fra % av betongvekt til % av sementvekt

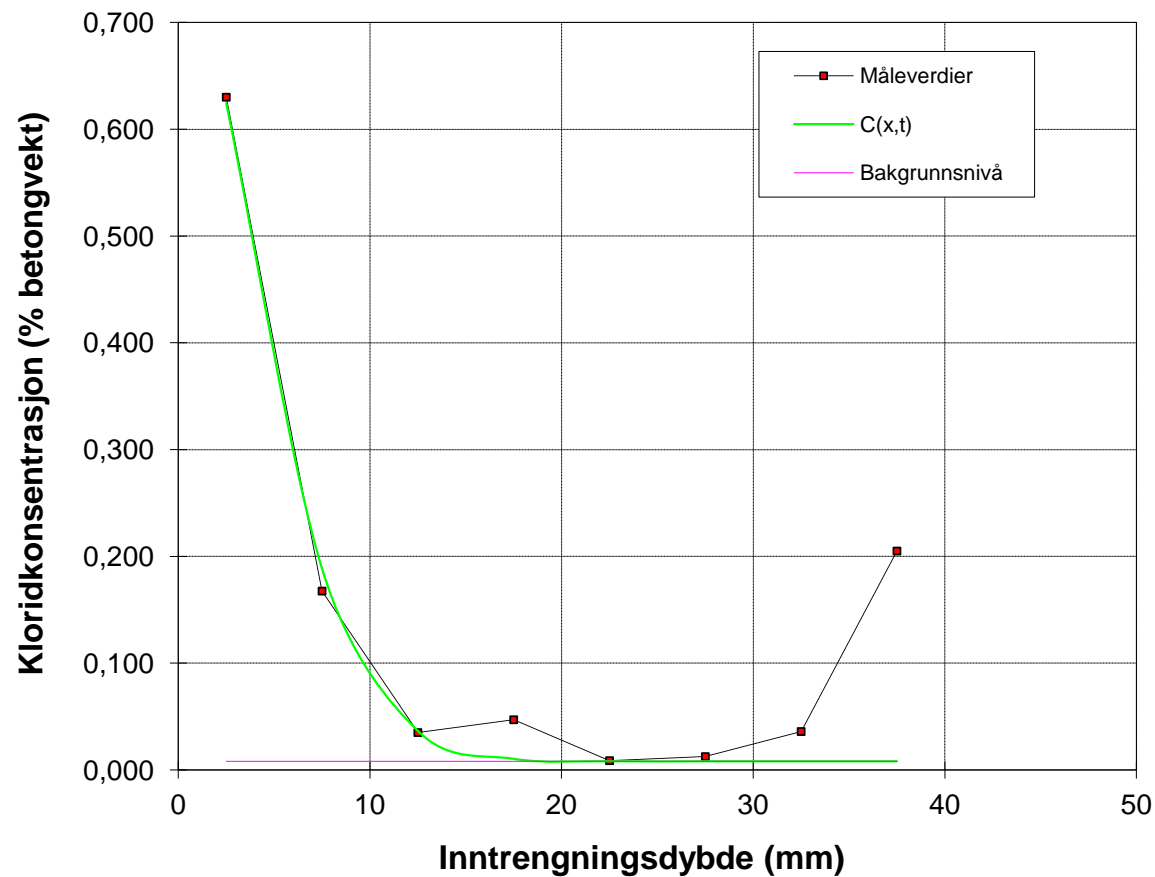
Ekspontert tid	1152	timer
Bakgrunn	0,008	% betong
C_0	0,482	% betong
D	79,19	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,8018	
Inntrengning	242,3	g/m^2
k (0.1 %)	91,7	mm

x	målt	status
2,5	0,600	ok
7,5	0,248	ok
12,5	0,210	ok
17,5	0,210	ok
22,5	0,190	ok
27,5	0,180	ok
32,5	0,140	ok
37,5	0,145	ok



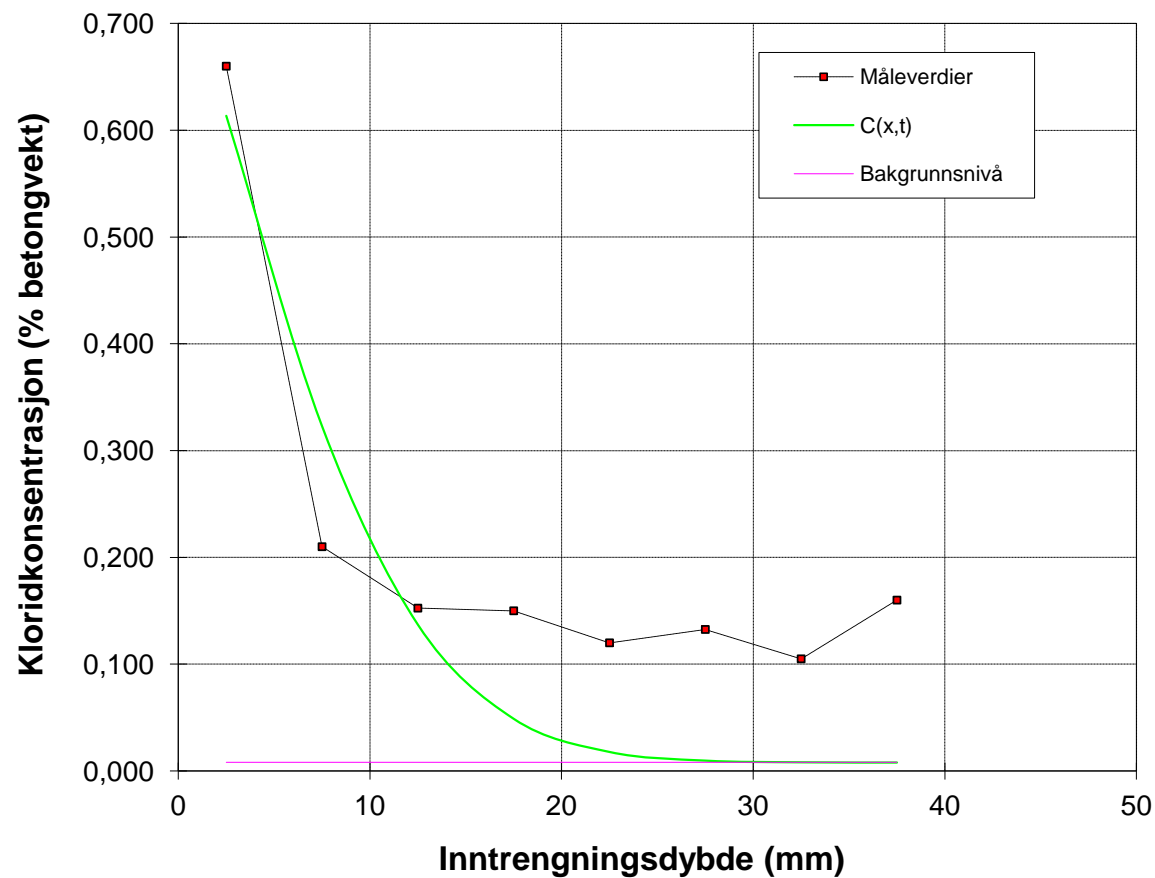
Ekspontert tid	1152	timer
Bakgrunn	0,008	% betong
C_0	0,934	% betong
D	4,03	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9476	
Inntrengning	148,1	g/m^2
k (0.1 %)	26,2	mm

x	målt	status
2,5	0,630	ok
7,5	0,168	ok
12,5	0,035	ok
17,5	0,047	ok
22,5	0,009	ok
27,5	0,013	ok
32,5	0,036	ok
37,5	0,205	ok



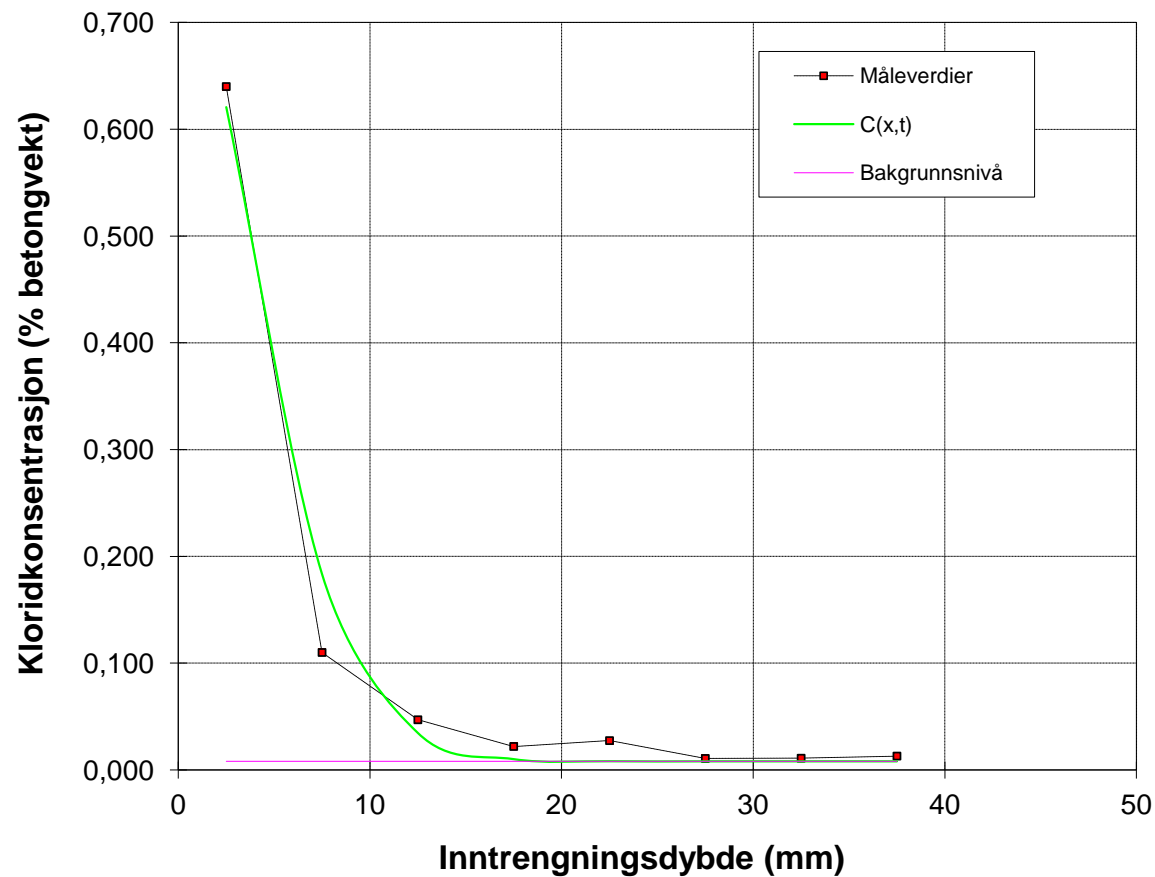
Ekspontert tid	1152	timer
Bakgrunn	0,008	% betong
C_0	0,782	% betong
D	9,86	10^{-12} m ² /s
R ²	0,9270	
Inntrengning	217,7	g/m ²
k (0.1 %)	38,9	mm

x	målt	status
2,5	0,660	ok
7,5	0,210	ok
12,5	0,153	ok
17,5	0,150	ok
22,5	0,120	ok
27,5	0,133	ok
32,5	0,105	ok
37,5	0,160	ok



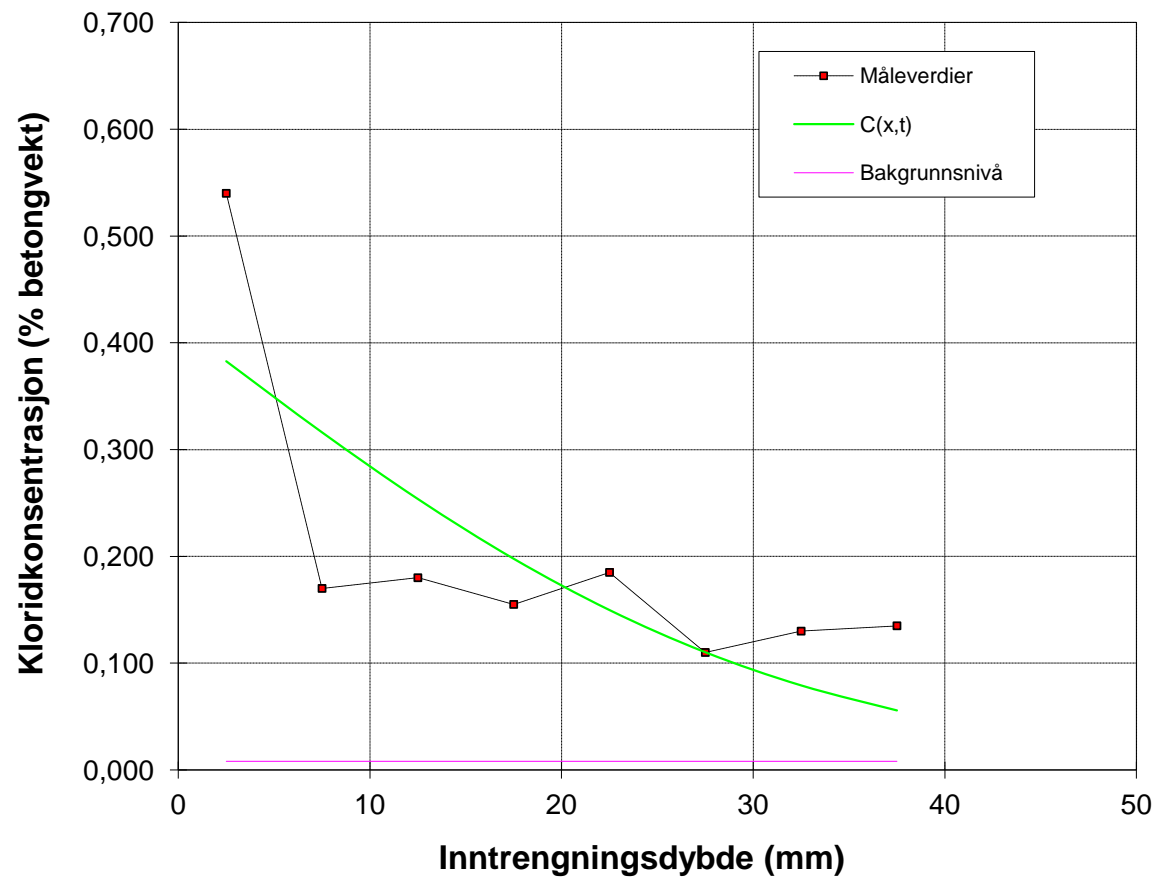
Ekspontert tid	1152	timer
Bakgrunn	0,008	% betong
C_0	0,934	% betong
D	3,93	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9901	
Inntrengning	135,5	g/m^2
k (0.1 %)	25,9	mm

x	målt	status
2,5	0,640	ok
7,5	0,110	ok
12,5	0,047	ok
17,5	0,022	ok
22,5	0,028	ok
27,5	0,011	ok
32,5	0,011	ok
37,5	0,013	ok



