



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Konstruksjonsteknikk og materialteknologi/ byggkonstruksjoner	Vårsemester, 2015 Åpen / Konfidensiell
Forfatter: Phong Thanh Vo	..... (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Veileder:	Kjell Tore Fosså Kjell Tore Fosså
Tittel på masteroppgaven: Engelsk tittel:	Bestendig betong Durability concrete
Studiepoeng: 30poeng	
Emneord: Bestandighet Permeabilitet Kloridinntrengning Vanninntrengning Silikastøv (SF) Penetron pal 18 (Pen18)	Sidetall: 88 + vedlegg: 89-155 (66) Stavanger, 15.06.15

BESTANDIG BETONG

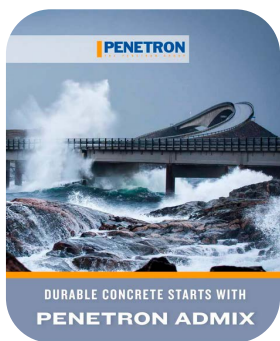
Silikastøv & Penetron admix pal 18



Masteroppgave vår 2015

Konstruksjonsteknikk og materialteknologi

Phong Thanh Vo



Abstrakt

Denne masteravhandlingen fokuseres på betongens bestandighet. Avhandlingen er todelt som inneholder en litteratur del og en praktisk del som er blitt gjennomført i laboratorium. Betong som byggematerialet har i stor grad blitt sett som et vedlikeholdsfritt og evigvarende materiale, men erfaringer fra de siste 20 årene har vist noe annet. Betongens bestandighet er en viktig faktor for betongens levetid og derfor er det viktig å prosjektere betong etter kravene. Permeabilitet i betong er en viktig parameter som har størst påvirkning på betongens bestandighet, som igjen er styrt av masseforholdet. Derfor er valg av materialer og betongkvalitet avgjørende for det miljøet konstruksjonen befinner seg i.

For å gjennomføre oppgaven utføres det også et litteraturstudium for å avdekke en sentral del om betongens bestandighet. Denne delen inneholder en kort beskrivelse om betong historie, forklaring på hva bestandig betong er, hvilke nedbrytningsmekanismer som kan oppstå og rehabilitering av betongkonstruksjoner på grunn av kloridinntrengning

Et forsøksmatrise er laget og utført på laboratorium. Arbeidet på bygg-lab. går ut på å støpe utvalgte betong typer i forskjellige betongresepter. Det er to typer betong henholdsvis høyfast betong og normal betong som støpes i tre varianter, én uten tilsetning og to med tilsetning, totalt seks betongresepter. Tilsettingene er silikastøv og Penetron Pal 18. Hovedhensikten er å undersøke effektene til silikastøv og Penetron pal 18 som tilsettes i betong. Primært er fokus på permeabiliteten i betong som er en viktig parameter for bestandighet. I tillegg utforskes det hvordan de mekaniske egenskaper blir påvirket av tilsettingene.

Betongens permeabilitet er utført med to forsøksmetoder som undersøker betongens motstand mot klorid- og vanninntrengning. Gjennomføring av metodene er utført ved hjelp av prosedyrer fra NT Build 443 og Statens vegvesen 14.633. I tillegg utføres det prøver på den ferske betongen og mekaniske prøver i herdet tilstand for å undersøke egenskapene og betongkvaliteten.

Resultater som er oppnådd i laboratoriet er blitt sammenlignet med teorien som er beskrevet i litteratur delen. Ut ifra analysene kan det konkluderes med at tilsetning av silikastøv og Penetron pal18 i betongblandinger reduserer permeabiliteten i betong og øker motstandsevnen mot kloridinntrengning. Dette kan resultere til at nedbrytningsskader foregår langsommere og dermed så økes bestandigheten i betong og betongkonstruksjoner har større sannsynlighet for å oppnå den prosjekterte levetid. Det er også funnet at tilsetning av materialene gir økt trykkfasthet, men tilnærmet ingen effekt på spaltetrekkfasthet og elastisitetsmodul. Effektene til SF og Pen18 fungerer på to forskjellige måter, men brukes til samme formål, å øke bestandigheten i betong. Resultater fra forsøksprøvene viser at tilsetning av silikastøv i betongblandinger gir større virkning på betongens permeabilitet både mot klorid- og vanninntrengning enn tilsetningsstoffet Penetron pal 18, men forskjellen mellom resultatene er lite.

Forord

Denne masteravhandlingen er skrevet som en del av en 2-årig mastergrad ved Universitet i Stavanger, institutt for konstruksjonsteknikk og materialteknologi. Rapporten er utarbeidet av Phong Thanh Vo og er et selvstendig arbeid som er utført i løpet av 20 uker med faglig veiledning fra Professor Kjell Tore Fosså.

Motivasjonen for oppgaven er min egen interesse for betongkonstruksjoner. Oppgaven er definert etter et ønske om å undersøke bestandighet i betong. Tanken med dette er betongkonstruksjoner som spesielt er prosjektert for svømmeanlegg hvor konstruksjonen svært sårbar mot klorider og høy fuktighet. Armeringskorrosjon som kan oppstå på grunn av kloridinntrengning i betong er truende for konstruksjonen og denne skaden er sett som en av de vanligste og hyppigste skadetyper.

Avhandlingen er gjennomført ved Universitet i Stavanger, ved det tekniske-naturvitenskapelige fakultet. Her har jeg vært på bygg laboratorium for utstøping av betongprøvestykker og gjennomføring av eksperimentelle prøver. Med denne oppgaven har jeg opparbeidet kunnskap om bestandighet og nedbrytningsmekanismer på betongkonstruksjoner. Dette har også gitt meg god forståelse innenfor betongens bestandighet.

Jeg vil rette en stor takk til Professor Kjell Tore Fosså for en god innsats med veiledninger og oppfølginger i skriveperioden. Jeg vil også takke Senioringeniør Samdar Kakay og UiS for bruk av utstyr og bygg laboratorium, samt medstudenter som har bidratt med utstøping i bygg laboratoriet. Til slutt Giang Tran som har vært en god støtte person.

Stavanger, 15.06.15
Phong Thanh Vo

Figur liste

Figur 1: Pantheon og Colosseum.....	3
Figur 2: Betongens bestandighet påvirkes av forskjellige faktorer [5].	5
Figur 3: v/c-tall påvirker både permeabilitet og trykkfasthet.....	6
Figur 4: Betongens poresystem er sterkt avhengig av masseforhold (v/c-tallet).	6
Figur 5: Hvordan Penetron fungerer i betong.....	10
Figur 6: Penetron reagerer med kalsiumhydroksid, vann og aluminium, det dannes krystallnett [11].	10
Figur 7: Betydning av overdekning på initieringsperioden	11
Figur 8: En enkel korrosjonsmodell.....	13
Figur 9: Beskriver anode- og katodeprosess [14].....	14
Figur 10: Karbonatisering, trinn 1	15
Figur 11: Karbonatisering, trinn 2	15
Figur 12: Karbonatisering, trinn 3	16
Figur 13: Kloridioner punkterer passivefilmen rund armering [16].....	17
Figur 14: Forholdet mellom Cl^- og OH^- [16].	17
Figur 15: Kloridioner kan grave dype hull [16].	18
Figur 16: Alkali / Kisel reaksjon. Rissmønster [13].	21
Figur 17: Betingelser for alkalireaksjoner [19].	22
Figur 18: Utluting på betongens overflate	23
Figur 19: Biologisk vekst på betongoverflate [23]	24
Figur 20: Rehabilitering, Standard [25].	25
Figur 21: Korrosjonsforløp.....	28
Figur 22: Utstyr for Quantab-metoden.	29
Figur 23: Prinsippet til en spektrometri.	29
Figur 24: Feltanalyse sett til RCT-metoden.	30
Figur 25: Mekanisk reparasjon [12].....	31
Figur 26: Overflatebehandling [32].	32
Figur 27: Standardsement	34
Figur 28: Industrisement	35
Figur 29: Forskjellige sammensetning av tilslag [2].	36
Figur 30: Speedy moisture.....	40
Figur 31: Synkmål	41
Figur 32: Utstyr til måling av luftinnhold.....	41
Figur 33: Terningsform oppå en vibrasjonsmaskin	42
Figur 34: Form for terninger og sylindere.	43
Figur 35: Trykkfasthetsprøve.....	43
Figur 36: Tilfredsstillende bruddform for terningsformede prøvelegemer.	44
Figur 37: Sylinder splittes i to	44
Figur 38: Utstyr til spaltstrekkfasthetsprøve: Stativ (t.v) og mellomlegg lister av tre og stål (t.h.)	45
Figur 39: Sykluser for bestemmelse av stabilisert sekant elastisitetsmodul, metode B [30].....	45
Figur 40: Måleinstrument, Elastisitetsmodul.....	45
Figur 41: Epoxy belegg på prøvestykker.	47
Figur 42: Prøvestykker klargjøres til saltbad.	47

Figur 43: Utfresing av betongsstøv	47
Figur 44: oppbevaring av betongsstøvprøver	48
Figur 45: Utstyr for RCT-prøve	48
Figur 46: Definisjon av kloridbelastning (C_s) basert på en regresjonsanalyse og kurvetilpasning av observerte data på kloridinntrengning [40].....	50
Figur 47: Sammenheng mellom kloridkonsentrasjoner i betong basert på henholdsvis betongvekt og sementvekt for betong med varierende sementinnhold [40].....	51
Figur 48: Diamantsag (t.v.) og prøvestykketsoverflate etter forbehandling (t.h.)	52
Figur 49: Øverst: Monteringsrigg og toppstykket, (t.v.) monteringsrigg tilkoblet til apparatet og (t.h.) vanninntrengningsprøve systemet.....	53
Figur 50: Prøvestykke splittes i to.	53
Figur 51: Måling av inntrengningsdybden	54
Figur 52: Synkmål	55
Figur 53: Densitet	56
Figur 54: Luftinnhold i betong.....	56
Figur 55: Trykkfasthet, høyfast betong	57
Figur 56: Trykkfasthet, normal betong.....	58
Figur 57: Gjennomsnittresultater fra elastisitetsmodul prøve	59
Figur 58: Eksempel på kloridprofil, H1 prøve A.....	60
Figur 59: Klorid diffusjonskoeffisient til prøvestykkene.....	61
Figur 60: Gjennomsnittresultater av klorid diffusjonskoeffisient.	61
Figur 61: Overflatekonsentrasjon til prøvestykkene.....	62
Figur 62: Gjennomsnittresultater av overflatekonsentrasjon.....	62
Figur 63: Vanninntrengningsprøve, H1	64
Figur 64: Vanninntrengningsprøve, H2	64
Figur 65: Vanninntrengningsprøve, H3	64
Figur 66: Vanninntrengningsprøve, NB1	65
Figur 67: Vanninntrengningsprøve, NB2	65
Figur 68: Vanninntrengningsprøve, NB3	65
Figur 69: Sammenligning mellom betong typene for vanninntrengningsprøven	66
Figur 70: Klorid diffusjonskoeffisient, høyfast betong.	72
Figur 71: Overflate konsentrasjon, høyfast betong	72
Figur 72: Klorid diffusjonskoeffisient, normal betong.	73
Figur 73: Overflate konsentrasjon, normal betong.....	73
Figur 74: Kloridprofil NB3 prøve A.....	75
Figur 75: Kloridprofil NB3 prøve C.....	75
Figur 76: Ny verdi for NB3	76
Figur 77: Sammenligning av silikastøv og Penetron pal18.....	77
Figur 78: Eksempler på noen eksponeringsoverflater	78
Figur 79: Levetid før kritisk kloridnivå oppnås.	79
Figur 80: Vanninntrengningsdybde, normal betong.....	82

Tabell liste

Tabell 1: Eksponeringsklasser og miljøbeskrivelse.....	7
Tabell 2: Valg av bestandighetsklasse avhengig av eksponeringsklasse [8].	8
Tabell 3: Kloridinnhold og korrosjonsrisiko.....	19
Tabell 4: Forskjellige syrers aggressivitet [22].	23
Tabell 5: Oversikt over prøvemetoder og prøvelegemer.	34
Tabell 6: Veiledende verdier for kloridbelastning C_s på betongkonstruksjoner i et norsk kystmiljø [39].	50
Tabell 7: Krav til minste overdekning av hensyn til bestandighet for armeringsstål [6]	52
Tabell 8: Resultater fra ferske egenskaper i betong.	55
Tabell 9: Gjennomsnittresultater av trykkfasthet til utvalgte betong	57
Tabell 10: Resultater fra spaltestrekkfasthetsprøve.....	58
Tabell 11: Resultater fra elastisitetsmodul prøve.....	59
Tabell 12: Klorid diffusjonskoeffisienter til prøvestykkene.....	60
Tabell 13: Resultater, kloridkonsentrasjon ved betongoverflaten	62
Tabell 14: Forholdet mellom overflatekonsentrasjon i betongvekt og sementvekt.....	63
Tabell 15: Resultater, Levetid før kritisk kloridnivå oppnås.....	63
Tabell 16: Gjennomsnitt verdier av vann-inntrengning til prøvestykkene.....	66
Tabell 17: Synkklasser [8].	68
Tabell 18: Effekt av tilsetninger.....	71
Tabell 19: Reduksjon av klorid permeabilitet.....	73
Tabell 20: Effekt av tilsetning på normal betong.....	73
Tabell 21: Klorid diffusjonskoeffisient, ny verdi for NB3.	76
Tabell 22: Overflatekonsentrasjon, ved forkasting av prøve H3 C.	76
Tabell 23: Reduksjon av klorid permeabilitet, normal betong.	77
Tabell 24: Ny, levetid før kritisk kloridnivå oppnås, høyfast betong	80
Tabell 25: Økning av levetid med tilsetning i forhold til betong referansen.....	80
Tabell 26: Reduksjon av vanninntrengning på grunn av tilsetning.....	82

Innhold

MASTEROPPGAVE VÅR 2015	I
ABSTRAKT	I
FORORD	III
FIGUR LISTE	V
TABELL LISTE	VII
INNHold.....	IX
1. INNLEDNING.....	1
PROBLEMSTILLING	1
AVGRENSING	2
2. BETONGENS HISTORIE	3
3. BESTANDIGHET.....	5
3.1. MATERIALVALG	8
3.2. TILTAK FOR Å ØKE BESTANDIGHET	11
4. NEDBRYTNINGSMEKANISMER	13
4.1. ARMERINGSKORROSJON	13
4.2. FYSISKE PÅKJENNINGER	19
4.3. KJEMISK NEDBRYTNING	21
5. BETONGREHABILITERING.....	25
5.1. TILSTANDSANALYSE	25
5.2. UNDERSØKELSESMETODER.....	26
5.3. REPARASJONSMETODER	27
5.4. REPARASJON AV ARMERINGSKORROSJON FORÅRSAKET AV KLORIDINNTRENGNING	27
6. LABORATORIEPROGRAM	33
6.1. DELMATERIALER	34
6.2. BETONGRESEPT	38
6.3. STØPING	39
6.4. UTSTØPING.....	42
7. RESULTATER.....	55
7.1. FERSK BETONG EGENSKAPER.....	55
7.2. HERDET BETONG	57
7.3. PERMEABILITETSPRØVER.....	60
8. DISKUSJON AV RESULTATER OG FEILKILDER	67
8.1. FERSK BETONG EGENSKAPER.....	67
8.2. HERDET BETONG	69
8.3. PERMEABILITETSPRØVER.....	71
9. KONKLUSJON	85
10. REFERANSER.....	87
11. VEDLEGG	89

1. Innledning

Bestandig er en sentral rolle for betongens levetid. Høy bestandig betong er viktig for konstruksjoner som er utsatt for aggressivt miljø og er planlagt til å ha lang levetid. Bestandighet er i stor grad avhengig av forskjellige faktorer, og betongens permeabilitet er sentral i den forbindelse som igjen er styrt av betongens sammensetning og material valg. Lavere masseforhold (v/c-tall) og bruk av tilsetning kan redusere permeabiliteten i en betong.

Bruk av pozzolaner i betong kan øke betongens bestandighet. Silikastøv er en vanlig tilsetning for betongkonstruksjoner som er utsatt for aggressivt miljø. Tilsetning av silikastøv øker tettheten i betong og på denne måten vil inntrengning av kloridioner gå langsommere.

Tilsetninger for å forbedre betong er alltid i utvikling og det kommer stadig nye produkter. Penetron admix er brukt i betongkonstruksjoner rundt om i verden. Dette stoffet inneholder kjemikalier som danner et nett av uopløste krystaller i kapillærporer og mikrosprekker i betong som beskytter betongen fra innsiden og ut. Krystaller i fast stoff vil hindre inntrengning av vann og andre aggressive stoffer, men tillater likevel luft å trenge inn slik at betongen skal kunne «puste».

Svømmehaller er en typisk konstruksjon som blir utsatt for aggressive stoffer. Vannet fra bassenget inneholder klorider som kan utsette betong med høy permeabilitet for fare. I tillegg kan kjemikalier som håndteres i en slik anlegg utsette skader på betong og høy luftfuktighet i basseng området forsterker nedbrytningsmekanismer. Skader som armeringskorrosjon er ikke like lett å oppdage og derfor er det viktig i utgangspunktet å ha en god bestandig betong.

Problemstilling

Permeabilitet i betong er en viktig parameter for bestandighet. Sentralt i oppgaven er bestandighet og nedbrytningsmekanismer og hvordan dette påvirker egenskapene i betongkonstruksjoner. Det gjøres også eksperimenter i laboratorium for å undersøke bestandighet til utvalgte betong typer, samt prøve av fersk betong og mekaniske egenskaper. Prøvingsmetodene for bestandighet kan være klorid-inntrengning eller vanninntrengingsprøve.

Formålet med laboratorium er å studere effektene til tilsetningene som er nevnt ovenfor på betongens permeabilitet:

- Silikastøv (SF)
- Penetron admix pal18 (Pen18)

Innledning

Programmet innebærer 2 utvalgte betongtyper med ulik masseforhold som støpes i 3 varianter:

- Referanse betong (uten tilsetning).
- Silikastøv tilsatt i betongblanding.
- Penetron admix pal18 tilsatt i betongblanding.

Avgrensing

I denne rapporten er det fokusert på enkelte parameter og dermed er det noen temaer som ikke blir tatt hensyn til med tanke på totaltid og kapasitet på laboratorium. Disse temaene er:

- Beregning av vannpermeabilitet koeffisient, Darcys lov.
- Herdebetingelser
- Transportmekanismer
- Sementtyper

2. Betongens historie

Forskere mener at betongens historie kan ha startet for ca. 9000 år siden. Det er også bevist at betong ble benyttet i 5600 år f.Kr. Dette baseres på et funn som består av sandholdig tilslag bunnet sammen av kalkholdig bindemiddel [1]. Det sementlignende bindemiddelet kalkstein ble brukt som bindemiddel mellom sand, grus og stein i et gulv. Brent kalkstein ble blandet med sand og vann som gir ett formbart material, kjent som kalkmørtel [2].

Det er romerne som oppfant kunnskapen om brent kalk og fikk fart på bygging med betong som materiale. De hadde brukt byggemateriale for å bygge sine konstruksjoner, nærmere kjent som Colosseum og Pantheon. Romerne blandet vulkansk aske med brent kalk som ga et sterkt bindemiddel og ved reaksjon med vann dannet det et liknende produkt som er omtrent lik dagens produkt når portlandsement reagerer med vann. Denne typen bindemiddel er kjent som «pozzolan sement» [2]. Navnet pozzolan kommer fra byen Pozzuoli som ligger nær Napoli.



Figur 1: Pantheon og Colosseum.

I 1700-tallet oppdaget briteren John Smeaton ved forskjellige eksperimenter med ulike typer sement, et resultat hvor han blandet pozzolan med sammensetningen av kalk og leire. Materialene ble oppvarmet i en ovn og malt til et fint pulver. Dette pulveret er kjent som «naturlig sement» og dette kommer av sin naturlige opphav av stoffet [3].

Naturlig sement blir også kalt hydraulisk kalk. Pulverets reaksjon med vann gir en kjemisk herdeprosess som til slutt førte til masseproduksjon av produktet. Denne kjemiske herdeprosessen finner man i sementprodukter som brukes i dag for å støpe betong. Joseph Aspdin var personen som utviklet produktet og den første som brukte navnet portlandsement i år 1824. Portlandsement ble kalt fordi den i herdet tilstand lignet en bygningsstein fra halvøya Portland i Sør-England. I Norge ble de første sementfabrikker fremstilt i 1840-årene [4].

Betong som byggemateriale fikk sitt virkelige gjennomgang først etter at man fant ut at materialet kunne forbedres og armeres med stålstenger (armeringsjern). Kombinasjonen

mellom materialene forsterker byggematerialets styrkekapasitet, der betong har evnen til å motstå store trykk krefter og armeringsstål har evnen til å tåle strekk krefter. Produksjonen av moderne portlandsement og bruk av betong startet tidlig, men det var i 1915-1920 årene at de første armerte betongkonstruksjoner ble bygget i Norge. Siden armert betong er formbart, bestandig og kan oppta store trykk- og strekkrefter har byggematerialet vært dominerende de siste 100 årene [4].

3. Bestandighet

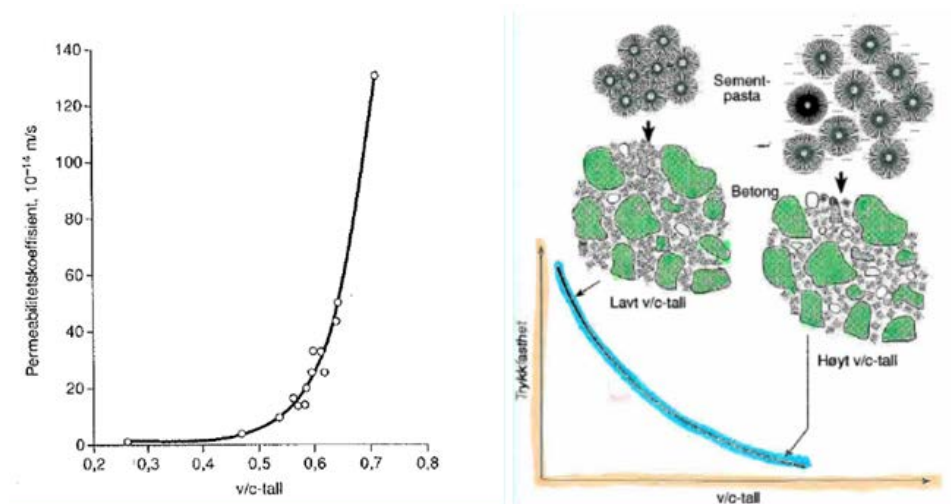


Figur 2: Betongens bestandighet påvirkes av forskjellige faktorer [5].

Betong karakteriseres som god styrke, tetthet og bestandig. Tettheten til betong kalles gjerne permeabilitet og har en viktig rolle for hvor bestandig betongen er. En bestandig betong er holdbar, beholder styrken og utseendet uten kostbart vedlikehold. For å oppnå god bestandighet bør betongen være tett, det vil si at sementpastaen må ha liten porøsitet, samtidig komprimeres betongen slik at tilslaget og sementpastaen fester seg skikkelig sammen ved utstøping av betong. Betongens tetthet styres i vesentlig grad av valg av sammensetningen og delmaterialer. Andre faktorer som utføring av utstøping, komprimering og herding er også viktige faktorer (figur 2) [4].

Betongens bestandighet er en viktig faktor som angir hvor lang levetid en betongkonstruksjon får. Med levetid menes den tiden konstruksjonen har sin funksjonsdyktighet, der estetiske forhold må også tas i betraktning [2]. Det er i dag satt en rekke krav i NS-EN 1992-1-1 [6] for å sikre god bestandighet til betong og betongkonstruksjoner. Grunnlaget for bestandighet bestemmes allerede i planleggingsfasen, der sammensetning til betong bestemmes, og materialer velges, samt i hvilke forhold betongkonstruksjonen er eksponert mot. I tillegg vil utforming og utførelse av arbeidene ha en avgjørende betydning for bestandigheten.

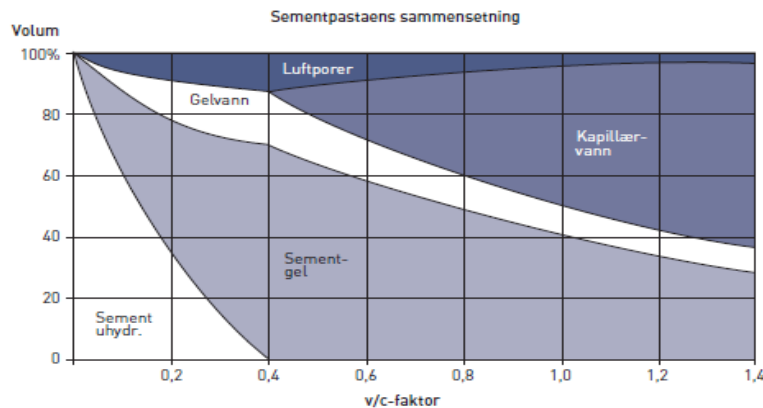
Porøsitet og permeabilitet til en betong er de viktigste egenskapene med tanke på bestandighet. Som nevnt er disse egenskapene bestemt av betongsammensetningen og forteller noe om betongens motstandsevne til å hindre stoffer å trenge inn i betong som kan føre til ulike nedbrytningsmekanismer. Permeabilitet omfattes både som gass-, damp og væsketransport og initieringshastigheten av disse stoffene reduseres når en betong har lav permeabilitet [2].



Figur 3: v/c-tall påvirker både permeabilitet og trykkfasthet

Masseforholdet mellom vann og bindemiddel (som hovedsakelig er sement) styrer porøsiteten i betong. Dette masse-forholdet kan også kalles v/c-tallet og spiller en viktig rolle med tanke på permeabiliteten. For v/c-tall lik 0,4 regnes det teoretisk at det er tilstrekkelig mengde vann til at all sement hydratiseres (sement omdannes til sementpasta). For en betong med v/c-tall som er lavere enn 0,4 vil dette resultere til en tettere og sterkere betong, fordi mindre vann gir mindre avstand mellom partiklene og mindre porøs.

Ved hydratisering av sementen vil det danne gelporer i størrelsesorden 2nm. Andel gelporer er direkte relatert til andel hydratisert sement. Gelporer fordeler seg jevnt i betongen, og sikrer en tettere og mindre permeabel betong som vil gi økt bestandighet og styrke. Høyere tilsatt vannmengder gir økt v/c-tall (> 0,5) som fører til overskuddsvann. Dette overskuddsvannet kan danne kontinuerlige kapillærporer i betongpastaen, fordi overflødig vann vil ikke kunne binde seg kjemisk i betongen [7]. Kapillærporer er i størrelsesorden 4nm til 1000nm og er direkte svake soner som muliggjør en kraftig øking av væske- og gasstransport som kan føre til nedbrytningsfare [7]. I figur 4 vises det hvordan økningene i kapillærporer og fuktopptak er ved økende v/c-tall.



Figur 4: Betongens poresystem er sterkt avhengig av masseforhold (v/c-tallet).

I betongstandardene er det angitt krav til betongsammensetning og armerings overdekning for betongkonstruksjoner med ulike typer miljøeksponeringer. Hvilken miljøpåvirkning konstruksjonen utsettes for er angitt med en klassebetegnelse og dette skal bestemme i hvert enkelt tilfelle. Eksponeringsklasser som er definert i NS-EN 206-1 [8] angir 8 grupper og totalt 20 klasser. I tabell 1 nedenfor er det en oversikt over eksponeringsklasser med potensielle nedbrytningsskader.

Gruppe	Eksponeringsklasse(r)	Beskrivelser om nedbrytningsskader
1	X0	Ingen risiko for korrosjon eller nedbrytning
2	XC1 – XC4	Korrosjon initiert av karbonatisering
3	XD1 – XD3	Korrosjon initiert av klorider fra andre kilder enn sjøvann
4	XS1 – XS3	Korrosjon initiert av klorider fra sjøvann
5	XF1 – XF4	Fryse-/tineangrep med og uten avisningsmiddel
6	XA1 – XA3	Kjemiske angrep fra jord og grunnvann
7	XA4	Kjemiske angrep fra husdyrgjødsel
8	XSA	Særlig aggressivt miljø

Tabell 1: Eksponeringsklasser og miljøbeskrivelse

Betong som skal tåle de påkjenningene de utsettes for i de forskjellige eksponeringsklassene må tilfredsstille gitte kvalitetskrav [9]. Basert på disse kvalitetskravene er betong klassifisert i forskjellige bestandighetsklasser, som bestemmes av betongsammensetningen. Motstand mot miljøeksponeringer i de forskjellige bestandighetsklassene er bestemt av krav til største masseforhold, minste luftinnhold i fersk betong og minste effektive bindemiddelmengde. Tabell 2 viser hvilke bestandighetsklasser av betong som tilfredsstiller krav til betongkonstruksjoner i de forskjellige eksponeringsklassene.

Tabellen nedenfor er hentet fra tabell NA.11 i NS-EN 206-1 [8].

Eksponeringsklasse	Bestandighetsklasse					
	M90	M60	M45	MF45	M40	MF40
X0	X	X	X	X	X	X
XC1, XC2, XC3.XC4, XF1		X	X	X	X	X
XD1, XS1, XA1, XA2 ^{a)} , XA4 ^{b)}			X	X	X	X
XF2, XF3, XF4				X		X
XD2, XD3, XS2, XS3, XA3 ^{a)}					X	X
XSA ^{a)}	Betongsammensetningen og beskyttelsestiltak fastsettes særskilt. Betongsammensetningen skal minst tilfredsstillende kravene til M40.					
^{a)} Om det i eksponeringsklasse XA2, XA3 eller XSA er mulighet for kontakt med sulfater i konsentrasjoner høyere enn grenseverdien for XA2, skal det i produksjonsunderlaget være presisert at det skal anvendes sulfatbestandig sement. ^{b)} For konstruksjoner utsatt for husdyrgjødsel skal det i produksjonsunderlaget være angitt at det skal anvendes minst 4 % silikastøv.						

Tabell 2: Valg av bestandighetsklasse avhengig av eksponeringsklasse [8].

Klassene betegnes med M eller MF og et tall. Der tallet er 100 ganger masseforholdet og F betyr at betongen skal være frostsikker og luftinnblanding i betong kan være nødvendig. I tillegg er det angitt hvilke typer sement som foretrekkes ved de forskjellige bestandighetsklassene.

I planleggingsfasen bør man vurdere hvordan konstruksjonen kan fremstilles på best mulig måte. På denne måten kan bestandigheten til betong økes og konstruksjonen kan få en lengre levetid. For eksempel kan konstruksjonen utføres på en måte slik at det ikke blir stående vann på bygget. Betong som beskytter armeringsstål mot miljøpåkjenninger spiller en sentral rolle for bestandigheten til betongkonstruksjon. Ved å bestemme tilstrekkelig overdekning økes beskyttelsen for armeringsstålet og eventuelle korrosjonskader på armeringen oppstår mye senere i brukstiden.

3.1. Materialvalg

I betongsammensetning er det flere delmaterialer som kan ha påvirkning på betongens bestandighet ved å redusere permeabiliteten i betong. For å redusere permeabiliteten kan man tilsette silikastøv som er en type pozzolan. Nærmere om pozzolan og silikastøv er beskrevet i kapittel 6.1 under delmaterialer.

Silikastøv

Silikastøv har effekt både på fersk og herdet betong. På grunn av den ekstreme finheten og spesifikke overflaten til silikastøv vil egenskaper i fersk betong endre seg. I fersk betong påvirker silikastøv støpeligheten i betong avhengig av hvilken type betong og mengde tilsatt silikastøv. Materialet vil binde store mengder vann og dette vil føre til at den ferske betongen blir stivere og seigere, i tillegg vil den indre kohesjonen øke [7].

Egenskapene til silikstøv gjør det svært reaktivt med kalsiumhydroksid som dannes ved sementhydratasjon for å produsere bindemiddelet kalsiumsilikat-hydrat (C-S-H). Dette er med på å gjøre porestrukturen til betongen finere, fordi bindemiddelet vil fordele seg rundt i de åpne porene og gjøre betongen mer homogent. Fordelen er at det gjør betongen tettere, og den fine porestrukturen reduserer gjennomtrengeligheten av vann og aggressive stoffer i betongen. Dette gjør betongen mer bestandig og er generelt godt egnet for konstruksjoner som er utsatt for aggressive miljøer.

I herdet betong påvirker silikastøv de mekaniske egenskapene. Med silikastøv tilsatt blir de svake sjiktene og de grove kapillærporene erstattet av en sterk reaksjonsmasse, C-S-H. Betongen får en finere porestruktur som utgjør porer i mindre størrelser og dette bidrar til at trykkfastheten til betong øker. Strekk- og bøyestrekfasthet med silikastøv tilsatt er funnet ved forsøk å ha høyere kapasitet enn referanse blanding uten silikastøv, men elastisitetsmodul blir upåvirket av silikastøv [2].

Penetron admix

Penetron admix er en type tilsetningsstoff som tilsettes direkte under blanding til ny betong. Dette er en integrert tredje generasjon krystallinsk middel som reduserer permeabilitet i betong. Penetron admix er ikke et giftig produkt og består av portlandsement, spesielt behandlet kvartssand og forskjellige aktive kjemikalier [10].

Når Penetron admix blandes i betong virker dette som en katalysator i hydratiseringsprosessen for uhydratiserte sementpartikler som allerede eksisterer i betongen. Dette er på plass tidlig i fasen av sementreaksjon og resulterer i utvikling av indre styrke som bygges opp til en viss grad for å kompensere dannelse av svinnriss, i tillegg økning i trykkfasthet. Samtidig blir støpeligheten av den ferske betongen forlenget [11].

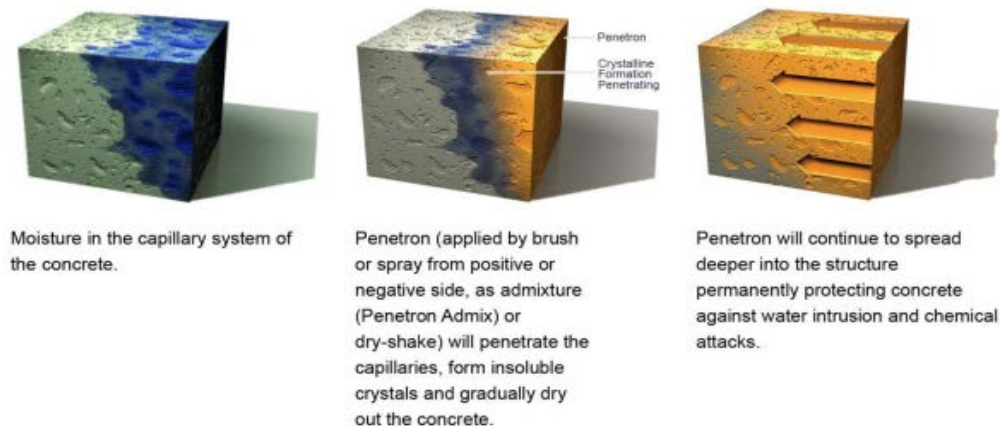
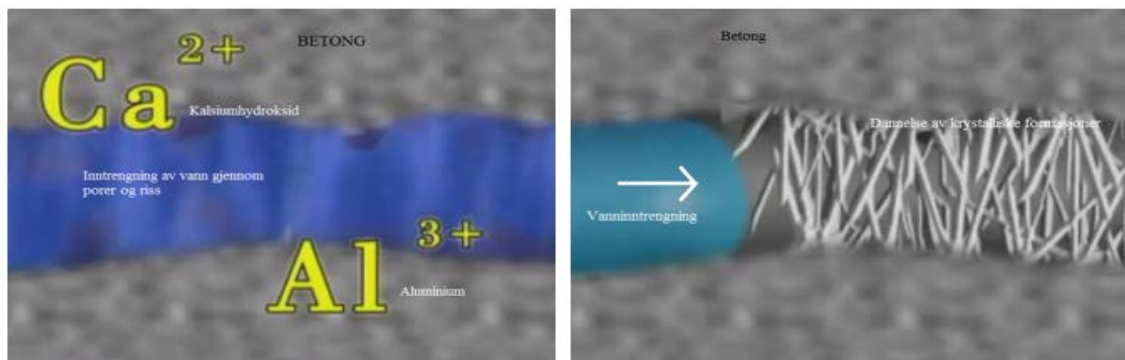


Figure 11 How Penetron works

Figur 5: Hvordan Penetron fungerer i betong.

De aktive kjemikaliene i Penetron admix reagerer med vann, kalsiumhydroksid og aluminium, samt andre metalloksider som finnes i betong for å danne et nett av uopløselige krystallinske formasjoner. Disse krystallene er i fast stoff og krystallinske formasjonene forsegler permanent i mikrosprekker (opptil 0,4mm), porer og kapillærer-porer og effektivt beskytter betongen mot inntrengning av vann og andre aggressive stoffer. Likevel tillates derimot å passere gjennom den krystallinske dannede formasjonen, dette er for at betong skal kunne «puste» og unngå oppbygging av damptrykk [11].



Figur 6: Penetron reagerer med kalsiumhydroksid, vann og aluminium, det dannes krystallnett [11].

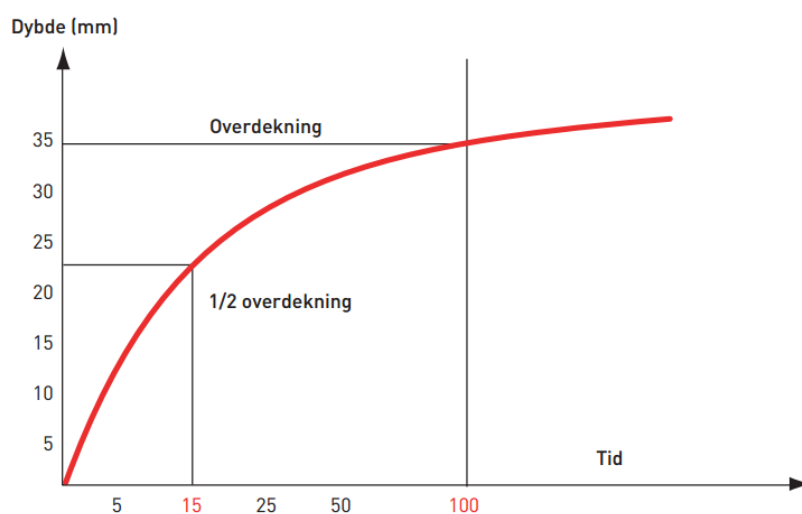
Penetron admix vil også forbedre betongens egenskaper og gi økt trykkfasthet, fordi tetting av kapillærer og hulrom utgjør en tettere masse av betong. I tillegg virker Penetron admix «self healing» i betong, det vil si at dersom sprekker oppstår i betong vil Penetron admix kjemikal komponentene aktivere via inntrengende fuktighet. Dette fører til at den kjemiske reaksjonen automatisk fortsetter og utvikler krystaller som tetter den nydannedesprekken [11].

Effekten av Penetron er blitt bekreftet av svensk og internasjonal EU – sertifiserte betongprøvningsinstitutt. Reduksjon av permeabilitet innebærer minkende risiko for armeringskorrosjon og fryseskader, i tillegg vil risikoen for alkali-kisel reaksjon minke, se vedlegg D.

3.2. Tiltak for å øke bestandighet

Det flere metoder for å bygge mer bestandige betongkonstruksjoner, blant annet:

- **Bruk av rustfritt eller korrosjonsbestandig armeringsstål:**
Rustfritt stål er stål som har større motstandsevne mot korrosjon på grunn av at materiale legeres med krom. Rustfritt stål er ikke helt fullstendig rustfritt, men fordelen er at det korroderer ikke så lett som vanlig armeringsstål.
- **Installasjon av katodisk vedlikehold under bygge perioden:**
Ved installasjon av et anlegg for katodisk beskyttelse kan man forbygge korrosjon som kan være forårsaket av kloridinntrengning og karbonatisering.
- **Overflatebehandling av nylig oppførte konstruksjoner:**
Ved overflatebehandling kan man hindre aggressive stoffer å trenge inn i betongen.
- **Overdekning:**
Tilstrekkelig overdekning øker bestandigheten i en betongkonstruksjon. Dette er en konstruktiv tiltak som påvirker initieringstiden til karbonatisering og kloridinntrengning. Ved tilstrekkelig overdekning tar det lenger tid for aggressive stoffer å trenge inn til armeringen i betong. I standarden NS-EN 1992-1-1 er det forskjellige krav til minste overdekning avhengig av hvilke formål betongkonstruksjoner skal prosjekteres for.