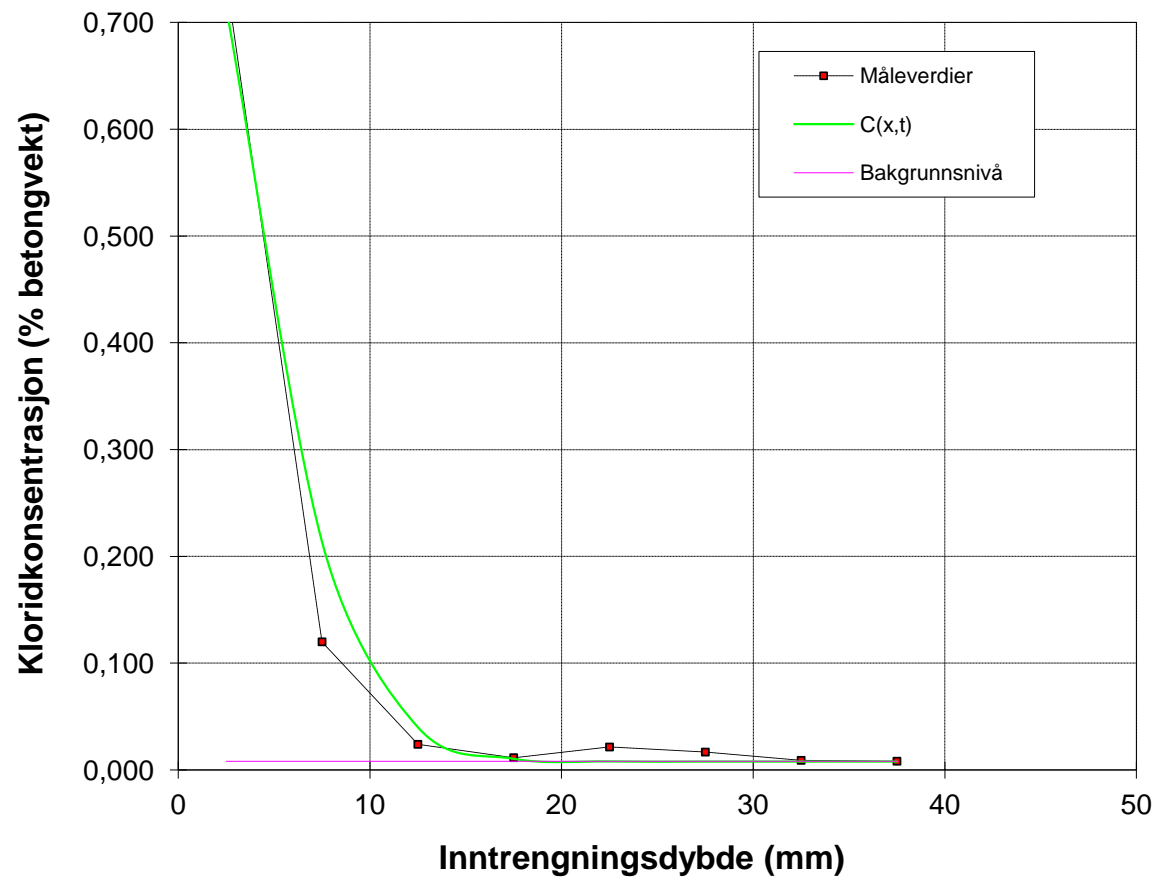
Ekspontert tid	1152	timer
Bakgrunn	0,008	% betong
C_0	0,417	% betong
D	68,95	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,7398	
Inntrengning	201,8	g/m^2
k (0.1 %)	80,0	mm

x	målt	status
2,5	0,540	ok
7,5	0,170	ok
12,5	0,180	ok
17,5	0,155	ok
22,5	0,185	ok
27,5	0,110	ok
32,5	0,130	ok
37,5	0,135	ok



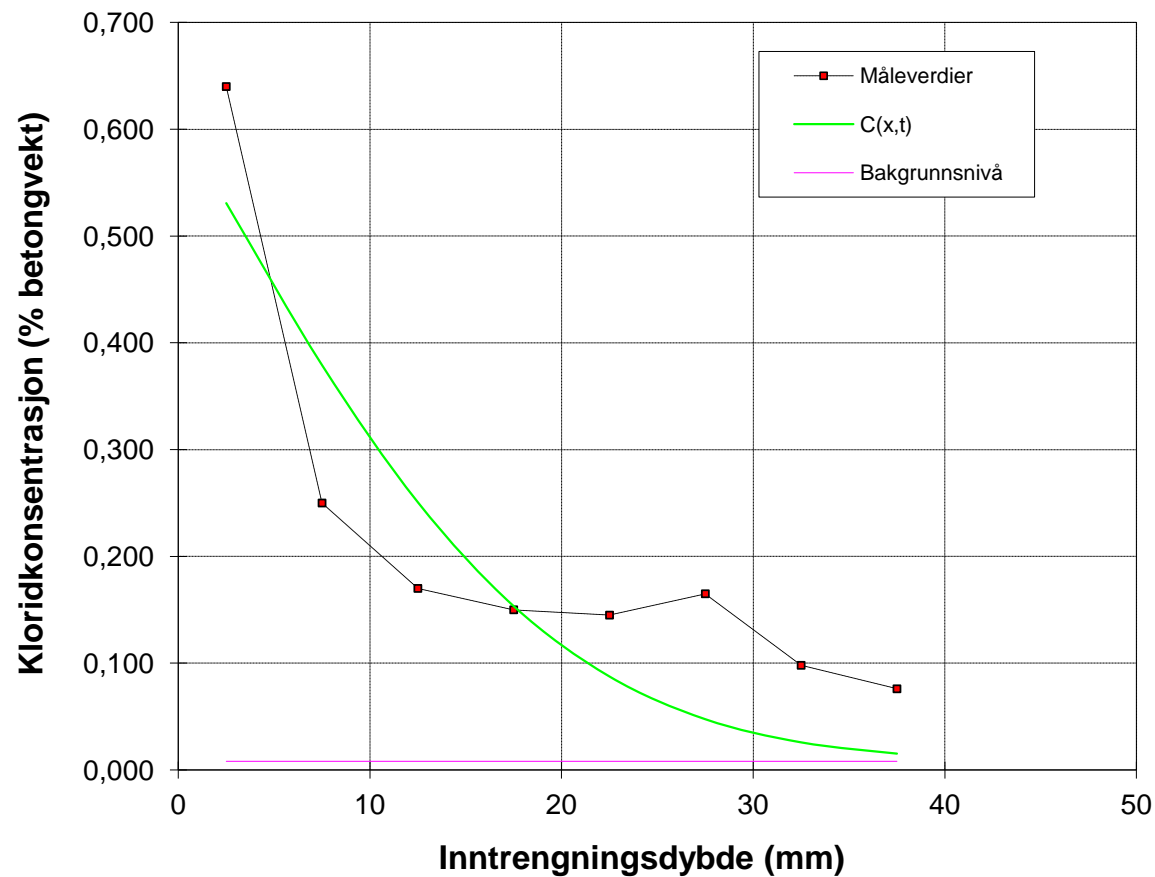
Ekspontert tid	1152	timer
Bakgrunn	0,008	% betong
C_0	1,070	% betong
D	4,01	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9895	
Inntrengning	150,3	g/m^2
k (0.1 %)	27,2	mm

x	målt	status
2,5	0,740	ok
7,5	0,120	ok
12,5	0,024	ok
17,5	0,012	ok
22,5	0,022	ok
27,5	0,017	ok
32,5	0,009	ok
37,5	0,008	ok



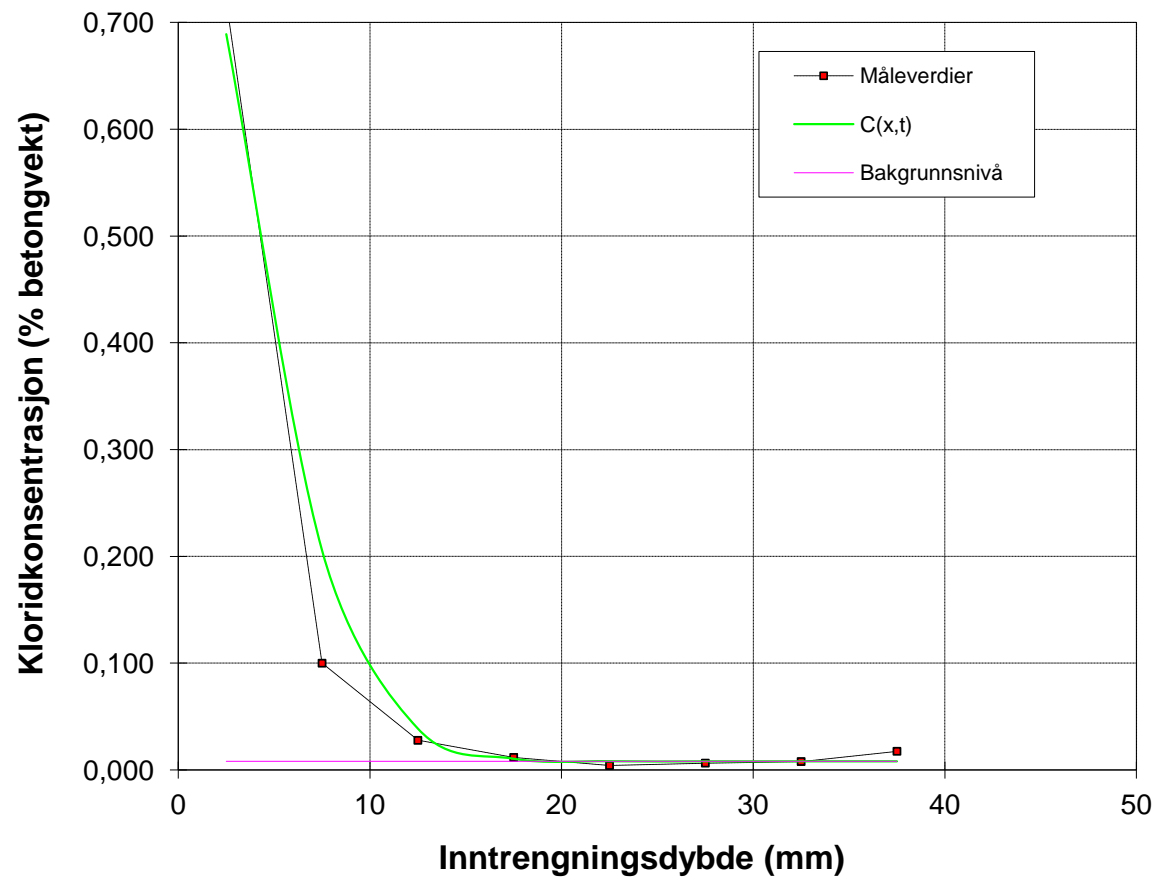
Ekspontert tid	1152	timer
Bakgrunn	0,008	% betong
C_0	0,611	% betong
D	26,87	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,8825	
Inntrengning	224,7	g/m^2
k (0.1 %)	58,8	mm

x	målt	status
2,5	0,640	ok
7,5	0,250	ok
12,5	0,170	ok
17,5	0,150	ok
22,5	0,145	ok
27,5	0,165	ok
32,5	0,098	ok
37,5	0,076	ok



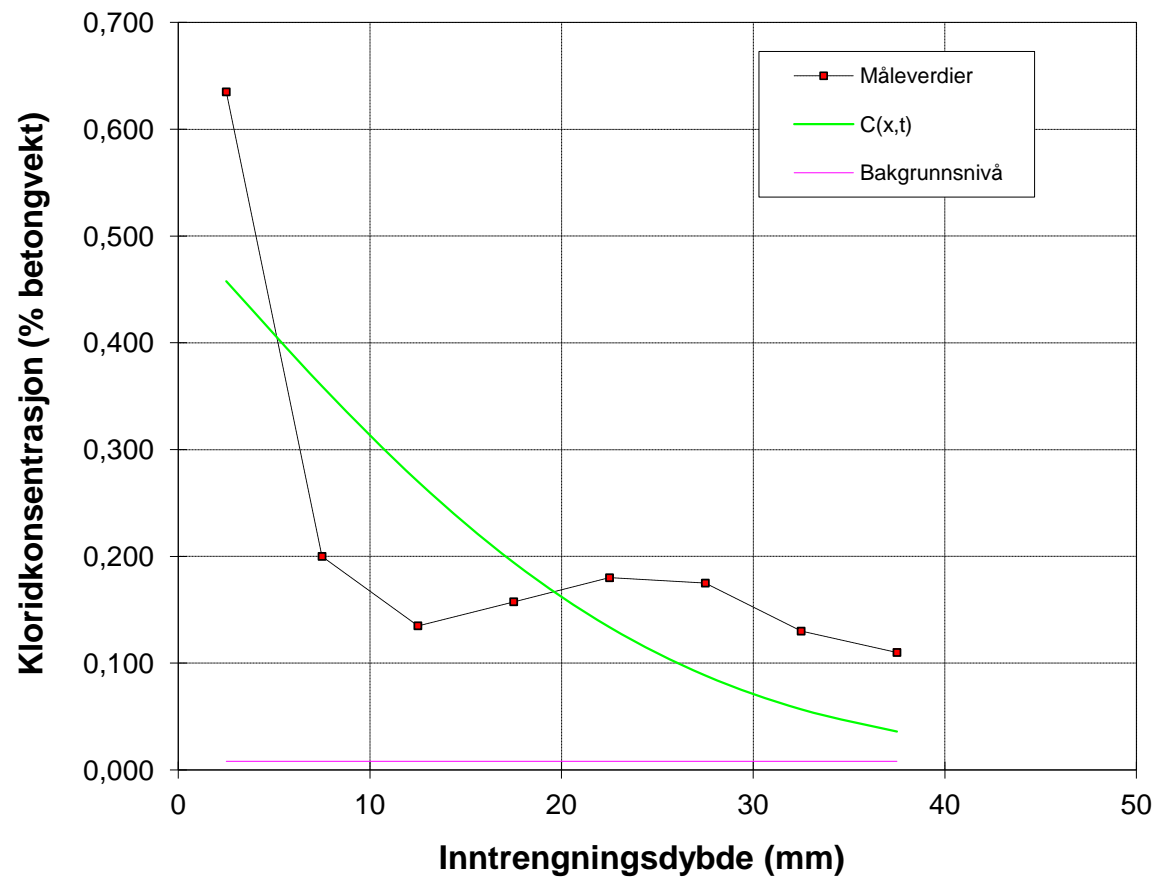
Ekspontert tid	1152	timer
Bakgrunn	0,008	% betong
C_0	1,033	% betong
D	3,99	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9867	
Inntrengning	141,6	g/m^2
k (0.1 %)	26,9	mm

x	målt	status
2,5	0,720	ok
7,5	0,100	ok
12,5	0,028	ok
17,5	0,012	ok
22,5	0,004	ok
27,5	0,006	ok
32,5	0,008	ok
37,5	0,018	ok



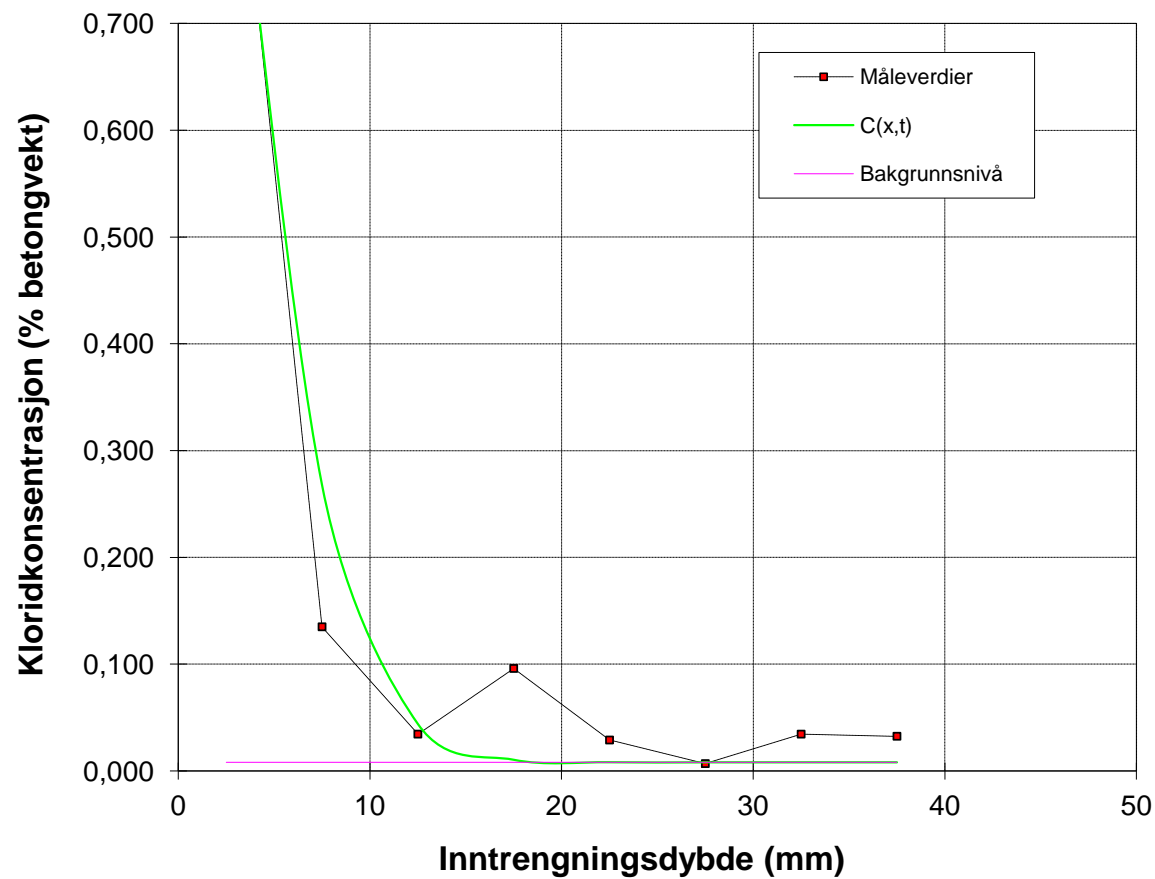
Ekspontert tid	1152	timer
Bakgrunn	0,008	% betong
C_0	0,508	% betong
D	46,33	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,7483	
Inntrengning	223,8	g/m^2
k (0.1 %)	71,6	mm

x	målt	status
2,5	0,635	ok
7,5	0,200	ok
12,5	0,135	ok
17,5	0,158	ok
22,5	0,180	ok
27,5	0,175	ok
32,5	0,130	ok
37,5	0,110	ok



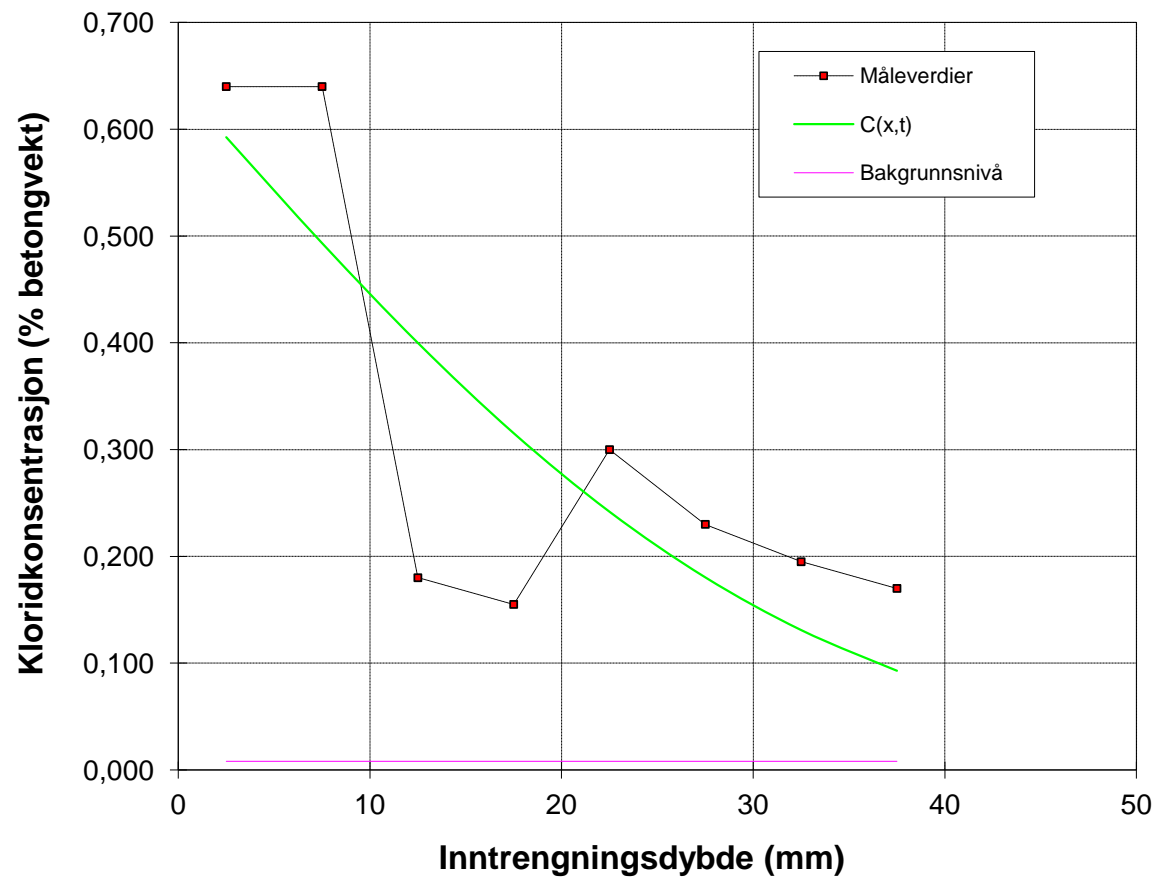
Ekspontert tid	1152	timer
Bakgrunn	0,008	% betong
C_0	1,472	% betong
D	3,73	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9825	
Inntrengning	213,0	g/m^2
k (0.1 %)	28,5	mm

x	målt	status
2,5	1,000	ok
7,5	0,135	ok
12,5	0,035	ok
17,5	0,096	ok
22,5	0,029	ok
27,5	0,007	ok
32,5	0,035	ok
37,5	0,033	ok



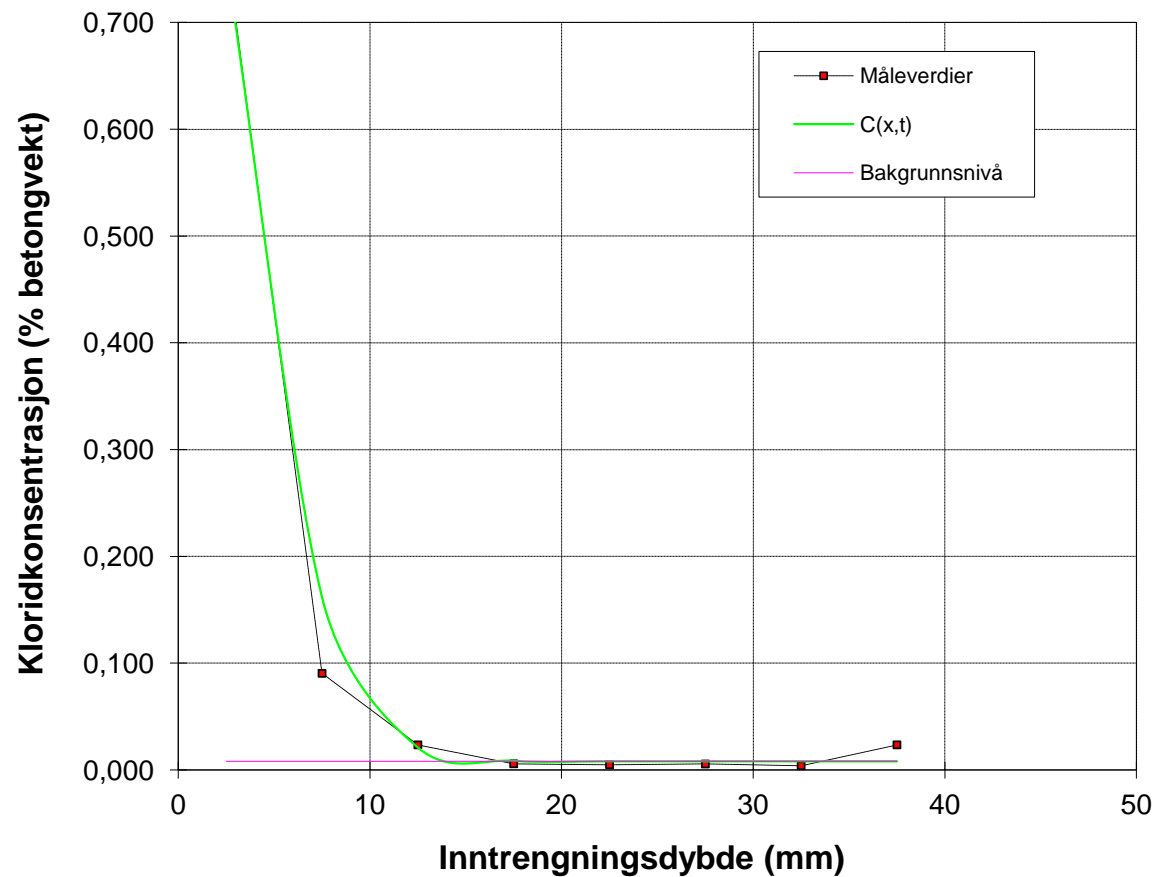
Ekspontert tid	1200	timer
Bakgrunn	0,008	% betong
C_0	0,643	% betong
D	72,32	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,7907	
Inntrengning	311,3	g/m^2
k (0.1 %)	98,5	mm

x	målt	status
2,5	0,640	ok
7,5	0,640	ok
12,5	0,180	ok
17,5	0,155	ok
22,5	0,300	ok
27,5	0,230	ok
32,5	0,195	ok
37,5	0,170	ok