Figur 7: Betydning av overdekning på initieringsperioden

4. Nedbrytningsmekanismer

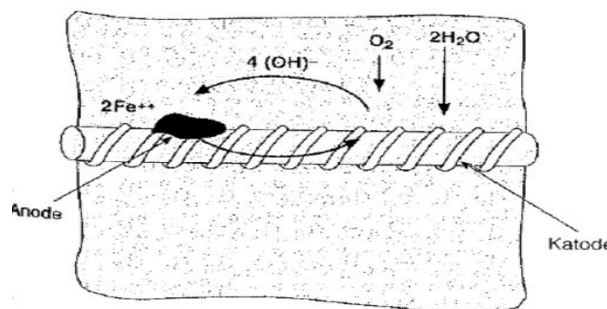
For å kunne foreta en riktig og bestandig rehabilitering, er det viktig å kjenne de forskjellige skadetyper og deres årsak. Alle typer byggematerialer blir utsatt for ulike nedbrytningsmekanismer, i form av enten kjemisk, fysisk eller biologisk nedbrytning. Forskjellige nedbrytningsmekanismer vil utvikle ulike typer skader på betongen [12].

4.1. Armeringskorrosjon

I armerte betongkonstruksjoner er armeringskorrosjon den hyppigste og vanligste skadetyper som forårsaker de fleste store skadene på betong. Dette har stadig vært et stort problem på betongkonstruksjoner og medfører store økonomiske kostnader ved utføring av vedlikehold og reparasjoner.

Korrosjon er nedbrytning av metall under frigivelse av elektrisk energi. Dette er en elektrokjemisk prosess som omdanner metallisk jern til rust produkter [13]. Rust produktet som blir dannet av korrosjonsprosessen har et vesentlig større volum opptil 5-7 ganger enn reaktantene. Denne volum utvidelsen forårsaker ekspanderende krefter i betong og kan føre til oppsprekking og avskalling når disse kreftene blir større enn betongens strekkfasthet [12]. Tverrsnittet til armeringsstålet vil også bli redusert og betongkonstruksjoner som er utsatt for armeringskorrosjon har dermed en lavere kapasitet. Dette kan det føre til heftbrudd og sammenbrudd av betongkonstruksjoner der korrosjon er stor.

Korrosjonsprosessen er avhengig av en anode og en katode, som er forbundet via metallisk kontakt og en elektrisk ledende væske som kalles elektrolytt. Reaksjonen ved anode og katoden kalles en halvcellereaksjon. Prinsippet i en halvcellereaksjon er det samme som den prosessen én har i en galvaniskcelle. Ved anoden foregår det en oksidasjonsprosess med produksjon av elektroner som forårsaker en oppløsning av jern (Fe) [14]. Fra armeringsstålet som fungerer som den metalliske kontakten, vil elektroner vandre fra anode til katode. Hydroksidioner dannes når halvcelle reaksjonen forbruker oppløste oksygenioner. Hydroksidionene går videre via elektrolytten tilbake til anoden. Det er også andre faktorer som kan påvirke korrosjonsforløpet som for eksempel temperatur, pH, væske og konsentrasjon av oppløst oksygen. Figur 8 viser en forenklet armeringskorrosjonsmodell.



Figur 8: En enkel korrosjonsmodell.

Anodeprosess

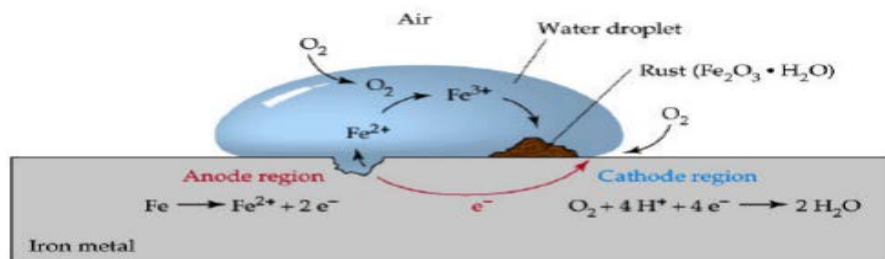
En anodereaksjon i armeringsjern vil være avhengig av pH-verdi og andel negative anioner. Prosessen er en oksidasjon, ved at elektroner frigis og jernet går i oppløsning. Følgende likninger viser oksidasjonsforløp [14]:



Ligning 1 opptrer når pH verdi er lavere enn 9, mens ligning 2 kan opptre ved pH-verdi høyere enn 12.

Katodeprosess

En katodereaksjon i armeringsjern avhenger av tilgjengeligheten av oksygen og pH-nivået i nærheten av overflaten til armeringsjernet. Prosessen er en reduksjon av oksygen og elektroner blir tatt opp. De vanligste katodereaksjonen er [14]:



Figur 9: Beskriver anode- og katodeprosess [14].

Armeringsjern er vanligvis beskyttet mot korrosjon. Dette er fordi betong rundt armeringen har høy alkalitet i porevannet med pH verdi i område 12,6 – 14 og danner en tett oksidfilm rundt armeringsjernet som hindrer korrosjon. Denne beskyttelsen kalles passivering.

Når pH-verdien til porevannet omkring armeringsjernet synker til 9 eller lavere depassiveres det beskyttende oksidfilmen rundt stålet. Dette vil føre til at vann og luft som er tilstede får kontakt med armeringsjern og korrosjonsprosessen kan starte. Den korrosjonsbeskyttelsen som brytes ned er hovedsakelig forårsakes av to prosesser:

- Karbonatisering
- Kloridinitiering

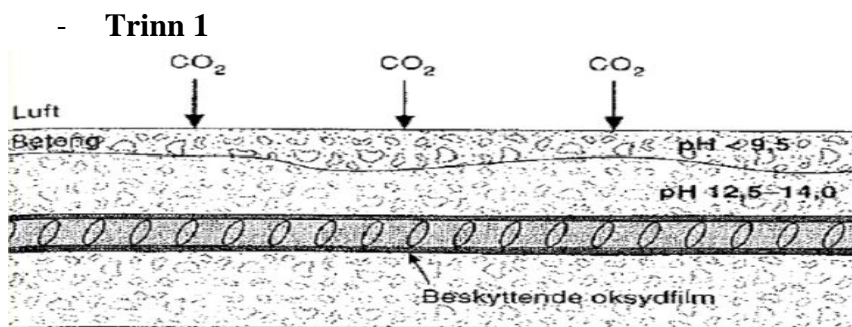
Hvor fort korrosjonen framskrider er avhengig av tilgangen på reaktive stoffer, den elektriske ledningsevne og permeabel egenskaper i betong.

4.1.1. Karbonatisering

Karbonatisering er en naturlig kjemisk prosess som oppstår når betongoverflaten kommer i kontakt med luft som inneholder ca. 0.03 volumprosent karbondioksid [15]. Karbondioksid fra luft vil diffundere langsomt inn i betong avhengig av betongens masseforhold og kvalitet. Denne prosessen medfører til at pH-verdien i porevannet reduseres, fordi det alkaliske porevannet reagerer med karbondioksid (CO_2) og omdanner tungtløselig kalsiumkarbonat samtidig blir hydroksidene nøytralisert [15].

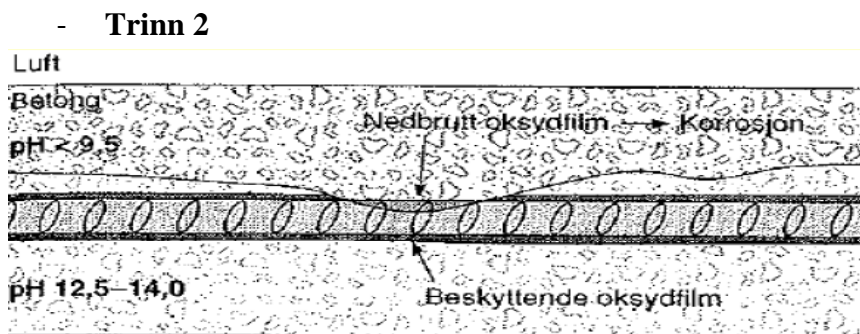


Reaksjonsligningen ovenfor viser kjemiske reaksjoner for karbonatiseringsprosessen og prosessen kan deles inn i 3 trinn med figurer [figurer er hentet fra forelesningsnotat].



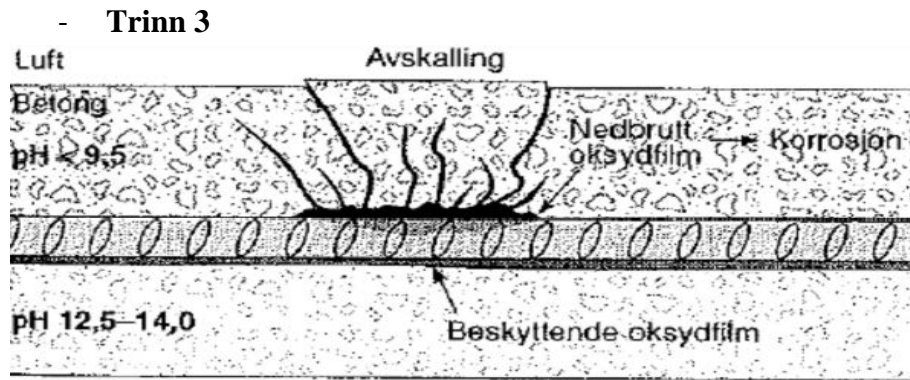
Figur 10: Karbonatisering, trinn 1

Karbonatisering starter ved overflaten og beveger seg innover i betongen. Dette gjør at i det området der karbonatisering er nådd vil betongen ha lavere pH-verdi. Karbonatiseringsfronten beveger seg med avtakende hastighet siden CO_2 må diffundere gjennom porene. Figuren 10 ovenfor viser at karbonatiseringsfronten ikke har trengt seg inn til armeringen og utgjør dermed ikke noen trusler mot konstruksjonens integritet.



Figur 11: Karbonatisering, trinn 2

Betongens pH-verdi er i en kritisk nivå, pH verdi $< 9,5$. Karbonatiseringsfronten trenger seg inn i dybden og treffer armeringsjernet. Den passivefilmen som beskytter armeringsjernet løser opp og korrosjon kan oppstå dersom kriterier for korrosjon er tilstede, nemlig luft og fuktighet.



Figur 12: Karbonatisering, trinn 3

Armeringsstålet mistet beskyttelsen og korrosjon har oppstått. Korrosjonen fortsettes dersom det er tilgang på fukt og luft. Korrosjonsproduktet har et større volum enn armeringsjernet og fører til sprengning slik at betongoverdekning skaller av, se figur 12. Dermed blir armeringen eksponert mot omgivelsene og med fri tilgang til luft og fukt er armeringsjernet veldig sårbar.

4.1.2. Kloridinntrengning

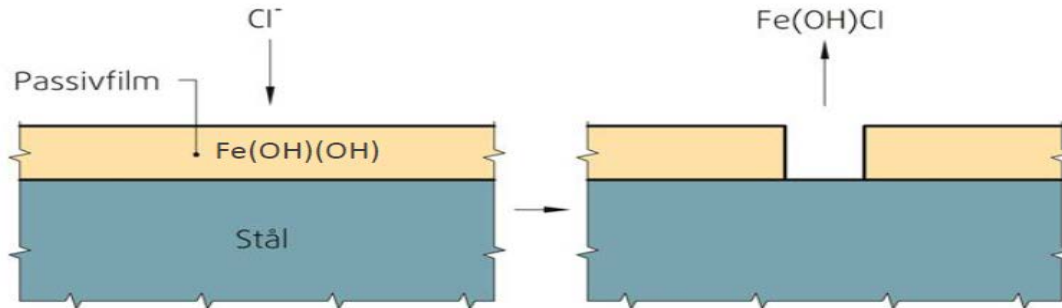
Kloridinnhold i betong skyldes enten kloridholdige delmaterialer eller at klorider har trengt seg inn i betong fra omgivelsene [15]. Klorider fra omgivelser kommer hovedsakelig fra sjøvann og veisalt, som begge inneholder lettløselige kloridsalter, med henholdsvis natriumklorid og kalsiumklorid. I tillegg er konstruksjoner til svømmehaller eksponert for klorider fra basseng. I dag er det vanlig å produsere betong av delmaterialer med minimalt kloridinnhold og ifølge NS-EN 1992-1-1 skal kloridinnholdet i betong ikke overskride 0,1% og 0,4 % av sementmengden for henholdsvis spennarmert og slakk armert betong.

Under produksjon av betong vil klorider fordele seg jevnt i betongen. Noen av kloridene vil binde seg til faststoffstrukturen, mens resterende andeler opptrer som frie klorider i porevannet. Det er den frie andelen klorider i porevannet som er skadelig for armeringsstålet. Kloridene binder seg til aluminat, C_3A , i sement og danner såkalt Friedels salt som er stabilt ved høy pH. Høyt innhold av C_3A vil redusere innholdet av frie klorider, men vil gjøre betongen mer utsatt for sulfatangrep som vil kunne føre til ekspansjon av betong og følgelig riss og oppsprekking [15]. Sulfat angrep er beskrevet under kjemisk nedbrytning.

Klorider kan diffundere inn i betong ved overflaten dersom de er oppløst i vann. Diffusjon og kapillærabsorpsjon er to transportprosesser som fører klorider inn i betong. Diffusjon kan foregå i delvis eller helt vannfylte porer, og avhenges av blant annet v/c-tall, temperatur, sementtype og gjentatte oppfukning og uttørkning. Er betongen utsatt for gjentakende fukning og uttørkning, vil kapillærsuget gi store kloridopptak på grunn av kloridmengden som trekkes inn i oppfukningen og forblir etter uttørkning. Når klorider

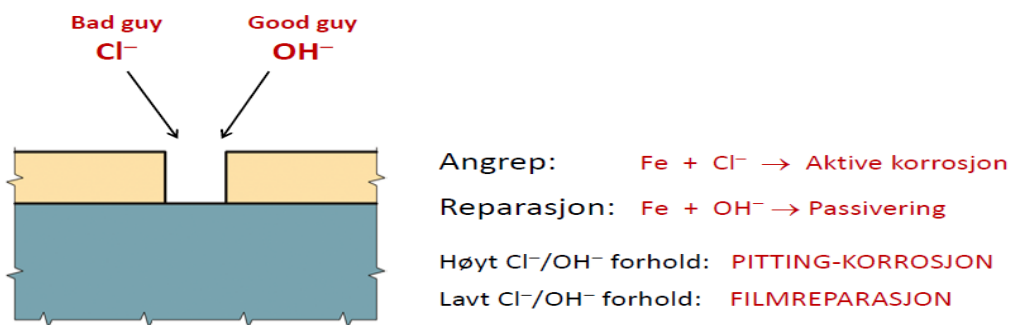
diffunderer inn i betongen vil noen av kloridene binde seg til faststoffstrukturen og resten opptrer som frie klorider [2, 15].

Nedbrytningsangrep fra kloridinitiert korrosjon vil føre til store og lokale skader. Denne skadetypen kalles pittingkorrosjon (groptæring) og er illustrert i figur 13.



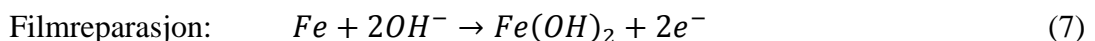
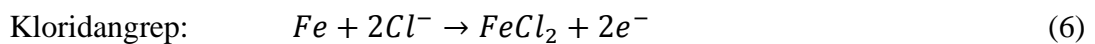
Figur 13: Kloridioner punkterer passivefilmen rundt armering [16].

Kloridioner som er oppløst i porevannet kan binde seg til ståloverflaten og reagere kjemisk med den passivefilmen slik at de bytter plass med OH^- ioner. Prosessen starter ofte i punkter på ståloverflaten med strukturelle defekter på den passivefilmen. Det dannes en kjemisk forbindelse av jernhydroksid og klorider som er løselig i vann. Denne kjemiske forbindelsen $Fe(OH)Cl$ opphører oksidfilmen og armeringsjern blir blottlagt.



Figur 14: Forholdet mellom Cl^- og OH^- [16].

Det er to anodereaksjoner som kan foregå; der kloridioner bryter ned og hydroksidioner reparerer.

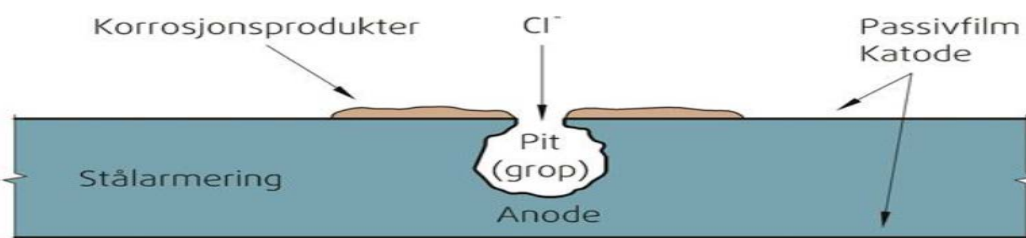


Kloridangrepet økes når forholdet mellom Cl^-/OH^- i porevannet som er i kontakt med armeringsjern er høy. Dersom dette forholdet er tilstrekkelig lavt, kan det føre til selv-reparasjon av den passivefilmen og korrosjon av armering blir forhindret. Denne mekanismen forklarer hvorfor betong med høy pH-verdi ofte tåler mer kloridioner før korrosjon inntreffer enn en betong med lavere pH-verdi [16].

Groptæring i armering der oksidfilmen er fjernet kan oppstå ved høyere forhold av Cl^-/OH^- . I gropen kan oppløste jernioner ta opp eller avgi protoner ved reaksjon med vann og kloridioner. Dermed dannes sure H^+ -ioner som kan samle seg opp i gropen. Fare for dannelse av saltsyre er høy når kloridioner er tilstede. Dette fører til at vannet blir surt og setter i gang jernoppløsningen på grunn av at jern oksiderer lettere i sure miljøer.

Den konstruktive faren er stor ved pitting da denne korrosjonen er vanskelig å oppdage for det kan se ut som små hull i overflaten, mens det er stor skade i armeringsstålet.

Korrosjonshastighet kan bli svært høy og kan føre til betydelig lokale tverrsnitts reduksjon av armering. Ved «pitting» kan det gå kort tid før armeringen blir tært bort, sammenlignet med når korrosjonen er jevnt fordelt.



Figur 15: Kloridioner kan grave dype hull [16].

4.1.2.1. Kritisk kloridinnhold

Betongens kritiske innhold av klorider for å starte en armeringskorrosjon er et meget komplisert og vanskelig definerbart begrep [17]. Kritisk kloridinnhold, C_{crit} , er en terskelverdi som forteller i hvilke kloridnivå det kreves for at initiering av pittingkorrosjon kan oppstå. Likevel er det stor usikkerhet knyttet til denne verdien. Resultater fra litteraturen varierer over en stor skala avhengig av ulike definisjoner, forskjellige prøvemethoder og prøveforhold [16].

Det kritiske kloridinnholdet er i hovedsak basert på to definisjoner. Den første definisjonen angir det kritiske kloridinnholdet til å være mengde kloridinnhold som er nødvendig for depassivering av jernet. Mens den andre definisjonen er assosiert med synlig eller «akseptabelt» nedbrytning av den armerte betongkonstruksjonen. Definisjon 2 er mer upresis og fører til en høyere verdier av C_{crit} , grunnen til dette er at det tar lenger tid før kloridinnholdet blir bestemt [18].

I dagens eurokoder settes det anbefalte grenseverdier for kritisk nivå av klorider når én har armert betongkonstruksjon. Kritisk kloridinnhold er vanligvis uttrykt som totalt kloridinnhold relativt til vekten av sement. For akseptert grenseverdier av kloridinnhold i ny betong er det satt til 0,4 % Cl av sementvekten for slakkarmering. Dette er konservative verdier, og erfaringsmessig kan kloridinnholdet være vesentlig høyere uten at det pågår skadelig armeringskorrosjon [19]. Allikevel er det ingen klare grenser for kloridterskelen, men følgende verdier kan anvendes som vises i tabell 3 på neste side[2]:

Tabellen er hentet fra [4].

Kloridinnhold (% av sementvekt)	Korrosjonsrisiko
< 0,4	Minimal
0,4 – 1,0	Mulig
1,0 – 2,0	Sannsynlig
> 2,0	Sikkert

Tabell 3: Kloridinnhold og korrosjonsrisiko

Kritisk kloridinnhold influeres av flere parametere [18]:

- Potensialet til stålet
- pH-verdien til porevannet
- V/b forhold (v/c-tallet)
- Fukt og oksygen innhold
- Overflateforhold til stålet
- Sementens kloridbindingsegenskaper (C₃A)

4.2. Fysiske påkjenninger

4.2.1. Frostangrep

Betongkonstruksjoner som er i fuktig miljø hvor det ofte er lave temperaturer kan bli utsatt for frostskafer. Frostskafer i en betong starter normalt i overflaten ved at «flak» av betong skaller av og nye avskallinger vil «spise» seg innover i betongen [12].

Betong har normalt et porevolum i størrelsesorden 120 – 180 liter pr kubikkmeter betong. Porestrukturen og størrelsen gjør at de lett kan fylles helt eller delvis med vann fra nedbør, snøsmelting eller omgivelsen for konstruksjoner i vann eller sjø. Når dette vannet fryses til is utvides porevannet med ca. 9 volumprosent. Denne volumutvidelsen fører til indre trykkspenninger i porene som gir strekkspenninger i betongen, noe som kan resultere til riss dannelser og avskallinger når disse kreftene overskrider strekkapasiteten i betongen [12]. Dette er en realistisk fare for betongkonstruksjoner spesielt i Norge hvor vinteren kan være veldig kald og fuktig.

Det er flere teorier som forklarer skademekanismen frostsprengningsskafer, men fortsatt ingen som gir en komplett beskrivelse av hva som skjer i praksis. De to viktigste hypotesene er: Hydraulisk trykk-teorien og osmotiske effekter [15].

- Hydraulisk trykk i poresystemet oppstår som følge av volumekspansjon når vann fryser til is. Dette vil føre til at is og vann presses vekk og ut mot luft fylte porer og forårsake indre spenninger. Strekkspenningene fører til oppsprekking og avskallinger i det strekkapasiteten i betong overskrides [7].

- Osmotiske effekter forekommer oftest når det er salt i porevannet. Isdannelsen i de store porene medfører økt saltkonsentrasjon i vann nær isfronten. På grunn av dette vil vann med lavere saltinnhold bevege seg mot isfronten for å utjevne konsentrasjonen og skape overtrykk med samme konsekvens som hydrauliske trykk-teorien [7].

4.2.2. Fuktighetsvariasjoner

Vannet i kapillærporene forsvinner først når betongen tørker ut og fører til at betong trekker seg sammen. Sammentrekningen av betongen vil skape strekkrefter. Dersom disse kreftene blir større enn betongens strekkfasthet vil betongen sprekke og danne uttørkningsriss [12].

4.2.3. Temperaturpåkjenninger

Betong utsettes ofte for temperaturpåkjenninger i herdeprosessen og fra miljøet omkring konstruksjonen. Ved oppvarming vil betongen utvide seg og trekke seg sammen på grunn av avkjøling. Dersom et betongkonstruksjonselement blir holdt igjen under slike temperaturpåkjenninger, primært under nedkjøling, påføres betongen strekkspenninger og den kan risse opp [2].

Det utvikles varme under herding som følge av kjemiske reaksjoner. Temperaturen kan komme opp i 70 – 90 °C for massive konstruksjoner, og føre til store temperaturdifferanser som kan danne riss. Varmemengden som avgis er avhengig av blant annet sementmengde, pozzolaner og tykkelse av tverrsnittet. Høye temperaturer kan føre til en mer porøs betong, med lavere fasthet som reduserer motstanden mot nedbrytning [15].

4.2.4. Mekanisk nedbrytning

Mekanisk nedbrytning foregår når ulike fysiske krefter eller laster virker på betongkonstruksjonen og bryter den ned. Det kan for eksempel være slitasje på konstruksjonsoverflaten, eller vindlaster som medfører bevegelse i konstruksjonen. Riss og avskallinger kan oppstå som følge av overbelastning. Dette er spesielt vanlig for bruer, kaier, parkeringsdekk og liknende som ofte blir utsatt for store laster og tunge kjøretøy. Skader i form av riss fører til at aggressive stoffer har fri tilgang til å trenge seg inn i konstruksjonen. Dette kan forsterke andre nedbrytningsprosesser.

4.3. Kjemisk nedbrytning

Kjemisk nedbrytning er når det skjer kjemiske reaksjoner med betongen [20]. Reaksjonene kan foregå mellom betongens bestanddeler og stoffer som trenger inn i betongen fra omgivelsene. Dette reduserer betongkonstruksjonens funksjonsdyktighet over tid og det skilles mellom to hovedtyper av kjemisk angrep:

- Oppløsning av betongens bindestoffer.
- Kjemiske reaksjoner som fører til reaksjonsprodukt med større volum – sprengvirkning.

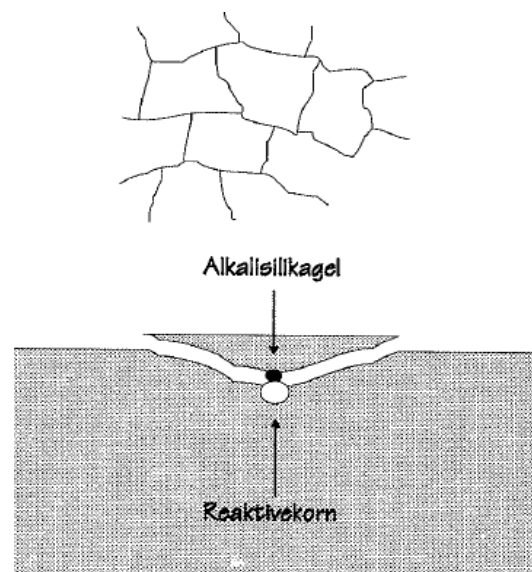
Sårbarheten med hensyn til kjemisk nedbrytning er avhengig av betongens permeabilitet, alkalinitet og reaktivitet. Slike nedbrytninger krever samtidig et fuktig miljø i betongen for at kjemiske reaksjoner skal oppstå. Nedbrytningshastigheten vil påvirkes av flere parametere knyttet til kjemikalier og miljø som [15]:

- pH og utskiftnings hastighet
- Kjemikalienes tilstand
- Temperatur
- Uttørkningsforhold

4.3.1. Alkalireaksjoner

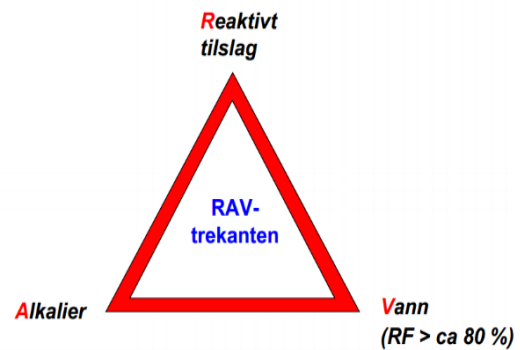
En alkalireaksjon er en kjemisk-fysisk prosess [21] som foregår i herdet betong. Det er noen typer tilslag med bestemte mineraler (alkalireaktivt tilslag) som kan under ugunstige forhold reagere med alkali-ioner og hydroksid-ioner som er fritt i porevannet. Eksempler på disse alkaliene er natrium- og kalsiumioner.

Reaksjoner fra ionene gir et basisk miljø i porevannet. Ved kjemisk prosess økes løseligheten til kvarts og går delvis i oppløsning som følge av høy pH innhold. Denne reaksjonen mellom alkalier, kvarts og vann danner et alkali-kisel gel produkt. «Gelen» er vannsugende og sveller ved vannopptak. Dette kan føre til en volumøkning som forårsaker opprissing av betong når strekkfastheten overskrides. Konsekvenser av opprissing øker permeabiliteten som medfører fare for at det kan oppstå andre nedbrytningsmekanismer. Opprissing reduserer også strekkfastheten til betong og gir et karakteristisk krakeleringsmønster på overflaten [12].



Figur 16: Alkali / Kisel reaksjon. Rissmønster [13].

Betongsammensetning influerer reaksjonshastigheten. Nødvendige parametere for at skadelig alkalireaksjon forekommer er at det må være høyt fuktinnhold i betongen (> 80 %), alkalireaktivt tilslag og alkaliinnhold. Høye temperaturer vil være med på å øke farten i reaksjonsprosessen [15]. Denne skademekanismen tar som regel 15 – 20 år før visuelle skader blir synlige i form av uregelmessige riss og evt. ekspansjoner, på grunn av «langsomt reagerende» tilslag i Norge.



Figur 17: Betingelser for alkalireaksjoner [19].

4.3.2. Sulfatangrep

Sulfater angriper aluminatene i betongen. Aluminatene er med på å binde betongen sammen. Når sulfater reagerer med bestanddeler i sementen dannes det et produkt ettringitt som binder vann og sveller. Reaksjonsproduktet har større volum enn reaktantene og i begynnelsen vil dette bare fylle opp poresystemet, og dermed øke trykkfastheten. Etter hvert vil det bygge opp et trykk som skaper innvendige spenninger som kan medføre til riss og oppsprekking i betong [15]. Sulfater finnes både i sjøvann, grunnvann og i avløpsvann.

4.3.3. Nitratangrep

Betong som er i kontakt med gjødsel, både kunstgjødsel og naturlig gjødsel, blir sårbare for nitratangrep. Nitratangrep vil også føre til en kjemisk ekspansjon hvor reaksjonsproduktene har større volum enn utgangsstoffene som resulterer i riss og avskallinger. Ved naturgjødsel utvikles ammoniakk som løser opp betongen over tid. Nitrat er kan forårsake andre skader som spenningskorrosjon og armeringsprøhet [15].

4.3.4. Syreangrep

Portlandsementer blir utsatt for syreangrep og vil brytes ned over tid. Betong med god kvalitet vil i stor grad kunne motstå svake syrer [22]. Et syreangrep foregår ved at betongens bindestoffer omdannes til nye kjemiske forbindelser som ikke er bindende. Betongen vil gradvis løses opp på overflaten og vaskes bort, dermed frilegges tilslaget. Det er syrekonsentrasjonen til enhver syre som bestemmer nivået av angrepet. Ved sterke syrer er reaksjonsproduktene mer lettløselige salter som vaskes lett vekk i strømmende vann slik at nye overflater eksponeres for angrep. Syreangrep varierer med syrerens aggressivitet og kan deles inn i uorganiske syrer og organiske syrer.

Uorganiske syrer		Organiske syrer	
Navn	Angrepsgrad	Navn	Angrepsgrad
Svovelsyre	Sterkt angrep	Maurusyre	Svakt angrep
Svovelsyrling	Sterkt angrep	Eddiksyre	Middels angrep
Saltsyre	Meget sterkt angrep	Garvesyre	Middels angrep
Salpetersyre	Meget sterkt angrep	Humussyre	Svakt angrep
Fosforsyre	Svakt angrep	Melkesyre	Middels angrep
Svovelvannstoff	Middels angrep	Oksalsyre	Ikke angrep
Karbonsyre	Middels angrep	Vinsyre	Ikke angrep
Flussyre	Middels angrep	Gjæringsstoffer	Middels angrep

Tabell 4: Forskjellige syrer aggressivitet [22].

4.3.5. Utluting

Reaksjon mellom sement og vann danner kalsiumhydroksid $\text{Ca}(\text{OH})_2$ som er lett oppløselig. Hydratasjonsproduktet brytes ned når betong er i kontakt med vann eller når det foregår en vanntransport gjennom betong enten generelt eller gjennom riss og sprekker. Spesielt bløtt vann har lett for å vaske ut/løse ut kalken, fordi vannet har lavt innhold av kalk.

Prosessen med oppløsning og fjerning av kalsiumhydroksid fra betong kalles utluting (kalkutvasking) og kan ofte knyttes til dårlige betongkvaliteter, det vil si betong med høyt v/c-tall. Utlutning ses som hvitfarget utslag på betongoverflaten og har liten betydning for konstruksjonens bæreevne dersom betongen er av god kvalitet. Det hvite belegget kan derimot vise et estetisk problem og drypp fra lekkasjer i riss og/eller sprekker kan føre til lakkskader på biler f.eks. i parkeringshus [15].

Konstruksjoner som er utsatt for ensidig vanntrykk er mest utsatt for utluting. Dette gjelder spesielt basseng, dam-konstruksjoner, tunnel foringer, støttemurer, o.l. Da skjer utlutingen i hovedsak i vannførende riss. Andre konsekvenser som forekommer av utluting er at sementen blir skadet, dermed mister betongen både fasthet og evne til å beskytte armeringen mot korrosjon. Og siden nedbrytningen foregår langsomt og utvikles sjeldent så langt, inntreffes sementskaden lite.



Figur 18: Utluting på betongens overflate

4.3.6. Biologisk nedbrytning

Levende organismer er en nødvendig forutsetning for biologisk nedbrytning. Denne nedbrytningen skjer enten av kjemisk eller fysisk natur.

Bestemte bakterier som er grunnlag for dannelse av svovelsyreangrep og sulfatangrep kan virke nedbrytende på betongen. Kloakkrør eller avløpsrør er mest kjent for slike angrep. Dette er tilfellet der det dannes hydrogen sulfid fra sulfater eller proteiner i kloakkvannet. Hydrogensulfidene kan så omdannes til svovelsyre gjennom oksidasjon, en syre som er sterkt aggressivt mot betong [12].

Organismer som mose, alger og andre planter vil ofte begroing på bygninger som ikke holdes jevnlig vedlike. Alger og moser er nødvendigvis ikke skadende for bygninger og fremstiller ofte bare et estetisk problem. Men de holder på fuktighet og kan derfor bidra til at betongen får økt fuktinnhold og dermed fare for frostskaider og råte [23].



Figur 19: Biologisk vekst på betongoverflate [23]

5. Betongrehabilitering

I løpet av bruksperioden blir betong utsatt for nedbrytningsmekanismer avhengig av hvilke påkjenninger den er utsatt for. Manglende kunnskaper og erfaringer om forskjellige belastninger fra miljøet er en av årsakene til betongskader som finnes i dag. Skadene er et økende problem og påfører samfunnet betydelige kostnader [24]. Materialet har derfor behov for jevnlig tilsyn og vedlikehold for å redusere skader i større omfang.

Betongrehabilitering er et nytt fagområdet som innebærer inspeksjon, vedlikehold og reparasjon for å ivareta eksisterende betongkonstruksjoner. Det er også senere utviklet nasjonale retningslinjer/veiledninger og standarder for tilstandsanalyse, inspeksjon og rehabilitering av betongkonstruksjoner.



Figur 20: Rehabilitering, Standard [25].

5.1. Tilstandsanalyse

Erfaringer viser at en grundig tilstandsanalyse er en nødvendig forutsetning for å kunne vurdere og utføre optimale utbedringstiltak [12]. Tilstandsanalysen gjøres for å få oversikt over tilstanden til konstruksjonen i forhold til det som er valgt som referansenivå. Hensikten med dette er å kartlegge betongkonstruksjonens tilstand, vurdere tilstandens konsekvenser samt vurdere aktuelle/nødvendige utbedringstiltak.

Det er utviklet et hjelpemiddel NS 3424 for å praktisere en tilstandsanalyse. Dette er en standard som viser metoder for gjennomføring av analysen, helt fra å avklare formål og forutsetninger til rapportering. Det gjøres også lettere å få oversikt over avvikene som oppstår i forhold til referanse nivået og hvordan disse kan eventuelt utbedres.

Gjennomføring av tilstandsanalyse kan deles inn i fem hovedfaser:

- Fase 1: Definerings av oppgaven
- Fase 2: Planlegging
- Fase 3: Undersøkelse
- Fase 4: Vurdering
- Fase 5: Rapportering

Tilstandsanalyser bør utføres før konstruksjon har fått synlige tegn til skade, og dermed har man mulighet til å avdekke begynnende skadeutvikling ved hjelp av rimelige preventive tiltak. Tilstandsanalyser som utføres på et lavere nivå er som regel rasjonelt, både økonomisk og tidsmessig, fordi det er «enklere» å bestemme hvilken konstruksjonsdel som krever grundigere undersøkelser [4].

En tilstandsanalyse kan utføres på tre ulike nivåer avhengig av formålet med den. Nivå 1 er den enkleste og fastsetter tilstandsgrad fra 0 – 3 der 0 er ingen symptomer og 3 er kraftige symptomer, i tillegg vurderes det årsaker, konsekvensgrad og tiltak. For tilstandsanalyse på nivå 2 og 3 skal det i tillegg gjøres en vurdering av risiko. Dette kan oppsummeres slik [4]:

- Nivå 1: Enkel tilstandsanalyse
- Nivå 2: Utvidet tilstandsanalyse
- Nivå 3: Omfattende tilstandsanalyse

5.2. Undersøkelsesmetoder

Før reparasjonsarbeid settes i gang må betongkonstruksjonen undersøkes hvilke skader som har oppstått på konstruksjonen på grunn av belastninger fra miljøet. Ulike skadetyper og hva som er skadeårsaker trenger forskjellige reparasjonsmetoder og behandling. Det finnes en rekke metoder for å finne skader og det skilles mellom to måter, enten i felt eller på laboratorium.

Det er blant annet:

- | | |
|---|---|
| - Visuell undersøkelse | - Trykkfasthet |
| - Bomkontroll | - Heftfasthet |
| - Armeringslokalisering/
betongoverdekning | - Opphugning for korrosjonsbedømmelse |
| - Karboniseringsdybde | - Strukturanalyser |
| - Kloridinnhold | - Elektrisk motstand |
| - Potensialmåling | - Relativ fuktighet |
| - Rissmåling | - Tykkelse av overflatebelegg på betong |

Metoder som er nevnt ovenfor er hentet fra byggenærings forlag: Betong rehabilitering – metoder og utførelse [12]. Det vil herfra ikke bli forklart hva disse metodene går ut på i denne masteravhandlingen.

5.3. Reparasjonsmetoder

Hvilke reparasjonsmetoder som utføres er avhengig av hvilke avvik konstruksjonen har og hvilke problemer man ønsker å løse. Ved valg av metoder vil det veldig ofte være flere alternative løsninger som gir like gode tekniske resultater. I slike tilfeller må man sammenligne kostnadene og de miljømessige aspektene [12]. Det er mange metoder som er introdusert i Norge på 1980-tallet [25] og fram til i dag kan vi gruppere dem inn i:

- Forbehandling
- Elektrokjemisk re-alkalisering
- Katodisk beskyttelse
- Reparasjon av riss og sprekker
- Mekanisk reparasjon
- Elektrokjemisk kloriduttrekk
- Overflate behandling

Metodene er på utvikling stadier og i senere tid er det bearbeidet en standard NS 3420 som er et hjelpemiddel for å praktisere reparasjonsmetoder. Standarden inneholder tekniske krav til materialer, utførelse, toleranser, prøving og kontroll.

Det er mange forskjellige metoder for å gjennomføre vedlikehold og rehabilitering av betongkonstruksjoner og disse kan deles inn i tre hovedkategorier:

- Beskyttelse: Et tiltak som i første omgang fokuserer mot å opprettholde konstruksjonens tilstand på det tidspunktet tiltaket iverksettes. Dette kan være et preventivt inngrep og/eller midlertidig løsning.
- Reparasjon: En operasjon som gjenskaper konstruksjonens egenskaper mht. bestandighet og bæreevne. Hensikten er at konstruksjonens prosjekterte levetid skal oppnås.
- Forsterkning: Et tiltak som øker konstruksjonens kapasitet og bæreevne.

I denne masteravhandlingen fokuseres det på kloridinntrengning i betong og derfor velges det å beskrive om reparasjon av armeringskorrosjon som er forårsaket av kloridinntrengning.

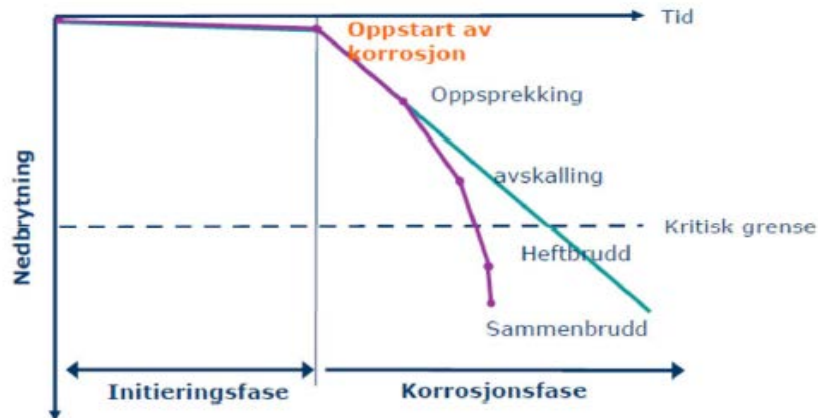
5.4. Reparasjon av armeringskorrosjon forårsaket av kloridinntrengning

Som tidligere nevnt blir alle typer materialer utsatt for ulike nedbrytningsmekanismer avhengig av hvilke påkjenninger som kommer fra miljøet. Betong har derfor behov for jevnlig tilsyn og vedlikehold for å oppdage eventuell avvik tidligst mulig.