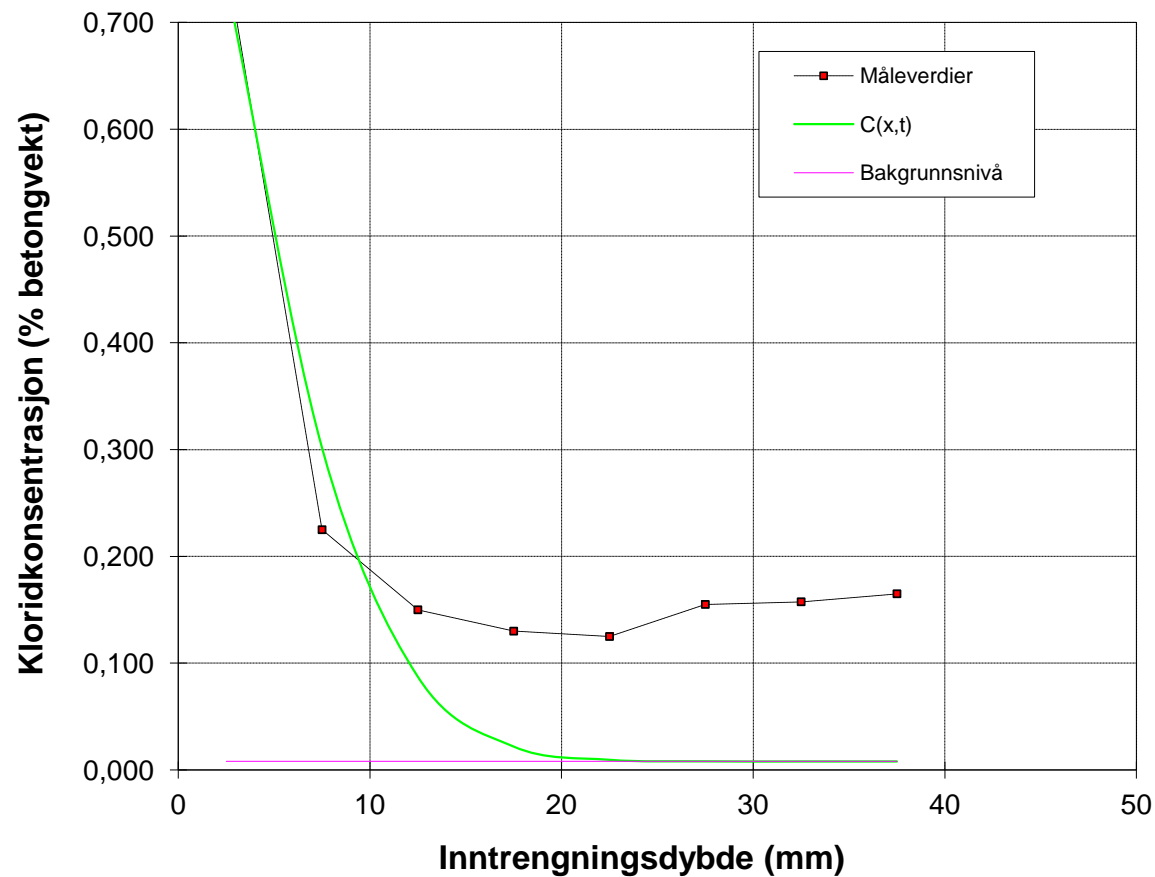
Ekspontert tid	1200	timer
Bakgrunn	0,008	% betong
C_0	1,241	% betong
D	2,76	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9949	
Inntrengning	148,1	g/m^2
k (0.1 %)	23,5	mm

x	målt	status
2,5	0,770	ok
7,5	0,091	ok
12,5	0,024	ok
17,5	0,006	ok
22,5	0,005	ok
27,5	0,006	ok
32,5	0,004	ok
37,5	0,024	ok



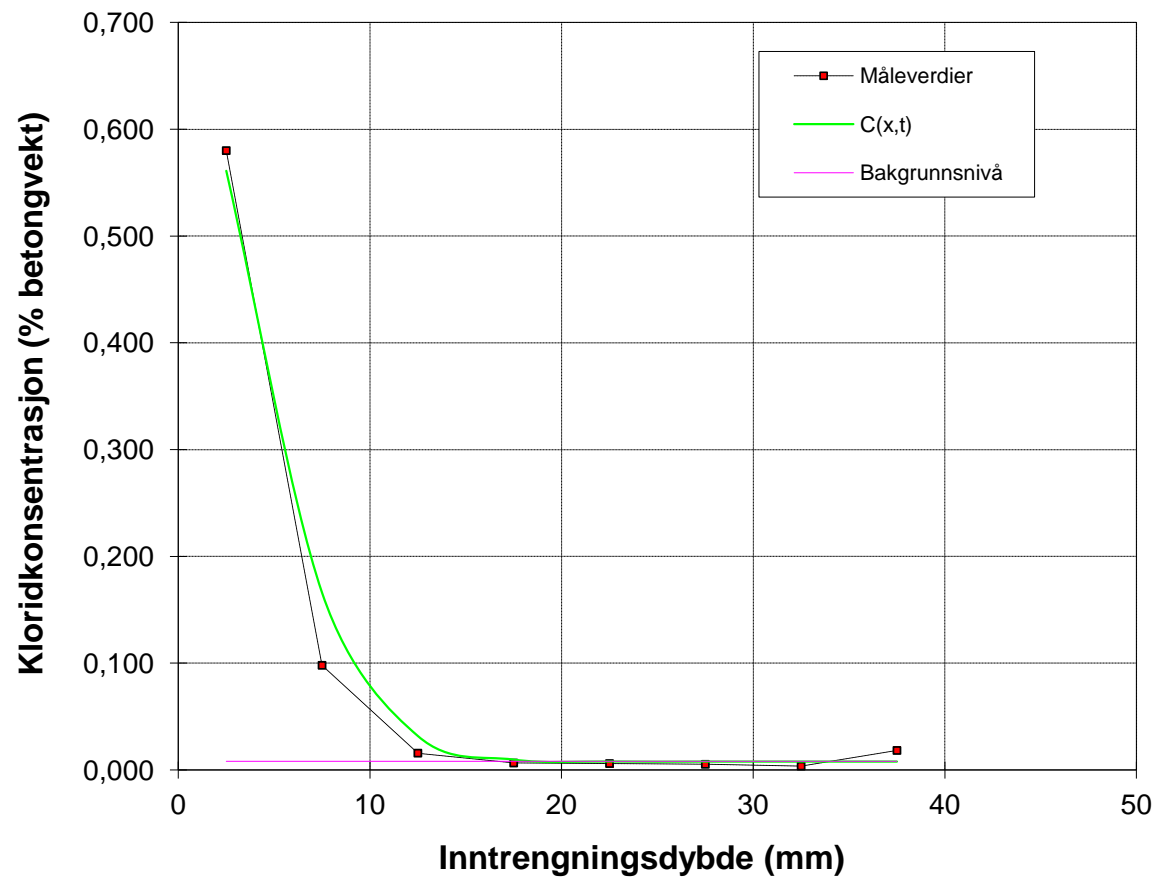
Ekspontert tid	1152	timer
Bakgrunn	0,008	% betong
C_0	1,015	% betong
D	6,09	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9594	
Inntrengning	242,9	g/m^2
k (0.1 %)	33,1	mm

x	målt	status
2,5	0,760	ok
7,5	0,225	ok
12,5	0,150	ok
17,5	0,130	ok
22,5	0,125	ok
27,5	0,155	ok
32,5	0,158	ok
37,5	0,165	ok



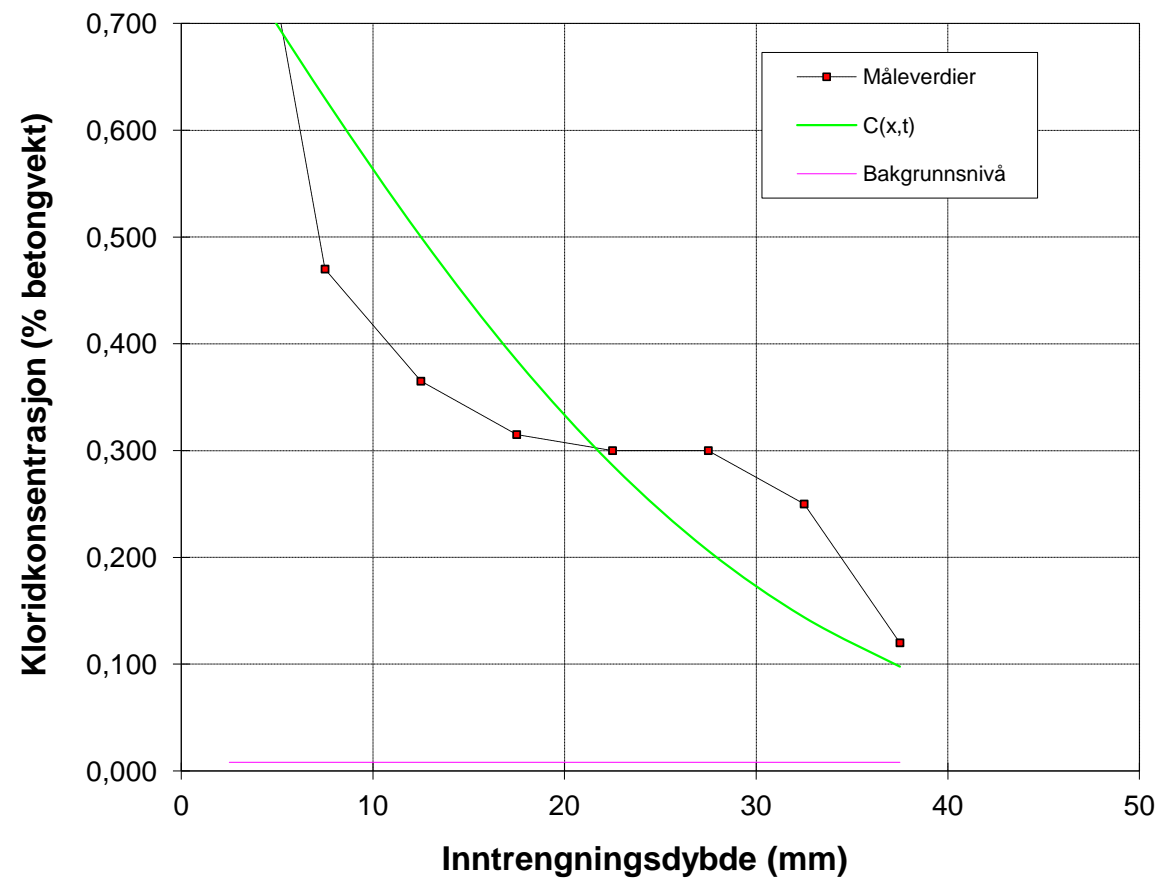
Ekspontert tid	1152	timer
Bakgrunn	0,008	% betong
C_0	0,844	% betong
D	3,93	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9915	
Inntrengning	113,9	g/m^2
k (0.1 %)	25,2	mm

x	målt	status
2,5	0,580	ok
7,5	0,098	ok
12,5	0,016	ok
17,5	0,007	ok
22,5	0,006	ok
27,5	0,005	ok
32,5	0,004	ok
37,5	0,018	ok



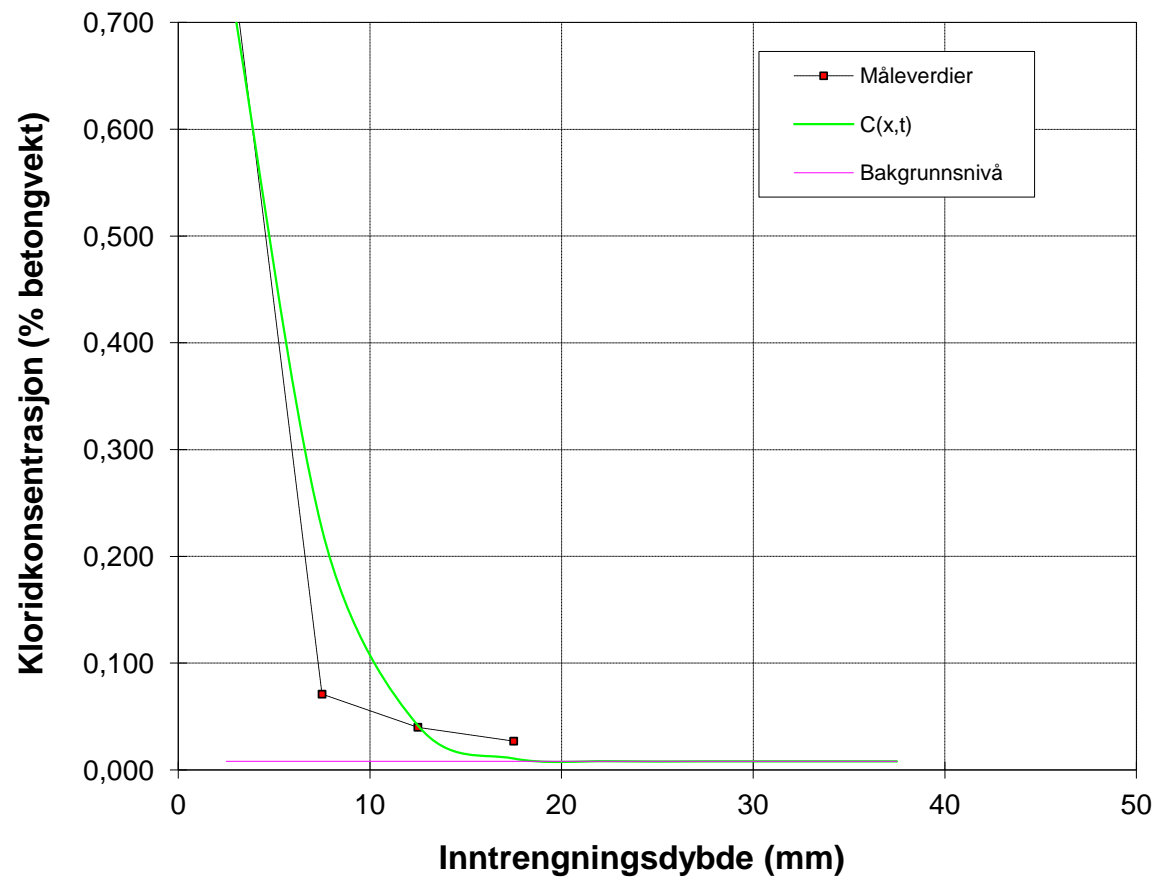
Ekspontert tid	1200	timer
Bakgrunn	0,008	% betong
C_0	0,840	% betong
D	62,92	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,8747	
Inntrengning	403,5	g/m^2
k (0.1 %)	100,5	mm

x	målt	status
2,5	0,970	ok
7,5	0,470	ok
12,5	0,365	ok
17,5	0,315	ok
22,5	0,300	ok
27,5	0,300	ok
32,5	0,250	ok
37,5	0,120	ok



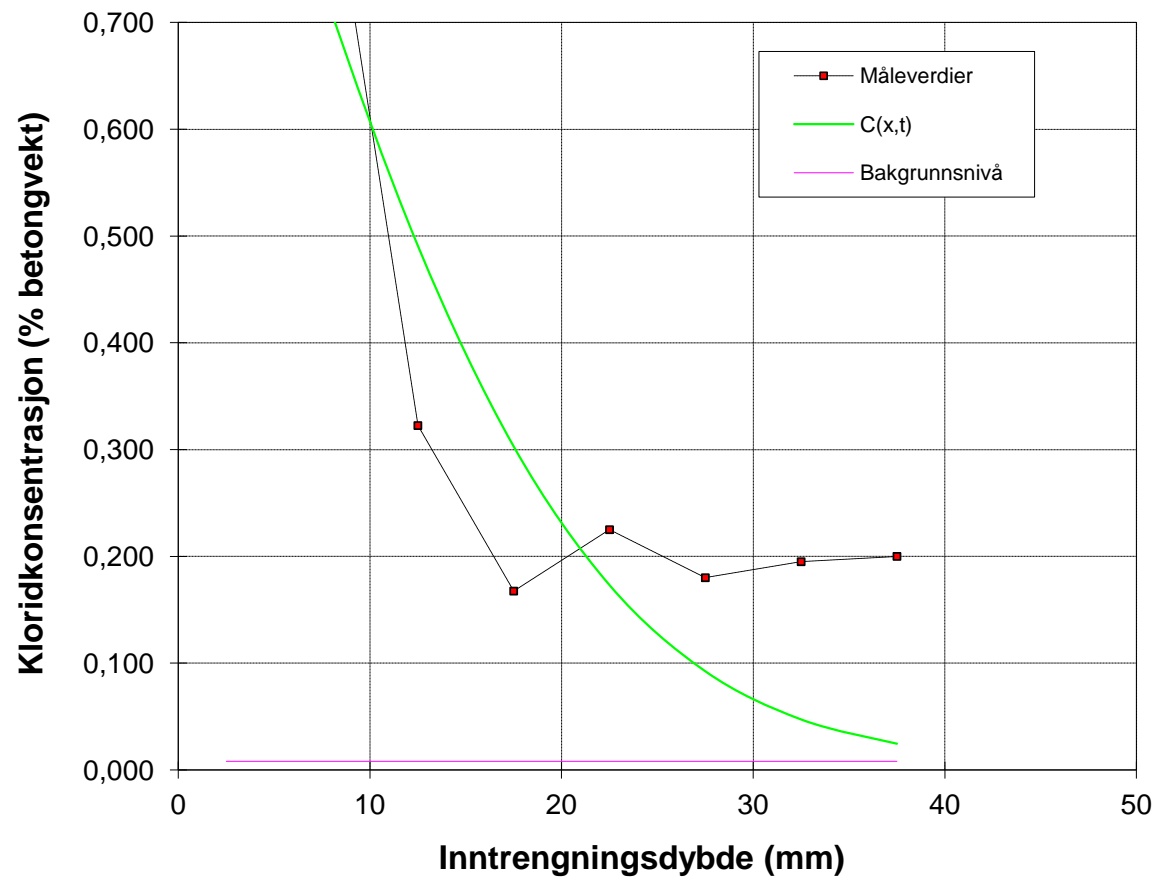
Ekspontert tid	1200	timer
Bakgrunn	0,008	% betong
C_0	1,138	% betong
D	3,83	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9739	
Inntrengning	153,4	g/m^2
k (0.1 %)	27,1	mm

x	målt	status
2,5	0,800	ok
7,5	0,071	ok
12,5	0,040	ok
17,5	0,027	ok
22,5		
27,5		
32,5		
37,5		



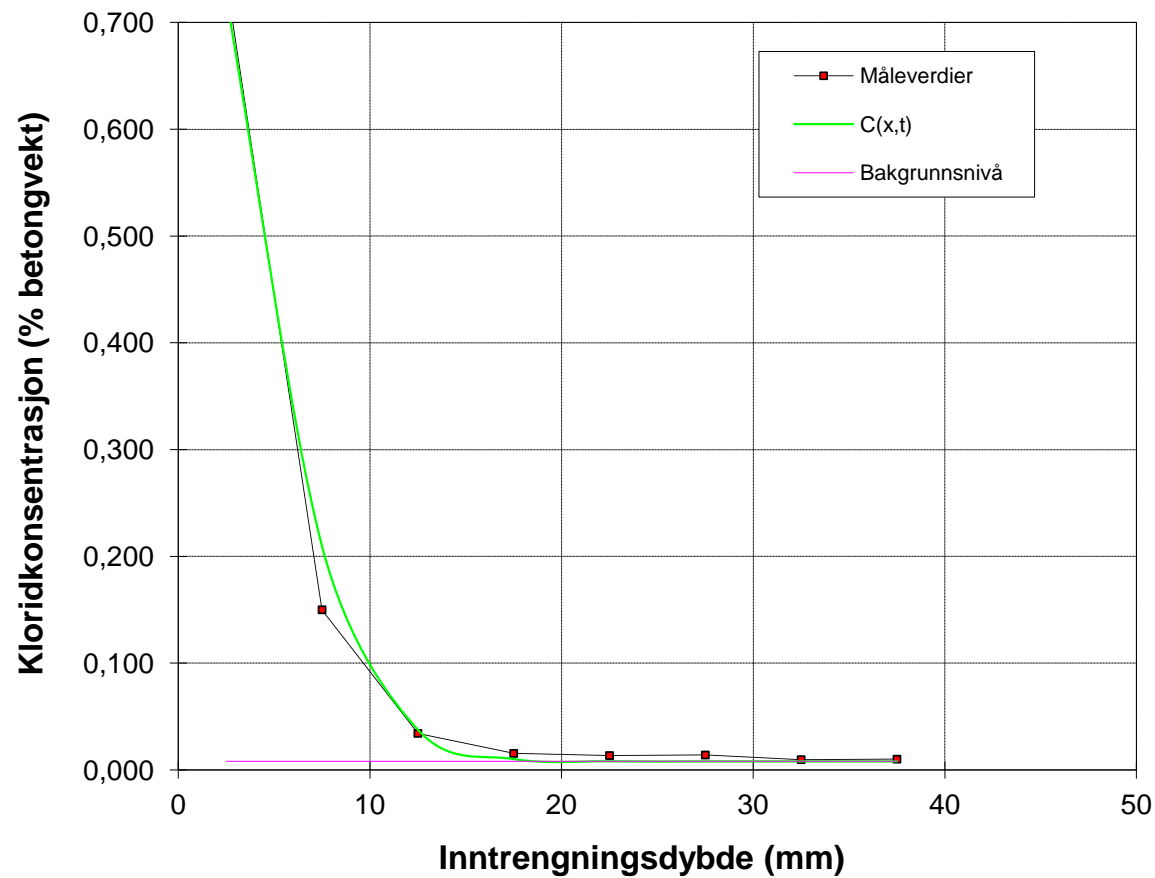
Ekspontert tid	1152	timer
Bakgrunn	0,008	% betong
C_0	1,174	% betong
D	28,28	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9291	
Inntrengning	411,8	g/m^2
k (0.1 %)	74,1	mm

x	målt	status
2,5	1,000	ok
7,5	0,900	ok
12,5	0,323	ok
17,5	0,168	ok
22,5	0,225	ok
27,5	0,180	ok
32,5	0,195	ok
37,5	0,200	ok



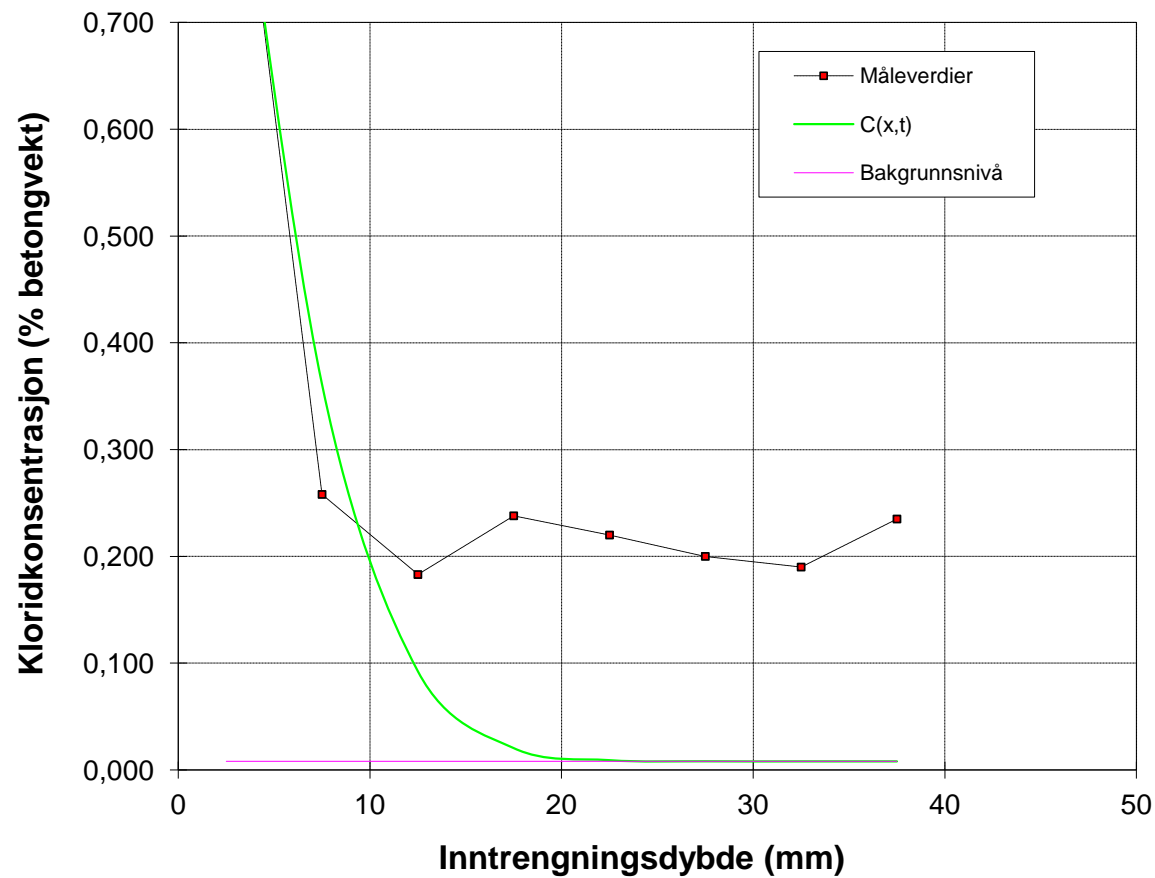
Ekspontert tid	1152	timer
Bakgrunn	0,008	% betong
C_0	1,093	% betong
D	3,87	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9958	
Inntrengning	154,4	g/m^2
k (0.1 %)	26,9	mm

x	målt	status
2,5	0,740	ok
7,5	0,150	ok
12,5	0,034	ok
17,5	0,016	ok
22,5	0,014	ok
27,5	0,014	ok
32,5	0,010	ok
37,5	0,010	ok