Skadeårsaken til kloridinitiert armeringskorrosjon er beskrevet tidligere i kapittel 4. Nedbrytning av betong skjer oftest i to følgende faser, først en initieringsfase og en korrosjonsfase etter. Den første fasen er initieringsfasen og beskriver inntrengning av klorider i betong og inn til armeringsjernet. I denne fasen overvinnes de beskyttende egenskapene uten at kapasiteten til konstruksjon blir smule redusert og skader er lite synlig

[4]. Deretter foregår det en korrosjonsfasen som er en aktiv prosess der nedbrytning av betong blir iverksatt på grunn av armeringskorrosjon. Denne fasen kan deles inn i flere deler:

- Oppsprekking
- Avskalling
- Heftbrudd
- Sammenbrudd



Figur 21: Korrosjonsforløp.

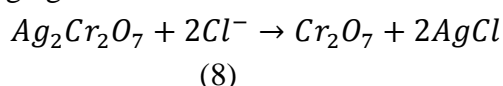
Det er viktig å finne skaden til klorid-inntrengning tidligst mulig ettersom den aktive nedbrytningen kan foregå veldig raskt. Dette kan gjøres ved å ta jevnlig tilstandskontroll for å finne potensielle avvik og iverksette vedlikehold. Erfaringsmessig er reparasjoner i initieringsfasen rimeligere enn i korrosjonsfasen.

For å finne ut potensielle skader ved kloridindusert må man foreta målinger av kloridinnhold i betong og det finnes mange analysemodeller blant annet:

- Quantab
- Spektrofotometeranalyse
- RCT (Rapid chloride test)

5.4.1. Quantab metode

Quantab-metoden er spesielt utviklet for feltmålinger som gir raske, men mindre nøyaktige prøveresultater. Analysen utføres ved at en indikatorstrimmel som inneholder sølvdikromat settes ned i kloridekstraktet løsning. Ved kapillærvirkning mellom løsningen og strimmelen vil løsningen bli suget opp og fylle indikatoren så lenge kloridopløsning kommer inn. Sølvionene vil reagere med kloridene i løsningen og danne et hvitt reaksjonsprodukt [26]. Reaksjonen kan forklares ved kjemisk ligning og kan skrives slik:



(Brun)

(Hvit)

Med avleste verdier fra strimmelen kan man regne ut kloridkonsentrasjonen ved hjelp av en omregningstabell [26].

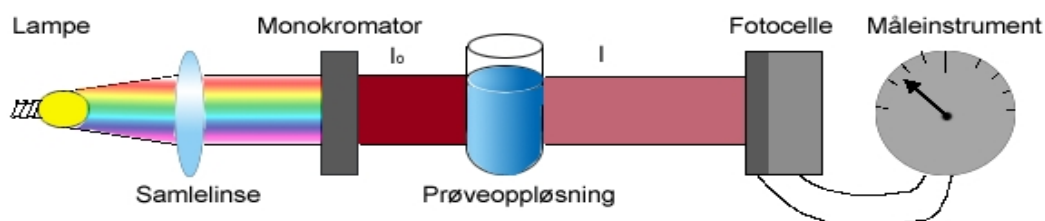


Figur 22: Utstyr for Quantab-metoden.

5.4.2. Spektrofotometrisk metode

Spektrofotometrisk metode er en automatisert kolorimetrisk metode (fargemetrikk) for å beregne konsentrasjonen av et stoff i oppløsning [26]. Et spektrofotometer består av en lyskilde som sender lys gjennom løsningen, monokromatorer som isolerer individuelle bølgelengder, en holder for prøver og fotodetektorer som omdanner radiant energi til et elektrisk signal som kan måle absorbansen av stoffet [27].

Ved fargemetrikk analyseres det kjemiske prøver for å samle informasjon om dens konsentrasjon. Dette innebærer at lys føres gjennom en prøve. Noe av dette lyset vil treffe løsningen og absorberes, mens resten vil passere og treffe fotodetektoren. Dermed kan man få absorbansen av den lys-absorberende substansen i løsningen, ved bruk av et måleinstrument for å måle så nøyaktig som mulig, se figur 23.



Figur 23: Prinsippet til en spektrometri.

Et kompleks dannes når klorider reagerer med reagensene kvikksølvtyocyanat og jernsulfat [26]. Et kompleksjon består av et sentralt ion omgitt av ligander. Ligander kan være nøytrale molekyler eller ioner [28]. Mengde av reaksjonsproduktet er avhengig av hvor mye kloridioner som finnes. Fargen til komplekset er brunt og intensiteten av fargen er proporsjonal med det virkelige konsentrasjonen til kloridioner.

Et lys blir sendt gjennom prøven med blanding av klorider og reagenser. Spektrofotometer brukes for å måle hvor mye av lyse som blir absorbert av komplekset, siden komplekse inneholder klorider som absorberer lyset. Ved hjelp av avleste målinger kan man regne ut kloridinnholdet i prøven [26].

5.4.3. RCT – Rapid chloride testing

Dette er en metode som har blitt spesielt utviklet for undersøkelse i felt, men kan også utføres på laboratorium. I felt kan man bestemme klorinnhold i betong ved hjelp av et feltanalysesett. Dette settet består av et milli-voltmeter, oppløsningsvæske, kalibreringsutstyr og -væske, flasker og beger, ion selektiv elektrode, samt arbeidsskjema med enkeltlogaritmisk diagram for kalibrering og målinger.



Figur 24: Feltanalyse sett til RCT-metoden.

Ion selektiv elektrode (ISE) består av et glassrør fylt med en bestemt konsentrasjon av det ionet som skal bestemmes og en indre sølv/sølvklorid referanseelektrode. I enden av røret er det en membran som virker som en selektiv ionebytter for det ione som skal bestemmes [29]. En ion selektiv elektrode omdanner aktiviteten av et bestemt ion oppløst i en løsning til et elektrisk potensial. Med kloridinnholdet i løsningen vil ISE omdanne det aktuelle aktiviteten av kloridioner til et elektrisk potensial som kan måles ved hjelp av et voltmeter måleinstrument. Deretter omregnes det elektriske potensialet til kloridinnhold i prosent ved å bruke et enkeltlogaritmisk diagram.

Utførelsen av denne metoden er beskrevet mer i kapittel 6.4.2. under RCT test.

5.4.4. Reparasjonsmetoder for kloridinntrenging

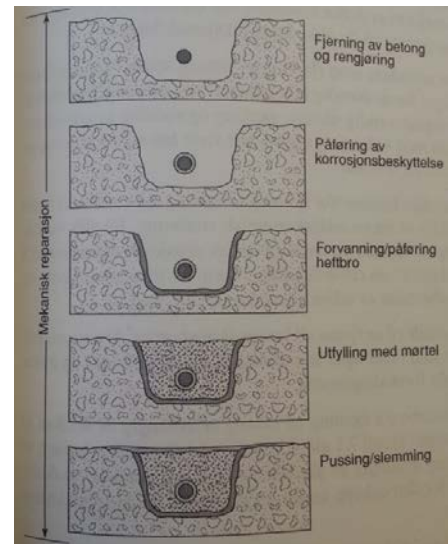
Mekanisk reparasjon

Den vanligste utbedringsmetoden for betongskader og er best egnet ved mindre omfattende skader. Mekanisk reparasjon utføres uavhengig av om konstruksjonen skal katodisk beskyttes eller om det skal utføres kloriduttrekk i etterkant. Metoden karakteriseres enten som bærende reparasjoner eller ikke-bærende reparasjoner [30]. En bærende reparasjon innebærer inngrep på konstruksjonen for å gjenopprette helt eller delvis redusert bæreevne

som følge av skader. En ikke bærende reparasjon er reparasjoner av alle andre skader som ikke omfatter konstruksjonens bæreevne [12].

Metoden kan utføres på tre nivåer enten som fullstendig-, begrenset- eller forenklet mekanisk reparasjon som er avhengig av skadeomfanget. Metoden består av følgende deloperasjoner:

- Merking av skader/meislingsarealer
- Fjerning av betong
- Rengjøring av korrodert armering og sårflatene
- Eventuell montering av ny armering
- Påføring av korrosjonsbeskyttelse
- Forskaling
- Påføring av heftbro
- Utfylling med mørtel og betong
- Pussing, slemming eller porefylling.



Figur 25: Mekanisk reparasjon [12]

Elektrokjemiske utbedringsmetoder

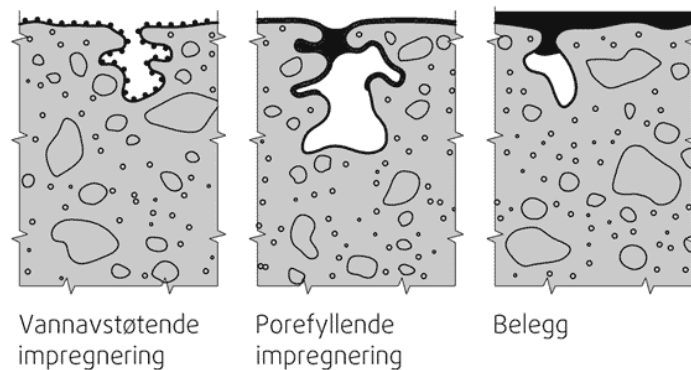
Dette er metoder som krever at det etableres et elektrisk felt på konstruksjonen, det settes på strøm. Strømmen står enten på permanent i konstruksjonens levetid, eller den er installert i en kortere periode. Det er flere metoder som brukes i dag, men spesielt to typer for armeringskorrosjon som forårsakes av kloridindusert [12].

- **Katodisk beskyttelse:** En metode som baseres på et annet materiale (anode) enn armeringsstålet skal korrodere. Prinsippet ved katodisk beskyttelse er å tilføre elektroner fra en ekstern kilde slik at det blir et overskudd av elektroner. Disse elektronene fører til at armeringen blir negativt ladet, noe som forhindrer at armeringen går i oppløsning. Armeringen blir katodisert.
- **Kloriduttrekk:** Å fjerne/trekke klorider ut fra betong som er utsatt for slike aggressive kjemikalier kan man forebygge konstruksjoner mot korrosjon. Prinsippet er at det påføres et elektrisk felt mellom armering og betongoverflaten. Et elektrodenett som kobles til en strømkilde monteres på betongoverflaten og «mater» inn en ledende elektrolytisk masse. Når strømmen er på vil de negative ladede kloridene trekke vekk fra den negative ladede armeringen og ut av betongen mot den positive ladede nettet. Det dannes hydroksylioner som resulterer til høye pH-verdier rundt armering og medfører til at armeringen får en beskyttende passivsjikt.

Overflatebehandling

Brukes for å beskytte armerte betongkonstruksjoner mot nedbrytning av aggressive stoffer, spesielt for utendørs konstruksjoner. Hensikten med overflatebehandling er å hindre at aggressive stoffer trenger inn i betongen. Det finnes flere typer materialer med forskjellige egenskaper som benyttes. Materiale kan være organisk eller uorganisk. Organiske produkter danner en sammenhengende film på betongoverflaten og uorganiske produkter danner en åpen struktur med poresystem som medfører at grove porer i betongoverflaten blir erstattet med et større antall fine porer. Overflatebehandling kan deles inn i tre hovedgrupper [31];

- Hydrofobierende impregnering: Skal gi betongen en vannavstøtende overflate. Materiale er hovedsakelig silan og siloksan som er basert på silikonforbindelser. Disse trekkes inn i betongen og lager en innvendig overflatefilm i porer og kapillærer som er vannavvisende.
- Impregnering: Reduserer betongens overflateporøsitet og forsterker overflatesjiktet. Impregneringen trenger inn i poresystemet, hvor det ved reaksjon eller herding dannes et produkt som helt eller delvis fyller porene.
- Filmdannede belegg: Maling eller belegg som gir betongoverflaten et sammenhengende beskyttende lag fra 0,1mm til 5,0mm.



Figur 26: Overflatebehandling [32].

6. Laboratorieprogram

Store deler av denne oppgaven er basert på laboratorium arbeid i bygg-laboratorium ved Universitet i Stavanger (UiS). Programmet i laboratorium omfatter to betongtyper: en høyfast og en normal betong (vanlig konstruksjons betong), hvor det blir utstøpt tre forskjellige betongblandinger for hver av betongtype. Utstøpingene av betong er utført iht. en prosedyre fra Statens vegvesen – «Fremstilling av betong i laboratoriet» [33].

Målsettingen med laboratoriearbeidet er å undersøke effektene av bestemte silikastøv og Penetron pal 18. Disse tilsettes i betongblandingen til de utvalgte betongtypene. For å finne effektene til silikastøv og Penetron pal 18 blir prøvestykker av betong utsatt for to sentrale eksperimenter, samt mekaniske prøver for å karakterisere kvaliteten til betongen. De sentrale eksperimentene er klorid- og vann inntrengningsprøve, og disse prøvene er med å bestemme permeabilitet egenskapene i betongen. Gjennom oppnådde resultater fra forsøkseksperimentene til de utvalgte betong typene er det mulighet for å sammenligne resultatene på betongblandingene og effektene til tilsettingene.

For de utvalgte betongtypene velges det fasthetsklasse B70 og bestandighetsklasse M40 for høyfast betong, mens for normal betong (vanlig konstruksjons betong) velges det en fasthetsklasse B25 og bestandighetsklasse M60. Doseringsmengden til silikastøv er bestemt av veileder, og Penetron pal 18 dosering er anbefalt i produktinformasjon til Penetron. For å sammenligne effektene til tilsetting settes aktiveringsfaktoren k lik 1,0 for silikastøv. Denne faktoren brukes i masseforholdet og er en del av proporsjoneringsarket som nevnes senere under delkapitlet «betongresept».

Mengde volum pr. betongblanding bestemmes ut i fra antall prøvestykker (terninger og sylindere) som er nødvendig for å utføre dette forsøksprogrammet. Det tas i betraktning til prøver som trykkfasthetsprøve, spaltestrekkfasthet prøve, elastisitetsmodul prøve, vanninntrengningsprøve og kloridinntrengningsprøve, samt prøver av de ferske egenskaper til betongen, henholdsvis synkmål, densitet og luftinnhold. Tabell 5 på neste side vises totale antall prøvestykker som er planlagt for utstøping pr. betong resept:

Prøve	Antall prøvestykker
Trykkfasthetsprøve	6 terninger
Spaltestrekkfasthetsprøve	3 sylinder
Elastisitetsmodul prøve	3 sylinder
Kloridinntrengningsprøve	3 terninger
Vanninntrengningsprøve	3 terninger
Ekstra	3 terninger
Totalt	15 terninger og 6 sylinder

Tabell 5: Oversikt over prøvemetoder og prøvelegemer.

Med forventet svinn og små mengder betong som er igjen på tvangsblenderen som ikke kan brukes til utstøping, blir det totale volumet pr. betongresept lik 70 liter. En mer detaljert beskrivelse er visst i vedlegg A.

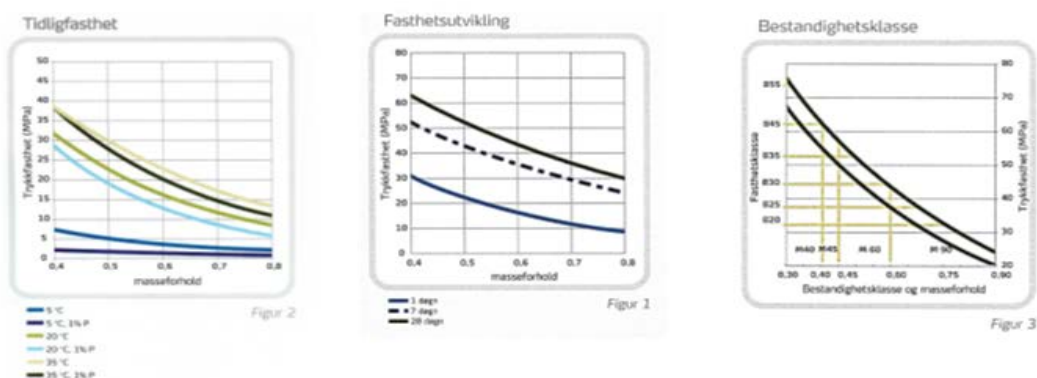
6.1. Delmaterialer

6.1.1. Portlandsement

Norcem standardsement

Standardsement er benyttet i alle normal betong for dette forsøksprogram. Sementen er produsert av Norcem og er tilpasset til norske forhold. Standardsement kan benyttes til betong i alle eksponerings-, bestandighets- og fasthetsklasser. Egenskapene til standardsementen kan beskrives med:

- Relativt høy tidligfasthet
- Moderat sluttfasthet
- Moderat varmeutvikling
- God støpelighet
- Veldokumenterte bestandighetsegenskaper

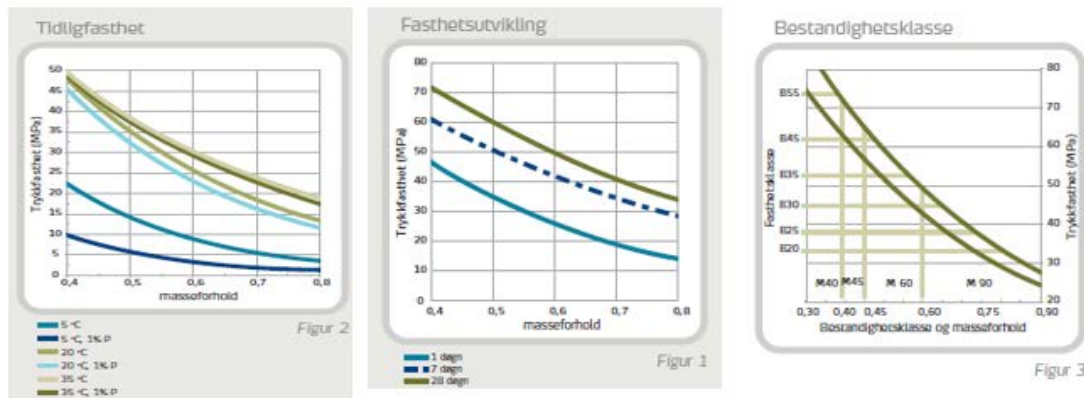


Figur 27: Standardsement

Norcem industri sement

Industri sement er benyttet i alle høyfast betong for dette forsøksprogrammet. Norcem industrisement er spesialsement tilpasset norsk bygge-praksis ved vinterarbeid, og kan benyttes til betong i alle miljøklasser og fasthetsklasser. Egenskapene til industrisementen kan beskrives med:

- Hurtig fasthetsutvikling
- Hurtig og høy varmeutvikling
- Veldokumenterte bestandighetsegenskaper



Figur 28: Industrisement

6.1.2. Tilslag

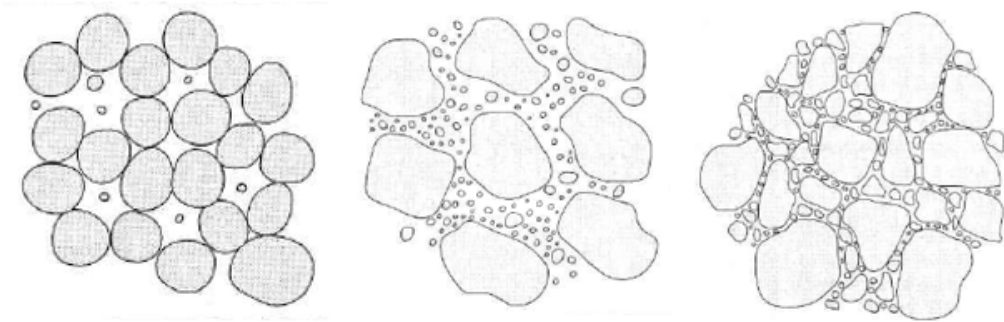
Sand, grus og steinmaterialer omtales ofte som tilslag og stammer fra naturen. Det kan være fra løs-masser eller nedknust berg. Norsk tilslag er generelt av god kvalitet for vanlig betongbruk med høy styrke og lav grad av desintegrasjon, men kvaliteten (dvs. de iboende egenskaper) kan variere avhengig av plassering [7]. Til spesielle formål, som slitesterk betong eller betong der overflaten skal frilegges, kreves det tilslag med spesielle mekaniske eller estetiske kvaliteter [4].

I betong utgjør tilslag den største delen av volumet med ca. 65-75 %. Tilslag som brukes i betong må vurderes ut fra både generelle og spesielle kriterier. Materialet skal være sterkere enn det herdede sementlimet og være værbestandige, dvs. ikke porøse. I tillegg skal tilslaget være rent og fritt for forurensinger. Det er vanligvis tre hoved faktorer som påvirker den endelige kvaliteten til tilslaget:

1. Geologisk oppstand
2. Produksjon og behandling
3. Håndtering og lagring

Det er normalt å dele tilslag opp i fraksjoner fra fine til grove bestanddeler. Kornstørrelsen av fint tilslag er normalt fra 0-8mm, mens de grove tilslaget ofte er gradert fra 8-16mm til

16-22mm eller 8-22mm. For en ideell betong skal materiale ha minst mulig luftrom mellom tilslaget. Ved å bruke forskjellige kornstørrelser kan man oppnå god korngradering, hvor hulrom mellom de største steinene blir fylt med litt mindre steiner og så videre. Dermed har man en tettere og mer kompakt betong. Figur 29 beskriver tilslagssammensetninger, fra dårlig gradering med høy hulromprosent, til middels gradering med flere fraksjoner og velgradert tilslag der alle fraksjoner er representert:



Figur 29: Forskjellige sammensetning av tilslag [2].

Tilslaget korngradering bestemmes ved en sikteanalyse av de forskjellige grensene som skal brukes i betongblandingen. Til sikteanalyse brukes det en siktesats som består av en rekke standardiserte maskevidder [2]. Kornstørrelsesfordelingen fra sikteanalyse for tilslaget skal bestemmes i samsvar med NS-EN 933-1. Formen på kornene i tilslaget påvirker støpbarheten. Korn som er runde og glatte har positiv effekt, mens skarpkantete og avlange korn som ikke glir lett forbi hverandre kreves det mer sementpasta for å oppnå god støpbarhet.

Tilslagets vekt har stor innflytelse på betongkonstruksjons egenskaper. I følge betongstandarden skiller det mellom tre typer tilslag [7]:

- Normal tilslag – har korndensitet i ovnstørr tilstand på over 2000 kg/m^3 og under 3000 kg/m^3 .
- Tungt tilslag – har korndensitet i ovnstørr tilstand på større eller lik 3000 kg/m^3 .
- Lett tilslag – har korndensitet i ovnstørr tilsand på mindre enn eller lik 2000 kg/m^3 .

Tilslag har også normalt lav permeabilitet og gjennomtrengning av klorider er derfor lav. Frekvensen av transport til klorider inn i betong er i stor grad avhengig av egenskapene til sementpastaen [34].

Fuktighet i tilslaget har stor påvirkning og må fastlegges nøyaktig. Det gjelder spesielt sandfraksjonen. Er sanden helt tørt vil den suge vann fra den ferske betongen og føre til raskt konsistenstap. Når v/c -tallet beregnes må vi ta hensyn til tilslagets fuktighetstilstand, og dette kan måles ved hjelp av en «speedy moisture test», som beskrives senere i kap.6.3.

6.1.3. Vann

Det kreves vann for å starte hydratiseringsprosessen, som er en kjemisk reaksjon mellom vann og portlandsement. Vannmengder påvirker betongens konsistens og støpbarhet. Vannbehovet bestemmer også sementmengden, fordi nødvendig trykkfasthet eller miljøbetingelser krever bestemte masseforhold (forholdet mellom vann og bindemiddel) [2].

6.1.4. Pozzolaner

Pozzolaner består hovedsakelig av silisiumforbindelser, og finnes i naturlig form som bergarter av vulkansk opprinnelse og kunstig fremstilling. Dette er en gruppe stoffer som har den egenskapen at de danner bindestoffer ved reaksjon med kalsiumhydroksid [4] når portlandsementen reagerer med vann. Materiale kan males direkte inn i sement eller blandes direkte i betongblanding. Kalsiumhydroksid gir ingen fasthet, men derimot økes pH-nivået i betong som medfører en evne til å beskytte armering mot korrosjon.

Ved reaksjon mellom pozzolaner og kalsiumhydroksid økes det dannelser av bindestoffer som gir styrke og tetthet. Pozzolan kan brukes som tilsetning til sement for å forbedre visse egenskaper eller for å oppnå spesielle egenskaper. Pozzolaner gir langsommere fasthet enn tilsvarende ren portlandsement. De mest kjente pozzolanene i Norge er flygeaske og silikastøv.

Silikastøv

Silikastøv er ett filterstøv. Støvet er i utgangspunktet et avfallsstoff fra smelteprosessen ved produksjon av silisium og ferrosilisium. Materialet er meget små, runde og glassaktige partikler som har en gjennomsnittsstørrelse på 0,15 mikrometer, rundt 100 ganger mindre enn sementkorn. Den spesifikke overflaten er veldig stor på ca. 20 000 m²/kg og har dermed stor innvirkning både på fersk og herdet betong [7].

Påvirkning til silikastøv både på fersk og herdet betong er beskrevet i kapittel 3.1.

6.1.5. Tilsetningsstoffer

Tilsetningsstoffer er stoffer i pulver- eller væskeform som kan tilsettes i små doser umiddelbart før eller under blanding av betongen. Hensikten er å oppnå spesielle egenskaper i den ferske eller den herdete betongen. Mengden av tilsetninger er liten i forhold til de andre del materialene, og stoffet gir mulighet til å tilpasse betongen i forskjellige forhold. De viktigste tilsetningsstoffene som brukes i betong er[4]:

- Plastiserende stoffer (vannreducerende stoffer)
- Luftinnførende stoffer
- Akselererende stoffer

- Retarderende stoffer
- Andre stoffer, til spesielle formål

Plastiserende tilsetningsstoff

Dette er et tilsetningsstoff som blir mest brukt i norsk betongproduksjon. Tilsetning av plastiserende stoff i betongblanding medfører redusert vannbehov i betong og gjør det mulig å oppnå større styrke og bedre flyteegenskaper. Det er vanlig å dele de plastiserende stoffene inn i to hovedtyper:

- Plastiserende stoffer (P-stoff): basert på lignosulfonat som er et biprodukt fra celluloseindustrien. Kort forklart forårsaker stoffet en elektrostatisk frastøting effekt, det vil si at negative ladede sulfinationer gir en spredning av sementpartiklene [4].
- Superplastiserende stoffer: har vanligvis bedre plastiserende effekt enn P-stoff. Dette stoffet er basert på polymerer av melaminharts og naftalin, og modifiserte kopolymerer [8]. Sist nevnte er den nyeste gruppen av SP-stoff og består av lange polymerkjeder. SP-stoff har en effekt som kalles sterisk dispergering. Som i korte trekk betyr at polymermolekylene hindrer fysisk sement kornene å samle seg.

Penetron Admix

Dette er en type tilsetningsstoff som forbedrer egenskapene til betong. Det kommer både som væskeform og fast stoff som inneholder kjemikalier. Kjemikaliene reagerer med vann, kalsiumhydroksid og metalloksider som finnes i betong og danner uoppløselige krystallnett. Krystallnettet virker tettende mot sprekker opptil 0,4mm, kapillærer og porer som hindrer vann og andre aggressive stoffer å trenge inn i betong. Stoffet forbedrer bestandigheten og reduserer permeabiliteten i betong som øker motstandsevnen mot aggressive kjemikalier som virker nedbrytende på betong [11], spesielt klorider for denne rapporten.

Se kapittel 3.1 for beskrivelse om stoffets virkning på betong.

6.2. Betongresept

For å sette opp reseptene til betongblandingen benyttes proporsjoneringsark som er tilgjengelig på bygg-laboratorium datamaskiner og på www.betong.net. Dette er et regneark på Excel som automatisk beregner en resept for betongblandingen som er ønskelig etter at data og verdier er innsatt i regnearket.

For dette forsøksprogrammet er det utarbeidet 6 forskjellige betongresepter. Utgangspunktet for betongreseptene er to referanse betong, hvorav en høyfast betong og en normal betong. Videre skal det tilsettes bestemte typer tilsetning, der den ene typen er

silikastøv og den andre typen er Penetron pal 18 i betongreseptene til referanse betong. En oversikt for betongreseptene kan beskrives som følgende:

- Høyfast betong uten tilsetningsmaterialer – referanse betong for høyfast betong.
- Høyfast betong med 5% silikastøv.
- Høyfast betong med 1,11% Penetron pal 18.
- Normal betong uten tilsetningsmaterialer – referanse betong for normal betong.
- Normal betong med 5% silikastøv
- Normal betong med 1,11% Penetron pal 18

Delmaterialer som benyttes i utvalgte betong typer er:

- Fint tilslag 0-8mm fra Forsand og grovt tilslag 8-16mm fra Velde.
- Vann
- Indutrisement for høyfast betong og standardsement for normal betong.
- Pozzolan: Silikastøv levert av Elkem
- Tilsetningsstoff: Penetron pal 18 fra Penetron og SP-stoff Dynamon NRG-500 fra Rescon Mapei

6.3. Støping

Støping av betong utføres på bygg laboratorium ved Universitet i Stavanger. Det støpes på tre forskjellige dager, der to av høyfast betongblandinger utføres på samme dag og den siste høyfast betongblandingen 8 dager senere, mens alle vanlig konstruksjons betong (normal betong) blandinger støpes på en annen dag. Grunnet denne inndelingen er på grunn av manglende støpeformer for å lage prøvestykker.

Laboratorieblandinger av betong er utført sammen med medstudenter og er fulgt etter en prosedyre fra Statens vegvesen [33]. En tvangsblender er brukt for å blande delmaterialene. Blanderen som brukes har en kapasitet opptil 100 liters betongblanding. Andre utstyr som benyttes er:

- Vekt med nøyaktighet på 1 gram per kilogram.
- Utstyr for måling av luftinnhold.
- Utstyr for måling av konsistensmåling.
- Støpeformer av terninger 100x100x100mm og sylindere Ø150xH300mm.
- Diverse redskaper

Før veiing av delmaterialer til betongblanding kunne gjøres måtte fuktinnhold i tilslag måles for å klargjøre betong-resepten. For å finne fuktinnholdet i sanden benyttes det en fuktighetsmåler, «Speedy moisture». Framgangsmåten for å måle fuktighet i sanden er utført etter en prosedyre som følges med i utstyrsettet, prosedyren er lagt ved som vedlegg D. Målingen gjøres for å kunne trekke fra den totale vannmengden som må tilsettes i

blandingen på grunn av fukt i sand. Fuktighet som vises på måleren avleses og ved bruk av denne verdien kan man finne fuktighet i sanden med en omregningsformel:

$$\% Moist(DryWt.) = \frac{\%Moist_{(WetWt.)} * 100}{100 - \%Moist_{(WetWt.)}}$$

Når fuktighet i sanden er kjent, og alle verdier er lagt inn i proporsjoneringsarket, kan man hente ut resepten til betongblandingen. Fuktigheten til grove tilslag antas å være lik null på grunn av at materialet har vært oppbevart innendørs i en lang periode. Alle betongresepter ligger som vedlegg, se vedlegg A.



Figur 30: Speedy moisture.

Blandeprosedyren for betongblanding er som følgende:

1. Tvangsblanderer fuktes.
2. Tørre materialer legges i blanderen med følgende rekkefølge: stein, sement, sand og evt. pozzolaner.
3. Ett minutt tørrblanding.
4. Ca. 50 % av vannmengde tilsettes i løpet av 30 sekunder.
5. Resterende vannmengde og evt. tilsetningsstoffer (SP-stoff og/eller Penetron pal18) tilsettes i løpet av en 60 sekunders blandeperiode.
6. Materialene blandes i 30 sekunder.
7. Blandemaskinen stoppes og står i ro i 120 sekunder.
8. Materialene våtblandes i 90 sekunder.

Straks blandingen er ferdig gjennomføres det prøving av fersk betong egenskaper og utstøping av betongprøvestykker.

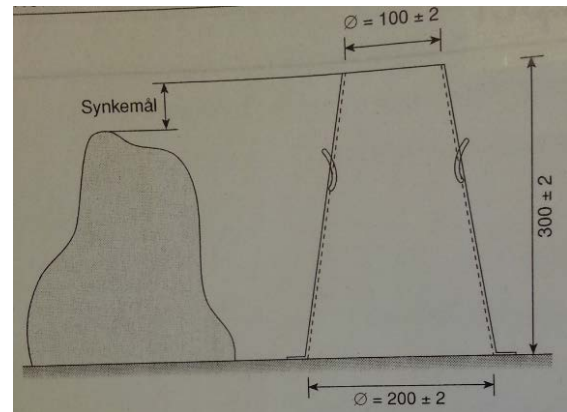
6.3.1. Prøving av fersk betong

Egenskapene bestemmes av material sammensetningen. Betongens fasthet og bestandighet utgjør betongens egenskaper. Det er derfor utført flere prøver på den ferske betongen. Prøver som er gjennomført for fersk egenskaper i denne avhandlingen er betongens konsistens, luftinnhold og densitet. Alle målinger av prøver er utført i samsvar med NS-EN 12350-1.

Måling av konsistens

Måling av konsistens i betong kan gjennomføres på flere måter. Den valgte metoden er synkmål. Dette er et lite presist metode, men blir brukt fordi den er enkelt å gjennomføre. Synkmålprøven er gjennomført i samsvar og målt i samsvar med NS-EN 12350-2.

Metoden utføres ved hjelp av en synk-kjegle som plasseres på et plant underlag. Betongen fylles så med tre lag, og hvert lag ble komprimert med 25 slag fra en komprimeringsstang. Når kjeglen er fylt opp, avrettes toppen slik at den blir rett og glatt. Deretter løftes kjeglen forsiktig opp og betong vil synke ned etter hvor bløt den er. Synkmålet bestemmes ut i fra høyden til kjeglen og ned til høyeste punktet på betongen. Avstanden som blir målt kalles betongens synkmål.



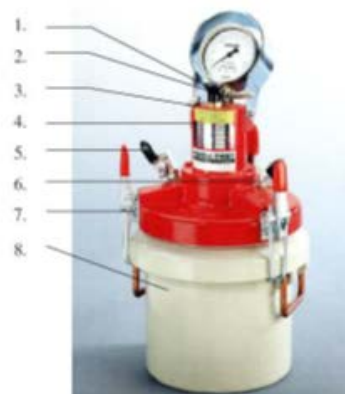
Figur 31: Synkmål

Måling av luftinnhold

Trykk-gauge metoden ble brukt for måling av luftinnhold i betong og gjennomføringen er i samsvar med NS-EN 12350-7. Denne metoden utføres ved at et apparat fylles med betong i tre lag, og for hvert lag ble det brukt en komprimeringsstang for å slå i betongen med 25 støt rundt omkring. Toppes avrettes til en plan overflate og kantene blir rengjort godt, før lokket blir satt på. På lokket er det to ventiler, og vann blir pumpet i den ene ventilen for å fylle resterende luftlommer i betongen helt til det kommer vann ut fra den andre ventilen. En gummihammer brukes for å slå på utsiden av beholderen for å fjerne innesluttet luft, mens vann fortsatt blir pumpet inn. Når vannet som kommer ut fra den andre ventilen får en jevn strømning uten luftbobler lukkes ventilene og prøven blir utsatt for trykk ved hjelp av en pumpe på topplokket. Luftrykket blir stabilisert på start punktet på måleren. Deretter åpnes hoved-ventilen i 20 sekunder. Verdien som måleren stopper på, er resultatet for luftinnholdet i betongen og denne kan leses av direkte.



- POS. 1 LUFTPUMPE
- POS. 2 HEVARM-VENTIL
- POS. 3 JUSTERINGSVENTIL
- POS. 4 OVERDEL
- POS. 5 KULEVENTIL
- POS. 6 KULEVENTIL
- POS. 7 HURTIGKLEMME
- POS. 8 BØTTE



Figur 32: Utstyr til måling av luftinnhold.

Måling av densitet til betong

Måling av densitet utføres med den samme beholderen som brukes til måling av luft innhold i betong. Utføring og måling av densitet er i samsvar med NS-EN 12350-6. Når beholderens volum og vekt er kjent, fylles den med betongblanding i 3 lag og komprimeres med 25 slag ved bruk av komprimeringsstang. Beholderen som er fylt med betong blir dekket med en glassplate og veies. Den avleste vekten trekkes av beholderensvekt og divideres med beholderens volum, dermed kan densitet berignes etter følgende formel:

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

Der: D – er densiteten av den ferske betongen, kg/m³.

m₁ – er beholderens masse, kg

m₂ – er beholderens masse med massen av betongprøve i beholderen, kg

V – er beholderens volum, m³.

Densitet på betong skilles mellom hvilke typer betong som fremstilles [7]:

- Normal betong er betong med tetthet mellom 2000 kg/m³ og 2600 kg/m³.
- Tung betong har tetthet over 2600 kg/m³ og blir laget ved å bruke tunge tilslagsmaterialer.
- Lett betong er betong med tetthet under 2000 kg/m³ og blir laget ved å bruke tilslag som er lettere enn sand og stein, som f.eks. Leca, lettklinker.

6.4. Utstøping

Det utstøpes både prøvestykker i terninger og sylindere for dette laboratoriet arbeidet. Alle utstøpninger er utført i henhold til NS-EN 12390-1:2001. For hver blanding resept er det støpt 15 terninger og 6 sylindere. Tabell 5 som er presentert tidligere beskriver hvilke geometrisk prøvestykke som skal benyttes i de forskjellige prøvemethodene.

Prøvestykker av terninger er utstøpt med standardiserte former med dimensjon 100x100x100mm, se figur 34. Formene smøres med et tynt lag av olje og fylles opp med fersk betong i 2 lag og komprimeres ved bruk av en vibrasjonsmaskin. Topplaget avrettes og dekkes etterpå med plast for lagring i 24 timer på bygg-lab ved 20 grader. Etter 24 timer fjernes formene og prøvestykker legges i vannbad ved 20 grader fram til prøving. Prøvestykker av terninger benyttes for å bestemme trykkfasthet og utvikling av trykkfasthet, i tillegg til klorid diffusjonskoeffisient og vannbestandig betong.



Figur 33: Terningsform oppå en vibrasjonsmaskin



Figur 34: Form for terninger og sylindere.

Som for terninger er prøvestykker av sylindere utstøpt med standardiserte former. Formen til sylindere har diameter lik 150mm og lengde lik 300mm, se figur 34. Et tynt lag av olje smøres på innsiden av formene før disse plasseres én etter én på vibrasjonsmaskin. Deretter fylles den jevnlig opp med fersk betong i tre lag og komprimeres for hvert lag. Topplaget avrettes og et topplokk settes på plass før formene blir lagret i 24 timer på bygg-lab ved 20 grader. Til slutt tas prøvestykkene ut av formen og lagres på lik linje som for terninger. Sylindere brukes for å bestemme elastisitetsmodul og spaltestrekkfasthet.

6.4.1. Prøving av herdet betong

Prøving av herdet betong utføres for å kontrollere mekaniske egenskaper til betong som er i utgangspunktet tiltenkt til et formål. Det er flere egenskaper hos betong som er viktige, blant annet betongens trykkfasthet og tetthet. Det gjennomføres flere prøvemethoder for å finne ut kvaliteten til utvalgte betong typer som har blitt utstøpt.

Trykkfasthetsprøve

Trykkfastheten til hver enkelt betongblandingene ble utført i samsvar med NS-EN 12390-3:2009 [35]. Prøvestykker i terninger ble utstøpt i form med dimensjoner 100x100x100mm, støpt og herdet i samsvar med NS-EN 12390-1 og NS-EN 12390-2. Terningene ble trykktestet etter 7, 14 og 28 dager.

I samsvar med NS-EN 12390-3 ble det benyttet en én-aksiell trykkprøvemaskin for å finne trykkfastheten til prøvestykkene. Etter en bestemt herdetid ble terningene tatt ut av vannbad og overflatene tørket. Deretter plasseres prøvestykke sentrisk i prøvemaskin terning ved hjelp av en plate og et stativ. Terningen posisjoneres i trykkmaskin med støpe-flaten rettet mot framsiden. Maskinen settes i gang når alt er klart og flatene presses med en konstant belastningshastighet på 0,8MPa/s inntil brudd i prøvestykket.



Figur 35: Trykkfasthetsprøve

Trykkfastheten bestemmes av følgende formel [35]:

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

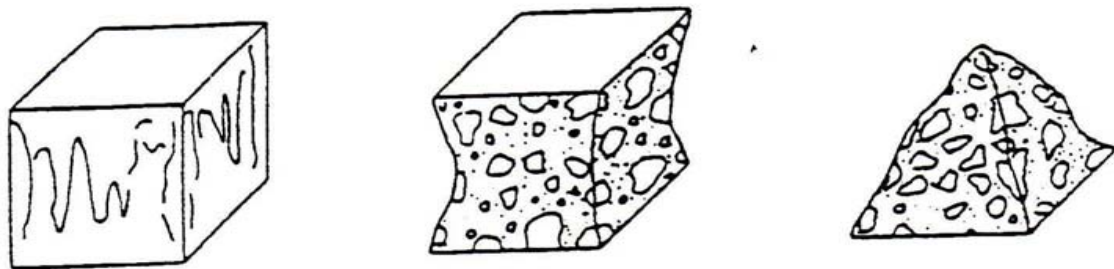
der:

f_c er trykkfasthet i MPa

F er bruddlasten i N

A_c er tverrsnittarealet på prøvestykket som trykkraften virker mot i mm².

Terninger som er blitt trykktestet undersøkes for bruddformer. Iht. [35] oppgis det bruddtyper som er tilfredsstillende for terningsformede prøvelegemer, se figur 36:



Figur 36: Tilfredsstillende bruddform for terningsformede prøvelegemer.

Split-sylinder prøve (Spaltestrekkfasthet)

Spaltestrekkfasthet er alternative forsøksmetode for å bestemme strekkfastheten til betongblandingen. Prøven ble utført i samsvar med NS-EN 12390-6:2001 [36]. Prøvestykker til denne prøven er utstøpt i sylinder med diameter 150mm og lengde 300mm. Sylinderens overflater tørkes etter å ha blitt tatt ut av vannbad og plasseres sentrert i et stativ som deretter settes inn i trykkpresse maskin. En tynn tre-/stål plate benyttes som støtte langs hver side av sylinderen, se figur 38.

Trykklasten som er en trykk-linjelast påføres jevnt langs lengderetningen og det oppstår strekkspenninger vinkelrett på planet mellom lastpåføringslinjene. Lasten økes til sylinderen sprekker og slittes i to. Spaltestrekkfastheten beregnes etter følgende formel [36]:

$$f_{ct} = \frac{2 * F}{\pi * L * d}$$

der:

f_{ct} er spaltestrekkfastheten i MPa

F er bruddlast i N

L er sylinderens lengde i mm

D er sylinderens diameter i mm



Figur 37: Sylinder splittes i to

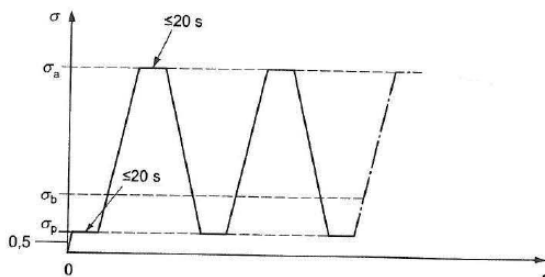


Figur 38: Utstyr til spaltestrekkfasthetsprøve: Stativ (t.v) og mellomlegg lister av tre og stål (t.h.)

Elastisitetsmodul

Forsøksmetode for elastisitetsmodul ble utført i samsvar med NS-EN 12390-13:2013 [37]. Denne standarden oppgir to prøvemetoder, metode A og metode B. For å bestemme elastisitetsmodul til betongblandingene brukes metode B. Iht. standarden [30] blir det utstøpt prøvelegemer av sylindere med diameter lik 150mm og lengde lik 300mm, herdes og vannlagres i henhold til NS-EN 12390-2. Sylindere tørkes lett på overflatene og klargjøres for prøving av elastisitetsmodul.

Trykkfastheten av prøvelegeme skal være kjent før prøving av elastisitetsmodulen kan begynne. Det benyttes derfor trykkfastheten som er funnet for terningene ved prøve av trykkfasthet til betongblandingene. Med kjent trykkfasthet til terningene kan man finne sylindere trykkfasthet ved å multiplisere gjennomsnittresultatet til trykkfastheten av terningene med 0,8. Sylindere trykkfasthet brukes for å bestemme spenninger som benyttes ved innstilling til programmet i prøvemaskin. Prøvelegemer klargjøres og et instrument blir festes sentrert på sylindere. Dette instrumentet er en deformasjonsmåler og måler deformasjonen med 200mm mellomrom. Sylindere blir belastet av en trykkpresse-maskin i 3 sykluser og holdes i 20 sekunder både på toppen og i bunnen av spenningen.



Figur 39: Sykluser for bestemmelse av stabilisert sekant elastisitetsmodul, metode B [30].



Figur 40: Måleinstrument, Elastisitetsmodul

Instrumenteringen kan måle tøyning direkte eller i form av måling av lengde endring på prøvestykke hvor tøyning, ε , kan beregnes med formelen:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

der

- ε er tøyning
- ΔL er lengde endringen
- L_0 er lengde mellom sensorene på instrumentmåleren

For å bestemme elastisitetsmodul etter metode B blir følgende formel benyttes:

$$E_{c,s} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon_s} = \frac{\sigma_a^m - \sigma_p^m}{\varepsilon_{a,3} - \varepsilon_{p,2}}$$

der

- $E_{c,s}$ er elastisitetsmodulen
- σ_a er øvre spenning, $f_c/3$
- σ_p er forspenning, $0,5 \text{ MPa} \leq \sigma_p \leq \sigma_b$
- σ_b er nedre spenning, $0,1 * f_c \leq \sigma_b \leq 0,15 * f_c$

6.4.2. Prøving av betongens permeabilitet

Klorid inntrenging

Kloridinntrengningsprøve er utført i samsvar med NT Build 443 [38] og Statens vegvesen 14.651 [39]. Dette er en akselerert klorid-inntrengning forsøksmetode. Metodene har prosedyre for å bestemme parametere som benyttes for å anslå betongens motstand mot kloridinntrengning, nærmere bestemt klorid diffusjonskoeffisienten for herdnet betong.

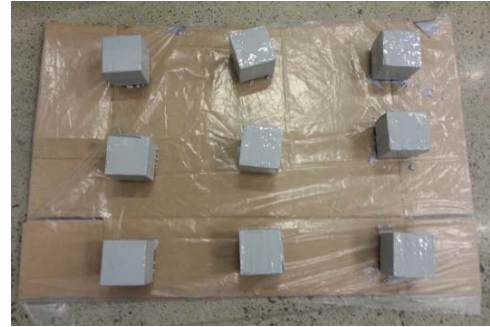
I prosedyren beskrives det at prøvelegemer skal ha minst en diameter på 75mm og en minimumslengden på 100mm. Prøvestykker til denne prøvemethoden utstøptes i terninger med dimensjoner 100x100x100mm, og tilfredsstillende dette kravet. Terningene er herdet i vannbad i 14 dager i motsetning til det som er oppgitt i prosedyren som er minimum 28 dager, grunnet til dette er kapasitetsmangel på laboratoriet. Det foretas derfor trykkfasthetsprøve av terninger etter 14 dager for å kontrollere trykkfastheten på betongblandingen.

Prøvestykker som er herdet i 14 dager i vannbad blir tatt ut og veies før terningene settes ned i en beholder med kalsiumhydroksid løsning. Veiing av prøvestykker gjennomføres for å kontrollere om at prøvestykkene skulle bli mettet med kalsiumhydroksid.

Kalsiumhydroksid løsningen som blandes inneholder 2 gram Ca(OH)_2 per liter vann (NB.

ikke destillert vann) og det benyttes en beholder som kan lukkes med et lokk for å minimalisere karbonatisering av væsken. Temperaturen i løsningen er 20 grader, noe som er avvik fra det som står beskrevet i prosedyren der det aktuelle temperaturen bør være ± 23 grader. Dette er på grunn av mangel på utstyr i bygg-lab som for eksempel klimaskap og/eller varmekolber og derfor ble beholdere plassert i et rom som er regulert til 20 grader.

Etter 24 timer i $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tas prøvelegemer ut og veies igjen for å kontrollere om terninger er mettet. Veieing av prøvestykker gjentas én gang i løpet av 24 timer inntil vekten ikke endrer seg mer enn 0,1 vektprosent pr. døgn. Når vekten til terningene ikke endrer seg tas disse ut og legges til tørk før et belegg med epoxy maling påføres på prøvelegemes overflater, utenom eksponeringsflaten. Overflatene kontrolleres etter 24 timer og et nytt lag med epoxy påføres, slik at eventuelle steder tettes. Deretter legges prøvelegemer tilbake i kalsiumhydroksid løsning og prosedyren med veieing gjentas.



Figur 41: Epoxy belegg på prøvestykker.

Figuren er i samarbeid med en student

Beholdere med natriumklorid løsning klargjøres og prøvelegemer legges ned i beholdere. Løsningen fremstilles av 165 ± 1 gram av NaCl (natriumklorid) pr. liter vann. Merk at det benyttes ikke destillert vann. Hver beholder rommer 4 prøvestykker med 10 liter løsning, det vil si vann med en konsentrasjon av 1650 gram NaCl. Grunnet mangel på utstyr som klimaskap eller varmekolber, er temperaturen i løsningen på ca. 20 grader som kontrolleres daglig ved hjelp av en termometer.



Figur 42: Prøvestykker klargjøres til saltbad.

Prøvelegemene tas opp fra NaCl-løsningen etter 47 dager og utfresing av betongsstøv kan begynne. Prøvestykker ble lagt i løsningen lenger enn planlagt på grunn av frese maskin ikke var på plass. Utfresing av betongsstøv prøver gjøres for å finne ut hvor mye kloridioner har trengt inn i betongen. Totalt freses det ut 8 sjikt med et intervall på 5mm pr sjikt innover i betongen, dvs. 0-5mm, 5-10mm, 10-15mm osv. Det benyttes en bormaskin og et spesiallaget bor for å frese ut betongstøv med en nøyaktighet på 0,1mm. Fresing av hvert sjikt kontrolleres med et tommestokk mot den digitale måleskjermen på bor-maskin. Grundig rengjøring mellom hvert sjikt gjøres ved hjelp av en trykkluftblåser og en liten kost.



Figur 43: Utfresing av betongsstøv

Betongsstøv som freses ut for hver sjikt samles i plastikk poser og merkes med prøvenummer.

Det freses også ut betongsstøv fra prøvelegemes underside, dvs. den overflaten som har epoxy belegg for å beskytte mot inntrenging av kloridioner. Betongsstøv som tas ut fra disse områdene ligger omtrent 100mm fra eksponeringsoverflaten, og følgelig har ikke kloridioner inntrengt så dypt. Disse betongsstøv prøvene oppbevares i plastikkposer og merkes med referanse verdier.



Figur 44: oppbevaring av betongsstøvprøver

Rapid chloride test

For å finne kloridinnhold i betongstøv benyttes det RCT (Rapid chloride test). Dette prøve-systemet brukes til å bestemme kloridioners innhold i betongsstøv prøver framstilt på stedet eller i laboratoriet. RCT er en hurtig metode og kan måle kloridinnhold nøyaktig.

Små flasker som inneholder 10ml av utvinning væske brukes for å fortynne betongstøv.

Betongstøvprøve på 1,5 gram veies opp og tilsettes i flaskene med utvinningsvæske. Deretter ristes flaskene litt før prøvene står over natten (minimum 12 timer) for at utvinningsvæsken skal reagere komplett med kloridioner som er i betongsstøvet. Reaksjonen mellom væsken og kloridionene danner en oransje farge.



Figur 45: Utstyr for RCT-prøve

Kloridinnholdet i reaksjonsvæsken måles ved hjelp av en RCT klorid elektrode; såkaltet kloridselektiv elektrode. Kalibrering av måleutstyret gjøres før målinger av alle prøver i flaskene kunne påbegynne. I utstyrssettet er det 4 flasker med kalibreringsvæsker i ulike farger som inneholder kjente mengde kloridinnhold. Disse flaskene har forskjellige kloridkonsentrasjoner, som for eksempel $0,005\% Cl^-$, $0,020\% Cl^-$, $0,050\% Cl^-$ og $0,500\% Cl^-$ av betongvekt. Den koridselektive elektroden fylles opp med elektrodens fuktemiddel og kobles til et milli-voltmeter som kan både måle elektrisk potensial, pH og temperatur. Avlesning av verdier fra kalibreringsvæskene legges inn i et enkeltlogaritmisk diagram og en linje tegnes ut fra verdiene som danner en tilnærmet lineært kurve, kalibreringskurven. I dette diagrammet vises den horisontale aksens verdier for elektrisk potensial og vertikale aksens verdier for kloridinnhold % pr. betongvekt.

Når kalibreringskurven er klargjort, kan målinger av kloridinnhold fra betongstøvprøven gjøres. Det er viktig at kloridselektiv elektroden er fylt opp med elektrodens fuktemiddel. Den kloridselektive elektroden settes ned i den oppsluttede væsken, og det elektriske potensialet nivået stabiliseres etterhvert avhengig av kloridinnhold. Avlesning av verdien på voltmeteret noteres ned og plottes inn på kalibreringskurven får å kunne lese av kloridinnholdet i masseprosent av betongvekt. Elektroden rengjøres med destillert vann, i dette tilfellet benyttes spring vann på grunn av mangel på destillert vann. Rengjøring av elektroden gjøres mellom hver avlesning og tørkes forsiktig av med tørkepapir. Deretter fortsettes måling av de andre betongstøvprøver.

Etter en måleserie på 8 avlesninger av betongstøv prøver kalibreres elektroden med kalibreringsvæskene som har kjente kloridinnhold på nytt. Dette er for å kontrollere at elektroden gir korrekte registreringer. Totalt utføres det 23 kalibreringer av elektroden og 189 målinger av betongstøv prøver, hvorav 21 målinger er av referanseprøver.

Beregning av kloridkonsentrasjon og diffusjonskoeffisient

Registrerte resultater av betongstøv prøver fra RCT benyttes videre for å finne kloridprofil, klorid diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon ved betongoverflaten i hvert enkel prøvelegeme. Med et Excel-ark framskaffet av veileder kan man med oppnådde målinger fra prøven legge inn i Excel-ark få fram kloridprofil, samtidig en klorid diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjon ved betongoverflaten, se vedlegg C for øvrige Excel-ark med kloridprofil.

Dette Excel-arket har innlagt en tilpasset funksjon av Fick's andre lov som brukes for å beregne inntrengning av klorider i betong. I denne sammenhengen brukes dette for å beregne diffusjonskoeffisienten og kloridkonsentrasjonen ved betongoverflate. Fick's andre lov baseres på ikke-stasjonær diffusjon og kan uttrykkes som følgende:

$$C(x, t) = C_S - (C_S - C_i) * \operatorname{erf}\left(\frac{x}{\sqrt{4 * D * t}}\right)$$

Der:

$C(x, t)$ = Kloridinnhold ved dybde x og tid t ,

erf = Feilfunksjon

C_S = kloridkonsentrasjonen på betongoverflaten (% av betongvekt)

C_i = Initial kloridinnhold (% av betongvekt)

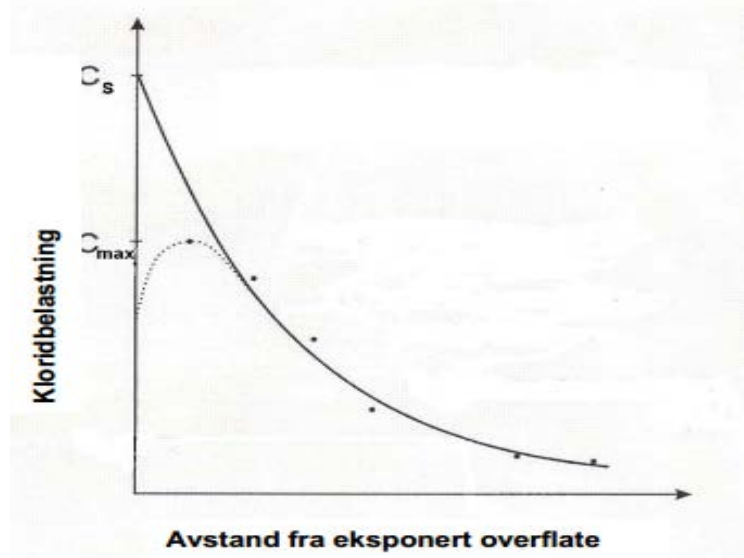
x = dybde, avstand fra eksponeringsoverflaten (m)

D = Kloriddiffusjonskoeffisient (m^2/s)

t = eksponeringstid (s)

Kloridkonsentrasjon

Kloridkonsentrasjonen ved betongoverflate er resultatet av en regresjonsanalyse observert av data på kloridinntrengning og en kurvetilpasning til Fick's 2. lov. Kloridbelastningen blir normalt definert og vurdert på grunnlag av en eller flere representative verdier for akkumulerte kloridkonsentrasjoner på konstruksjonens overflate [40].

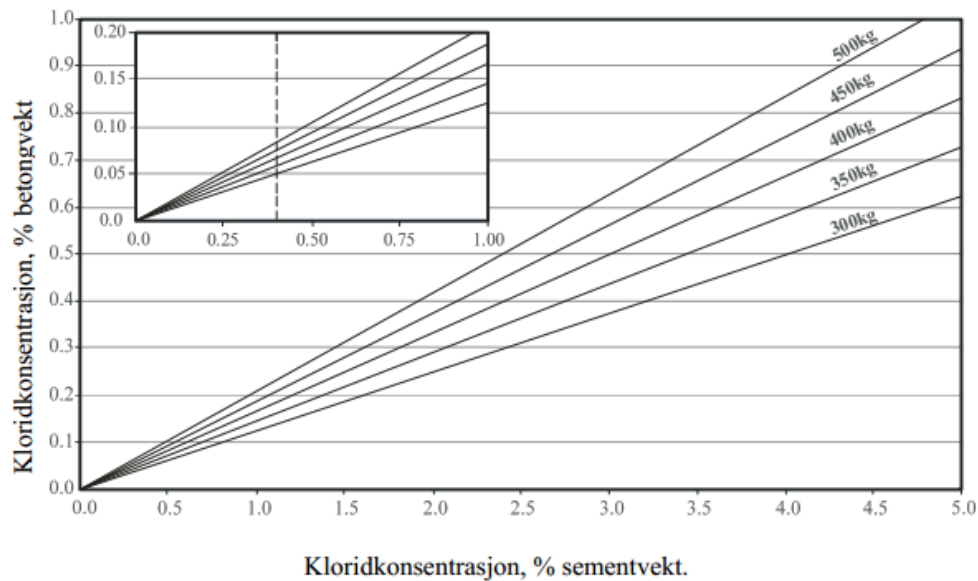


Figur 46: Definisjon av kloridbelastning (C_s) basert på en regresjonsanalyse og kurvetilpasning av observerte data på kloridinntrengning [40].

Kloridkonsentrasjonen er en faktor som beskriver miljøet der konstruksjonen befinner og belastningen er avhengig hvor konstruksjonen er lokalisert. Verdiene kan variere fra sted til sted, for eksempel deler av marine konstruksjoner som er i tidevannsoner, skvalpesoner og sprutsoner har høyere overflatekonsentrasjon enn konstruksjoner nær kystområder. Det finnes veiledende verdier for kloridbelastningen og angis i tabell 6. Tabellen beskriver veiledende verdier for kloridbelastningen C_s med en middelværdi og et standardavvik i prosent av sementvekt. I noen tilfeller blir kloridkonsentrasjonen angitt i prosent av betongvekt, derfor er det laget et enkelt omregningsdiagram for å kunne sammenligne verdiene fra sementvekt og betongvekt [40].

Kloridbelastning	C_s (% av sementvekt)	
	Middelværdi	Standardavvik
Stor	5,5	1,3
Middels	3,5	0,8
Moderat	1,5	0,5

Tabell 6: Veiledende verdier for kloridbelastning C_s på betongkonstruksjoner i et norsk kystmiljø [40].



Figur 47: Sammenheng mellom kloridkonsentrasjoner i betong basert på henholdsvis betongvekt og sementvekt for betong med varierende sementinnhold [40].

Klorid diffusjonskoeffisient

Generelt er klorid diffusjonskoeffisient en viktig materialegenskap som forteller betongens motstandsevne mot kloridinntrengning i et fuktig, kloridholdig miljø. Fra erfaring vises det at betongkvaliteter med et masseforhold på 0,4 eller lavere vil kunne ha en lav diffusjonskoeffisient, det vil si relativt høy motstandsevne mot kloridinntrengning. Det finnes flere forskjellige standardiserte prøvningsmetoder for å bestemme betongens diffusjonskoeffisient. I denne oppgaven benyttes en akselerert prøvningsmetode RCT – rapid chloride test (som er beskrevet tidligere i dette kapittelet) for å måle kloridinnhold i betong prøvestykkene.

Betongens kloriddiffusjonskoeffisient utvikler seg over tid og er avhengig av kloriddiffusivitet tidsavhengighet, α , en aldringsfaktor som baseres på empiriske verdier fra konstruksjoner under tilsvarende miljøbelastninger.

Bestandighetsanalyse

Bestandighetsanalyse utføres for å estimere levetiden der kloridinnholdet i betong oppnår et nivå som er kritisk for armeringsstål. Beregningene gjennomføres i et excel ark «beregnet diffusjon klorid» og levetiden er funnet når kritisk kloridnivå er nådd. Kritisk kloridnivå settes til å være lik 0,4 Cl⁻ % av sementvekt i henhold til NS-EN 206-1:200 (se tabell 3) der det er minimal risiko for at korrosjon initieres.

Dimensjonerende levetid for monumentale bygningskonstruksjoner, bruer og andre anleggskonstruksjoner er 100 år. En overdekningsgrense bestemmes ut ifra tabell NA4.4N i [6] med eksponeringsklasse XD2 og XS2 for konstruksjoner i aggressivt miljø. I følge tabellen er minste overdekning på 40mm for 50 års levetid og 50 mm for 100 års levetid.

For å estimerte levetiden benyttes verdiene fra kloridinntreningsprøven, klorid diffusjonskoeffisient og kloridkonsentrasjonen ved overflaten som presenteres i kapittel 7.3.1. i tillegg en aldringsfaktor $\alpha = 0,6$ som er foreslått i en artikkel fra «*Aging factor concept – Chloride Intrusion*» [41], der referanse betongblandinger i Norge har sannsynlig en aldringsfaktoren $\alpha = 0,6$.

Eksponeringsklasse ¹⁾	Bestandighetsklasse	Minste overdekning $c_{min,dur}$ (i mm)	
		50 års dimensjonerende brukstid	100 års dimensjonerende brukstid
X0	M90	$c_{min,b}$	$c_{min,b}$
XC1	M60	15	25
XC2, XC3, XC4	M60	25	35
XD1, XS1	M45	40	50
XD2, XD3, XS2	M40	40	50
XS3	M40	50	60

¹⁾ Valg av bestandighetsklasse for eksponeringsklassene XF, XA og XSA skal være i henhold til NS-EN 206-1 NA:2007, Nasjonalt tillegg tabell NA.11. For klasse XA3 og XA4 bør normalt overdekningen ikke være mindre enn 40mm hhv. 50mm, for klasse XSA må de samlede tiltakene vurderes særskilt.

Tabell 7: Krav til minste overdekning av hensyn til bestandighet for armeringsstål [6]

Vann inntrengning

Dette eksperimentet er utført i samsvar med NS-EN 12390-8:2009 og Statens vegvesen 14.633. Disse beskriver prøving av vanninntreningsprøven i betong på utstøpte eller utborede prøvestykker. Det utstøpes prøvelegemer av terninger med dimensjoner 100x100x100mm, 3 terninger for hver betongblanding.

Etter 28 dager herding i vannbad, tas prøvestykker ut av vannbad til forbehandling. Dette innebærer at 10mm til den eventuelle eksponerte flaten skjæres av ved bruk av en sag med et diamantblad, se figur 48. Den overflaten som kuttes av er hovedsakelig sementpasta/ «støpehud» som kan påvirke permeabilitetsegenskapen. Ved fjerning av «støpehud» får man fram en overflate struktur av tilslag og diverse materialer og dermed praktiseres forsøksmetoden mer om betongens generelle permeabilitetsegenskap.



Figur 48: Diamantsag (t.v.) og prøvestykketoverflate etter forbehandling (t.h.).

Vanninntreningsprøven for betong utføres ved hjelp av et apparat som utsetter prøvestykker for ensidig vanntrykk. Dette apparatet består av et rør med flere «kanaler» som gir vanntrykk på de aktuelle prøvestykkene. På apparatet er det koblet et trykkmåler som brukes for å kontrollere vanntrykket i systemet. I tillegg til apparatet brukes det monteringsrigg og et toppstykket. For å få tilstrekkelig trykk i systemet kobles det til et eksternt lufttrykk.

Prøvestykker som er klargjort plasseres sentrisk i monteringsrigg, det er plass til 2 prøvestykker pr. monteringsrigg. Et toppstykket med en gummiring for å sikre tett forbindelse, legges på den eksponerings overflaten. Topplaten til monteringsriggen settes på plass og festes godt igjen med låsemutter, som vises på figuren nedenfor.



Figur 49: Øverst: Monteringsrigg og toppstykket, (t.v.) monteringsrigg tilkoblet til apparatet og (t.h.) vanninntreningsprøve systemet

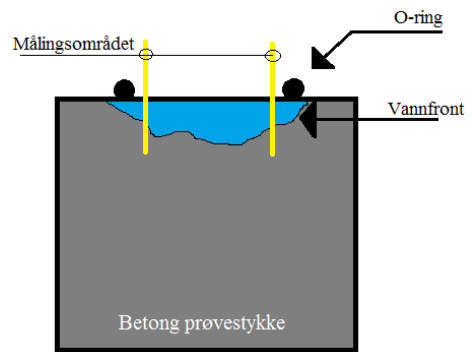
Når alt er festes og koblet til apparatet, kobles vann til og det foretas utlufting før vanntrykket settes på. Vanntrykket reguleres til 0,3 MPa (3 bar), deretter til 0,5 MPa etter 24 timer og til 0,7 MPa 48 timer etter at prøvingen startet. Totalt foregår prøven i 72 timer og vanntrykk justeres ved behov for å opprettholde ønsket vanntrykk, etter regelmessig overvåking. Det skal også ikke være vannlekkasjer fra prøvestykkene

Etter 72 timer avsluttes prøven og én etter én prøvestykke tas ut av riggen og splittes i to. Splitting av prøvestykkene utføres i en trykkpresse maskin som også brukes til trykkfasthetsprøve av terninger. Det benyttes flattstål med en spiss flate i midten for å dele prøvelegeme, se figur 50. Dette plasseres midt på terningen og vinkelrett mot vanninntreningsretningen. Trykkpresse maskin presser terningen mot stål stykke og deler prøvestykke i to, og vurdering av vann-inntreningen foretas umiddelbart. Eventuelle vannfront markeres. Hele prosedyren skal være gjennomført innen 5 minutter fra prøvestykket er tatt ut av riggen til registrering av vanninntreningsfronten er utført.



Figur 50: Prøvestykke splittes i to.

Inntrengningsdybden kan måles på prøvestykkene, der midlere inntrengningsdybde blir tatt i betraktning. Måling av inntrengningsdybden utføres på 10 punkter som er innenfor et område der O-ring er plassert.



Figur 51: Måling av inntrengningsdybden

7. Resultater

I dette kapitlet samles alle resultater fra forsøksmetodene som er utført på laboratorium. Det presenteres både i tabeller og figurer. Tabeller viser en oversikt over resultatene og figurene illustrerer en sammenligning av resultatene til betongblandingene. Diskusjoner rundt resultatene beskrives i neste kapittel.

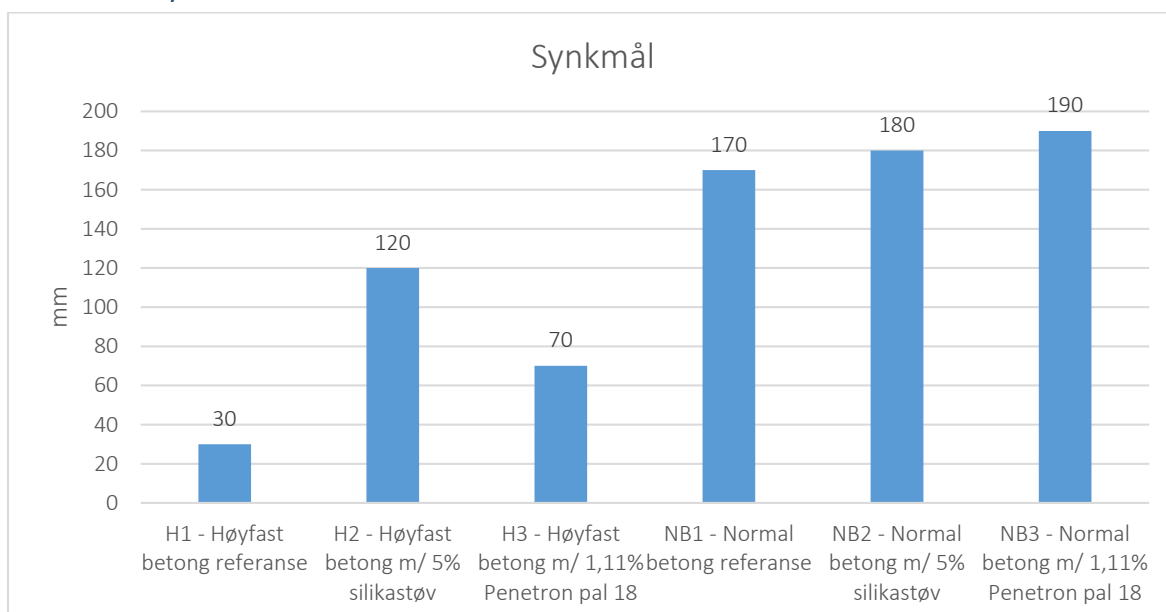
7.1. Fersk betong egenskaper

Det ble gjort 3 forskjellige prøver av den ferske betongblandingen, resultater er vist i tabell og figurer.

Fersk betong egenskaper				
Betongblanding	Synkmål (mm)	Densitet (kg/m ³)	Luftinnhold (%)	Dato
H1 - Høyfast betong referanse	30	2340	4,4	10.feb
H2 - Høyfast betong m/ 5% SF	125	2400	2,5	18.feb
H3 - Høyfast betong m/ 1,11% Pen18	70	2370	2,2	10.feb
NB1 - Normal betong referanse	170	2360	1,3	11.feb
NB2 - Normal betong m/ 5% SF	180	2340	1,0	11.feb
NB3 - Normal betong m/ 1,11% Pen18	190	2380	0,8	11.feb

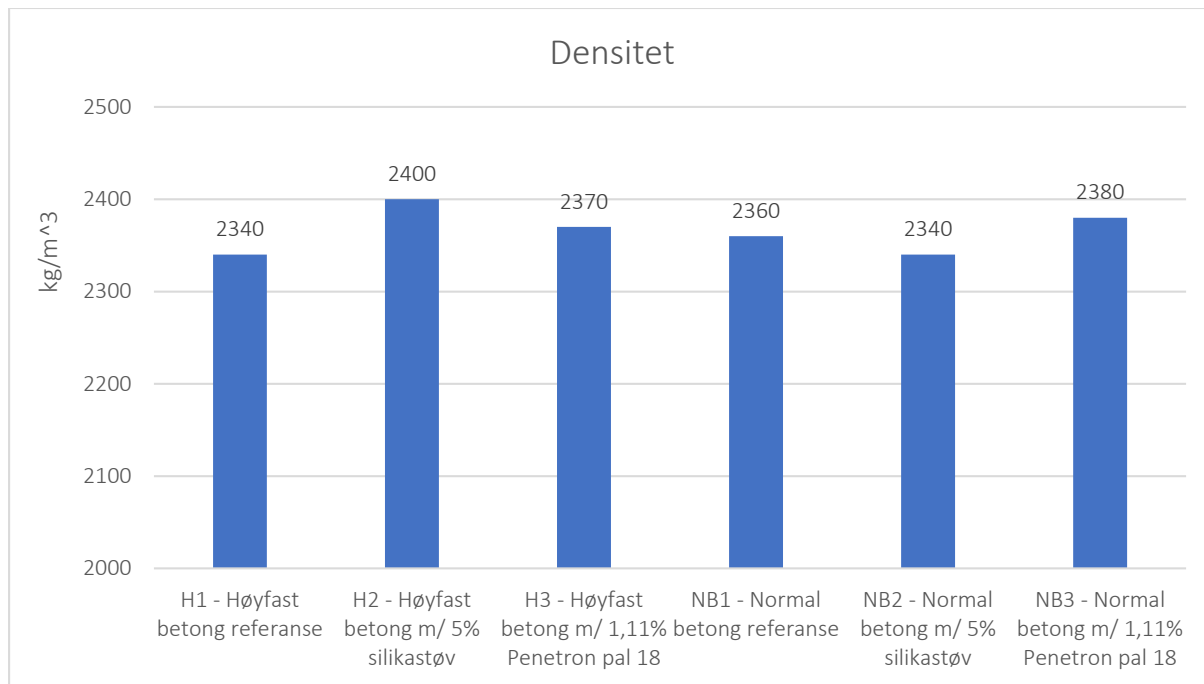
Tabell 8: Resultater fra ferske egenskaper i betong.

7.1.1. Synkmål



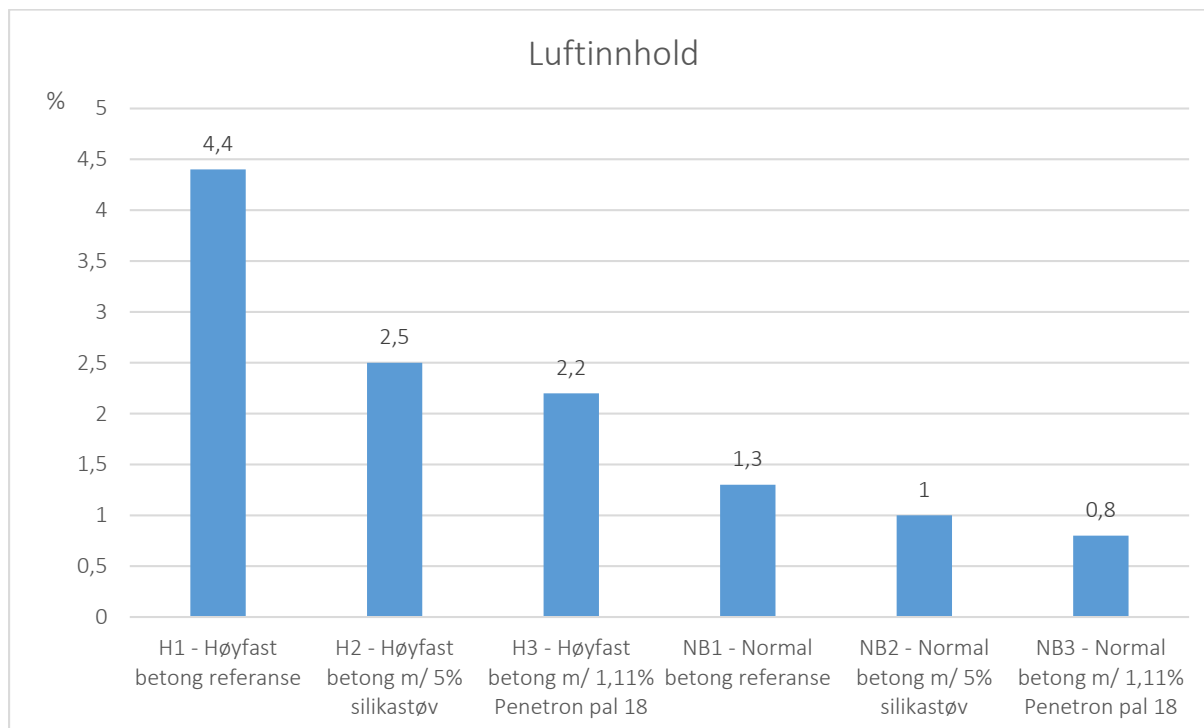
Figur 52: Synkmål

7.1.2. Densitet



Figur 53: Densitet

7.1.3. Luftinnhold



Figur 54: Luftinnhold i betong

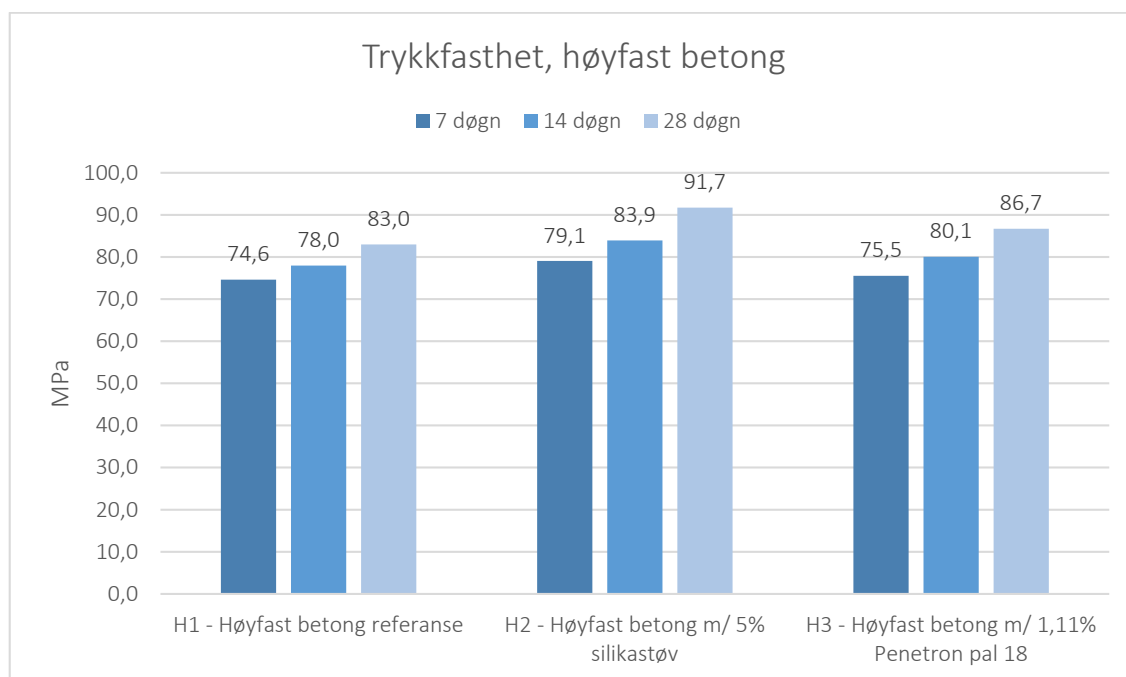
7.2. Herdet betong

7.2.1. Trykkfasthetsprøve

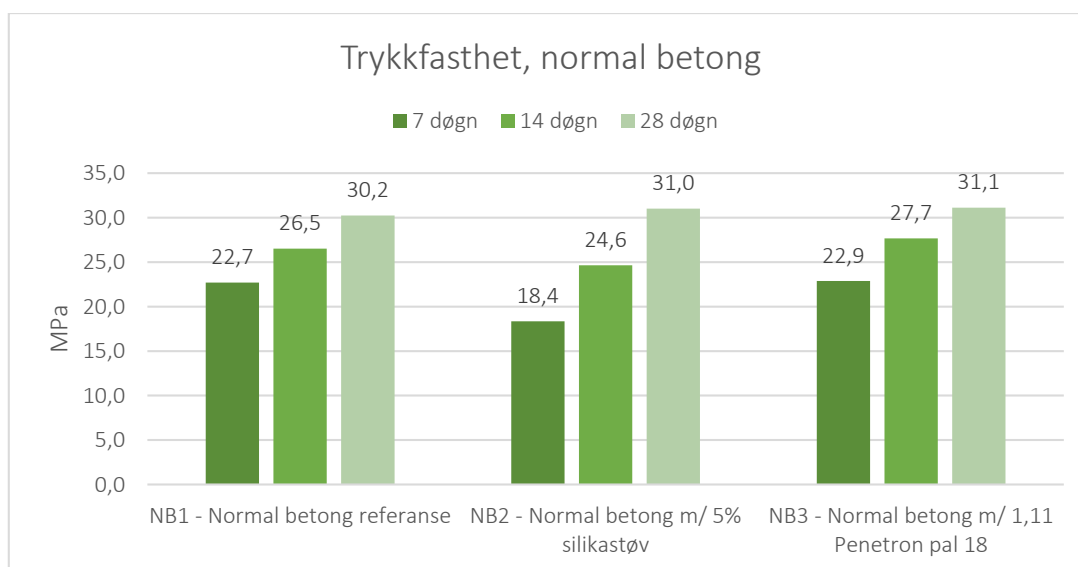
Trykkfasthetsprøve er utført etter 7, 14 og 28 døgn og presenteres med tabell og figurer. Tabellen er en oppsummering over resultatene og figurene viser forskjellen mellom betongblandingene. Høyfast betong er proporsjonert for B70 og normal betong (vanlig konstruksjons betong) er proporsjoner for B25.