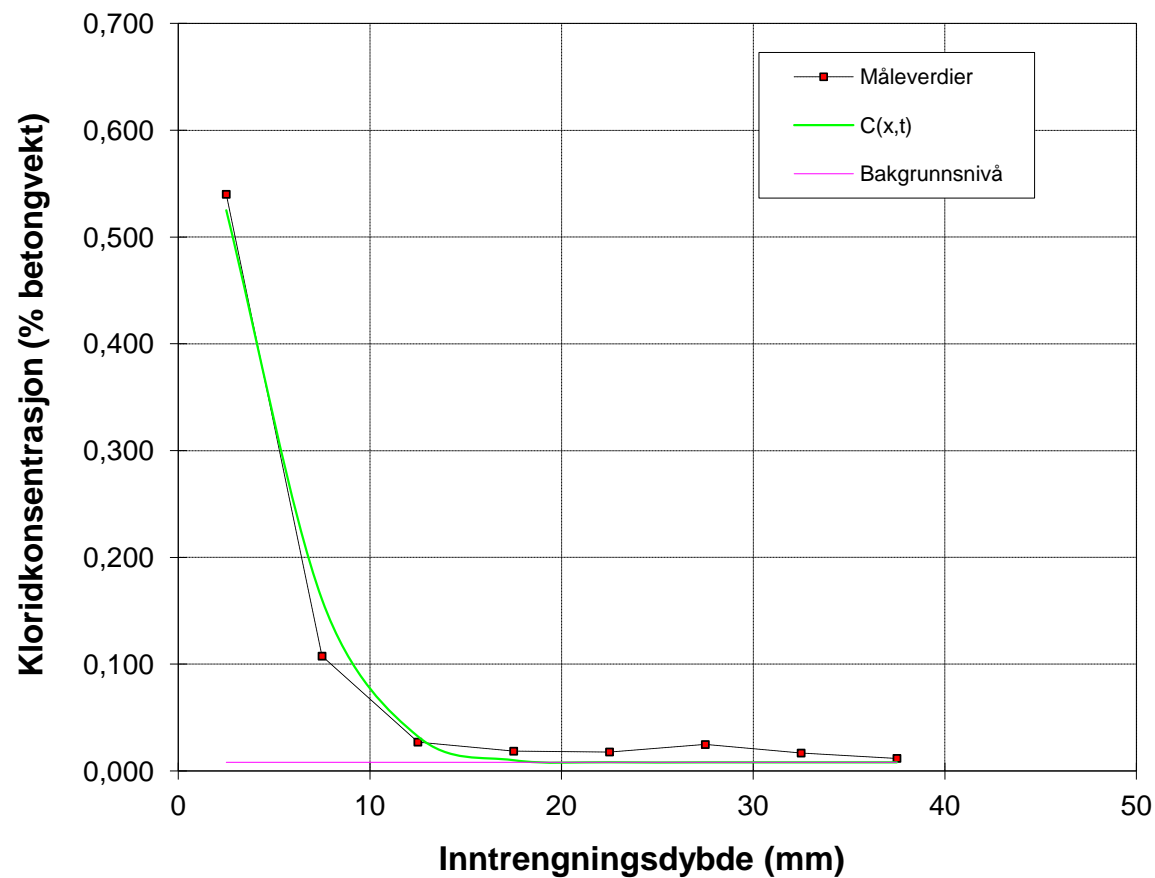
Ekspontert tid	1152	timer
Bakgrunn	0,008	% betong
C_0	1,338	% betong
D	5,47	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9459	
Inntrengning	325,2	g/m^2
k (0.1 %)	33,7	mm

x	målt	status
2,5	0,980	ok
7,5	0,258	ok
12,5	0,183	ok
17,5	0,238	ok
22,5	0,220	ok
27,5	0,200	ok
32,5	0,190	ok
37,5	0,235	ok



Ekspontert tid	1152	timer
Bakgrunn	0,008	% betong
C_0	0,783	% betong
D	4,06	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9923	
Inntrengning	115,3	g/m^2
k (0.1 %)	24,9	mm

x	målt	status
2,5	0,540	ok
7,5	0,108	ok
12,5	0,027	ok
17,5	0,019	ok
22,5	0,018	ok
27,5	0,025	ok
32,5	0,017	ok
37,5	0,012	ok



Omregning fra kloridkonsentrasjon i % av betongvekt til % av sementvekt

Betongdensitet 2386 kg/m³

Sementvekt 464 kg/m³

Konsentrasjon i % av sementvekt = konsentrasjon i % av betongvekt · betongdensitet/sementvekt

Prøve: R=risset, U=urisset	Klorid-konsentrasjon % av betongvekt	Klorid-konsentrasjon i % av sementvekt	Inntrengnings- dybde mm
G-R	0,600	3,1	2,5
	0,248	1,3	7,5
	0,210	1,1	12,5
	0,210	1,1	17,5
	0,190	1,0	22,5
	0,180	0,9	27,5
	0,140	0,7	32,5
	0,145	0,7	37,5
G-U	0,630	3,2	2,5
	0,168	0,9	7,5
	0,035	0,2	12,5
	0,047	0,2	17,5
	0,009	0,0	22,5
	0,013	0,1	27,5
	0,036	0,2	32,5
	0,205	1,1	37,5
H-R	0,660	3,4	2,5
	0,210	1,1	7,5
	0,153	0,8	12,5
	0,150	0,8	17,5
	0,120	0,6	22,5
	0,133	0,7	27,5
	0,105	0,5	32,5
	0,160	0,8	37,5
H-U	0,640	3,3	2,5
	0,110	0,6	7,5
	0,047	0,2	12,5
	0,022	0,1	17,5
	0,028	0,1	22,5
	0,011	0,1	27,5
	0,011	0,1	32,5
	0,013	0,1	37,5
J-R	0,540	2,8	2,5
	0,170	0,9	7,5
	0,180	0,9	12,5
	0,155	0,8	17,5
	0,185	1,0	22,5
	0,110	0,6	27,5
	0,130	0,7	32,5
	0,135	0,7	37,5

J-U	0,740	3,8	2,5
	0,120	0,6	7,5
	0,024	0,1	12,5
	0,012	0,1	17,5
	0,022	0,1	22,5
	0,017	0,1	27,5
	0,009	0,0	32,5
	0,008	0,0	37,5
K-R	0,640	3,3	2,5
	0,250	1,3	7,5
	0,170	0,9	12,5
	0,150	0,8	17,5
	0,145	0,7	22,5
	0,165	0,8	27,5
	0,098	0,5	32,5
	0,076	0,4	37,5
K-U	0,720	3,7	2,5
	0,100	0,5	7,5
	0,028	0,1	12,5
	0,012	0,1	17,5
	0,004	0,0	22,5
	0,006	0,0	27,5
	0,008	0,0	32,5
	0,018	0,1	37,5
L-R	0,635	3,3	2,5
	0,200	1,0	7,5
	0,135	0,7	12,5
	0,158	0,8	17,5
	0,180	0,9	22,5
	0,175	0,9	27,5
	0,130	0,7	32,5
	0,110	0,6	37,5
L-U	1,000	5,1	2,5
	0,135	0,7	7,5
	0,035	0,2	12,5
	0,096	0,5	17,5
	0,029	0,1	22,5
	0,007	0,0	27,5
	0,035	0,2	32,5
	0,033	0,2	37,5
M-R	0,640	3,3	2,5
	0,640	3,3	7,5
	0,180	0,9	12,5
	0,155	0,8	17,5
	0,300	1,5	22,5
	0,230	1,2	27,5
	0,195	1,0	32,5
	0,170	0,9	37,5

M-U	0,770	4,0	2,5
	0,091	0,5	7,5
	0,024	0,1	12,5
	0,006	0,0	17,5
	0,005	0,0	22,5
	0,006	0,0	27,5
	0,004	0,0	32,5
	0,024	0,1	37,5
P-R	0,760	3,9	2,5
	0,225	1,2	7,5
	0,150	0,8	12,5
	0,130	0,7	17,5
	0,125	0,6	22,5
	0,155	0,8	27,5
	0,158	0,8	32,5
	0,165	0,8	37,5
P-U	0,580	3,0	2,5
	0,098	0,5	7,5
	0,016	0,1	12,5
	0,007	0,0	17,5
	0,006	0,0	22,5
	0,005	0,0	27,5
	0,004	0,0	32,5
	0,018	0,1	37,5
Q-R	0,970	5,0	2,5
	0,470	2,4	7,5
	0,365	1,9	12,5
	0,315	1,6	17,5
	0,300	1,5	22,5
	0,300	1,5	27,5
	0,250	1,3	32,5
	0,120	0,6	37,5
Q-U	0,800	4,1	2,5
	0,071	0,4	7,5
	0,040	0,2	12,5
	0,027	0,1	17,5
			22,5
		27,5	
		32,5	
		37,5	
R-R	1,000	5,1	2,5
	0,900	4,6	7,5
	0,323	1,7	12,5
	0,168	0,9	17,5
	0,225	1,2	22,5
	0,180	0,9	27,5
	0,195	1,0	32,5
	0,200	1,0	37,5

R-U	0,740	3,8	2,5
	0,150	0,8	7,5
	0,034	0,2	12,5
	0,016	0,1	17,5
	0,014	0,1	22,5
	0,014	0,1	27,5
	0,010	0,0	32,5
	0,010	0,1	37,5
S-R	0,980	5,0	2,5
	0,258	1,3	7,5
	0,183	0,9	12,5
	0,238	1,2	17,5
	0,220	1,1	22,5
	0,200	1,0	27,5
	0,190	1,0	32,5
	0,235	1,2	37,5
S-U	0,540	2,8	2,5
	0,108	0,6	7,5
	0,027	0,1	12,5
	0,019	0,1	17,5
	0,018	0,1	22,5
	0,025	0,1	27,5
	0,017	0,1	32,5
	0,012	0,1	37,5
Bakgrunnsnivå	0,008	0,0	

På overflaten riss

H	0,8	4,1
J	0,4	2,1
G	0,5	2,6
K	0,6	3,1
M	0,6	3,1
L	0,5	2,6
P	1,0	5,1
Q	0,8	4,1
R	1,2	6,2
S	1,3	6,7

på overflaten uten riss

H	0,9	4,6
J	1,1	5,7
G	0,9	4,6
K	1,0	5,1
M	1,2	6,2
L	1,5	7,7
P	0,8	4,1
Q	1,1	5,7
R	1,1	5,7
S	0,8	4,1

Vedlegg D

Målinger fra RCT-test

Kalibreringskurve

Målinger fra RCT-test

% Cl av betongvekt lest av fra kalibreringskurven

Prøve	1		2	
	mV	% Cl	mV	% Cl
0-5	-17,1	0,600	-17,1	0,600
5-10	6,5	0,245	5,7	0,250
10-15	10,8	0,205	9,4	0,215
15-20	10,1	0,210	9,8	0,210
20-25	12,3	0,190	12,3	0,190
25-30	13,7	0,180	13,8	0,180
30-35	19,6	0,140	19,9	0,140
35-40	19,3	0,145	19,0	0,145

Prøve	1		2	
	mV	% Cl	mV	% Cl
0-5	-17,5	0,640	-16,2	0,620
5-10	15,7	0,170	16,2	0,165
10-15	54,5	0,035	54,8	0,035
15-20	47,8	0,047	48,2	0,047
20-25	77,0	0,009	77,4	0,009
25-30	74,1	0,012	72,2	0,014
30-35	53,3	0,036	54,0	0,036
35-40	11,3	0,205	11,4	0,205

Prøve	1		2	
	mV	% Cl	mV	% Cl
0-5	-18,4	0,660	-17,9	0,660
5-10	9,1	0,215	10,6	0,205
10-15	18,4	0,155	19,2	0,150
15-20	19,3	0,150	19,6	0,150
20-25	23,5	0,120	23,6	0,120
25-30	20,6	0,135	21,5	0,130
30-35	26,2	0,105	26,5	0,105
35-40	16,0	0,160	16,5	0,160

Prøve	1		2	
	mV	% Cl	mV	% Cl
0-5	-17,9	0,660	-16,8	0,620
5-10	26,5	0,110	27,4	0,110
10-15	47,6	0,047	48,1	0,047
15-20	66,0	0,022	66,0	0,022
20-25	60,6	0,275	60,9	0,028
25-30	76,1	0,011	76,3	0,011
30-35	76,0	0,011	75,5	0,011
35-40	73,3	0,013	73,3	0,013

Prøve	1		2	
	mV	% Cl	mV	% Cl
0-5	-13,8	0,560	-12,5	0,520
5-10	15,4	0,170	16,1	0,170
10-15	14,1	0,180	14,6	0,180
15-20	17,6	0,155	17,4	0,155
20-25	13,3	0,185	13,7	0,185
25-30	26,1	0,110	26,2	0,110
30-35	22,0	0,130	22,4	0,130
35-40	21,0	0,135	21,0	0,135

Prøve	1		2	
	mV	% Cl	mV	% Cl
0-5	-21,0	0,740	-20,6	0,740
5-10	25,2	0,120	25,3	0,120
10-15	64,7	0,024	65,0	0,024
15-20	74,6	0,012	76,1	0,011
20-25	67,0	0,022	67,8	0,021
25-30	71,1	0,017	70,8	0,017
30-35	78,2	0,009	78,8	0,009
35-40	79,6	0,008	79,4	0,008