Trykkfasthet i N/mm ² (MPa)			
Betongblanding	7 døgn	14 døgn	28 døgn
H1 - Høyfast betong referanse	74,6	78,0	83,0
H2 - Høyfast betong m/ 5% SF	79,1	83,9	91,7
H3 - Høyfast betong m/ 1,11% Pen18	75,5	80,1	86,7
NB1 - Normal betong referanse	22,7	26,5	30,2
NB2 - Normal betong m/ 5% SF	18,4	24,6	31,0
NB3 - Normal betong m/ 1,11 Pen18	22,9	27,7	31,1

Tabell 9: Gjennomsnittresultater av trykkfasthet til utvalgte betong



Figur 55: Trykkfasthet, høyfast betong



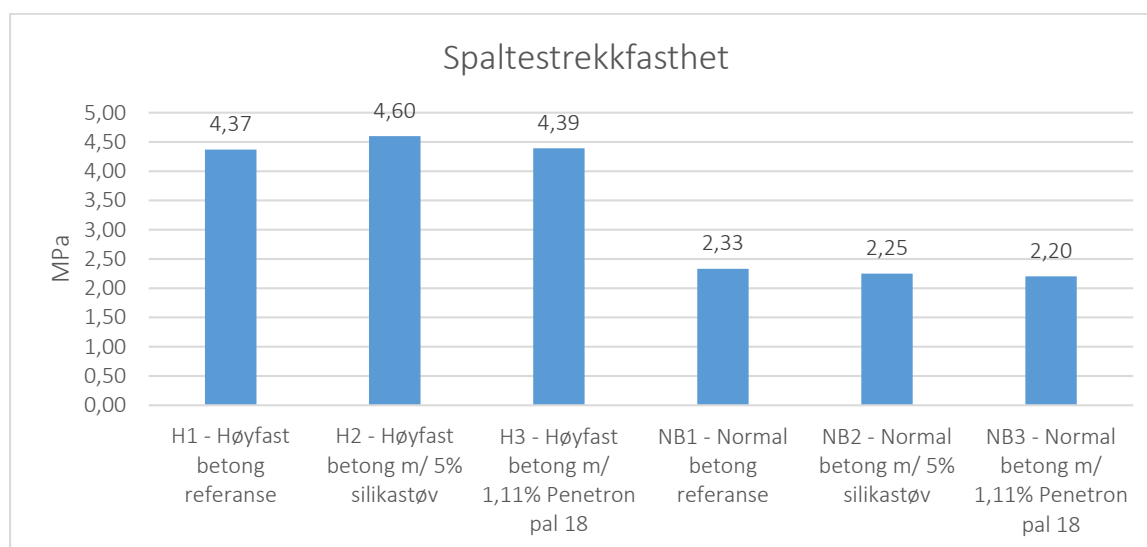
Figur 56: Trykkfasthet, normal betong

7.2.2. Spaltestrekkfasthet

Spaltestrekkfasthetsprøven er utført etter 28 dager og presenteres med tabell og figur. Totalt er det tre prøvestykker pr. betongblanding og gjennomsnittresultatet av disse resultatene er beregnet i siste kolonne. Figuren presenterer gjennomsnittresultatet av prøvestykkene og viser forskjellen mellom betongblandingene.

Spaltestrekkfasthet i N/mm ² (MPa)				
Betongblanding	Prøve A	Prøve B	Prøve C	Gjennomsnitt
H1 - Høyfast betong referanse	4,73	4,30	4,08	4,37
H2 - Høyfast betong m/ 5% SF	4,46	4,48	4,86	4,60
H3 - Høyfast betong m/ 1,11% Pen18	4,40	4,42	4,35	4,39
NB1 - Normal betong referanse	2,49	2,33	2,17	2,33
NB2 - Normal betong m/ 5% SF	2,36	2,12	2,27	2,25
NB3 - Normal betong m/ 1,11% Pen18	2,23	1,91	2,47	2,20

Tabell 10: Resultater fra spaltestrekkfasthetsprøve



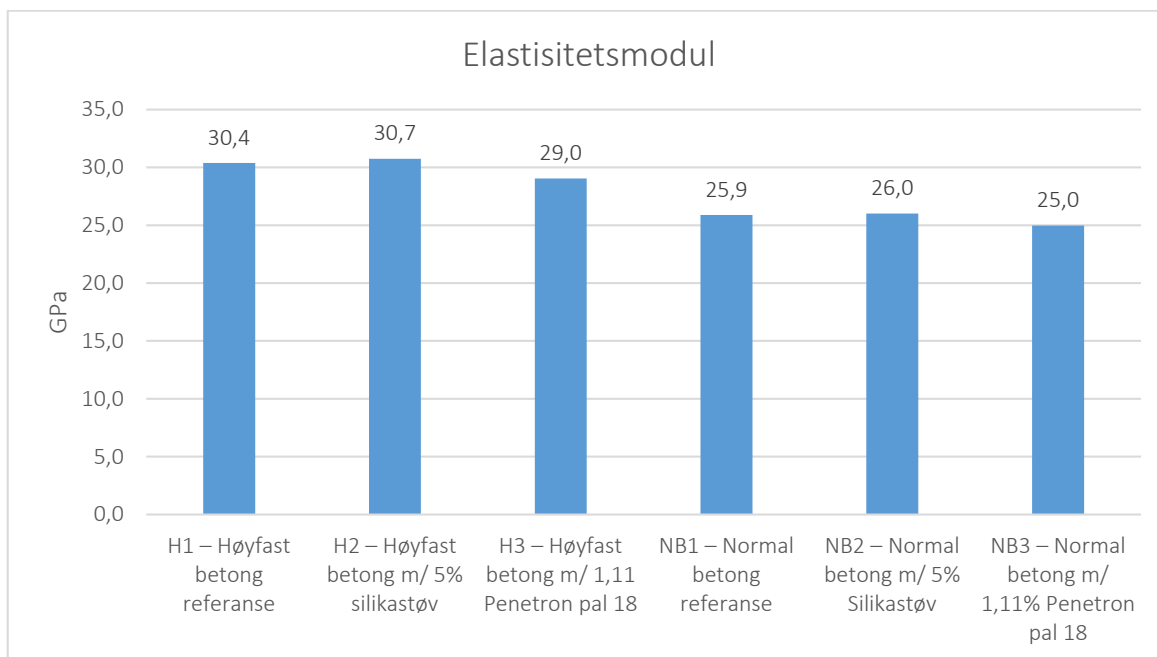
Figur 57: Resultater av gjennomsnittresultater fra spaltestrekkfasthetsprøven.

7.2.3. Elastisitetsmodul

Elastisitetsmodul prøven er utført etter 28 dager og presenteres med tabell og figur. Totalt er det tre prøvestykker pr. betongblanding og gjennomsnitt verdien av disse resultatene er beregnet i siste kolonne. Figuren presenterer gjennomsnittresultatet av prøvestykkene og viser samtidig forskjellen mellom betongblandingen.

Elastisitetsmodul i GPa				
Betongblanding	Prøve A	Prøve B	Prøve C	Gjennomsnitt
H1 – Høyfast betong referanse	30,9	29,6	30,7	30,4
H2 – Høyfast betong m/ 5% SF	31,8	30,5	30,0	30,7
H3 – Høyfast betong m/ 1,11% Pen18	28,6	28,2	30,4	29,0
NB1 – Normal betong referanse	25,5	26,1	26,1	25,9
NB2 – Normal betong m/ 5% SF	27,1	24,4	26,6	26,0
NB3 – Normal betong m/ 1,11% Pen18	27,2	23,1	24,7	25,0

Tabell 11: Resultater fra elastisitetsmodul prøve



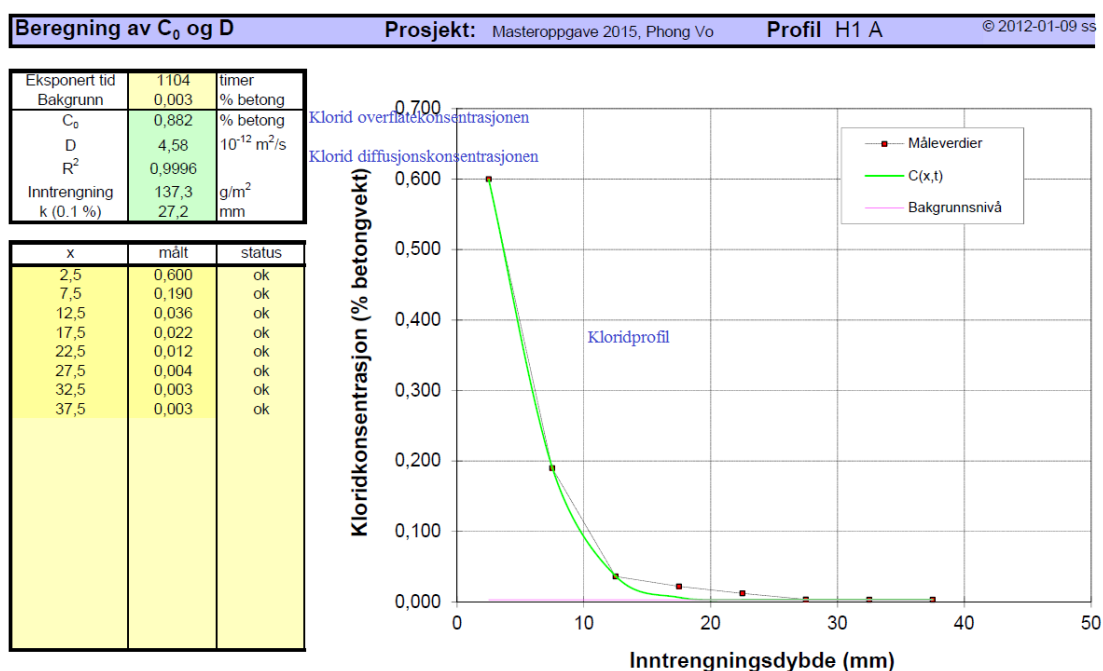
Figur 58: Gjennomsnittresultater fra elastisitetsmodul prøve

7.3. Permeabilitetsprøver

7.3.1. Kloridinntreningsprøve

Kloridinntreningsprøven er utført ved hjelp av RCT-metoden. Registrerte målinger av kloridinnhold fra de ulike sjiktene i prøvestykket legges inn i et Excel ark som er nevnt tidligere for å finne kloridprofilen og klorid diffusjonskoeffisient D , samt klorid overflatekonsentrasjonen C_0 . Figur 59 viser et eksempel av Excel arket, der aktuelle verdier for H1 prøve A er lagt inn og en endelig kloridprofil illustreres på grafen. I Excel arket blir klorid diffusjonskoeffisienten og klorid overflatekonsentrasjonen automatisk beregnet ut.

Nedenfor vises bare en kloridprofil fra H1 prøve A som er henholdsvis høyfast betong, øvrige kloridprofiler legges i vedlegg C.



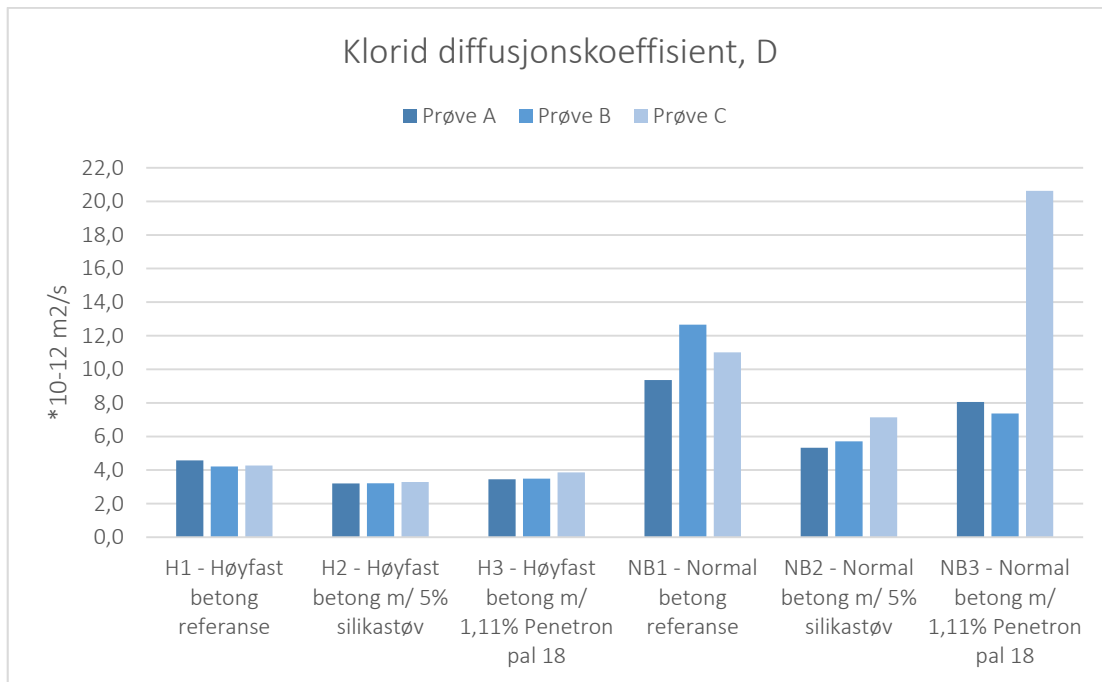
Figur 59: Eksempel på kloridprofil, H1 prøve A

Alle klorid diffusjonskoeffisient som er funnet fra prøvestykkene er samlet i tabell 12. Det presenteres tre prøver pr. betongblanding og gjennomsnittresultatet beregnes i siste kolonne.

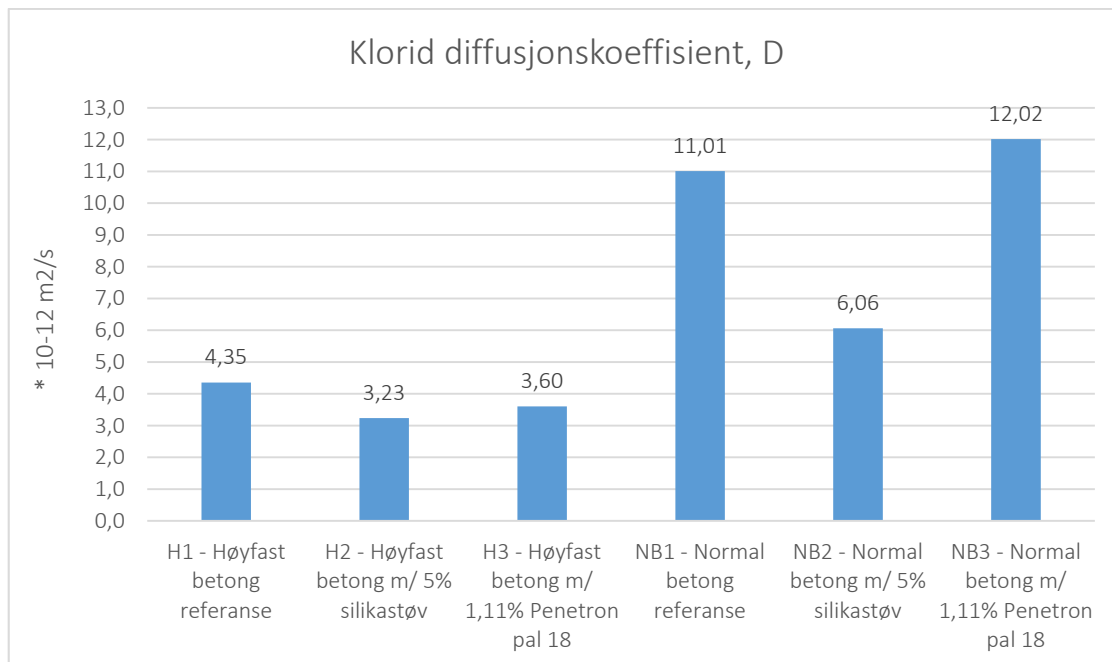
Klorid diffusjonskoeffisient, D [$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$]				
Betongblanding	Prøve A	Prøve B	Prøve C	Gjennomsnitt
H1 - Høyfast betong referanse	4,58	4,21	4,27	4,4
H2 - Høyfast betong m/ 5% silikastøv	3,20	3,21	3,29	3,2
H3 - Høyfast betong m/ 1,11% Penetron pal 18	3,45	3,49	3,86	3,6
NB1 - Normal betong referanse	9,36	12,66	11,01	11,1
NB2 - Normal betong m/ 5% silikastøv	5,33	5,71	7,14	6,6
NB3 - Normal betong m/ 1,11% Penetron pal 18	8,05	7,37	20,63	12,0

Tabell 12: Klorid diffusjonskoeffisienter til prøvestykkene.

Følgende figurer viser klorid diffusjonskoeffisientene, figur 60 viser klorid diffusjonskoeffisienter til hver enkel prøve og figur 61 presenterer gjennomsnittsverdien til de tre prøvene i hver enkel betongblanding.



Figur 60: Klorid diffusjonskoeffisient til prøvestykkene

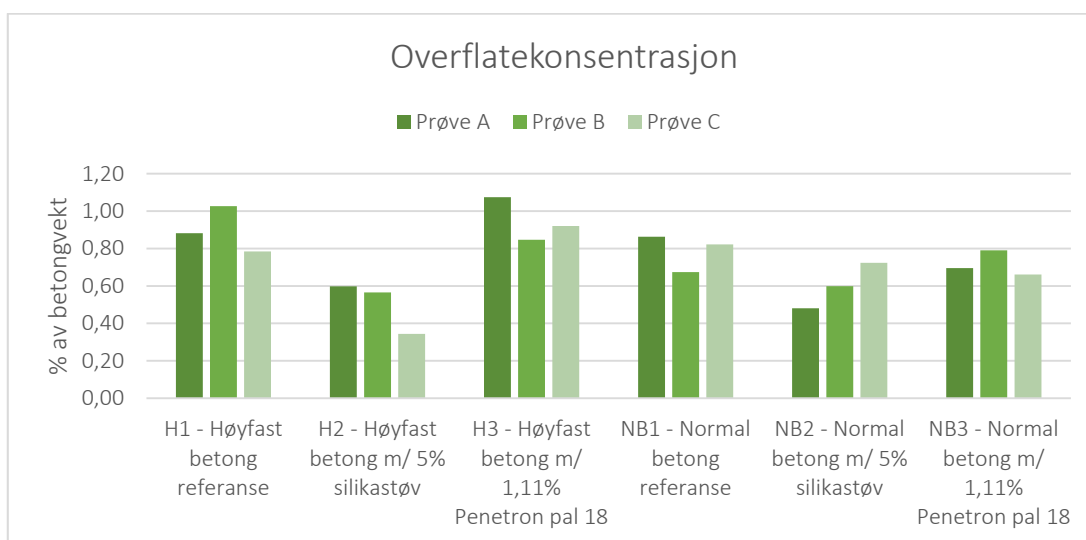


Figur 61: Gjennomsnittresultater av klorid diffusjonskoeffisient.

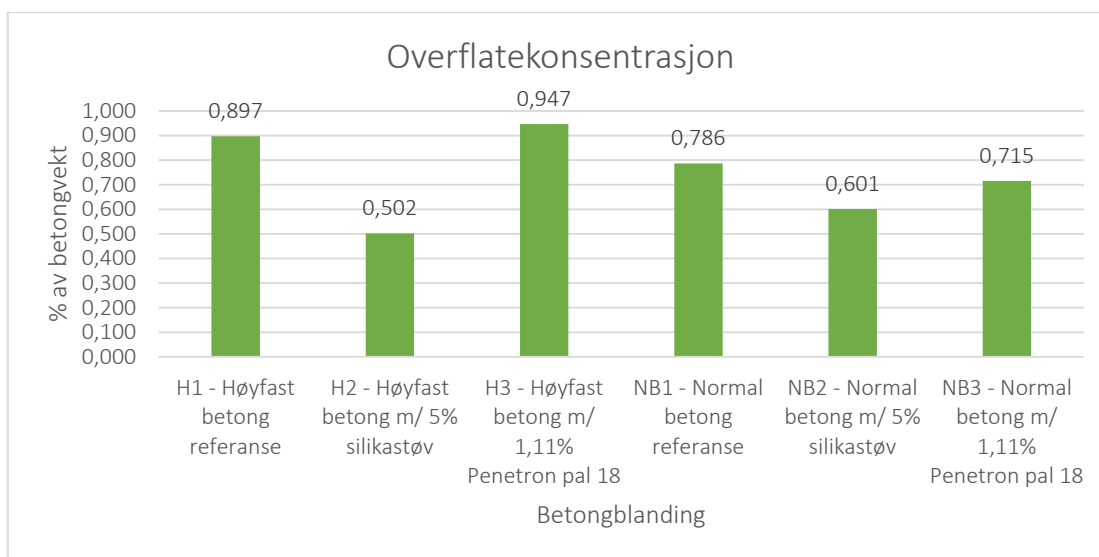
Videre presenteres tabell 13 kloridkonsentrasjon ved betongoverflaten for prøvestykkene og gjennomsnittsverdien for tre prøvestykker i samme betongblanding beregnes i siste kolonne. Resultatene fremstilles også i figurer, figur 62 for alle prøvestykker og figur 63 for gjennomsnittsverdien av 3 prøvestykker.

Overflatekonsentrasjon % av betongvekt				
Betongblanding	Prøve A	Prøve B	Prøve C	Gjennomsnitt
H1 - Høyfast betong referanse	0,882	1,026	0,784	0,897
H2 - Høyfast betong m/ 5% silikastøv	0,598	0,565	0,344	0,502
H3 - Høyfast betong m/ 1,11% Penetron pal 18	1,074	0,847	0,920	0,947
NB1 - Normal betong referanse	0,863	0,674	0,822	0,786
NB2 - Normal betong m/ 5% silikastøv	0,481	0,599	0,724	0,601
NB3 - Normal betong m/ 1,11% Penetron pal 18	0,695	0,790	0,661	0,715

Tabell 13: Resultater, kloridkonsentrasjon ved betongoverflaten



Figur 62: Overflatekonsentrasjon til prøvestykkene.



Figur 63: Gjennomsnittresultater av overflatekonsentrasjon.

Resultatene av overflatekonsentrasjonen kan omregnes til % av sementvekt ved hjelp av en formel og tabellen nedenfor viser forholdet mellom betongvekt og sementvekt for overflatekonsentrasjonen til de utvalgte betongblandningene.

Overflatekonsentrasjon av sementvekt:

$$= \frac{\text{Overflatekonsentrasjon av betong vekt} * \text{Densitet til betong}}{\text{Sementvek}}$$

Overflatekonsentrasjon		
Betongblanding	% Cl av betongvekt	% Cl av sementvekt
H1	0,897	4,3
H2	0,502	2,5
H3	0,947	4,5
NB1	0,786	6,7
NB2	0,601	5,1
NB3	0,743	6,3

Tabell 14: Forholdet mellom overflatekonsentrasjon i betongvekt og sementvekt

Bestandighetsanalyse

Resultater fra bestandighetsanalysen presenteres i tabell 15 nedenfor. Bestandighetsanalysen er utført for å vurdere klorid diffusjonskoeffisientene virkning på en konstruksjon ved å finne ut hvor lang tid det tar før kritisk kloridnivå er nådd armeringsstål. Overdekning til armeringsstålet er 40mm for 50 års levetid og 50mm for 100 års levetid for betongkonstruksjoner i eksponeringsklasse XS2 og XD2. Resultater nedenfor er i antall år og er hentet ut fra beregnet Excel ark, se vedlegg C for øvrige Excel ark med beregning.

Levetid før kritisk kloridnivå er nådd, (År)						
Overdekning	H1	H2	H3	NB1	NB2	NB3
40 mm	18	81	26	2	7	3
50 mm	49	235	72	4	18	9

Tabell 15: Resultater, Levetid før kritisk kloridnivå oppnås

7.3.2. Vanninntrengningsprøve

Denne prøven er ikke utført etter tidsrammen som var satt. Dette er på grunn av mangel på utstyr som førte til mange problemer underveis. Prøvestykker som har herdet i 28 dager ble fortsatt ventet i 2 uker før alle deler til utstyret var på plass. Resultater fra denne prøven presenteres i figurer med tekst som forklarer innholdet. Alle figurer til prøvestykkene er tatt rett etter visuell observasjon da prøvestykket er delt i to.



Figur 64: Vanninntrengningsprøve, H1

Dette bildet presenterer en av prøvestykkene til H1. Ut i fra bildet er det ingen tegn til vann inntrengning. Resultater av de 2 andre prøvestykke viser samme resultat lik denne terningen.

Dette bildet presenterer en av prøvestykkene til H2. Det viser ingen tegn til noe vannfront i terningens overflate. De to andre prøvestykker har også samme resultat som dette prøvestykket.



Figur 65: Vanninntrengningsprøve, H2



Figur 66: Vanninntrengningsprøve, H3

Dette bildet presenterer en av prøvestykkene til H3. Det er heller ingen synlige gjennomtrengning av vann. Resultater av de to andre prøvestykkene har også ingen tegn til at vann har trengt inn.



Figur 67: Vanninntrengningsprøve, NB1

Dette bildet presenterer et av prøvestykkene til NB1 blanding. Vannfronten kommer tydelig fram og resultater av målingene er visst i tabell 16. De to andre prøvestykkene viser også tegn til inntrengning av vann slik som dette prøvestykket.

Dette bildet presenterer et av prøvestykkene til NB2. Det er ingen klare linjer på vannfront, men noen synlige tegn er observert og markeres med en hvit linje. Det samme utslag er det på de to andre prøvestykkene til denne blandingen. Resultater er visst i tabell 16.



Figur 68: Vanninntrengningsprøve, NB2



Figur 69: Vanninntrengningsprøve, NB3

Dette bildet presenterer en av prøvestykker til NB3. Vannfronten er svakt og vanskelig å observere. Etter nøye visuell kontroll vises det er mulig å trekke en linje der vannfronten er. De to andre prøvestykkene hadde også lignende tendens. Resultater er visst i tabell 16.

Tabell 16 nedenfor viser gjennomsnittresultater fra tre prøvestykker i samme betongblanding, se vedlegg C for målingene.

Vanninntrengningsprøve	
Betongblanding	Inntrengsfront [mm]
NB1	15
NB2	9
NB3	12

Tabell 16: Gjennomsnitt verdier av vann-inntrengning til prøvestykkene.

Figur 70 nedenfor viser forskjellen mellom høyfast og normal betong som er utsatt for vanninntrengningsprøven.



Figur 70: Sammenligning mellom betong typene for vanninntrengningsprøven

Dette bildet viser en sammenligning mellom betongtypene for å illustrere forskjellen mellom betongene:

- Øverst – Høyfast betong (H1)
- Nederst – normal betong (NB1)

8. Diskusjon av resultater og feilkilder

I dette kapitlet diskuteres oppnådde resultater fra eksperimentene som er utført i laboratorium og resultatene er presentert i forrige kapittel, kap.7. Diskusjonen fokuseres på to parameter, silikastøv og Penetron pal 18 som er tilsatt i betongblandingene og hvordan SF og Pen18 påvirker egenskapene til betong, spesielt permeabiliteten.

8.1. Fersk betong egenskaper

Synkemål

Synkmål ble registrert rett etter at betongen er ferdig blandet. Målinger av synkmål er visst i tabell 8 og figur 52. Resultatene som er oppnådd viser stor variasjon for synkmålet til høyfast betongene og mindre forskjell mellom normal betongene.

For alle høyfast betong er det tilsatt SP-stoff for å få bedre støpelighet og lettere å jobbe med utstøping av prøvestykker. H1 og H3 blandinger er utstøpt på samme dag, mens H2 blandingen er utstøpt 8 dager senere. Grunnet til dette er at den aktuelle H2 blandingen som er støpt på samme dag som H1 og H3 var feil proporsjonert med høyere fasthetsklasse (lavere v/b-tall) og dermed ikke sammenlignbar med de utvalgte betongblandingene H1 og H3. Derfor er H2 blanding med riktig proporsjonering av fasthetsklasse støpt på en annen dag. Med dette har det vært stor aktivitet i bygg-lab. og den samme sekken med sand ble oppbrukt. En ny sekk med sand som har vært plassert ute ble flyttet inn i bygg-lab. og brukes til den riktige proposjonerte H2 blandingen. Sanden i den nye sekken inneholder mye mer fuktighet enn det som var i den forrige sekken. Selv om fuktigheten ble målt og kontrollert med en «Speedy Moisture test» er sannsynligheten for fuktighet til sanden som befinner seg dypere ned i sekken høyere enn målt verdi, noe som ikke ble tatt i betraktning her siden sanden som ble målt av «Speedy Moisture test» var på toppen.

Resultater som er vist i figur 52 viser at H2 blandingen som får høyest synkmål i forhold til de to andre blandinger, og årsaken kan være som er nevnt ovenfor. Forskjellen mellom H1 og H3 kan skyldes at H3 er tilsatt med Penetron admix pal 18 som kommer i flytende form og inneholder en stor mengde vann i forhold til kjemikalier. Med 1kg Penetron pal 18 produkt inneholder det 0,8126kg vann. Dette er kompensert i beregning av v/b-tall i proporsjoneringsarket. H1 blandingen som oppnår lavest synkmål er samtidig veldig stiv og vanskelig å bearbeidet.

Generelt var betongene moderat passende å arbeide med, selv om betongblandingene hadde lavt v/c-tall. Dette kan skyldes SP-stoff var tilsatt i blandingene. Synkmålklassene varierer fra S1 til S3 for høyfast betong ifølge tabell 3 i NS-EN[8] på neste side.

Synkklasser	
Klasse	Synkmål i mm
S1	10 – 40
S2	50 – 90
S3	100 – 150
S4	160 – 210
S5 ¹⁾	≥ 220

Tabell 17: Synkklasser [8].

For normal betong var forskjellene ikke så store og alle synkmål for betongblandingene ligger i «synkklasse» S4 etter tabell 3 i NS-EN[8]. Den ferske betongen var litt tungt flytende form og blandingen av delmaterialene var homogent, samtidig var det lett å arbeidet med blandingen. Resultatene av synkmålet til normal betong er noe ønskelig og forventet.

Densitet

Måling av densitet er visst i tabell 8 og figur 53. Resultatene mellom alle betongblandingene viser ingen store variasjoner på densiteten. Målte densitet på alle fersk betong varierer mellom 2300 – 2400 kg/m³, som i utgangspunktet er vanlige verdier for herdet betong, men densitet i herdet tilstand er ikke utført. Alle betongblandinger kan kategoriseres som vanlig betong som har normalt en densitet mellom 2000kg/m³ og 2600kg/m³.

Luftinnhold

Måling av luftinnhold er visst i tabell 8 og figur 54. Av registrerte målinger på luftinnhold i betong er det ikke satt noen krav, siden hoved fokuset til eksperimentet er rettet mot permeabilitet. Normalt har en betong luftinnhold på ca. 1,5 - 2%, men for tilfeller der betong utsettes for vesentlige frostbelastninger må poresystemet forbedres ved tilsetning av luftporedannede tilsetningsstoffer. Betong som krever frostmotstand har høyere luftinnhold i betong enn det som er normalt. I dette eksperimentet er det ikke tilsatt noen luftporedannede tilsetningstoffer.

Luftinnhold som er registrert for høyfast betongene viser en liten variasjon, der H1 har høyest luftinnhold på 4,4%. Dette resultatet er ikke forventet og er en del høyere enn H2 blandingen med 2,5% luftinnhold og H3 blandingen med 2,2% luftinnhold. Hva dette skyldes er ikke lett å tolke, men dette kan ha en sammenheng med oppnådd synkmål til blandingen. Synkmålet til blandingen er lavt som medfører en stiv betong og «holder» på luften mer under komprimering ved utførelse av denne prøven. Komprimeringsgraden av betongfyller har vært utfordrende på grunn av dens lave v/c-tall, og enkelte luftrom i blandingen kan oppstå fordi den ferske betongen er stiv. I tillegg er de to andre

betongblandingene H2 og H3 har henholdsvis tilsatt silikastøv og Penetron pal 18 som kan ha innvirkning på porestrukturen til betong i forhold til H1 som er uten tilsetning.

Ved tilsatt silikastøv som består av ultra fint pulver fordeles disse jevnt og fyller små luftporer mellom tilslaget og porestrukturen til betong blir finere. Penetron pal 18 som er tilsatt i H3 blanding inneholder aktive kjemikalier som ved reaksjon med vann, kalsiumhydroksid og andre metalloksider i betong dannes krystallinske formasjoner. Krystallformasjonene permanent forsegles i porer, kapillærer og hulrom som fører til en tettere masse av betong.

For normal betong med fasthetsklasse B25 kan man se en lignende tendens som for høyfast betong, der den blandingen NB1 som er uten tilsetning har høyest luftinnhold. NB1 hadde 1,3 %, NB2 hadde 1,0% og 0,8% for NB3. Disse resultatene er noe lavt i forhold til det som er vanlig for en betong uten tilsetningsstoff som påvirker luftinnhold. I figur 54 kan man se at det er ingen stor variasjon mellom betongblandingene og resultatene er lavere enn det som er for den andre betongtypen. Denne forskjellen er vanskelig å fastslå siden alle målinger ble gjort på samme måte. Det kan være på grunn av at normal betongblandingene hadde vesentlig høyere synkmål og den ferske betongen var lettere å komprimere slik av mulige luftporer blir fjernet.

8.2. Herdet betong

Trykkfasthet

Trykkfastheten til prøvestykkene ble gjennomført etter 7, 14 og 28 døgn. Tre terninger for hver betongblanding ble testet og gjennomsnittet for prøvestykkene er vist i tabell 9 og figur 55 og 56. Det vises både den endelige trykkfastheten til terninger som fastlegges etter 28 døgn og utvikling av trykkfastheten i løpet av herdeperioden.

Etter 7 døgn test er det H2 blandingen som har høyest trykkfasthet på ca. 79,1 MPa. Dette er ca. 6 % høyere enn trykkfasthet som er funnet for H1 og H3 blandingene. Før testen var det forventet at H3 blandingen som skulle ha høyest trykkfasthet, på grunn av tilsetning av Penetron pal 18 som utgjør en tettere masse av betong ved dannelse av krystallinske formasjoner som tetter kapillærporer og mikrosprekker i betong. Dette er beviset og er beskrevet i Penetron admix sin produktinformasjon [11]. Prøvestykkene som ble testet for H3 blandingene målte lavere verdier noe som ikke er forventet. Videre er det forventet at H2 som har tilsatt silikastøv skulle ha mindre trykkfasthet enn H1 i tidlig fasen [22]. Dette er heller ikke tilfellet og hva som skyldes avviket er vanskelig å si, for metodene som er utføres er helt likt fra utstøping, herding til målinger. For normal betong blandingene kan man se fra resultatene i tabell 9 at trykkfasthet etter 7 døgn er som forventet, hvor NB2 har lavest trykkfasthet med 18,4 MPa, NB3 har høyest trykkfasthet med 22,9 MPa og NB1 har målt 22,7 MPa.

Neste trykkfasthetsprøve for prøvestykker ble utført etter 14 døgn. Utvikling av trykkfasthet til betongblandingene fra 7 døgn har økt gradvis for høyfast betong og disse har samme struktur som etter 7 døgn, der H2 blanding «dominerer» og H1 blandingen har lavest trykkfasthet. For normal betong er utviklingen av trykkfasthet som forventet der strukturen er mye likt ved 7 døgn. Det er NB3 blandingen som får høyest målt verdi etterfulgt av NB1 og NB2.

Etter 28 døgn kan man fastslå den endelige trykkfastheten i betongblandingene. Ut ifra målingene av prøvestykker for høyfast betongblandingene viser det endelige resultatet at H2 får høyest trykkfasthet i forhold til de to andre blandingene. Trykkfastheten til H2 er ca. 9 % høyere enn H1 og ca. 5% høyere enn H3. Og H3 oppnår ca. 4% høyere trykkfasthet enn H1.

Betong	Trykkfasthet (MPa)	Økning av trykkfasthet (%)
H1	83,0	
H2	91,7	9,5
H3	86,7	4,3

For normal betong har utviklingen av trykkfastheten til NB2 økt betydelig og målte høyest verdi etter 28 dager. Denne utviklingen er forventet på grunn av tilsetning av silikastøv i blandingen. Trykkfastheten til NB2 og NB3 er tilnærmet like etter 28 dager med henholdsvis resultater på 31,0 MPa og 31,1 MPa som igjen er litt høyere enn NB1 med 30,2 MPa. Forskjellen mellom trykkfasthetene til NB2/NB3 og NB1 er forventet siden betongblandingene har tilsatt silikastøv og Penetron pal 18 i blandingen som gir økt trykkfasthet, men denne differansen kunne vært noe større.

Spaltestrekkfasthet

Registrerte målinger av spaltestrekkfasthet er visst i tabell 10 og figur 57. Tabellen viser oversikt over alle målinger fra prøvestykkene og gjennomsnittsverdien av tre prøvestykker av en betongblanding. På figuren vises det ingen stor variasjon mellom betongblandingene. Gjennomsnittresultater for alle høyfast betong ligger rundt 4 MPa der H2 blandingen får høyest verdi på 4,6 MPa, H3 med en verdi på 4,39 MPa og H1 får lavest verdi på 4,37 MPa. Resultater fra målingene til normal betong blandingene gir resultater mellom 1,9-2,5 MPa. Det er også lite forskjell på gjennomsnittsverdien mellom blandingene, der NB1 får 2,33 MPa, NB2 får 2,25 MPa og 2,20 MPa for NB3.

Det er forventet at betong har lav strekkfasthet og strekk kapasiteten kan regnes som lik null, noe som bekreftes her fra resultatene av prøvene. Generelt har betong lav strekkfasthet og grunnen til det lave strekk kapasitet i betong armeres betongkonstruksjoner med armeringsstål for å motstå slike krefter i konstruksjoner. Oppnådde resultater tyder på at spaltestrekkfastheten ikke er påvirket av silikastøv eller Penetron admix pal 18.

Elastisitetsmodul

Tabell 11 og figur 58 viser resultater fra elastisitetsmodul prøven. Resultater fra prøven viser lite variasjon på elastisitetsmodulen til høyfast betong blandinger og normal betong blandinger. Høyfast betong H2 med silikastøv tilsatt i blandingen var den som fikk høyest verdi på 30,7 GPa, men til tross for dette er resultatene veldig like med de to andre høyfast betongblandinger. Dette resultatet er ca. 25 % mindre enn det som er forventet, ettersom blandingen er proporsjonert for B70 bør det ifølge tabell 3.1 i NS-EN 1992-1-1:2004 ha en elastisitetsmodul på 41 GPa. Metoden som er brukt for å bestemme elastisitetsmodulen samsvarer med NS-EN 12390-13:20013. Grunnen til avvike kan stamme fra instrumentmåling som plasseres på prøvestykkene. Dette instrumentet kan ha blitt feil plassert som ikke er i henhold til standarden som nevnt.

For normal betong er resultatene også veldig like mellom betongblandinger. Den høyeste elastisitetsmodulen på 26,0 GPa er målt fra NB2 som også har tilsatt silikastøv. I følge tabell 3.1 i NS-EN 1992-1-1:2004 betong som er proporsjonert for fasthetsklasse B25 bør ha elastisitetsmodul på 31 GPa, med resultater fra prøvene er det et avvik på ca. 16 % enn verdien fra det nevnte standard.

8.3. Permeabilitetsprøver

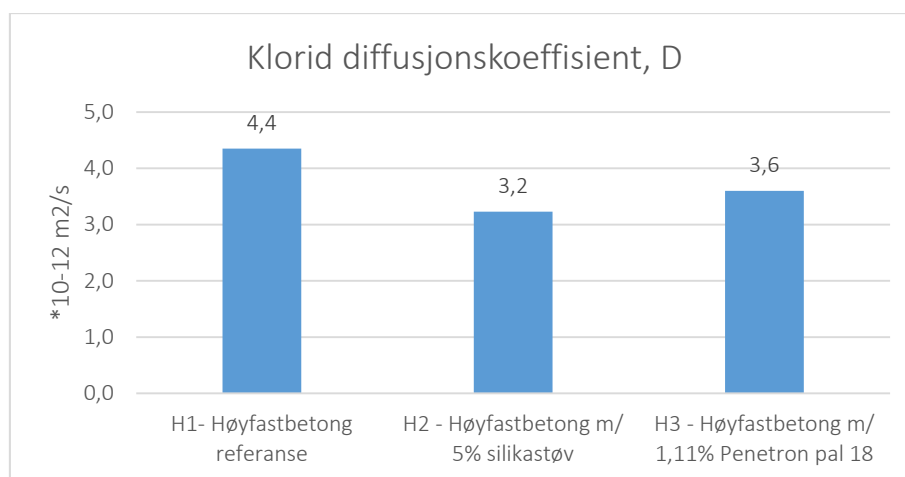
Kloridinntrengningsprøve

Resultater fra kloridinntrengningsprøve er presentert i kapittel 7.3.1, der tabell 12 og figurene 60 og 61 viser klorid diffusjonskoeffisientene for betongblandinger. For å diskutere resultatene presenteres noen tabeller og figurer.

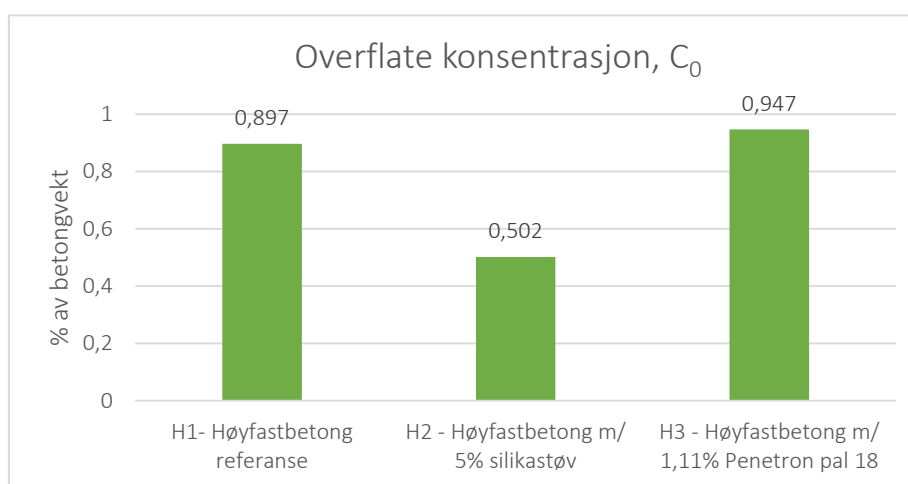
Effekt av tilsetning til silikastøv og Penetron pal 18 på betongblandinger til høyfast betong.

Betong-blanding	SF	Pen18	Klorid - diffusjonskoeffisient	Overflatekonsentrasjon % av betongvekt
H1	0	0	$4,4 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	0,897 %
H2	5 %	0	$3,2 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	0,502 %
H3	0	1,11 %	$3,6 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	0,947 %

Tabell 18: Effekt av tilsetninger



Figur 71: Klorid diffusjonskoeffisient, høyfast betong.



Figur 72: Overflate konsentrasjon, høyfast betong

Diffusjonskoeffisienten varierer hovedsakelig mellom 10^{-13} m²/s til 10^{-10} m²/s avhengig av betongsammensetning og omgivelsen. Der lavest verdi gir størst motstand mot kloridinntrengning. Fra presenterte resultater i tabell 18 og figur 71 vises det at det er H2 blandingen som har lavest klorid diffusjonskoeffisient på $3,2 \cdot 10^{-12}$ m²/s. Referanse resepten H1 uten tilsetning oppnår en klorid diffusjonskoeffisient på $4,4 \cdot 10^{-12}$ m²/s og H3 blandingen får et resultat på $3,6 \cdot 10^{-12}$ m²/s.

Silikastøv tilsatt i H2 blandingen har gitt en effekt som øker motstanden mot kloridinntrengning. Oppnådd resultat viser en reduksjon av klorid permeabilitet opptil ca. 26% i forhold til referanse blandingen H1. H3 som har tilsatt Penetron pal 18 i blandingen blir påvirket av effektene til stoffet og klorid permeabiliteten i betong reduseres. Ved tilsetning av stoffet har betong oppnådd en reduksjon av klorid permeabilitet på ca. 17% i forhold til H1 blandingen. De oppnådde resultatene er innenfor forventingene, der silikastøv og Penetron pal18 øker motstanden mot klorid diffusjon. Tabell 19 viser reduksjonen av klorid permeabilitet ved tilsatt silikastøv og Penetron pal 18 for høyfast betong.

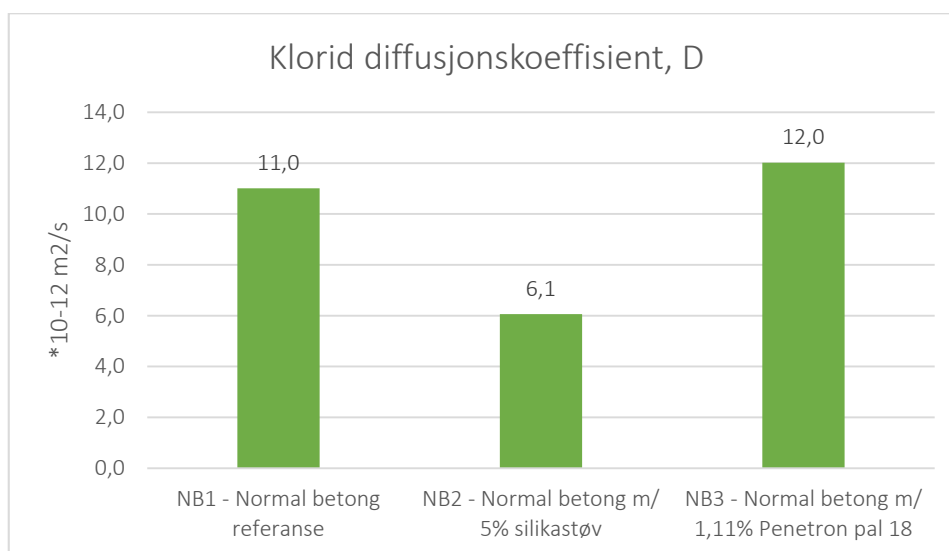
Betongblanding	Klorid diffusjonskoeffisient	Reduksjon av klorid permeabilitet
H1	$4,4 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	
H2	$3,2 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	25,8 %
H3	$3,6 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	17,2 %

Tabell 19: Reduksjon av klorid permeabilitet.

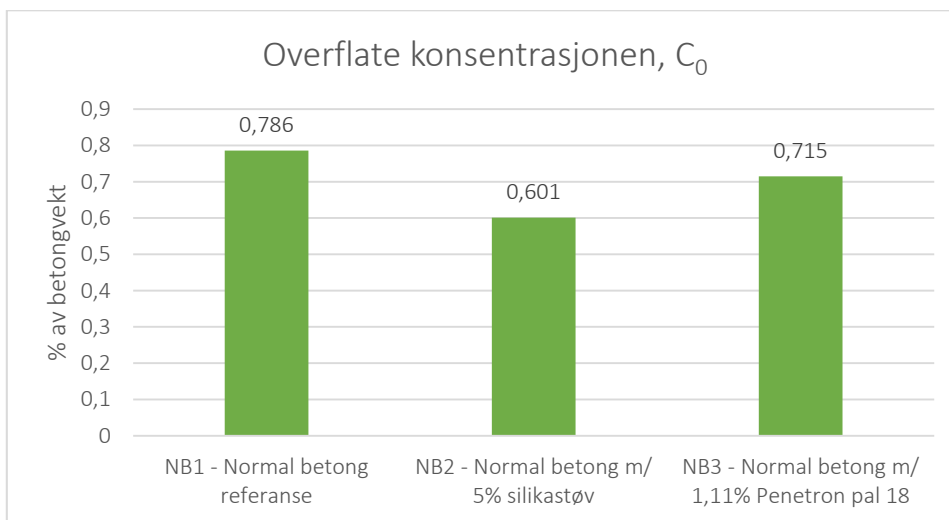
Effekt av tilsetning på normal betong (vanlig konstruksjons betong). Tabellen er en oppsummering av resultatene og figurene viser en forskjellen mellom blandingene.

Betongblanding	SF	Pen18	Klorid-diffusjonskoeffisient	Overflate-konsentrasjon (%)
NB1	0	0	$11,0 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	0,786
NB2	5 %	0	$6,1 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	0,601
NB2	0	1,11 %	$12,0 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	0,715

Tabell 20: Effekt av tilsetning på normal betong.



Figur 73: Klorid diffusjonskoeffisient, normal betong.



Figur 74: Overflate konsentrasjon, normal betong.

I tabell 20 presenteres gjennomsnittet av resultatene fra prøvestykkene for normal betongblandingene. Ut i fra tabellen kan man se at NB2 blandingen har lavest klorid diffusjonskoeffisient på $6,1 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ i forhold til de to andre betongblandingene. NB1 blandingen som i utgangspunktet uten tilsetning oppnår en klorid diffusjonskoeffisient på $11,0 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ og NB3 blanding med Penetron pal18 tilsatt har klorid diffusjonskoeffisient på $12,0 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$. Dermed er det NB3 blandingen som har den høyeste verdien av alle disse tre blandingene, noe som ikke er forventet på grunn NB3 blandingen har tilsatt Penetron pal 18 stoffet, som skal i utgangspunktet hindre aggressive stoffer å trenge inn i betong.

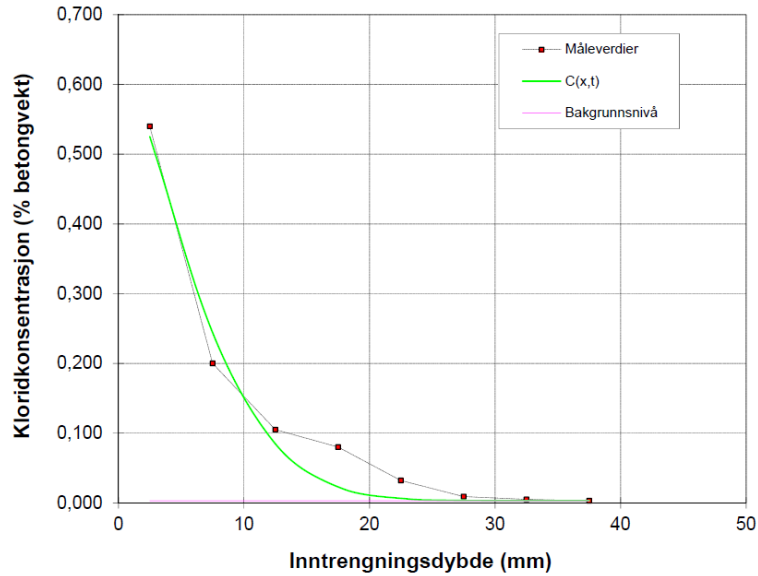
Oppnådde resultater er delvis forventet, med delvis menes det at en betongblanding fikk resultater som er forventet og annen en betongblanding hadde et resultat som ikke er vanlig ved tilsetning av Penetron pal18. I utgangspunktet bør denne blandingen ha lavere klorid diffusjonskoeffisient enn referanse blandingen, men dette tilfellet viser noe annet.

Det er NB3 blandingen som har fått en relativ høy klorid diffusjonskoeffisient i forhold til referanse blandingen. Ut ifra resultatene av prøvestykkene som presenteres i tabell 12 vises at en av prøvene til NB3 har fått merkelig høy verdi på klorid diffusjonskoeffisient på $20,6 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$, altså prøve C. Denne prøven skiller seg betydelig ut fra de to andre prøvestykkene A og B og på grunn av dette resultatet fra prøvestykke økes gjennomsnittverdien til diffusjonskoeffisienten. Siden prøvestykkene har blitt utsatt i samme forhold og utført med samme framgangsmåte, er det vanskelig å tolke hva som skyldes dette avviket. Videre presenteres kloridprofiler til to av NB3 sine prøvestykker A og C.

Beregning av C_0 og D Prosjekt: Masteroppgave 2015, Phong Vo Profil NB3 A © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	1104	timer
Bakgrunn	0,003	% betong
C_0	0,695	% betong
D	8,05	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9883	
Inntrengning	146,2	g/m^2
k (0.1 %)	33,2	mm

x	målt	status
2,5	0,540	ok
7,5	0,200	ok
12,5	0,105	ok
17,5	0,080	ok
22,5	0,032	ok
27,5	0,009	ok
32,5	0,005	ok
37,5	0,003	ok

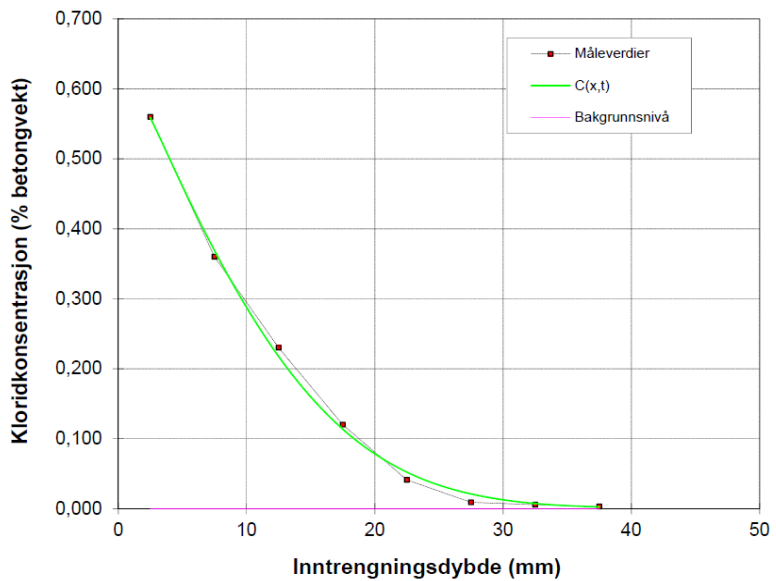


Figur 75: Kloridprofil NB3 prøve A

Beregning av C_0 og D Prosjekt: Masteroppgave 2015, Phong Vo Profil NB3 C © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	1104	timer
Bakgrunn	0,000	% betong
C_0	0,661	% betong
D	20,63	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9991	
Inntrengning	192,6	g/m^2
k (0.1 %)	51,8	mm

x	målt	status
2,5	0,560	ok
7,5	0,360	ok
12,5	0,230	ok
17,5	0,120	ok
22,5	0,041	ok
27,5	0,009	ok
32,5	0,006	ok
37,5	0,003	ok



Figur 76: Kloridprofil NB3 prøve C

Ved sammenligning av kloridprofilene til disse to prøvestykkene ser man at kloridprofilen til NB3 prøve C har en «slakere» profil enn NB3 prøve A. Samtidig er de målte verdiene i hver enkelt sjikt fra prøve C høyere enn prøve A, som igjen kan gi en høyere klorid diffusjonskoeffisient. Grunnen til disse målingene fra prøve C kan stamme fra ved uttak av betongstøv prøver, der rengjøring av utstyret etter uttak av betongstøv for hvert prøvesjikt ikke er utført grundig nok. Dermed kan betongstøv fra et høyere sjikt som generelt har høyere kloridinnhold havne i dypere sjikt og målinger av disse gir høyere utslag av klorider.

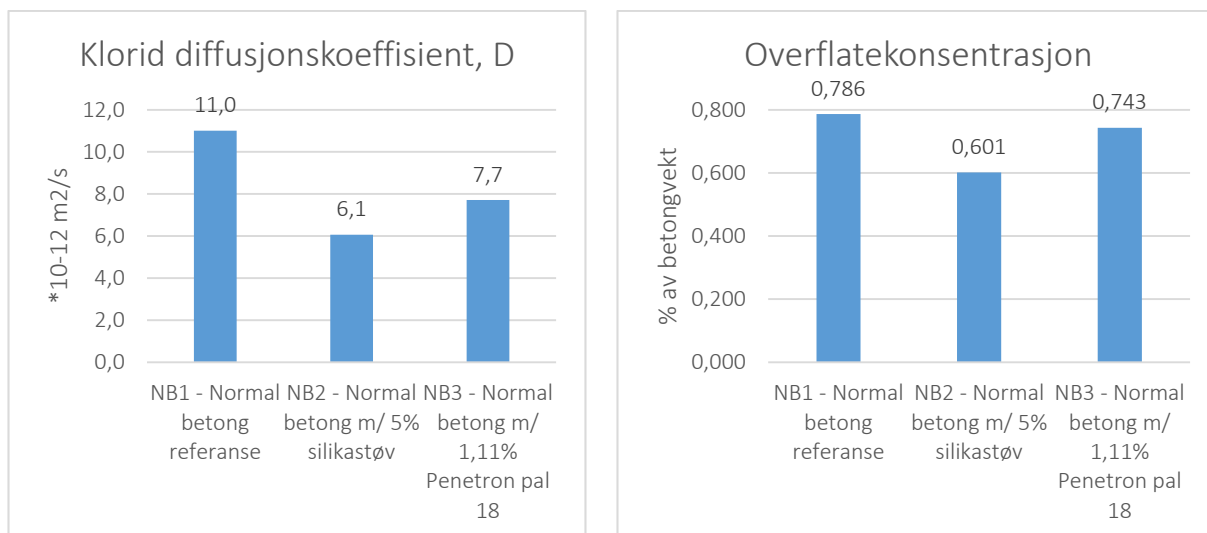
Ved å forkaste resultatet fra NB3 prøve C på grunn av uvanlig utslag sammenlignet med to andre prøver fra samme blanding, høyere måling enn det som er målt for referanse betong og målinger av H3 prøvestykker er veldig jevnt, oppnås blandingen en annen klorid diffusjonskoeffisient. Den nye klorid diffusjonskoeffisienten til NB3 blir $7,7 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$. Dette kan vises i tabell 21 og tabell 22 viser overflatekonsentrasjonen ved betongoverflate der resultater fra NB 3 prøve C ikke er tellende. Figur 77 sammenligner resultatene mellom betongblandingerne.

Klorid diffusjonskoeffisient, D ($\cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$)				
Betongblanding	Prøve A	Prøve B	Prøve C	Gjennomsnitt
NB1 - Normal betong referanse	9,36	12,66	11,01	11,0
NB2 - Normal betong m/ 5% silikastøv	5,33	5,71	7,14	6,1
NB3 - Normal betong m/ 1,11% Penetron pal 18	8,05	7,37	20,63	7,7

Tabell 21: Klorid diffusjonskoeffisient, ny verdi for NB3.

Overflatekonsentrasjon, C_0 (% av betongvekt)				
Betongblanding	Prøve A	Prøve B	Prøve C	Gjennomsnitt
NB1 - Normal betong referanse	0,863	0,674	0,822	0,786
NB2 - Normal betong m/ 5% silikastøv	0,481	0,599	0,724	0,601
NB3 - Normal betong m/ 1,11% Penetron pal 18	0,695	0,790	0,661	0,743

Tabell 22: Overflatekonsentrasjon, ved forkasting av prøve H3 C



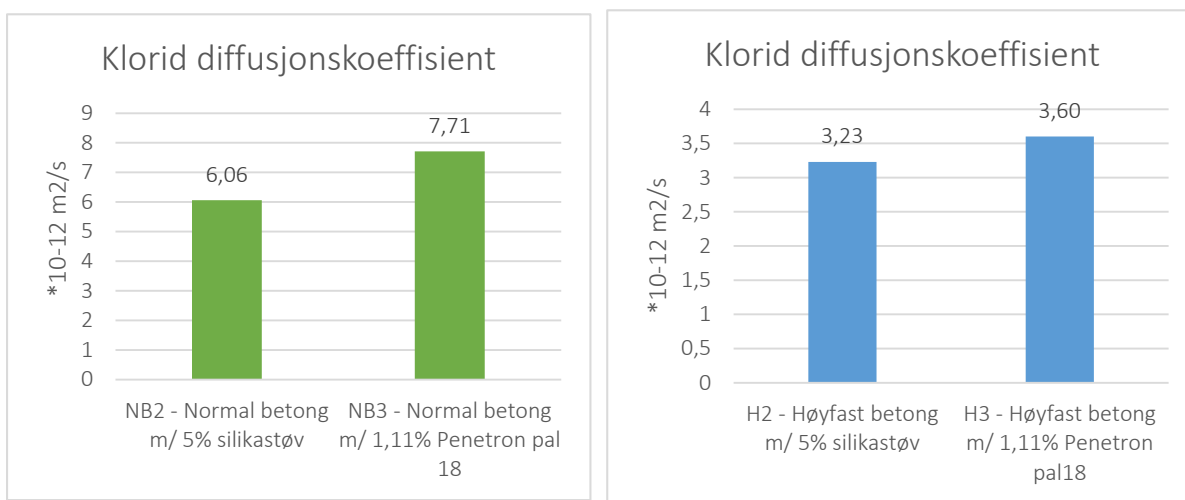
Figur 77: Ny verdi for NB3

Ut ifra prøven er det forventet at betongblanding NB2 som skal ha generelt lavere klorid diffusjonskoeffisient enn NB1 blandingen, på grunn av tilsetning av silikastøv. Med oppnådde resultat viser dette å være tilfelle der NB2 har en verdi på $6,1 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ i motsetning til NB1 som har en verdi på $11,0 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$. Dette tilsvarer en reduksjon av klorid diffusjonskoeffisient på ca. 45%. NB3 blanding med ny klorid diffusjonskoeffisient på $7,7 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$, medfører en reduksjon av klorid diffusjonskoeffisient på ca. 30% i

forhold til referanse blandingen NB1. Forbedret bestandighet og lavere klorid diffusjonskoeffisient er forventet i blandingen på grunn av tilsatt Penetron pal 18. Tabell 23 viser reduksjon for normal betongblandingene.

Betongblanding	Klorid diffusjonskoeffisient	Reduksjon av klorid diffusjonskoeffisient
NB1	$11,0 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	
NB2	$6,1 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	45,0 %
NB3	$7,7 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	30,0 %

Tabell 23: Reduksjon av klorid permeabilitet, normal betong.



Figur 78: Sammenligning av silikastøv og Penetron pal18.

Oppnådde resultater beskriver at tilsetning av silikasstøv gir bedre motstand mot klorid inntrengning enn Penetron pal 18. Silikasstøv som har blitt brukt er ultrafint pulver form som fyller tomrom i sementpasta og tilslag, og ved reaksjon med kalsiumhydroksid, dannes det kalsium- silikat- hydrat bindemiddelet. Bindemiddelet fordeler seg jevnt i poresystemet og medfører en finere og tettere porestruktur som igjen øker motstanden mot gjennomtrengning av aggressive kjemikalier og vann. Tilsetning av silikasstøv i betongblanding er bestemt på forhånd med en dosering på 5% av sementvekt av veileder.

Penetron pal 18 inneholder aktive kjemikalier som ved reaksjon med vann, kalsiumhydroksid, aluminium og andre metalloksider i betong dannes det uopløste krystallnett, som forsegler eksisterende kapillærer, mikrosprekker og luftpore opp til 0,4 mm. Dette krystallnettet forhindrer aggressive kjemikalier og vann å trenge seg inn i betong, som igjen reduserer permeabilitet egenskaper. Penetron pal 18 som er brukt er i væskeform og tilsettes i betongblandingen med en dosering på 1,11% av sementvekt som er angitt i produktbladet.

Fra begge tilfeller kan man se at effekten til tilsetning av silikasstøv og Penetron pal 18 på betongblandingene øker motstanden mot klorid inntrengning. Tilsetningene påvirker

permeabiliteten på ulike måter, men likevel har silikastøv materialet litt større effekt enn tilsetningsstoffet Penetron pal18. Mulige årsaker der silikastøv har større effekt enn penetron pal 18 kan være på grunn av mengde dosering som er tilsatt ikke samsvarer med hverandre. Dosering av silikastøv beregnes ut fra bestemmelse i NS-EN 206-1 som i utgangspunktet tar hensyn til masseforholdet. Det er først og fremst aktivitetsfaktor k som bestemmes og denne faktoren brukes i ligningen til masseforholdet, men k er satt lik 1,0 i denne oppgaven. Dette gjøres for å ikke øke mengden av silikastøv, i tillegg for nøytral tilsetning med tanke på Penetron pal 18.

Dosering av Penetron pal 18 er bestemt ut i fra produktbladet til Penetron admix, som oppgir en referanse dosering. Om doseringsanvisningen som står i databladet samsvarer med doseringsmengde av silikastøv er ikke bekreftet. Resultater fra forsøks eksperimentet viser at slikastøv har litt større effekt på betongens motstandsevne mot kloridinntrengning enn Penetron pal 18.

Overflatekonsentrasjon:

I tabell 13 og figurene 62 og 63 i kapittel 7.3.1. vises det overflatekonsentrasjoner til prøvestykkene og gjennomsnittsverdien for tre prøvestykker i % Cl av betongvekt.

Observasjoner av figurene og tabellen viser at det er store variasjoner fra betongblanding til betongblanding. Dette er noe som ikke er forventet, fordi alle prøvestykker er utsatt av salt-bad med forholdsvis samme NaCl-konsentrasjon i alle beholdere og dermed er det forventet å ha jevnere overflatekonsentrasjonsverdier. Det er vanskelig å tolke denne variasjonen med tanke på at forholdet har vært det samme. Mulig forklaring kan være på grunn av at målinger av kloridinnholdet har blitt utført med det ytterste sjiktet (0-1 mm) i betraktning og dette kan påvirke kloridkonsentrasjonen ved betongoverflaten som kan gi forskjellige verdier på grunn av porer på overflaten.



Figur 79: Eksempler på noen eksponeringsoverflater

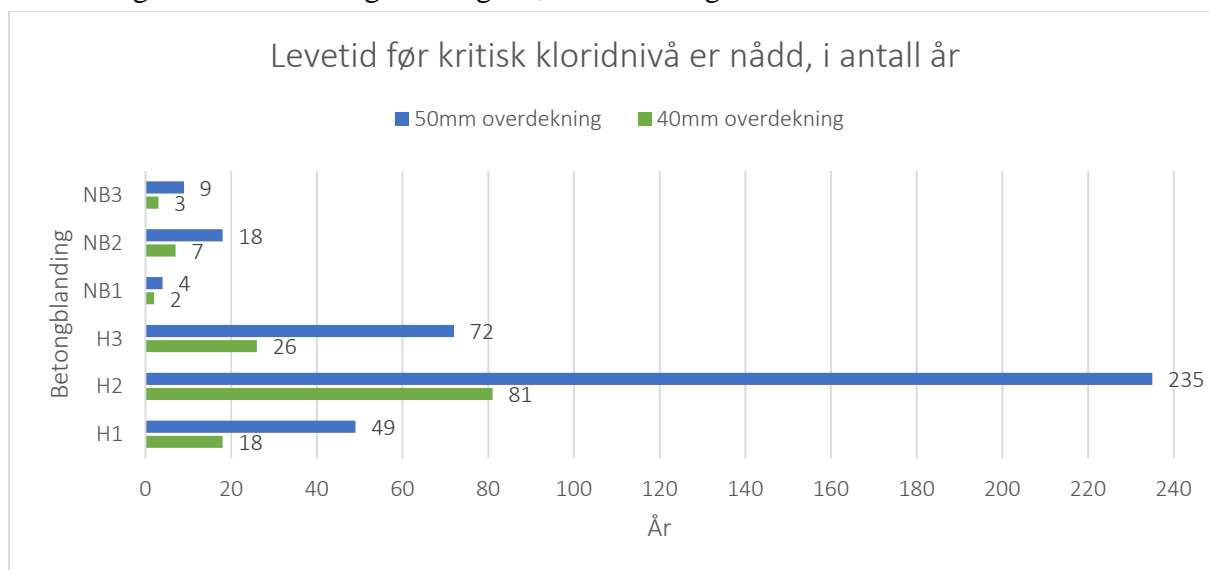
I tabell 14 fra kap.7.3.1. vises det forholdet til kloridkonsentrasjonen ved betongoverflaten mellom betongvekt og sementvekt. Ut i fra disse resultatene kan man sammenligne med tabell 6 fra kap.6.4.2 som beskriver kloridbelastningene fra moderat til stor belastning. For

utvalgte betong er kloridbelastningen stor for normal betong og middels stor for høyfast betong. Resultatene til klorid overflatekonsentrasjonen av sementvekt for normal betong varierer fra 5,1% (NB2) til 6,7% (NB1) og fra 2,5% (H2) til 4,5% (H3) for høyfast betong. Der kloridbelastning er stor fra verdier som er høyere enn 5,5 % og 3,5% for middels belastning. Overflatekonsentrasjonen til H2 som har 2,5% av sementvekt gir dermed en belastning som er mellom moderat og middels etter tabell 6 fra kap.6.4.2.

Bestandighetsanalyse:

Resultater fra bestandighetsanalysen er gitt i tabell 15. Beregningene er utført i et Excel-ark levert av veileder. Resultatene er gjennomført ved 40mm og 50mm overdekning før kritisk kloridnivå er nådd, forholdsvis dimensjonerende for 50års- og 100års levetid for konstruksjoner med eksponeringsklassene XS2 og XD2 (se tabell 7). Oppnådde levetid for hver enkel betongblanding varierer og det er klare forskjeller mellom høyfast og normal betong.

Tabell 15 kan presenteres som et diagram for å illustrere resultatene på en annen måte for å sammenligne mellom betongblandingene, som vist i figur 80 nedenfor.



Figur 80: Levetid før kritisk kloridnivå oppnås.

Lengste levetid for høyfast betong før kritisk kloridnivå er nådd i utvalgte betong typer er 81 år for 40mm overdekning og 235 år for 50mm overdekning. Disse resultatene er hentet fra H2 blandingen som har en klorid diffusjonskoeffisient på $3,2 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$. H1 blanding med klorid diffusjonskoeffisient på $4,4 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ oppnår en levetid på 18 år for 40mm overdekning og 49 år for 50mm overdekning før kritisk kloridnivå er nådd. Penetron pal 18 tilsatt i H3 har kloriddiffusjonskoeffisient på $3,6 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ oppnår en levetid på 26 år for overdekning 40mm og 72 år for 50mm overdekning før kritisk kloridnivå er nådd.

Beregning av levetiden er også avhengig av kloridkonsentrasjonen ved betongoverflaten og denne er en viktig parameter som beskriver kloridbelastningen på betongoverflaten.

Verdien av overflatekonsentrasjon har variert fra betongblanding til betongblanding. H2

blandingen som oppnår lengst levetid har også lavest overflatekonsentrasjon av klorider på 0,502 Cl⁻ % av betongvekt (se tabell 13 for oversikten) og gir dermed mindre kloridbelastning på betongen som har resultert til den oppnådde levetiden.

Endres overflatekonsentrasjonen av klorider til H2 vil beregningen medføre en kortere levetid, fordi overflatekonsentrasjonen beskriver kloridbelastningen. Hvis denne verdien endres til 0,897 Cl⁻ % av betongvekt som er funnet for H1 blandingen og dette tilsvarer til 4,3% Cl⁻ av sementvekt. Med denne endringen vil det føre til at kloridbelastningen blir større og etter tabell 6 er kloridbelastningen fra moderat til stor som igjen fører til at levetiden reduseres til 34 år før kritisk kloridnivå er nådd for betongkonstruksjoner med 40mm overdekning og 97 år for 50mm overdekning. Samme endring på overflatekonsentrasjonen gjøres også for H3 som har 0,947 Cl⁻ % av betongvekt. Dette resulterer til at H3 blandingen oppnår litt lenger levetid før kritisk kloridnivå ved 40mm og 50mm overdekning er nådd. Oppsummering av nye resultater presenteres i tabell 24 nedenfor, der resultater til H1 forblir uendret.

Levetid før kritisk kloridnivå er nådd (År)			
Overdekning	H1	H2	H3
40mm	17	34	27
50mm	48	97	76

Tabell 24: Ny, levetid før kritisk kloridnivå oppnås, høyfast betong

Disse resultatene viser at H2 blanding vil ha lengst levetid før kritisk kloridnivå oppnås i betong ved armeringsstål og eventuelle tiltak bør iverksettes for å forebygge armeringskorrosjon fremkalt av klorider. Ut ifra analysen som er gjort vil betongkonstruksjoner med tilsatt silikastøv eller Penetron pal 18 forbedre bestandigheten og konstruksjoner kan ha større sannsynlighet til oppnå den prosjekterte levetiden. Med silikastøv tilsatt i betongblanding økes levetiden ca. 50% og ca. 37 % for tilsetning av Penetron pal 18 i forhold til uten tilsetning.

Levetid før kritisk kloridnivå oppnås (År)			
Betongblanding	40mm overdekning	50mm overdekning	Økning av levetid
H1 – referanse	17	48	
H2 – m/ 5% silikastøv	34	97	50 %
H3 – m/ 1,11% Penetron pal 18	27	76	37 %

Tabell 25: Økning av levetid med tilsetning i forhold til betong referansen.

For normal betong er lengste levetid for 40mm overdekning 7 år og 50mm overdekning 18 år før kritisk kloridnivå er nådd. Resultatene er hentet fra NB2 blandingen i tabell 15 og i samme tabell er det resultater for øvrige betongblandinger. Oppnådde resultater for normal betong beskriver generelt at denne betongtypen ikke er egnet for betongkonstruksjoner i aggressivt miljø og tilfredsstillende heller ikke kravene som gis i NS-EN 206-1. Ut ifra resultatene blir ikke betong lenge i bruk før det kritiske kloridnivå oppnås og nødvendige tiltak må iverksettes for å forebygge korrosjon som kan oppstå i armeringsstål. Derfor er

det ikke økonomisk å bruke denne betongtypen for betongkonstruksjoner i aggressivt miljø.

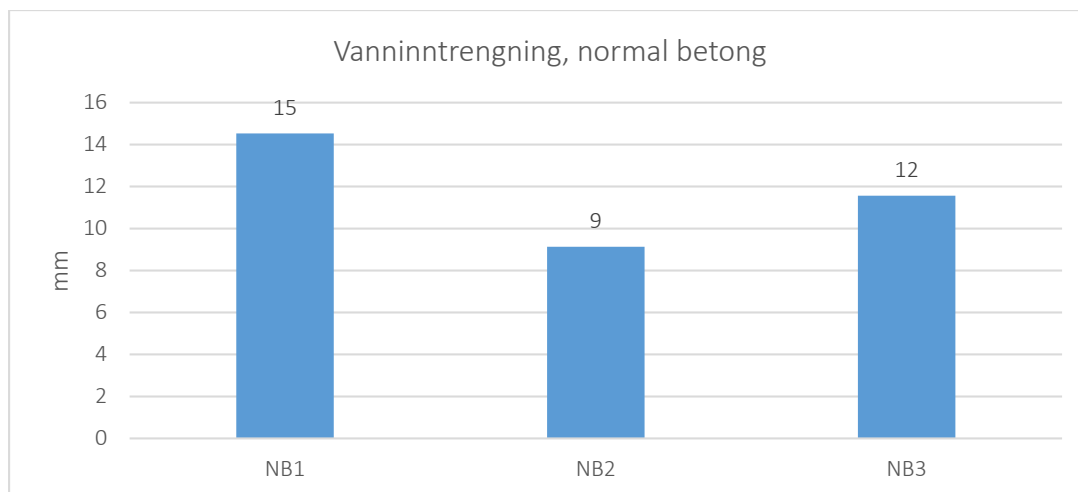
Vanninntrengningsprøve

Presenterte figurer fra vanninntrengningsprøven er visst under kapittel 7.3.2.

For alle 3 høyfast blandinger som er utstøpt er masseforholdet lavt ($v/b = 0.33$), utført tilstrekkelig komprimering og herdet i henhold til standard som kan medføre til en tettere betong. Resultater fra høyfast betong gir ingen indikasjoner på inntrengning av vann under ensidig trykk fra systemet etter 72 timer. Dermed er det vanskelig å tolke effektene til silikastøv og Penetron pal 18 for høyfast betong, når alle blandinger gir ingen tegn til vanninntrengning og dermed ingen vannfront. Dette er forventet for høyfast betong på grunn av at betong med v/c -tall under 0,4 er det liten eller ingen vanngjennomgang. Fordi ved lavere v/c -tall foreligger det uhydratiserte korn og hydratisering av sement dannes det gelporer som fordeler seg jevnt i betongen, og sørger for en tettere betong som har lav permeabilitet.

Før gjennomføring av prøven er det forhåpninger om at H1 blandingen skulle vise tegn til litt inntrengning av vann, men dette var ikke tilfellet. I henhold til NS-EN 3420 Kap.L5 sies en betong å være vanntett når midlere vanninntrengningen er mindre enn 25 mm for en prøveserie med minst tre prøvestykker. I dette tilfellet er alle høyfast betong vannbestandige og dette er noe som er forventet. Dermed blir koeffisienten for vann permeabilitet ikke beregnet i dette tilfellet, siden oppnådde resultater hadde ingen vanninntrengning.

Normal betongblandinger (v/c -tall = 0,67) som er utstøpt har vesentlig høyere v/c -tall enn høyfast betong og dermed blir det overflødig vann ettersom det ikke er nok sement. Dette gir betong med en større mengde porer som kalles kapillærporer og kan medføre til at betongen ikke er tett nok mot gjennomtrengning av vann og andre kjemikalier. Figur 67-69 i kapittel 7.3.2. viser bilder fra prøven og man kan se markeringer av vannfronten etter at prøvestykkene har blitt utsatt for ensidig vanntrykk i 72 timer. På blanding NB1 kommer det tydelig fram en inntrengningsfront og man kan se tydelig tegn til fuktighet som er dypere enn vannfronten. NB2 blandingen med tilsatt silikastøv får en vanninntrengningsfront som er mindre dypt enn NB1 og det samme resultat får NB3 blandingen. Likevel er det vanskelig å se vannfronten til NB2 og NB3 blandinger etter splitting av prøvestykkene. Figur 81 neste side sammenligner vanninntrengningsdybden for normal betongblandinger.



Figur 81: Vanninntrengningsdybde, normal betong.

Oppnådde resultater av prøvene viser at NB1 har en vanninntrengning på 15mm, NB2 på 9mm og NB3 på 12mm. Det er verdt å merke at i tillegg til vannfronten som tydeliggjøres er det tegn til fuktighet som befinner seg dypere i betongen enn vannfronten. Det vil si at vann som har trengt inn har trengt seg dypere enn det som er markert. Gjennomføring av prøven er ikke gjennomtenkelig og disse observasjonene er det ikke registrert med tusj som kan vise resultatene. Dette er på grunn av at prøvestykkene skulle splittes i to innen 5 minutter etter avsluttet prøve og dermed var det fokusert på å fullføre splittingen.

Resultater viser tydelig ved tilsatt silikastøv og Penetron pal18 forbedrer betongens permeabilitet, som er forventet. Effektene fra materialet og stoffet gjør at inntrengning av vann blir hindret til en viss grense og dette kan øke bestandigheten til betongkonstruksjoner. Virkning av silikastøv har resultert til ca. 37% mindre vanninntrengning og ca. 20% for Penetron pal 18.

Betongblanding	Inntreningsfront (mm)	Reduksjon av vann inntrengning (%)
NB1	15	
NB2	9	40
NB3	12	20

Tabell 26: Reduksjon av vanninntrengning på grunn av tilsetning

Resultatene for alle normal betong er mindre enn 25mm dypt noe som er ikke forventet, og målingene av vanninntrengningen er ikke 100% riktig fordi de gjenskapte vannfrontene på betongterningen er ikke presentabelt. Dette er på grunn av fuktighetsobservasjoner som er funnet dypere enn de vannfrontene som er markert, og derfor antas det ut ifra NS-EN 3420 Kap.L5 at betongblandingen med v/c-tall lik 0,67 ikke er vannbestandige. Og derfor beregnes ikke permeabilitetskoeffisienten.

Effekt av v/c-tall på permeabilitet

Resultater som er kommet fram i kapittel 7.3 tydeliggjøres påvirkning av v/c-tall på betongens permeabilitet. Masseforholdet som er utstøpt for høyfast betong er bestemt til å være lik 0,33. Dette har resultert til en tett betong som har god evne til å motstå inntrengning av vann i forhold til normal betong som hadde et masseforhold lik 0,67.

Figur 70 fra kap.7.3.2. er det presentert en sammenligning av vanninntrengningsprøven for høyfast betong og vanlig konstruksjons betong. Det vises tydelig av at høyfast betong er veldig tett og har ingen inntrengning av vann i motsetning til vanlig konstruksjons betong (normal betong).

I tillegg er motstandsevnen til betong med lavere v/c-tall forbedret mot klorid diffusjon. Dette er også vist i tabell 12 hvor høyfast betong oppnår lavere klorid diffusjonskoeffisient enn det normal betong. Ut ifra det som er oppnådd er resultatene forventet med tanke effekt av v/c-tall og det kan understrekes at for betong med lavt v/c-tall har betydelig større motstandsevne mot gjennomtrengning av vann og kjemikalier (klorider i denne sammenheng) enn betong med høyere v/c-tall.

9. Konklusjon

Laboratorium undersøkelsen har gitt grunnlaget for å avdekke problemsstillingen som er satt til denne avhandlingen. Ut ifra den praktiske delen kan det konkludere med at tilsetningsmaterialene silikastøv og Penetron pal 18 har den forventet som er beskrevet i teorien og resultater som er oppnådd gir klare effekter av tilsettingene. Det er to betongtyper som er brukt i oppgaven (vanlig konstruksjons betong og høyfast betong) med tre varianter i hver betongtype, totalt seks betongblandinger. Gjennomførte prøvemetodene er klorid- og vanninntrengning, i tillegg utføres prøver på den ferske betongen og mekaniske egenskaper i herdet tilstand. I forbindelse med eksperimentene er det 2 typer tilsetningsmateriale som skal vurderes, silikastøv og Penetron pal 18.

1) Effekt av Silikastøv:

- Reaksjonen av silikastøv danner bindemidler som fordeles jevnt i poresystemet og tetter eventuelle porer. Tettheten i betong økes og dermed reduseres vannpermeabilitet i betong, samtidig blir motstandsevnen mot kloridinntrengning meget god.
- Økt motstandsevne mot klorid- og vanninntrengning øker bestandigheten til betong som gir økt sannsynlighet for en betongkonstruksjon oppnår den prosjekterte levetid.
- Materiale gir høyere trykkfasthet ved 28 dager, men har ingen effekt på spaltetrekkfasthet og elastisitetsmodul.

2) Effekt av Penetron admix pal 18:

- Forsegler kapillær porer og mikrosprekker med dannede uopløste krystaller som hindrer inntrengning av vann og andre stoffer, det vil si reduisering av permeabilitet i betong som igjen gir økt motstand mot kloridinntrengning og vanninntrengning.
- Økt motstandsevne mot klorid- og vanninntrengning øker bestandigheten til betong og betongkonstruksjoner kan ha større sannsynlighet for å oppnå den prosjekterte levetid.
- Stoffet øker trykkfastheten, men har ingen effekt på spaltetrekkfasthet og elastisitetsmodul.