Prøve	1		2	
	mV	% Cl	mV	% Cl
0-5	-17,5	0,660	-16,2	0,620
5-10	6,5	0,250	6,4	0,250
10-15	16,1	0,170	16,2	0,170
15-20	19,2	0,150	19,3	0,150
20-25	20,2	0,145	19,6	0,145
25-30	16,6	0,165	16,8	0,165
30-35	30,1	0,098	29,1	0,098
35-40	35,8	0,076	36,1	0,076

Prøve	1		2	
	mV	% Cl	mV	% Cl
0-5	-20,5	0,720	-20,3	0,720
5-10	29,6	0,100	29,7	0,100
10-15	60,8	0,028	61,6	0,028
15-20	75,3	0,012	75,0	0,012
20-25	86,9	0,004	87,0	0,004
25-30	82,5	0,006	82,5	0,006
30-35	80,1	0,008	79,4	0,008
35-40	70,6	0,018	70,5	0,018

Prøve	1		2	
L-R	mV	% Cl	mV	% Cl
0-5	-18,7	0,660	-17,4	0,610
5-10	11,4	0,200	11,4	0,200
10-15	20,6	0,135	21,1	0,135
15-20	16,9	0,160	17,7	0,155
20-25	13,7	0,180	14,0	0,180
25-30	14,5	0,175	14,8	0,175
30-35	21,3	0,130	21,6	0,130
35-40	26,0	0,110	26,0	0,110

Prøve	1		2	
L-U	mV	% Cl	mV	% Cl
0-5	-29,2	1,000	-29,1	1,000
5-10	22,1	0,135	22,2	0,135
10-15	55,6	0,035	56,3	0,034
15-20	30,2	0,098	31,2	0,094
20-25	60,2	0,029	60,5	0,029
25-30	81,1	0,007	81,6	0,007
30-35	55,6	0,035	56,0	0,034
35-40	57,6	0,032	57,1	0,033

Prøve	1		2	
M-R	mV	% Cl	mV	% Cl
0-5	-19,0	0,640	-19,0	0,640
5-10	-19,1	0,640	-19,1	0,640
10-15	13,5	0,180	13,4	0,180
15-20	17,2	0,155	17,2	0,155
20-25	0,1	0,300	0,2	0,300
25-30	7,3	0,230	7,3	0,230
30-35	11,4	0,195	11,3	0,195
35-40	15,3	0,170	15,3	0,170

Prøve	1		2	
M-U	mV	% Cl	mV	% Cl
0-5	-23,1	0,770	-23,3	0,770
5-10	30,5	0,090	30,0	0,091
10-15	63,7	0,023	62,8	0,024
15-20	81,3	0,006	80,6	0,006
20-25	83,7	0,005	82,7	0,005
25-30	81,4	0,006	81,6	0,006
30-35	85,3	0,004	85,0	0,004
35-40	63,3	0,024	63,7	0,023

Prøve	1		2	
P-R	mV	% Cl	mV	% Cl
0-5	-23,2	0,760	-23,1	0,760
5-10	8,3	0,225	8,1	0,225
10-15	17,8	0,150	17,9	0,150
15-20	21,3	0,130	21,4	0,130
20-25	22,5	0,125	22,9	0,125
25-30	16,4	0,155	16,8	0,155
30-35	16,0	0,160	16,7	0,155
35-40	15,5	0,165	15,7	0,165

Prøve	1		2	
P-U	mV	% Cl	mV	% Cl
0-5	-15,8	0,580	-15,7	0,580
5-10	28,1	0,098	28,2	0,098
10-15	69,3	0,016	69,7	0,016
15-20	79,9	0,006	79,4	0,007
20-25	80,7	0,006	81,0	0,006
25-30	82,0	0,005	81,8	0,005
30-35	86,3	0,004	86,1	0,004
35-40	67,5	0,020	68,9	0,017

Prøve	1		2	
Q-R	mV	% Cl	mV	% Cl
0-5	-28,6	0,970	-28,3	0,970
5-10	-10,8	0,470	-10,5	0,470
10-15	-4,6	0,365	-4,4	0,365
15-20	-0,6	0,315	-0,5	0,315
20-25	0,4	0,300	0,9	0,300
25-30	0,4	0,300	0,4	0,300
30-35	5,2	0,250	5,3	0,250
35-40	22,6	0,120	22,8	0,120

Prøve	1		2	
Q-U	mV	% Cl	mV	% Cl
0-5	-21,6	0,800	-21,7	0,800
5-10	38,2	0,071	38,0	0,071
10-15	51,6	0,040	51,9	0,040
15-20	61,4	0,027	61,2	0,027

Prøve	1		2	
R-R	mV	% Cl	mV	% Cl
0-5	-38,8	>1,0	-38,8	>1,0
5-10	-26,7	0,900	-26,3	0,900
10-15	-1,1	0,330	0,5	0,315
15-20	14,8	0,170	16,2	0,165
20-25	8,4	0,225	8,9	0,225
25-30	13,7	0,180	14,0	0,180
30-35	11,8	0,195	12,3	0,195
35-40	11,4	0,200	11,5	0,200

Prøve	1		2	
R-U	mV	% Cl	mV	% Cl
0-5	-21,2	0,740	-20,8	0,740
5-10	18,4	0,150	18,7	0,150
10-15	54,3	0,035	54,8	0,034
15-20	71,3	0,016	72,1	0,015
20-25	73,2	0,014	73,8	0,013
25-30	72,8	0,014	72,8	0,014
30-35	78,5	0,010	79,2	0,010
35-40	77,3	0,011	78,7	0,010

Prøve	1		2	
S-R	mV	% Cl	mV	% Cl
0-5	-29,8	0,980	-29,9	0,980
5-10	4,9	0,260	5,5	0,255
10-15	13,3	0,185	14,0	0,180
15-20	7,2	0,240	7,7	0,235
20-25	9,0	0,220	9,3	0,220
25-30	11,3	0,200	11,3	0,200
30-35	12,2	0,190	12,4	0,190
35-40	7,7	0,235	7,7	0,235

Prøve	1		2	
S-U	mV	% Cl	mV	% Cl
0-5	-13,1	0,540	-12,8	0,540
5-10	26,9	0,110	27,7	0,105
10-15	60,9	0,027	61,2	0,027
15-20	68,5	0,019	69,1	0,018
20-25	69,4	0,018	70,1	0,017
25-30	62,9	0,025	63,5	0,025
30-35	70,0	0,017	70,3	0,017
35-40	73,8	0,012	74,5	0,012

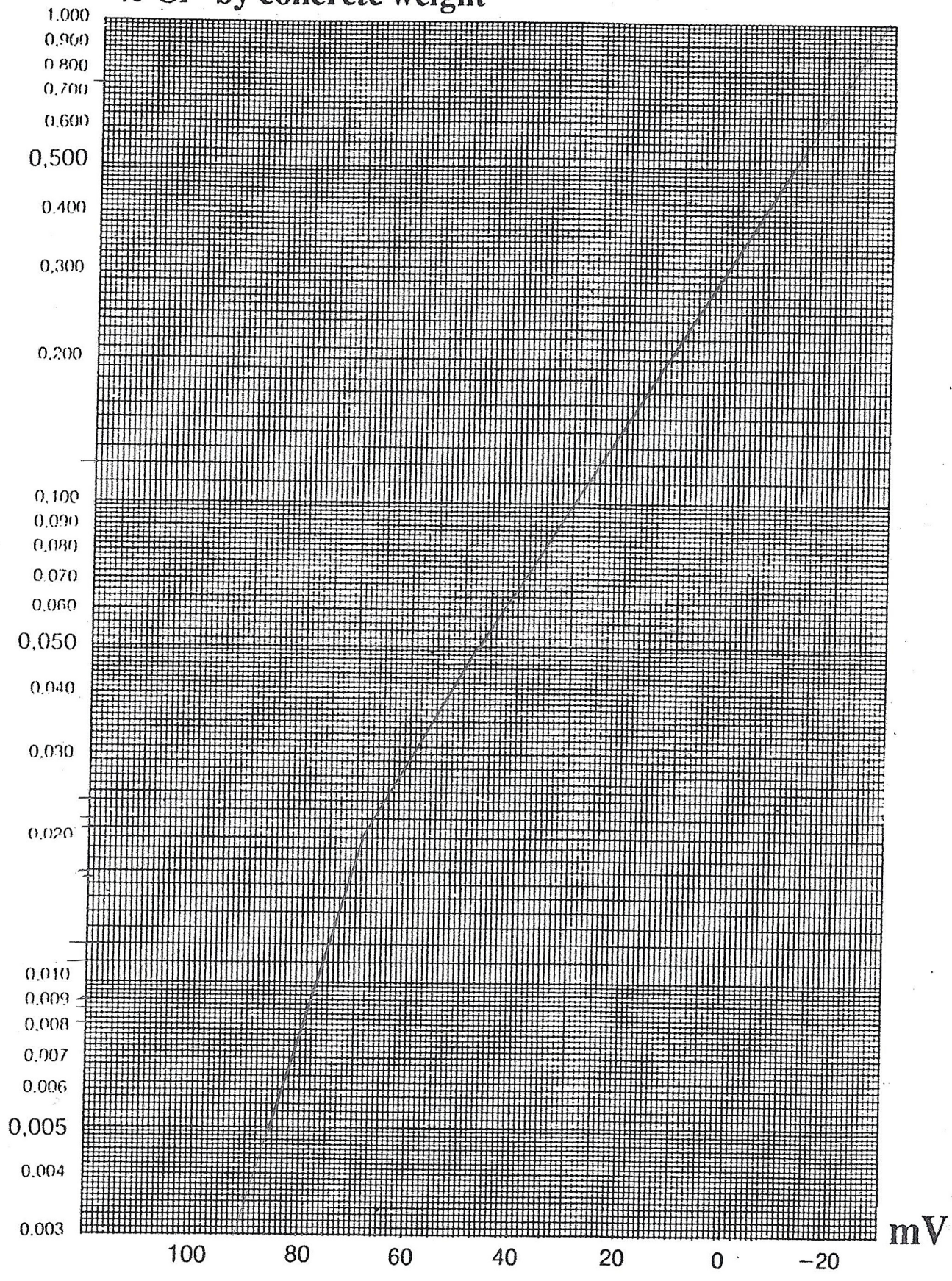
Prøve	1		2	
Referanse	mV	% Cl	mV	% Cl
HA (0-5)	76,1	0,010	76,3	0,010
IA (0-5)	81,5	0,006	81,8	0,006

J-U

Address: _____ Phone: _____

11/5

% Cl⁻ by concrete weight



Liquid	Clear	Purple	Green	Pink
% Cl	0.005	0.020	0.050	0.500
mV before	85,7	69,2	47,3	-10,7
mV after	85,4	68,5	47,1	-10,9

Vedlegg E

Utrekning av vannpermeabilitetskoeffisient

Permeabilitetskoeffisient etter Darcys lov

$$Q = K \cdot A \cdot \Delta h / L \quad \rightarrow \quad K = (Q \cdot L) / (\Delta h \cdot A)$$

Q = "vann som har trengt gjennom" · "tid"

$$\Delta h = \Delta P / (\rho_{\text{vann}} \cdot g)$$

$$\rho_{\text{vann}} = 1 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Prøvestykke	Rissvidde [mm]	Trykk [Pa]	Δh [m]	Tid [s]	Vann som har trengt gjennom [m ³]	Q [m ³ /s]	A [m ²]	L [m]	K [m/s]
W	0,2	200000	20387	120	0,374	0,003	0,01	0,1	1,5E-06
Æ	0,2	200000	20387	120	0,879	0,007	0,01	0,1	3,6E-06
Ø	0,4	200000	20387	120	1,278	0,011	0,01	0,1	5,2E-06
CA	0,4	200000	20387	30	0,925	0,031	0,01	0,1	1,5E-05
AA	0,4	170000	17329	120	4,684	0,039	0,01	0,1	2,3E-05
X	0,2	0	0	10	0	0,000	0,01	0,1	-

Vedlegg F

Utregning av trykkfasthet

Trykkfasthet

Prøvestykke	7 døgn ($f_{ck,cube,m\ddot{a}lt}$)	14 døgn ($f_{ck,cube,m\ddot{a}lt}$)	28 døgn ($f_{ck,cube,m\ddot{a}lt}$)	$f_{ck,m\ddot{a}lt}=f_{ck,cu}$ $be,m\ddot{a}lt -15$	$f_{ck}(t) - 4$	Tilfredsstiller krav ($f_{ck,m\ddot{a}l t} \geq f_{ck} - 4$)
A	78,1			63	52	OK
B	79,1			64	52	OK
C	77,2			62	52	OK
D		82,4		67	60	OK
E		85,7		71	60	OK
F		84,1		69	60	OK
T			93	78	66	OK
U			94	79	66	OK
V			91,5	77	66	OK
Middelverdi $f_{ck,cube}$	78	84	93			
Middelverdi $f_{ck, m\ddot{a}lt}$	63	69	78			
$f_{ck}(t) *$	56	64	70			
$f_{ck}(t) + 4$	60	68	74			
Tilfredsstiller krav (middelverdi $f_{ck,m\ddot{a}lt}$ $\geq f_{ck} + 4$)	OK	OK	OK			
Fasthetsklasse B..	55	60	70			