3) Sammenligning mellom SF og Pen18

- Begge tilsetting forbedrer betongens motstandsevne mot inntrengning av vann og aggressive kjemikalier (klorider), men oppnådde resultater viser at silikastøv har størst effekt på disse egenskapene. Også bruk av silikastøv gir større sannsynlighet for at konstruksjonen oppnår den ønsket levetid.

4) Påvirkning av v/c-tall.

- Det er verdt å nevne at v/c-tall har stor påvirkning til betongens permeabilitet. Lav v/c-tall som for høyfast betong har resultert til en tettere betong og mindre permeabel betong som er godt egnet for betongkonstruksjoner i et aggressivt miljø. Høyfast betong tåler de belastningene som er tilstede i aggressivt miljø i større grad enn betong med høyere v/c-tall.

10. Referanser

- [1] Betongens historie
<http://www.holtetpukk.no/ArticleDisplay.aspx?MenuId=6652&ContentId=13497>
- [2] Grunnleggende betongteknologi. Byggenæringens forlag AS 2004
2. utgave, 2 opplag – ISBN: 82-8021-035-0
- [3] Hvordan er naturlig sement dannet:
<http://no.98905.com/building-remodeling/building-materials-supplies/1004115922.html>
- [4] Betongboka – Norcem: Birger Søpler. Gyldendal norsk forlag AS 2004
2. utgave, 1 opplag – ISBN: 82-05-31372-5
- [5] Tetthet er hovedparameter:
<http://www.byggutengrenser.no/fordeler/tetthet-er-hovedparameter>
- [6] Standard: NS-EN 1992-1-1:2004
Prosjektering av betongkonstruksjoner
- [7] TKT 4215 Concrete Technology 1. Norwegian University of Science and Technology
ISBN: 82-7482-098-3
- [8] Standard: NS-EN 206-1
Spesifikasjon, egenskaper, fremstilling og samsvar
- [9] Ny europeisk betongstandard, FABEKO
http://fabeko.no/assets/Ny_eur_betongstandard-juli_2004.pdf
- [10] Penetron
<http://no.penetron.com/products#penetron-admix>
- [11] Penetron admix
<http://www.lensim.co.rs/files/File/Advantages%20of%20the%20Penetron%20Integral%20Waterproofing%20System.pdf>
- [12] Betongrehabilitering: metoder og utførelse. Byggenæringens forlag AS 2004
2. utgave, 1. opptrykk 2006 – ISBN: 82-80-21-036-93
- [13] Om korrosjon (Høgskolen i Østfold):
<http://www.ia.hiof.no/mkit/KortOmKorrosjon.pdf>
- [14] Halvcellereaksjon (Høgskole i Oslo):
http://www.iu.hio.no/~kirstena/kjemi_og_miljo/gamlefiler/Kapittel%2010%20Elektrisk%20kjemi_rep2.pdf
- [15] Norsk betongforening, NB publikasjon nr. 31.
Bestandighet av betongkonstruksjoner, Del 1: Skadeårsaker
- [16] Korrosjon av stålarmering i betong, av Roar Myrdal.
http://www.vegvesen.no/attachment/390434/binary/669564?fast_title=Crash-kurs+i+korrosjon.pdf
- [17] Kritisk kloridinnhold – Bestandige betongkaier av Norsk Havneingeniørforening
<http://www.havneingenioren.no/dokument/20090902%20PIANC%20NHIF%20-%20Bestandige%20betongkaier%20Del%202.pdf>
- [18] Critical chloride content in reinforced concrete – state of the art, U. Angst & Ø. Vennesland
<http://ftp.ing.unibs.it/~plizzari/CD/Pdf/041.pdf>
- [19] Statens vegvesen: Håndbok 136
- [20] Nedbrytning
<http://foogile.com/betong/betong/nedbryting.html>
- [21] Alkalireaksjoner I betong – hvordan håndterer vi dette? Av Eva Rodum – Statens vegvesen
http://www.vegvesen.no/attachment/182152/binary/349886?fast_title=Alkalireaksjoner+Hvordan+h%C3%A5ndterer+vi+dette%3F.pdf

- [22] God betong er bestandig – Norcem
http://www.norcem.no/no/system/files_force/assets/document/b6/14/552_bestandig_het_brosj-hbo.pdf?download=1
Herdeteknologi, Norcem
- [23] Biologisk vekst
<http://www.riksantikvaren.no/Tema/Klimaendringene-og-kulturminner/Konsekvenser-for-kulturminnene/Biologisk-vekst>
- [24] Betongrehabilitering
http://www.norfloor.no/media/wysiwyg/mapei/betongrehabilitering_0110.pdf
- [25] Betong rehabilitering – Ny veiledning i bruk av standardverket. Eva Rodum – Statens vegvesen
http://www.vegvesen.no/_attachment/275076/binary/485342?fast_title=Betongrehabilitering%E2%80%93ny+veiledning+i+bruk+av+standardverket.pdf
- [26] HETEK, Chloride penetration into concrete: State of the Art.
AV: L.-O. Nilsson, E. Poulsen, P.Sandberg, H. E. Sørensen, O. Klinghoffer
http://www.vejdirektoratet.dk/DA/viden_og_data/publikationer/Lists/Publikationer/Attachments/463/rap53.pdf
- [27] Bishop, M. L., Fody, E. P., & Schoeff, L. E. (2013). *Clinical chemistry : Principles, Techniques, and Correlations*. Philadelphia, PA 19103 USA: Lippincott Williams & Wilkins
- [28] Kompleksjon
<https://snl.no/kompleksforbindelser>
- [29] Ion selektiv elektrode
https://snl.no/ioneselektiv_elektrode
- [30] Mekanisk reparasjon
<http://www.smoerholm.no/article/?cat=1082&id=1159>
- [31] Slik kan betongoverflater etterbehandles.
<http://www.byggutengrenser.no/filer/nedlasting/Begreper%20og%20beskrivelser%20Lindland.pdf>
- [32] Overflatebehandling, figur
<http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?documentId=483§ionId=2>
- [33] Statens vegvesen: Fremstilling av betong i laboratoriet
http://www.vegvesen.no/s/vegnormaler/hb/014/Gamle_filer/14.62/014-621.pdf
- [34] Cement and concrete composites
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946507001527>
- [35] Standard: NS-EN 12390-3:2002
- [36] Standard: NS-EN 12390-6:2001
- [37] Standard: NS-EN 12390-13:2013
- [38] NT Build 443: Accelerated chloride penetration
- [39] Statens vegvesen: Klordinntrengning, neddykket diffusjon test
- [40] Bestandige betongkaier – Norsk Havneingeniørforening
<http://www.havneingenioren.no/dokument/20090902%20PIANC%20NHIF%20-%20Bestandige%20betongkaier%20Del%202.pdf>
- [41] Aging factor concept – Chloride Intrusion, av: Steinar Helland, Skanska Norge AS.
Dok.: Nordic Exposure Sites – Input to revision to EN206-1
http://www.nordicconcrete.net/ikbViewer/Content/918197/Full%20report_%20workshop%20proceeding%20nr.%208.pdf

11. Vedlegg

Vedlegg A

- Blandevolum og prøvemetoder
- Betongresept

Vedlegg B

- Trykkfasthetsprøve
- Spaltestrekkfasthetsprøve
- Elastisitetsmodul prøve

Vedlegg C

- Kloridprofiler
- Bestandighetsanalyse
- Vann inntrengningsprøve (Bilder)

Vedlegg D

Datablad/produktinformasjon:

- Penetron
- Sement
- Silikastøv
- Dynamon NRG-500

Prøvemetoder/prosdyrer:

- Speedy Moisture
- Kloridinntrengningsprøve – NT Build 443
- Vanninntrengningsprøve – Statens vegvesen 14.633

Vedlegg A

Blandevolum og prøvemethoder

Test av fersk betong egenskap

- Slump – kjegle formet
 - Synkjeglen har følgende innvendige mål:
 - Diameter ved bunn (200 ± 2) mm
 - Diameter ved topp (100 ± 2) mm
 - Høyde (300 ± 2) mm
- Luft – luftporemåler
 - Volum lik 8 liter
- Densitet
 - Bestemmes i en beholder med kjent masse og volum (8 liter)

Trykktesting:

Standard mål 100x100x100mm – 3 terninger

Volum pr terning: $100 \times 100 \times 100 = 1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ L}$

For 3 terninger dvs. 3 liter.

7 døgn 1 x 3 = 3 liter

28 døgn 1 x 3 = 3 liter

Totalt 6 liter

Strektesting – spaltestrek:

Standard sylinder mål: diameter 150mm og høyde 300mm

Sylindervolum: Areal x høyde

$$\text{Areal} = d * \pi / 4 = 1,5 * \pi / 4 = 1,8 \text{ dm}^2$$

$$\text{Sylindervolum} = \text{Areal} * h = 1,8 * 3,0 = 5,4 \text{ liter}$$

Totalt 16,2 liter

E-modul

Standard sylinder mål: diameter 150mm og høyde 300mm

Sylindervolum = 5,4 liter

Totalt 16,2 liter

Kloridinntrengning

Terning form: 100x100x100mm

3 terninger - 3 Liter totalt

Vanninntrengningsprøving

3 terninger hvor hver terning har dimensjoner 100x100x100mm.

1 liter pr terning – dvs. 3 liter

Totalt 3 liter

Etter 28 dager herdetid

Antall eksemplarer pr resept:

	Ref. betong	Ref. betong m/penetron	Ref. betong m/silika støv
Tykktesting	6 terninger	6 terninger	6 terninger
Strektesting	3 sylindere	3 sylindere	3 sylindere
E-modul	3 sylindere	3 sylindere	3 sylindere
Klorid inntrengning	3 terninger	3 terninger	3 terninger
Vanninntrengning	3 terninger	3 terninger	3 terninger
Ekstra	3 terninger	3 terninger	3 terninger
Totalt	15 terninger 6 sylindere	15 terninger 6 sylindere	15 terninger 6 sylindere

Oversikt

Prøver	Ref. betong	Ref. betong m/penetron	Ref. betong m/silikastøv
Trykktesting Terning	7 døgn: 3 liter	7 døgn: 3 liter	7 døgn: 3 liter
	28 døgn: 3 liter	28 døgn: 3 liter	28 døgn: 3 liter
Strektesting Sylinder	5,4 liter	5,4 liter	5,4 liter
	5,4 liter	5,4 liter	5,4 liter
	5,4 liter	5,4 liter	5,4 liter
E-modul Sylinder	5,4 liter	5,4 liter	5,4 liter
	5,4 liter	5,4 liter	5,4 liter
	5,4 liter	5,4 liter	5,4 liter
Kloridinntrengning Sylinder	1,0 liter	1,0 liter	1,0 liter
	1,0 liter	1,0 liter	1,0 liter
	1,0 liter	1,0 liter	1,0 liter
Vanninntrengning Terning	1,0 liter	1,0 liter	1,0 liter
	1,0 liter	1,0 liter	1,0 liter
	1,0 liter	1,0 liter	1,0 liter
Ekstra	3,0 liter	3,0 liter	3,0 liter
Totalt volum	45 liter	45 liter	45 liter

Totalt volum pr resept lik 70 liter, inkl. fersk betong egenskaper henholdsvis; støpelighet, luftinnhold og densitet, samt forventet svinn og rester som er i tvangsblenderen.

Betongresept

Høyfast betong

Prosj./id.: B70 uten tilsetning					
Blandevolum:	70 liter				
Dato:	10.feb				
Tidspunkt for vanntilsetning					
Ansvarlig:					
Utført av:					
Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Industri	491,8	34,424			34,424
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
Fritt vann	162,3	11,360		-2,254	9,106
Absorbent vann	11,5	0,808			0,808
Forsand grus 0-8	940,9	65,862	2,7	1,759	67,620
Velde pukk 8-16	803,9	56,272	0,0	0,000	56,272
0	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
0	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
SP	9,8	0,688	72	0,496	0,688
	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
*Se fotnote på delark "Proporsjonering" ** NBI Våte mengder, også for pozzolaner og fillere					
Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					
Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger	15				
150x300 sylindre	6				
100x200 sylindre					

Delark "Blandeskjema"

Prosj./id.: **B70 m Silikastøv**

Blandevolum:	70 liter
Dato:	18.feb
Tidspunkt for vanntilsetning	
Ansvarlig:	
Utført av:	

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Industri	463,9	32,476			32,476
Elkem Microsilica	23,2	1,624	0	0,000	1,624
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
Fritt vann	160,8	11,253		-3,142	8,111
Absorbent vann	11,5	0,808			0,808
Forsand grus 0-8	940,9	65,862	4,1	2,674	68,536
Velde pukk 8-16	803,9	56,272	0,0	0,000	56,272
	0	0,0	0,5	0,000	0,000
	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
SP	9,3	0,650	72	0,468	0,650
	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

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

** NBI Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger	15				
150x300 sylindre	6				
100x200 sylindre					

Delark "Blandeskjema"

Prosj./id.: **B25 m Penetron PAL18**

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

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Standardsement	276,3	19,338			19,338
Elkem Microsilica	0,0	0,000	50	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
Fritt vann	182,3	12,763		-3,909	8,854
Absorbert vann	12,4	0,871			0,871
Forsand grus 0-8	1014,4	71,007	5,3	3,735	74,742
Velde pukk 8-16	866,7	60,668	0,0	0,000	60,668
	0	0,0	0,5	0,000	0,000
	0	0,0	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
Penetron PAL18	3,1	0,215	81,26	0,174	0,215
	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

9,725

*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	15				
150x300 sylindre	6				
100x200 sylindre					

Delark "Blandeskjema"

Vanlig konstruksjons betong

Proj./id.:	B25 uten tilsetning (1)
------------	-------------------------

Blandevolum:	70 liter
Dato:	11.feb
Tidspunkt for vanntilsetning	
Ansvarlig:	
Utført av:	

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Standardsement	276,4	19,347			19,347
Elkem Microsilica	0,0	0,000	50	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
Fritt vann	182,4	12,769		-2,130	10,639
Absorbert vann	12,4	0,871			0,871
Forsand grus 0-8	1014,4	71,007	3,0	2,130	73,137
Velde pukk 8-16	866,7	60,668	0,0	0,000	60,668
	0	0,0	0,000	0,5	0,000
	0	0,0	0,000	0,0	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
	0	0,0	0,000	82	0,000
	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

11,510

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

** NBI Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger	15				
150x300 sylindre	6				
100x200 sylindre					

Delark "Blandeskjema"

Prosj./id.: B25 m Silikastøv (2)

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

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Standardsement	261,5	18,304			18,304
Elkem Microsilica	13,1	0,915	0	0,000	0,915
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
Fritt vann	181,2	12,685		-2,982	9,702
Absorbert vann	12,4	0,871			0,871
Forsand grus 0-8	1014,4	71,007	4,2	2,982	73,989
Velde pukk 8-16	866,7	60,668	0,0	0,000	60,668
0	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
0	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
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	82	0,000	0,000
	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

10,574

*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	9				
150x300 sylindre	6				
100x200 sylindre					

Delark "Blandeskjema"

Prosj./id.: **B25 m Penetron PAL18**

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

Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Standardsement	276,3	19,338			19,338	
Elkem Microsilica	0,0	0,000	50	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
Fritt vann	182,3	12,763		-3,909	8,854	9,725
Absorbert vann	12,4	0,871			0,871	
Forsand grus 0-8	1014,4	71,007	5,3	3,735	74,742	
Velde pukk 8-16	866,7	60,668	0,0	0,000	60,668	
	0	0,000	0,5	0,000	0,000	
	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	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Penetron PAL18	3,1	0,215	81,26	0,174	0,215	
	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	

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

** NBI Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger	15				
150x300 sylindre	6				
100x200 sylindre					

Delark "Blandeskjema"

Vedlegg B

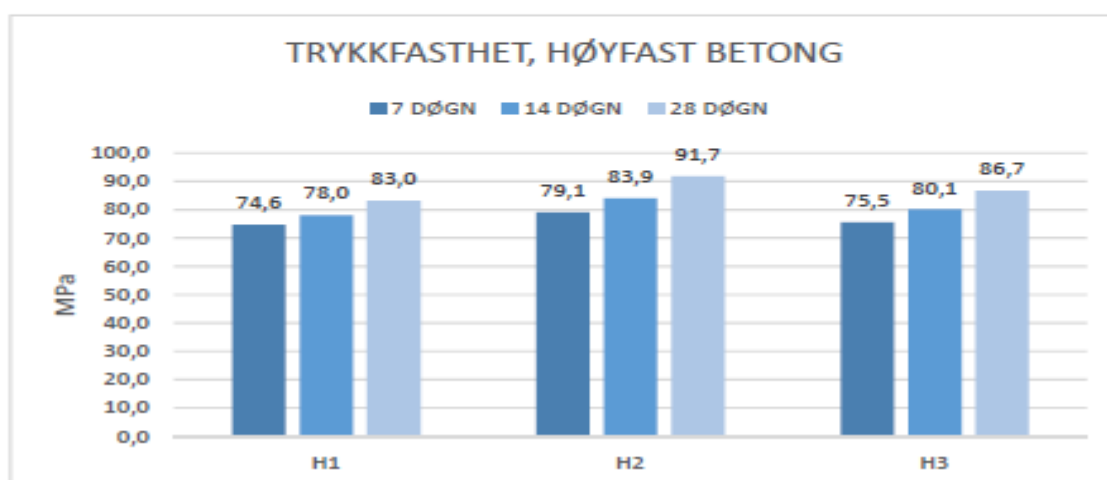
Trykkfasthetsprøve

RESULTATER AV TRYKKFASTHETSPRØVE, HØYFAST BETONG

TRYKKKRAFT VED BRUDD - kN				
BETONG	7 DØGN	14 DØGN	28 DØGN	AREAL
H1.1	758,4	764,9	776,4	10000
H1.2	748,4	779,2	860,2	10000
H1.3	732,4	795,3	854,6	10000
H2.1	781,0	851,5	917,5	10000
H2.2	797,9	832,6	922,6	10000
H2.3	792,9	834,1	911,1	10000
H3.1	745,1	790,7	884,3	10000
H3.2	760,8	808,3	858,6	10000
H3.3	759,6	802,9	857,8	10000

TRYKKFASTHET - MPa			
BETONG	7 DØGN	14 DØGN	28 DØGN
H1.1	75,8	76,5	77,6
H1.2	74,8	77,9	86,0
H1.3	73,2	79,5	85,5
H2.1	78,1	85,2	91,8
H2.2	79,8	83,3	92,3
H2.3	79,3	83,4	91,1
H3.1	74,5	79,1	88,4
H3.2	76,1	80,8	85,9
H3.3	76,0	80,3	85,8

GJENNOMSNITTSRESULTATER FOR 3 PRØVESTYKKER			
	H1	H2	H3
7 DØGN	74,6	79,1	75,5
14 DØGN	78,0	83,9	80,1
28 DØGN	83,0	91,7	86,7

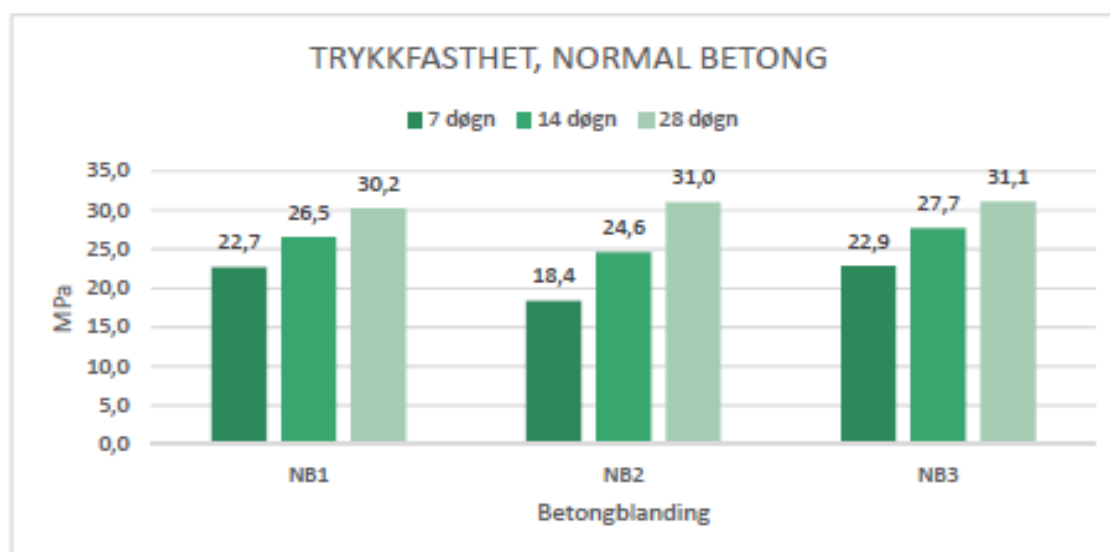


RESULTATER AV TRYKKFASTHETSPRØVE, NORMAL BETONG

TRYKKRAFT VED BRUDD - kN				
BETONG	7 DØGN	14 DØGN	28 DØGN	AREAL
NB1-1	234,52	261,65	306,51	10000
NB1-2	218,95	274,86	298,23	10000
NB1-3	227,25	259,00	302,32	10000
NB2-1	185,14	241,35	310,31	10000
NB2-2	183,62	250,12	312,23	10000
NB2-3	181,84	247,65	307,41	10000
NB3-1	225,59	274,78	308,37	10000
NB3-2	224,41	272,35	309,39	10000
NB3-3	236,35	282,76	315,90	10000

TRYKKFASTHET - MPa			
BETONG	7 DØGN	14 DØGN	28 DØGN
NB1-1	23,5	26,2	30,7
NB1-2	21,9	27,5	29,8
NB1-3	22,7	25,9	30,2
NB2-1	18,5	24,1	31,0
NB2-2	18,4	25,0	31,2
NB2-3	18,2	24,8	30,7
NB3-1	22,6	27,5	30,8
NB3-2	22,4	27,2	30,9
NB3-3	23,6	28,3	31,6

GJENNOMSNITTSRESULTATER FOR 3 PRØVESTYKKE			
	NB1	NB2	NB3
7 DØGN	22,7	18,4	22,9
14 DØGN	26,5	24,6	27,7
28 DØGN	30,2	31,0	31,1



Spaltestrekkfasthetsprøve

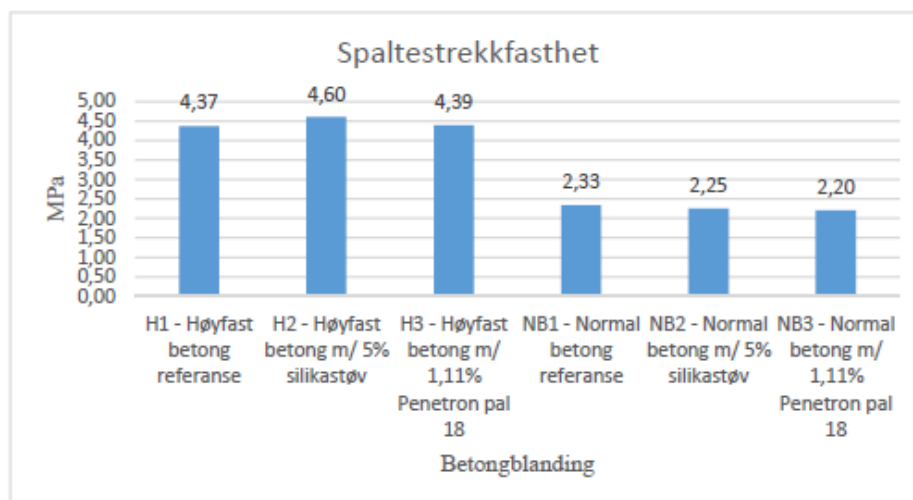
RESULTATER FRA SPALTESTREKKFASTHETSPRØVEN

Betongblanding	Prøvenr	d	L	F	fct	fctm
H1	a		150	300	334,04	4,73
	b		150	300	303,95	4,30
	c		150	300	287,9	4,08
H2	a		150	300	315,21	4,46
	b		150	300	316,6	4,48
	c		150	300	343,59	4,86
H3	a		150	300	310,63	4,40
	b		150	300	312,05	4,42
	c		150	300	307,52	4,35

Betongblanding	Prøvenr	d	L	F	fct	fctm
NB1	a		150	300	175,75	2,49
	b		150	300	164,62	2,33
	c		150	300	153,32	2,17
NB2	a		150	300	166,85	2,36
	b		150	300	149,64	2,12
	c		150	300	160,68	2,27
NB3	a		150	300	157,44	2,23
	b		150	300	134,68	1,91
	c		150	300	174,46	2,47

Spaltestrekkfasthet i Mpa

Betongblanding	a	b	c	Gjennomsnitt
H1 - Høyfast betong referanse	4,73	4,30	4,08	4,37
H2 - Høyfast betong m/ 5% silikastøv	4,46	4,48	4,86	4,60
H3 - Høyfast betong m/ 1,11% Penetron pal 18	4,40	4,42	4,35	4,39
NB1 - Normal betong referanse	2,49	2,33	2,17	2,33
NB2 - Normal betong m/ 5% silikastøv	2,36	2,12	2,27	2,25
NB3 - Normal betong m/ 1,11% Penetron pal 18	2,23	1,91	2,47	2,20



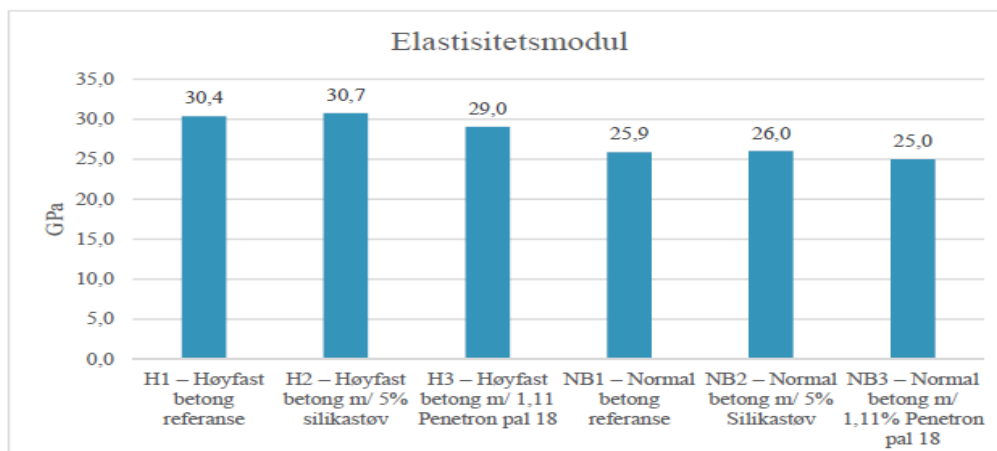
Elastisitetsmodul prøve

Results:

Nr	Date	ID	d mm	A mm ²	h mm	Em N/mm ²	F _m kN	σ _m N/mm ²
1	03/12/2015	28 døgn - E-modul -H1.1	150.0	17671.5	300.0	30873.42	393.75	22.28
2	03/12/2015	28 døgn - E-modul -H1.2	150.0	17671.5	300.0	29610.94	393.77	22.28
3	03/12/2015	28 døgn - E-modul -H1.3	150.0	17671.5	300.0	30653.67	394.11	22.30
4	03/18/2015	28 døgn - E-modul - Høyfast Silika 2.1	150.0	17671.5	300.0	31820.16	433.15	24.51
5	03/18/2015	28 døgn - E-modul - Høyfast Silika 2.2	150.0	17671.5	300.0	30450.62	433.21	24.51
6	03/18/2015	28 døgn - E-modul - Høyfast Silika 2.3	150.0	17671.5	300.0	29957.71	433.24	24.52
7	03/12/2015	28 døgn - E-modul -H3.1	150.0	17671.5	300.0	28591.05	382.46	21.64
8	03/13/2015	28 døgn - E-modul -H3.2	150.0	17671.5	300.0	28158.14	382.45	21.64
9	03/13/2015	28 døgn - E-modul -H3.2	150.0	17671.5	300.0	30360.58	382.50	21.65
10	03/13/2015	28 døgn - E-modul - NB1.1	150.0	17671.5	300.0	25498.79	144.63	8.18
11	03/13/2015	28 døgn - E-modul - NB1.2	150.0	17671.5	300.0	26077.87	144.47	8.18
12	03/13/2015	28 døgn - E-modul - NB1.3	150.0	17671.5	300.0	26073.26	144.46	8.17
13	03/13/2015	28 døgn - E-modul - NB2.1	150.0	17671.5	300.0	27103.12	140.43	7.95
14	03/13/2015	28 døgn - E-modul - NB2.2	150.0	17671.5	300.0	24386.62	140.38	7.94
15	03/13/2015	28 døgn - E-modul - NB2.3	150.0	17671.5	300.0	26570.83	140.46	7.95
16	03/13/2015	28 døgn - E-modul - NB3.1	150.0	17671.5	300.0	27147.93	148.02	8.38
17	03/13/2015	28 døgn - E-modul - NB3.2	150.0	17671.5	300.0	23055.02	148.13	8.38
18	03/13/2015	28 døgn - E-modul - NB3.3	150.0	17671.5	300.0	24724.34	148.18	8.39

ELASTISITETSMODUL PRØVE

Betongblanding	Prøve	Em	Gjennomsnitt; E _{cm}
H1	a	30,87	30,4
	b	29,61	
	c	30,65	
H2	a	31,82	30,7
	b	30,45	
	c	29,96	
H3	a	28,59	29,0
	b	28,16	
	c	30,36	
NB1	a	25,50	25,9
	b	26,08	
	c	26,07	
NB2	a	27,10	26,0
	b	24,39	
	c	26,57	
NB3	a	27,15	25,0
	b	23,06	
	c	24,72	



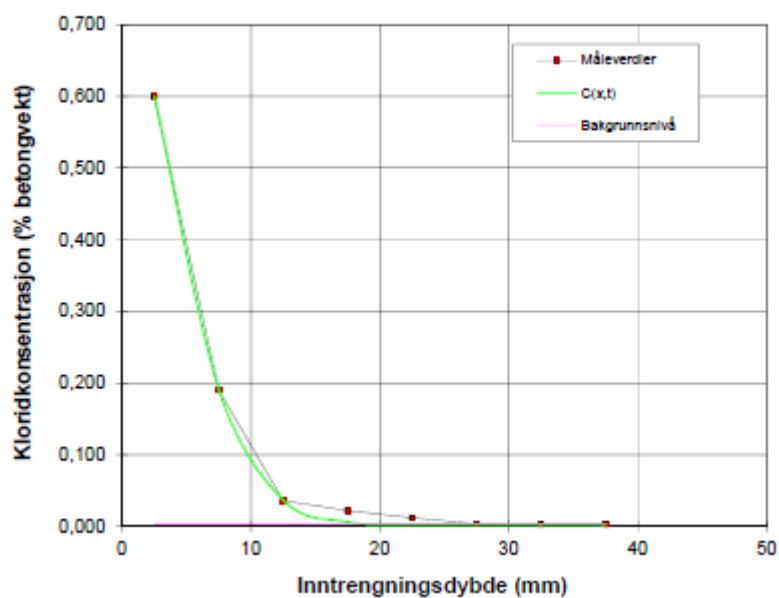
Vedlegg C

Kloridprofiler

Beregning av C_0 og D Prosjekt: Masteroppgave 2015, Phong Vo Profil H1 A © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	1104	timer
Bakgrunn	0,003	% betong
C_0	0,862	% betong
D	4,58	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9996	
Inntrengning	137,3	g/m^2
k (0.1 %)	27,2	mm

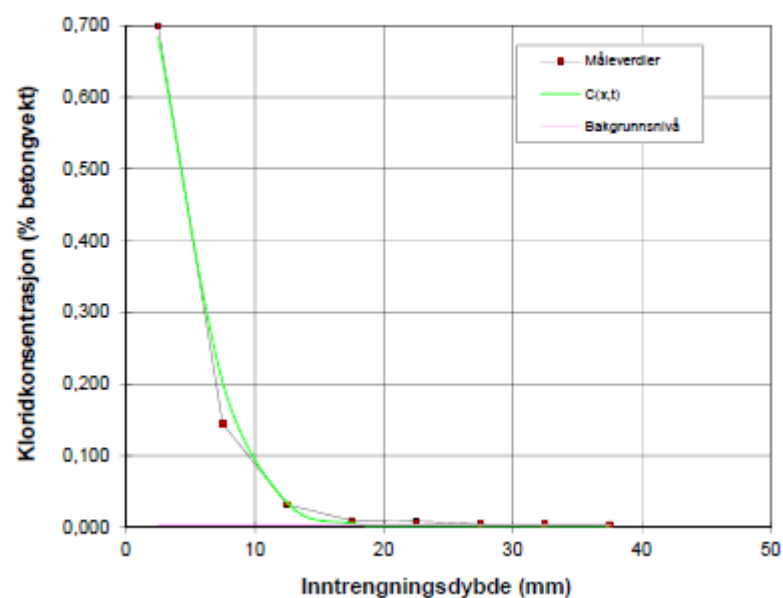
x	målt	status
2,5	0,500	ok
7,5	0,190	ok
12,5	0,036	ok
17,5	0,022	ok
22,5	0,012	ok
27,5	0,004	ok
32,5	0,003	ok
37,5	0,003	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Masteroppgave 2015, Phong Vo Profil H1 B © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	1104	timer
Bakgrunn	0,003	% betong
C_0	1,026	% betong
D	4,21	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9957	
Inntrengning	147,8	g/m^2
k (0.1 %)	27,2	mm

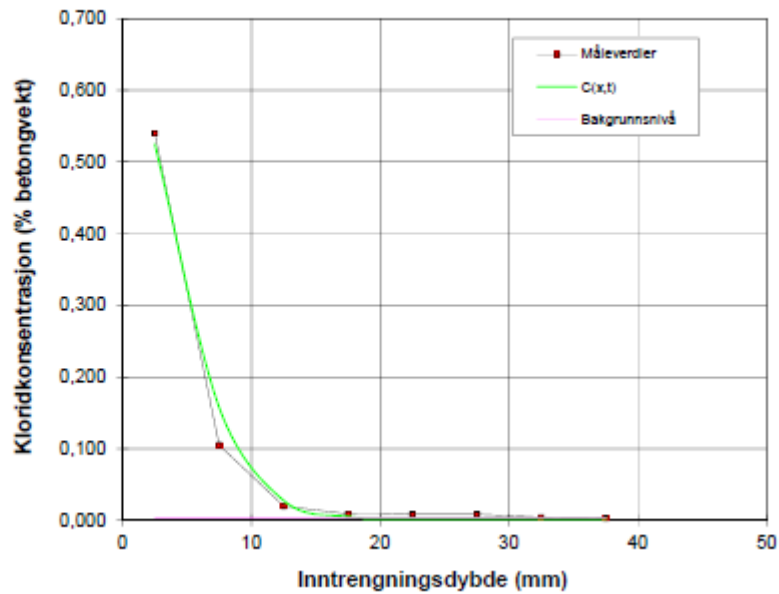
x	målt	status
2,5	0,700	ok
7,5	0,145	ok
12,5	0,032	ok
17,5	0,009	ok
22,5	0,009	ok
27,5	0,005	ok
32,5	0,005	ok
37,5	0,004	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Masteroppgave 2015, Phong Vo Profil H1 C © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	1104	timer
Bakgrunn	0,003	% betong
C_0	0,784	% betong
D	4,27	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9937	
Inntrengning	113,1	g/m^2
k (0.1 %)	25,3	mm

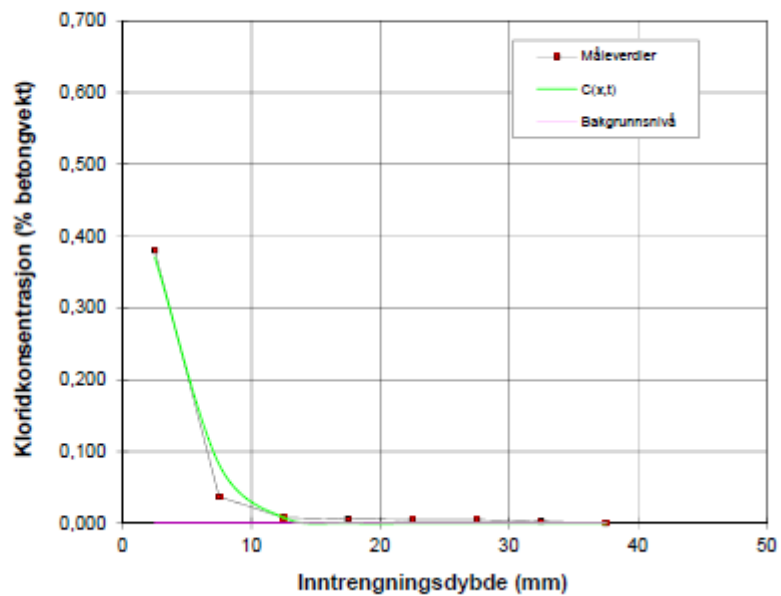
x	målt	status
2,5	0,540	ok
7,5	0,105	ok
12,5	0,020	ok
17,5	0,009	ok
22,5	0,009	ok
27,5	0,009	ok
32,5	0,004	ok
37,5	0,003	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Masteroppgave 2015, Phong Vo Profil H2 A © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	1104	timer
Bakgrunn	0,000	% betong
C_0	0,598	% betong
D	3,20	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9911	
Inntrengning	76,0	g/m^2
k (0.1 %)	19,6	mm

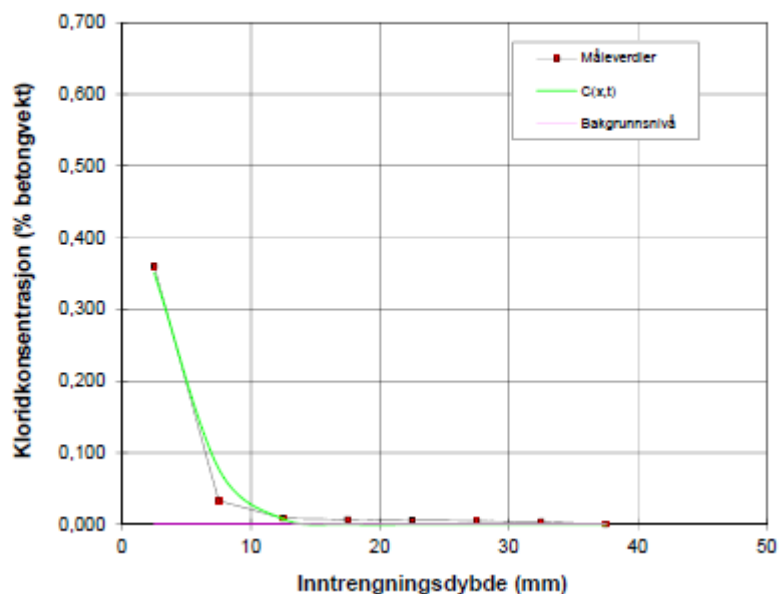
x	målt	status
2,5	0,380	ok
7,5	0,037	ok
12,5	0,008	ok
17,5	0,006	ok
22,5	0,005	ok
27,5	0,005	ok
32,5	0,003	ok
37,5	0,000	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Masteroppgave 2015, Phong Vo Profil H2 B © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	1104	timer
Bakgrunn	0,000	% betong
C_0	0,565	% betong
D	3,21	10^{-12} m ² /s
R^2	0,9899	
Inntrengning	72,3	g/m ²
k (0.1 %)	19,1	mm

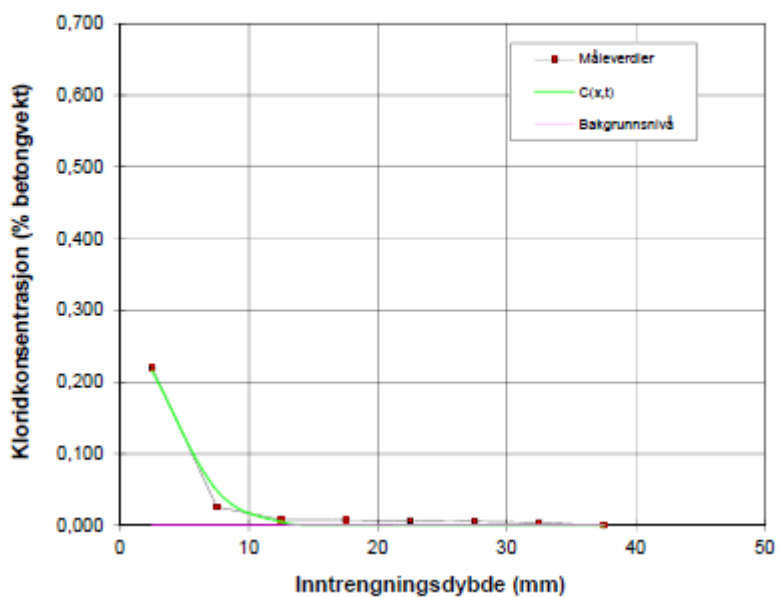
x	målt	status
2,5	0,360	ok
7,5	0,033	ok
12,5	0,009	ok
17,5	0,007	ok
22,5	0,006	ok
27,5	0,005	ok
32,5	0,004	ok
37,5	0,000	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Masteroppgave 2015, Phong Vo Profil H2 C © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	1104	timer
Bakgrunn	0,000	% betong
C_0	0,344	% betong
D	3,29	10^{-12} m ² /s
R^2	0,9911	
Inntrengning	46,5	g/m ²
k (0.1 %)	15,3	mm