* $f_{ck}(28) = f_{ck}$

Trykkfasthet ved et gitt tidspunkt

$$f_{ck}(t) = f_{cm}(t) - 8$$

$$f_{cm}(t) = f_{cm} \cdot \beta_{cc}(t)$$

$$\beta_{cc}(t) = \exp\{s[1 - (28/t)^{0,5}]\}$$

Forventet trykkfasthet etter 7 døgn, B70			
trykkfasthet etter tid t	$f_{ck}(t)$	56 MPa	
middelverdi trykkfasthet på gitt tidspunkt t	$f_{cm}(t)$	64 MPa	
Middelverdi av bet. trykkfasthet etter 28 d, tab 3,1	f_{cm}	78 MPa	
	$\beta_{cc}(t)$	0,82	
koeffisient avhengig av sementtype	s	0,2 <- industri	CEM I 42,5 RR
betongens alder i døgn	t	7	

Forventet trykkfasthet etter 14 døgn, B70			
trykkfasthet etter tid t	$f_{ck}(t)$	64 MPa	
middelverdi trykkfasthet på gitt tidspunkt t	$f_{cm}(t)$	72 MPa	
Middelverdi av bet. trykkfasthet etter 28 d, tab 3,1	f_{cm}	78 MPa	
	$\beta_{cc}(t)$	0,92	
koeffisient avhengig av sementtype	s	0,2 <- industri	CEM I 42,5 RR
betongens alder i døgn	t	14	

Forventet trykkfasthet etter 28 døgn, B70			
trykkfasthet etter tid t	$f_{ck}(t)$	70 MPa	
middelverdi trykkfasthet på gitt tidspunkt t	$f_{cm}(t)$	78 MPa	
Middelverdi av bet. trykkfasthet etter 28 d, tab 3,1	f_{cm}	78 MPa	
	$\beta_{cc}(t)$	1,00	
koeffisient avhengig av sementtype	s	0,2 <- industri	CEM I 42,5 RR
betongens alder i døgn	t	28	

Vedlegg G

Materialdata

Sement

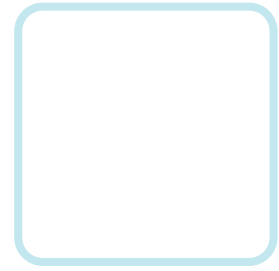
Silikastøv

SP-stoff

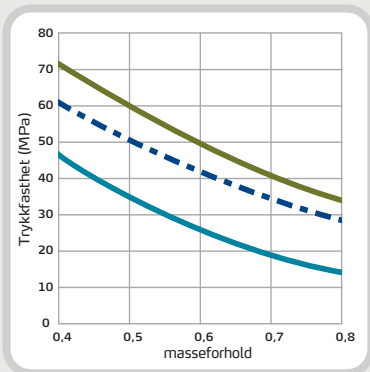
PRODUKTINFORMASJON

Industrisement



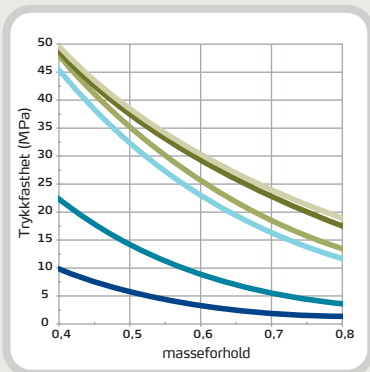


Fasthetsutvikling



Figur 1

Tidligfasthet



Figur 2

Fasthetsutvikling

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

Tidligfasthet

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

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. Industrisement gir følgende retningsgivende verdier for største masseforhold i ulike fasthetsklasser for betong uten luftinnføring, se tabell 1.

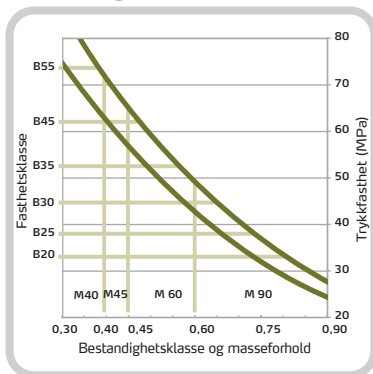
Fasthetsklasse	B20	B25	B30	B35	B45	B55
Største masseforhold	0,82	0,75	0,66	0,57	0,48	0,38

Tabell 1

Norcem Industrisement er en spesialsement tilpasset norsk byggepraksis ved vinterarbeid. Sementen gjør det mulig å gjennomføre støpearbeid vinterstid i Norge på en rasjonell og økonomisk måte. Med sin raske fasthetsutvikling er den i tillegg velegnet for bruk ved produksjon av betongelementer og betongvarer.



Bestandighetsklasse



Figur 3

Bestandighetsklasse

NS-EN 206-1 klassifiserer betongens miljøpåvirkninger bl.a. 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 Industrisement uten luftinnføring.

Anbefalte kombinasjoner

Bestandighetsklasse M90	Fasthetsklasse B20 eller høyere
Bestandighetsklasse M60	Fasthetsklasse B30 eller høyere
Bestandighetsklasse M45	Fasthetsklasse B35 eller høyere
Bestandighetsklasse M40	Fasthetsklasse B45 eller høyere

Tabell 2

Valg av bestandighetsklasse (nasjonale krav)

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

*Minst 4% luft

Tabell 3

Deklarerte data

Norcem Industrisement tilfredsstiller kravene til Portlandsement
EN 197-1-CEM I 42,5 R og NS 3086-CEM I-42,5 RR

Kjemiske data

Egenskap	Deklarerte data	Krav i følge NS-EN 197-1 og NS 3086
Finhet (Blaine)	550 m ² /kg	
Trikalsiumaluminat C ₃ A	7 %	
Alkali (ekv Na ₂ O)	1,3% (B) & 1,2% (K)	
Mineralske tilsetninger	4 %	≤ 5%
Glødetap	2,5%	≤ 5%
Uløselig rest	1%	≤ 5%
Sulfat (SO ₃)	3 - 4 %	≤ 4%
Klorid	< 0,08%	≤ 0,1%
Vannløselig Cr ⁶⁺	< 2ppm	≤ 2 ppm
Spesifikk vekt (kg/dm ³)	3,13(B) / 3,11 (K)	

Fysiske data

Egenskaper	Deklarerte data	Krav ifølge NS-EN 197-1 og NS 3086 *
Trykkfasthet 1 døgn	32 MPa	≥ 20 MPa
Trykkfasthet 2 døgn	40 MPa	≥ 30 MPa
Trykkfasthet 7 døgn	49 MPa	
Trykkfasthet 28 døgn	57 MPa	≥ 42,5 MPa ≤ 62,5 MPa
Begynnende bindetid	100 min	≥ 60 min
Ekspansjon	1 mm	≤ 10 mm

*Karakteristiske verdier



Grade 920 for construction

C2-01
Product

General

Elkem Microsilica® Grade 920 is dry silica fume available in two main forms:

- **Undensified - 920 U**, with a typical bulk density of 200 - 350 kg/m³
- **Densified - 920 D**, with a typical bulk density of 500 - 700 kg/m³

Packaging

The products are supplied in a range of packaging:

- 25 kg paper bags
- Big bags in a variety of designs and sizes depending on product and production plant.
- Bulk in road tanker

Special packaging can be supplied on request.

Quality Control

Elkem Materials is certified according to ISO 9001.

The chemical composition and physical properties are regularly tested in accordance with ASTM standards.

Conformance to Standards

Elkem Microsilica® Grade 920 conforms to the mandatory requirements of ASTM C1240 from **American Society for Testing and Materials**

Mandatory chemical and physical requirements	ASTM C1240	
	Spec.	Frequency
SiO ₂ (%)	> 85,0	400 MT
Alkalies (as equivalent Na ₂ O, %)	Report	400 MT
Moisture (%)	< 3,0	400 MT
Loss on Ignition, LOI (%)	< 6,0	400 MT
Specific surface (BET - m ² /gram)	> 15	3200 MT/3 months
Bulk density (kg/m ³)	Report	400 MT
Pozz. Activity Index (%) - 7 days accelerated curing	> 105	3200 MT/3 months
Retained on 45 micron sieve (%)	< 10	400 MT
Variation from avg. retained on 45 micron (%-points)	< 5	avg. of last 10 tests
Density (kg/m ³)	Report	400 MT

The information given on this datasheet is accurate to the best knowledge of Elkem Materials. The information is offered without guarantee, and Elkem Materials accepts no liability for any direct or indirect damage from its use. The information is subject to change without notice. For latest update or further information or assistance, please contact your local representative, the Internet address or the e-mail address given on this datasheet.

Superplastiserende tilsetningsstoff

PRODUKTBeskrivelse

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

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

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

BRUKSOMRADE

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

Noen spesielle bruksområder er:

- Vanntett betong med krav til høy eller svært høy fasthet og med strenge krav til bestandighet i aggressive miljøer.
- Betong med særlige krav til høy støpelighet; i konsistensklasser S4 og S5 etter NS-EN 206-1.
- Selvkomprimerende betong med ønske om lengre åpentid. Om nødvendig kan SKB stabiliseres med en viskositetsøker – f.eks. **Viscofluid TA**.
- Til produksjon av frostbestandig betong – da i kombinasjon med luftinnførende tilsetningsstoffer - f.eks. **Mapeair L** eller **Mapeair 25**. Valg av type luftinnførende stoff gjøres ut fra egenskapene til de andre delmaterialer som er tilgjengelige.
- Til golvstøp for å oppnå en smidig betong med bedret støpelighet. Store doseringer og lave temperaturer kan retardere betongen noe.

Dynamon SX-N skiller seg vesentlig fra superplastiserende tilsetningsstoffer basert på sulfonerte melaminer eller naftalener, og også fra første generasjon akrylbaserte polymerer både gjennom sin effektivitet som vannreducerer og sin forlenging av åpentid/slumptid.

Den doseringsmengde som trengs for å oppnå en bestemt støpelighet vil derfor være lavere for **Dynamon SX-N** enn for tidligere SP-stoffer. Med forlengingen av åpentiden vil det nå ved vanlige leveranser være mulig å gjøre betongen ferdig på betongstasjonen, og "oppfrisking" med SP-stoffer på byggeplass blir mindre aktuelt.

Det er likevel ikke noe problem å etterdosere stoffet direkte i automikser. Doseringstidspunktet for **Dynamon SX-N** er mindre viktig, men dersom **Dynamon SX-N** tilsettes etter at minst 80% av blandedvannet er inne, vil blandetiden generelt være kortest. Det er likevel viktig med utprøvinger tilpasset eget blandeutstyr.



1274
03
1274 - CPD - 702
EN-934-2:T 3.1/3.2

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

EGENSKAPER

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

Denne effekten kan prinsipielt utnyttes på tre måter:

1. For å redusere mengden tilsatt vann, men samtidig beholde betongens støpelighet.
Lavere v/c-forhold gir høyere fasthet, tetthet og bestandighet i betongen.
2. For å forbedre støpeligheten sammenlignet med betonger med samme v/c-forhold. Fastheten forblir dermed den samme, men muliggjør forenklet utstøping.
3. For å redusere både vann og sementmengde uten å forandre betongens mekaniske styrke. Gjennom denne metoden kan en blant annet redusere kostnadene (mindre sement), redusere betongens svinnpotensial (mindre vann) og redusere faren for temperaturgradienter på grunn av lavere hydrasjonsvarme. Spesielt er denne siste effekten viktig ved betonger med større sementmengder.

VÆR OPPMERKSOM PÅ

Dynamon SX-N lar seg kombinere med andre Rescon Mapei tilsetningsstoffer, som f.eks størkningsakselererende stoffer som **Mapequick SA** og størkningsretarderende stoffer som **Mapetard R**. Produktet lar seg også kombinere med luftinnførende tilsetningsstoffer for produksjon av frostbestandig betong, f.eks. **Mapeair L** eller **Mapeair 25**.

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

EMBALLASJE

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

TEKNISKE SPESIFIKASJONER		
Form:	Væske	
Farge:	Gulbrun	
Viskositet:	Lettflytende; <30 mPa · S	
Tørrestoffinnhold, %:	18,5 ± 1,0	
Spesifikk vekt, g/cm ³ :	1,06 ± 0,02	
pH-verdi:	6,5 ± 1	
Kloridinnhold, %:	< 0,01	
Alkaliinnhold (Na ₂ O-ekvivalenter) %:	< 2,0	
BRUKSEGENSKAPER I BETONG		
<i>Som vannreducerende stoff (lik konsistens) T 3.1</i>		
Sementmengde kg/m ³ (Norcem standard)	350	350
Tilsetningsmengde (i % av sementvekt)	0	1,0
Masseforhold (v/c-tall)	0,51	0,41
Vannreduksjon (%)	-	20
Trykkfasthet (i N/mm ²):		
1døgn	26	41
7døgn	42	60
28døgn	52	68
<i>Som SP-stoff (slumpforbedrer) T 3.2</i>		
Sementmengde, kg/m ³ (Norcem standard sement):	350	350
Tilsetningsmengde (i % av sementvekt):	0	1,0
Masseforhold (v/c-tall):	0,48	0,48
Luftinnhold:	2,1	1,8
Konsistens, mm:		
- synkmål, 5 min	30	220
- synkmål, 30 min	20	200
- synkutbedrelse, 5 min		420
- synkutbedrelse, 30 min		380

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

DOSERING

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

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

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

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

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

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

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.

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



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