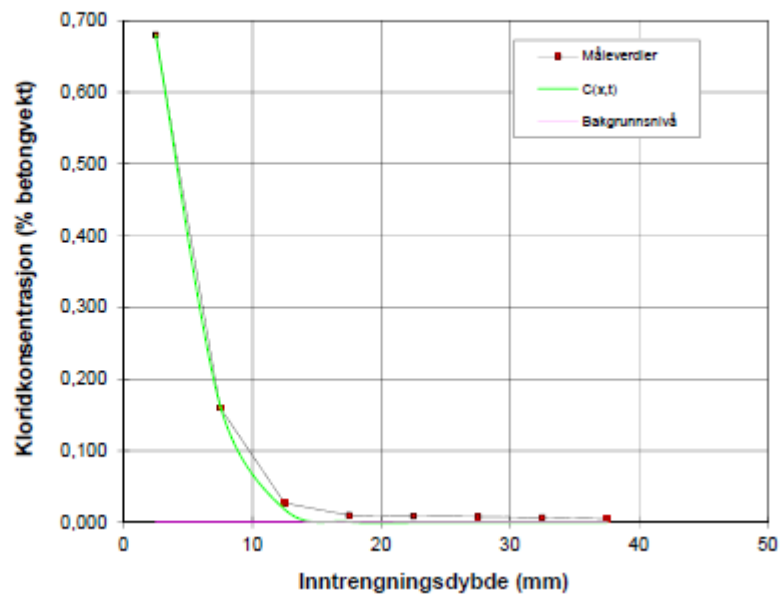
x	målt	status
2,5	0,220	ok
7,5	0,026	ok
12,5	0,008	ok
17,5	0,008	ok
22,5	0,007	ok
27,5	0,006	ok
32,5	0,004	ok
37,5	0,000	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Masteroppgave 2015, Phong Vo Profil H3 A © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	1104	timer
Bakgrunn	0,000	% betong
C_0	1,074	% betong
D	3,45	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9999	
Inntrengning	148,9	g/m^2
k (0.1 %)	24,7	mm

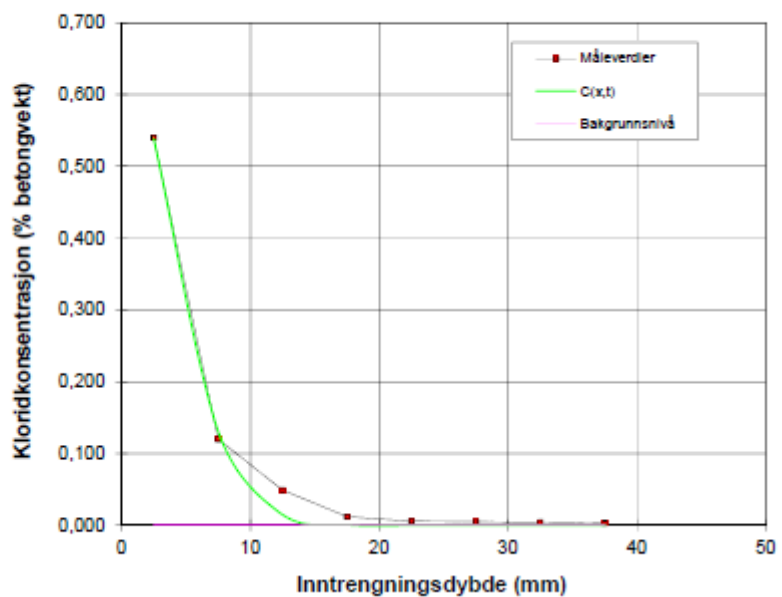
x	målt	status
2,5	0,680	ok
7,5	0,160	ok
12,5	0,027	ok
17,5	0,010	ok
22,5	0,009	ok
27,5	0,008	ok
32,5	0,007	ok
37,5	0,005	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Masteroppgave 2015, Phong Vo Profil H3 B © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	1104	timer
Bakgrunn	0,000	% betong
C_0	0,847	% betong
D	3,49	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9978	
Inntrengning	120,6	g/m^2
k (0.1 %)	23,2	mm

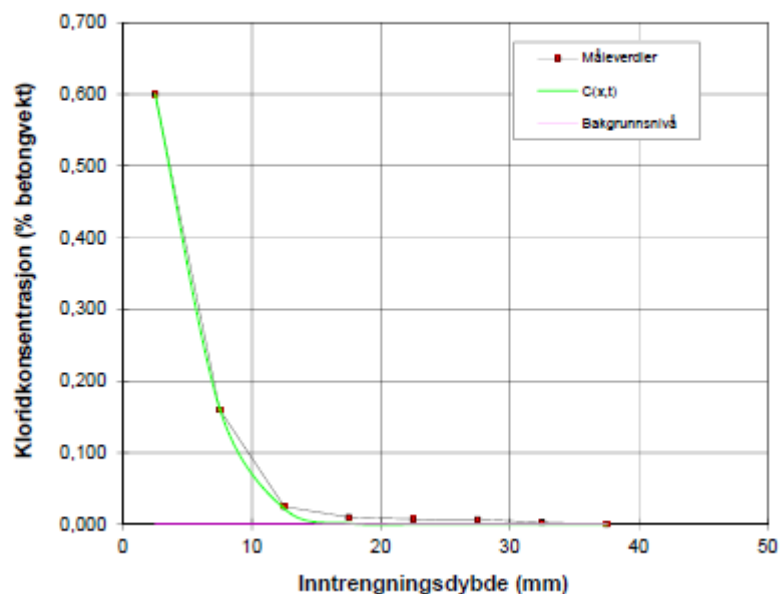
x	målt	status
2,5	0,540	ok
7,5	0,120	ok
12,5	0,049	ok
17,5	0,012	ok
22,5	0,006	ok
27,5	0,005	ok
32,5	0,004	ok
37,5	0,003	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Masteroppgave 2015, Phong Vo Profil H3 C © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	1104	timer
Bakgrunn	0,000	% betong
C_0	0,920	% betong
D	3,86	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9999	
Inntrengning	133,4	g/m^2
k (0.1 %)	25,0	mm

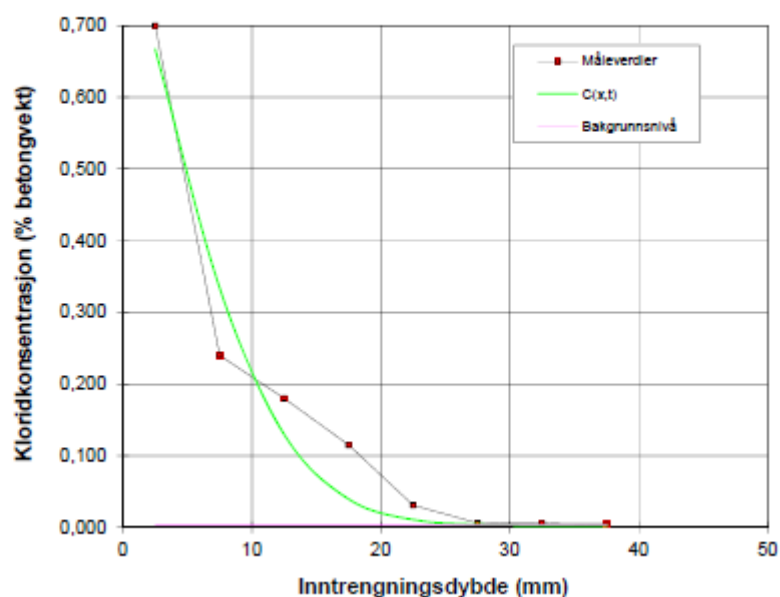
x	målt	status
2,5	0,600	ok
7,5	0,160	ok
12,5	0,025	ok
17,5	0,010	ok
22,5	0,007	ok
27,5	0,007	ok
32,5	0,003	ok
37,5	0,000	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Masteroppgave 2015, Phong Vo Profil NB1 A © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	1104	timer
Bakgrunn	0,003	% betong
C_0	0,863	% betong
D	9,36	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9778	
Inntrengning	192,6	g/m^2
k (0.1 %)	38,5	mm

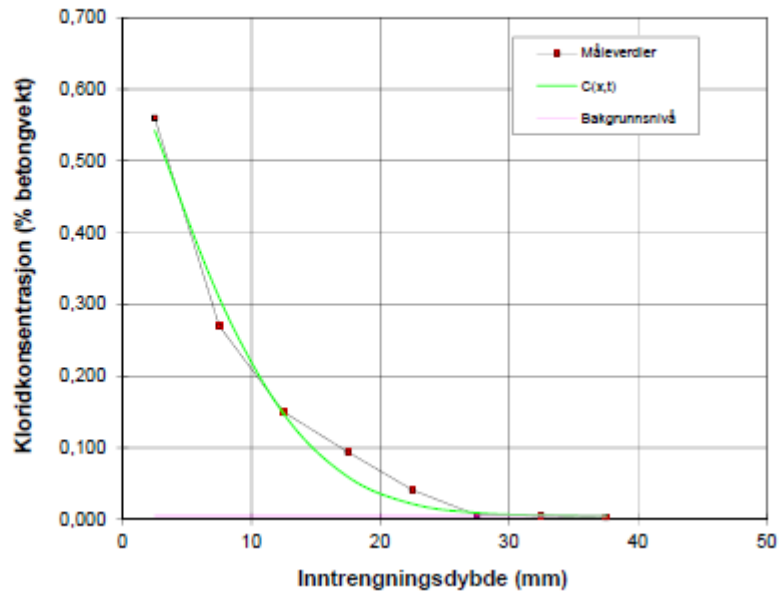
x	målt	status
2,5	0,700	ok
7,5	0,240	ok
12,5	0,180	ok
17,5	0,115	ok
22,5	0,031	ok
27,5	0,006	ok
32,5	0,006	ok
37,5	0,005	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Masteroppgave 2015, Phong Vo Profil NB1 B © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	1104	timer
Bakgrunn	0,005	% betong
C_0	0,674	% betong
D	12,66	10^{-12} m ² /s
R ²	0,9937	
Inntrengning	164,2	g/m ²
k (0.1%)	41,5	mm

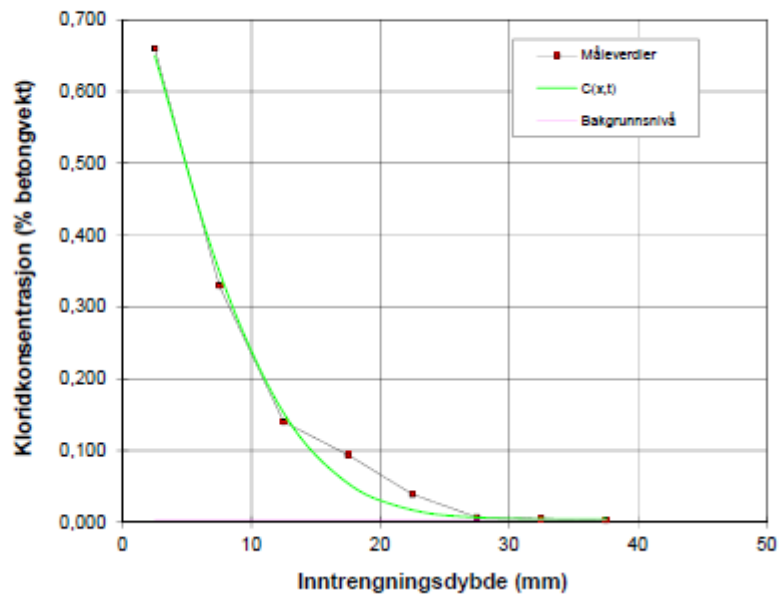
x	målt	status
2,5	0,560	ok
7,5	0,270	ok
12,5	0,150	ok
17,5	0,094	ok
22,5	0,041	ok
27,5	0,006	ok
32,5	0,005	ok
37,5	0,003	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Masteroppgave 2015, Phong Vo Profil NB1 C © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	1104	timer
Bakgrunn	0,004	% betong
C_0	0,822	% betong
D	11,01	10^{-12} m ² /s
R ²	0,9967	
Inntrengning	189,0	g/m ²
k (0.1%)	41,3	mm

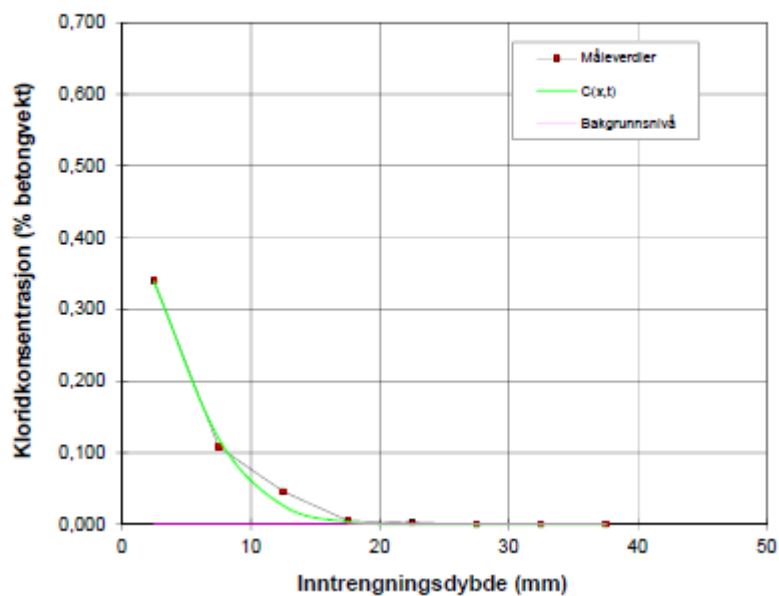
x	målt	status
2,5	0,660	ok
7,5	0,330	ok
12,5	0,140	ok
17,5	0,094	ok
22,5	0,039	ok
27,5	0,007	ok
32,5	0,005	ok
37,5	0,003	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Masteroppgave 2015, Phong Vo Profil NB2 A © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	1104	timer
Bakgrunn	0,000	% betong
C_0	0,481	% betong
D	5,33	10^{-12} m ² /s
R^2	0,9974	
Inntrengning	80,7	g/m ²
k (0.1 %)	23,2	mm

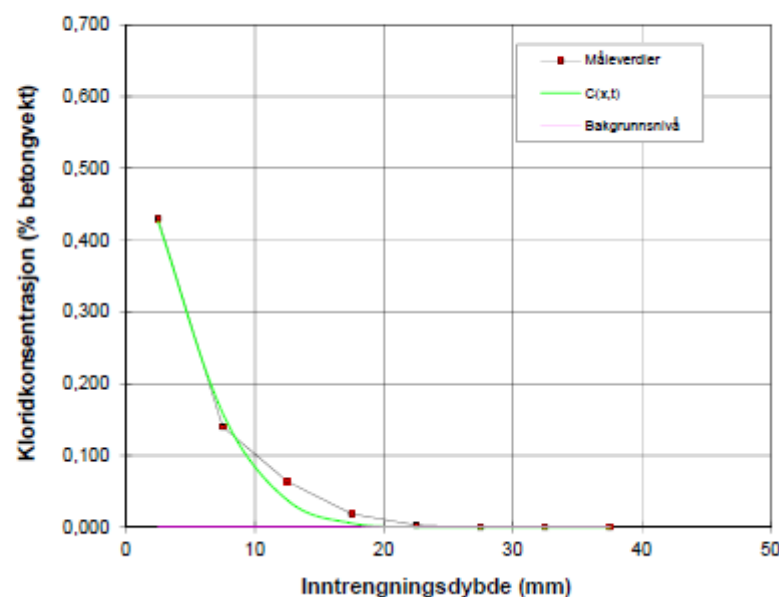
x	målt	status
2,5	0,340	ok
7,5	0,108	ok
12,5	0,046	ok
17,5	0,005	ok
22,5	0,003	ok
27,5	0,000	ok
32,5	0,000	ok
37,5	0,000	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Masteroppgave 2015, Phong Vo Profil NB2 B © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	1104	timer
Bakgrunn	0,000	% betong
C_0	0,599	% betong
D	5,71	10^{-12} m ² /s
R^2	0,9964	
Inntrengning	104,5	g/m ²
k (0.1 %)	26,2	mm

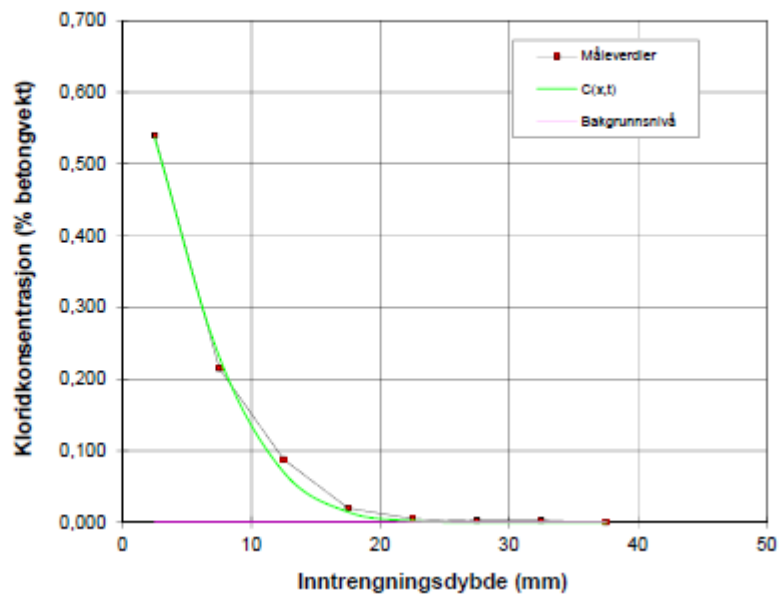
x	målt	status
2,5	0,430	ok
7,5	0,140	ok
12,5	0,064	ok
17,5	0,019	ok
22,5	0,003	ok
27,5	0,000	ok
32,5	0,000	ok
37,5	0,000	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Masteroppgave 2015, Phong Vo Profil NB2 C © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	1104	timer
Bakgrunn	0,000	% betong
C_0	0,724	% betong
D	7,14	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9988	
Inntrengning	137,2	g/m^2
k (0.1 %)	31,4	mm

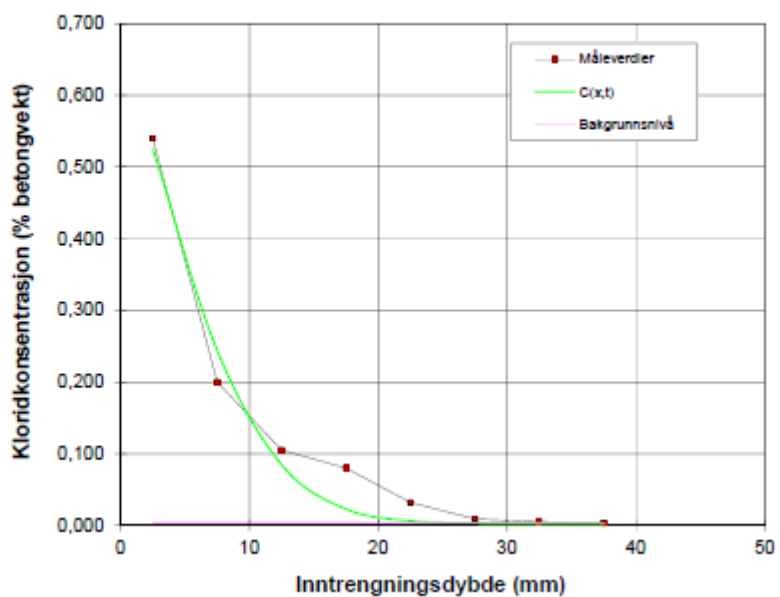
x	målt	status
2,5	0,540	ok
7,5	0,215	ok
12,5	0,088	ok
17,5	0,020	ok
22,5	0,005	ok
27,5	0,003	ok
32,5	0,003	ok
37,5	0,000	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Masteroppgave 2015, Phong Vo Profil NB3 A © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	1104	timer
Bakgrunn	0,003	% betong
C_0	0,695	% betong
D	8,05	$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
R^2	0,9883	
Inntrengning	146,2	g/m^2
k (0.1 %)	33,2	mm

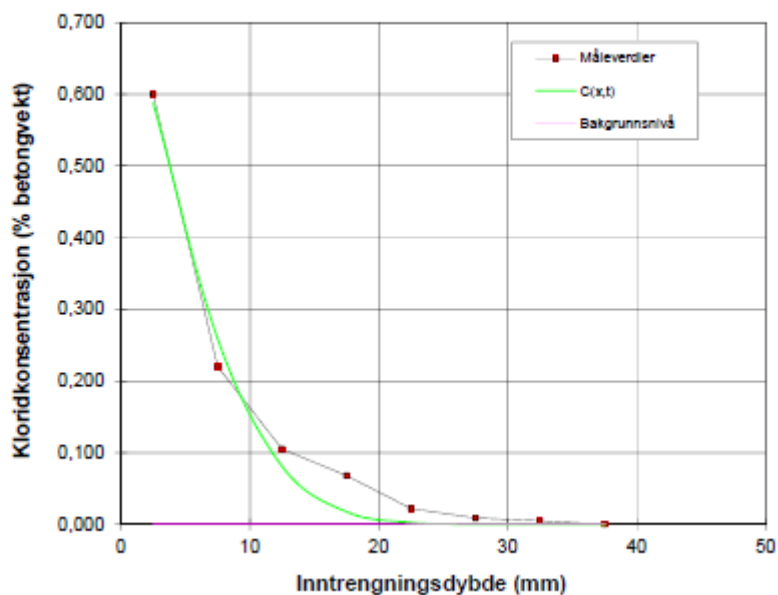
x	målt	status
2,5	0,540	ok
7,5	0,200	ok
12,5	0,105	ok
17,5	0,080	ok
22,5	0,032	ok
27,5	0,009	ok
32,5	0,005	ok
37,5	0,003	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Masteroppgave 2015, Phong Vo Profil NB3 B © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	1104	timer
Bakgrunn	0,000	% betong
C_0	0,790	% betong
D	7,37	10^{-12} m ² /s
R^2	0,9930	
Inntrengning	159,3	g/m ²
k (0.1 %)	32,9	mm

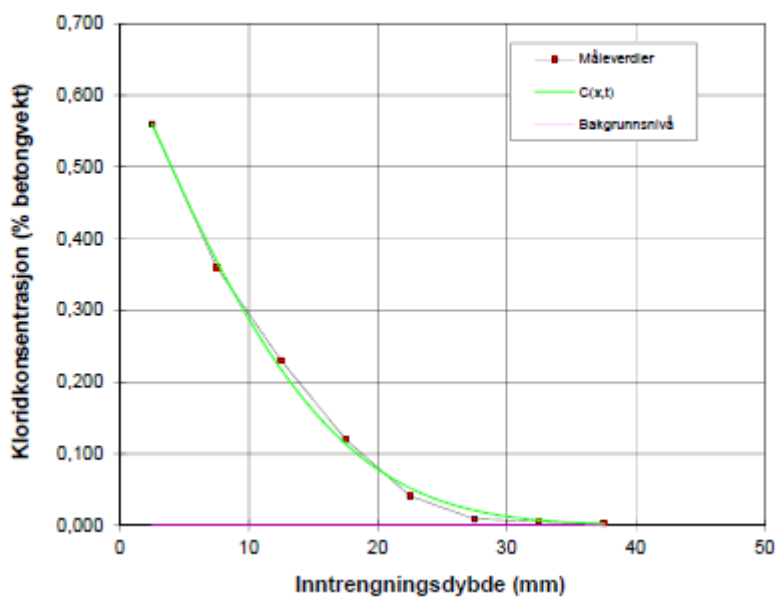
x	målt	status
2,5	0,600	ok
7,5	0,220	ok
12,5	0,105	ok
17,5	0,068	ok
22,5	0,022	ok
27,5	0,009	ok
32,5	0,005	ok
37,5	0,000	ok



Beregning av C_0 og D Prosjekt: Masteroppgave 2015, Phong Vo Profil NB3 C © 2012-01-09 ss

Ekspontert tid	1104	timer
Bakgrunn	0,000	% betong
C_0	0,661	% betong
D	20,63	10^{-12} m ² /s
R^2	0,9991	
Inntrengning	192,6	g/m ²
k (0.1 %)	51,8	mm

x	målt	status
2,5	0,560	ok
7,5	0,360	ok
12,5	0,230	ok
17,5	0,120	ok
22,5	0,041	ok
27,5	0,009	ok
32,5	0,006	ok
37,5	0,003	ok



Bestandighetsanalyse

Levetid H1 betong

Levetid: H1 40mm overdekning - 18 år

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

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

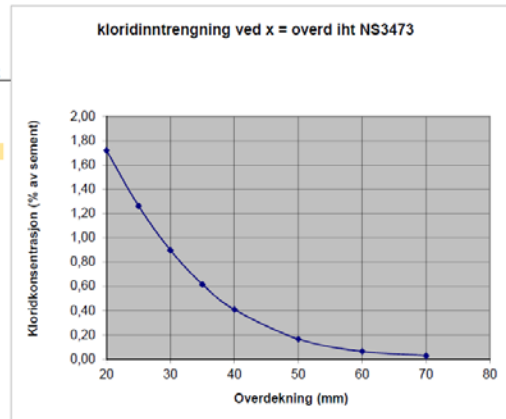
sement: 492 kg/m³ Betongdensitet: 2339 kg/m³
 C_s(m-%Cl) 0,897 (m-% av betong)= 21,0 (kg/m³) = 4,26 % av sement

startkons c _i m-% betong	overfl.kons c _s m-% betong	overd. NS3473 (tab15.b XD, XS) (mm)	diffusivitet D (m ² /s)	tid t (år)	z	erf(z)	c(x,t) m-%	c beregnet % av sement
0,003	0,897	20	4,99E-13	18	0,594	0,5991	0,36	1,72
		25			0,742	0,7063	0,27	1,26
		30			0,891	0,7923	0,19	0,90
		35			1,039	0,8584	0,13	0,62
		40			1,188	0,9070	0,09	0,41
		50			1,485	0,9643	0,03	0,17
		60			1,782	0,9883	0,01	0,06
		70			2,079	0,9967	0,01	0,03

Tools - addins - hak av Analysis ToolPak

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

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



Dag	Dref	tref	Aging factor alpha	t1	t2	Ar
4,994E-13	4,40E-12	3974400	0,6	2419200	567648000	18

Levetid: H1 50mm overdekning - 49 år

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

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

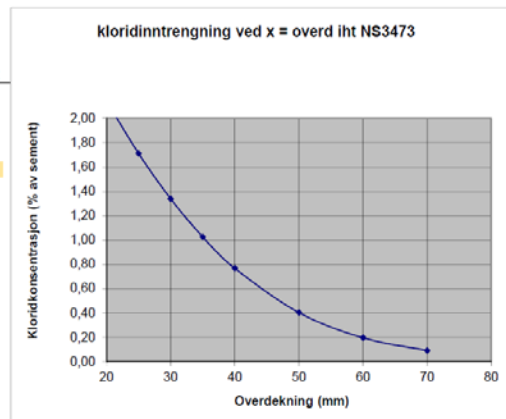
sement: 492 kg/m³ Betongdensitet: 2339 kg/m³
 C_s(m-%Cl) 0,897 (m-% av betong)= 21,0 (kg/m³) = 4,26 % av sement

startkons c _i m-% betong	overfl.kons c _s m-% betong	overd. NS3473 (tab15.b XD, XS) (mm)	diffusivitet D (m ² /s)	tid t (år)	z	erf(z)	c(x,t) m-%	c beregnet % av sement
0,003	0,897	20	2,85E-13	49	0,477	0,5000	0,45	2,14
		25			0,596	0,6008	0,36	1,71
		30			0,715	0,6883	0,28	1,34
		35			0,835	0,7621	0,22	1,03
		40			0,954	0,8226	0,16	0,77
		50			1,192	0,9082	0,09	0,40
		60			1,431	0,9570	0,04	0,20
		70			1,669	0,9818	0,02	0,09

Tools - addins - hak av Analysis ToolPak

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

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



Dag	Dref	tref	Aging factor alpha	t1	t2	Ar
2,8454E-13	4,40E-12	3974400	0,6	2419200	1545264000	49

Levetid H2 betong

Levetid: H2 40mm overdekning - 81 år

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

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

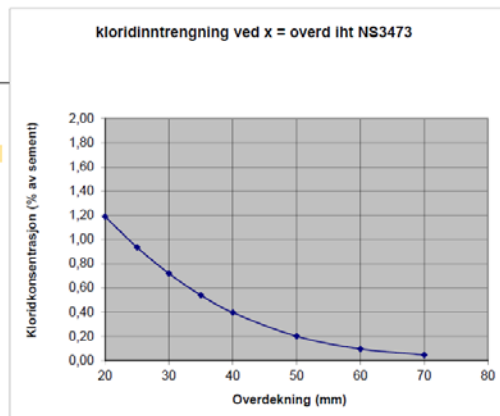
sement: 487 kg/m³ Betongdensitet: 2400 kg/m³
 C_s(m-%Cl) 0,502 (m-% av betong)= 12,0 (kg/m³) = 2,47 % av sement

startkons	overfl.kons	overd. NS3473	diffusivitet	tid	z	erf(z)	c(x,t)	c beregnet
c _i	c _s	(tab 15.b XD, XS)	D	t			m-%	% av sement
m-% betong	m-% betong	(mm)	(m ² /s)	(år)				
0,003	0,502	20	1,55E-13	81	0,502	0,5224	0,24	1,19
		25			0,628	0,6253	0,19	0,94
		30			0,753	0,7132	0,15	0,72
		35			0,879	0,7861	0,11	0,54
		40			1,004	0,8445	0,08	0,40
		50			1,255	0,9242	0,04	0,20
		60			1,506	0,9609	0,02	0,10
		70			1,758	0,9871	0,01	0,05

Tools - addins - hak av Analysis ToolPak

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

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



Dagv	Dref	tref	Aging factor alpha	t1	t2	Ar
1,5524E-13	3,20E-12	3974400	0,6	2419200	2554416000	81

Levetid: H2 50mm overdekning - 235 år

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

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

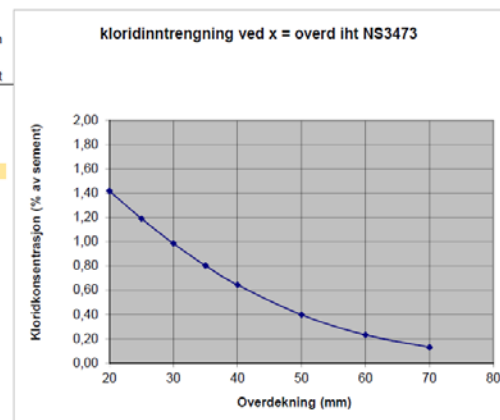
sement: 487 kg/m³ Betongdensitet: 2400 kg/m³
 C_s(m-%Cl) 0,502 (m-% av betong)= 12,0 (kg/m³) = 2,47 % av sement

startkons	overfl.kons	overd. NS3473	diffusivitet	tid	z	erf(z)	c(x,t)	c beregnet
c _i	c _s	(tab 15.b XD, XS)	D	t			m-%	% av sement
m-% betong	m-% betong	(mm)	(m ² /s)	(år)				
0,003	0,502	20	8,38E-14	235	0,401	0,4297	0,29	1,42
		25			0,502	0,5220	0,24	1,19
		30			0,602	0,6055	0,20	0,98
		35			0,702	0,6795	0,16	0,80
		40			0,803	0,7437	0,13	0,64
		50			1,003	0,8441	0,08	0,40
		60			1,204	0,9114	0,05	0,23
		70			1,405	0,9531	0,03	0,13

Tools - addins - hak av Analysis ToolPak

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

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



Dagv	Dref	tref	Aging factor alpha	t1	t2	Ar
8,3752E-14	3,20E-12	3974400	0,6	2419200	7410960000	235

Levetid H3 betong

Levetid: H3 40mm overdekning - 26 år

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

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

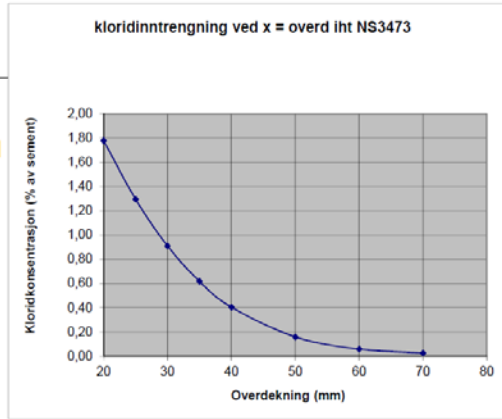
sement: 497 kg/m³ Betongdensitet: 2368 kg/m³
 C_s(m-%CI) 0,947 (m-% av betong)= 22,4 (kg/m³) = 4,51 % av sement

startkons c _i m-% betong	overfl.kons c _s m-% betong	overd. NS3473 (tab15.b XD, XS) (mm)	diffusivitet D (m ² /s)	tid t (år)	z	erf(z)	kloridkonsentrasjon c(x,t) m-%	c beregnet % av sement
0,003	0,947	20	3,33E-13	26	0,605	0,6080	0,37	1,78
		25			0,757	0,7153	0,27	1,29
		30			0,908	0,8008	0,19	0,91
		35			1,059	0,8658	0,13	0,62
		40			1,210	0,9131	0,09	0,41
		50			1,513	0,9676	0,03	0,16
		60			1,816	0,9898	0,01	0,06
		70			2,118	0,9973	0,01	0,03

Tools - addins - hak av Analysis ToolPak

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

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



Dagv	Dref	tref	Aging factor alpha	t1	t2	År
3,3295E-13	3,60E-12	3974400	0,6	2419200	819936000	26

Levetid: H3 50mm overdekning - 72 år

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

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

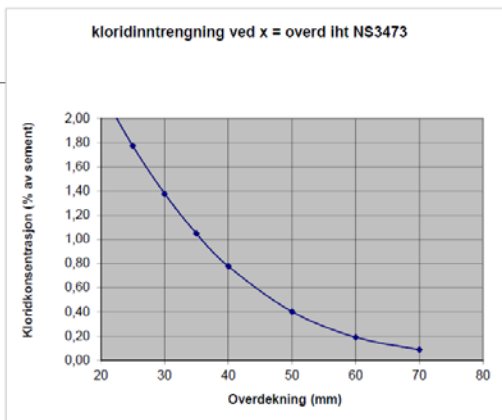
sement: 497 kg/m³ Betongdensitet: 2368 kg/m³
 C_s(m-%CI) 0,947 (m-% av betong)= 22,4 (kg/m³) = 4,51 % av sement

startkons c _i m-% betong	overfl.kons c _s m-% betong	overd. NS3473 (tab15.b XD, XS) (mm)	diffusivitet D (m ² /s)	tid t (år)	z	erf(z)	kloridkonsentrasjon c(x,t) m-%	c beregnet % av sement
0,003	0,947	20	1,87E-13	72	0,485	0,5076	0,47	2,23
		25			0,607	0,6092	0,37	1,77
		30			0,728	0,6969	0,29	1,38
		35			0,850	0,7704	0,22	1,05
		40			0,971	0,8303	0,16	0,78
		50			1,214	0,9139	0,08	0,40
		60			1,456	0,9606	0,04	0,19
		70			1,699	0,9837	0,02	0,09

Tools - addins - hak av Analysis ToolPak

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

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



Dagv	Dref	tref	Aging factor alpha	t1	t2	År
1,8687E-13	3,60E-12	3974400	0,6	2419200	2270592000	72

Levetid NB1 betong

Levetid: NB1 40mm overdekning - 2 år

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

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

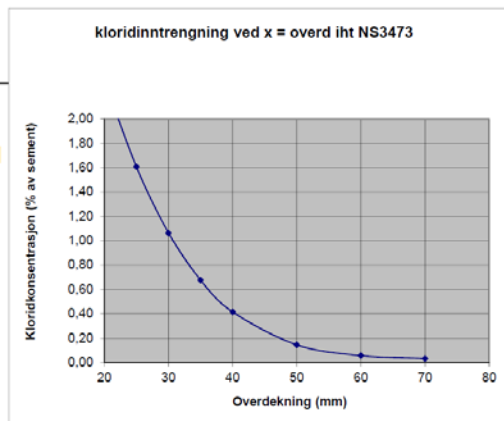
sement: 276 kg/m³ Betongdensitet: 2356 kg/m³
 C_s(m-%CI) 0,786 (m-% av betong)= 18,5 (kg/m³) = 6,71 % av sement

startkons c _i	overfl.kons c _s	overd. NS3473 (tab15.b XD, XS) (mm)	diffusivitet D (m ² /s)	tid t (år)	z	erf(z)	c(x,t) m-%	Kloridkonsentrasjon c beregnet % av sement
0,003	0,786	20	4,42E-12	2	0,669	0,6562	0,27	2,32
		25			0,837	0,7634	0,19	1,61
		30			1,004	0,8444	0,12	1,07
		35			1,172	0,9024	0,08	0,68
		40			1,339	0,9417	0,05	0,42
		50			1,674	0,9821	0,02	0,15
		60			2,008	0,9955	0,01	0,06
		70			2,343	0,9991	0,00	0,03

Tools - addins - hak av Analysis ToolPak

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

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



Dagv	Dref	tref	Aging factor alpha	t1	t2	Ar
4,4221E-12	1,10E-11	3974400	0,6	2419200	50457600	2

Levetid: NB1 50mm overdekning - 4 år

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

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

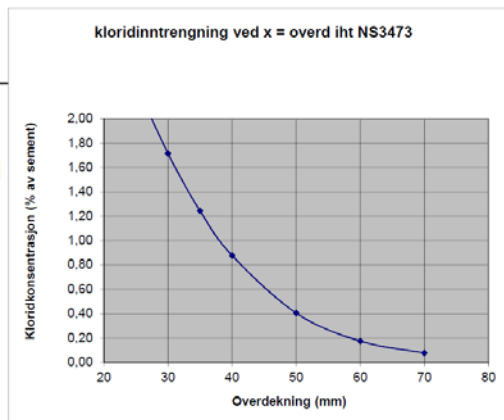
sement: 276 kg/m³ Betongdensitet: 2356 kg/m³
 C_s(m-%CI) 0,786 (m-% av betong)= 18,5 (kg/m³) = 6,71 % av sement

startkons c _i	overfl.kons c _s	overd. NS3473 (tab15.b XD, XS) (mm)	diffusivitet D (m ² /s)	tid t (år)	z	erf(z)	c(x,t) m-%	Kloridkonsentrasjon c beregnet % av sement
0,003	0,786	20	2,87E-12	4	0,539	0,5541	0,35	3,01
		25			0,674	0,6593	0,27	2,30
		30			0,808	0,7471	0,20	1,72
		35			0,943	0,8178	0,15	1,24
		40			1,078	0,8726	0,10	0,88
		50			1,347	0,9433	0,05	0,40
		60			1,617	0,9778	0,02	0,17
		70			1,886	0,9924	0,01	0,08

Tools - addins - hak av Analysis ToolPak

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

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



Dagv	Dref	tref	Aging factor alpha	t1	t2	Ar
2,8728E-12	1,10E-11	3974400	0,6	2419200	119836800	4

Levetid NB2 betong

Levetid: NB2 40mm overdekning - 7 år

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

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

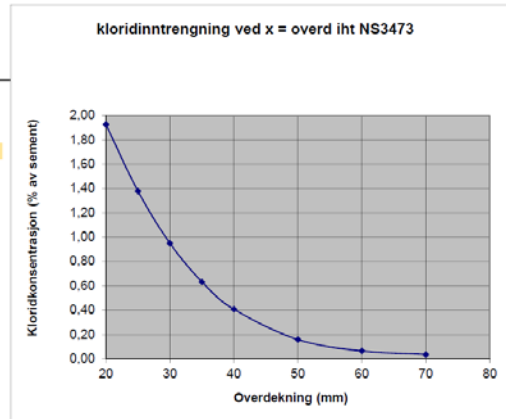
sement: 275 kg/m³ Betongdensitet: 2343 kg/m³
 C_s(m-%Cl) 0,601 (m-% av betong)= 14,1 (kg/m³) = 5,12 % av sement

startkons c _i	overfl.kons c _s	overd. (tab15.b XD, XS)	diffusivitet D (m ² /s)	tid t (år)	z	erf(z)	c(x,t) m-%	c beregnet % av sement
0,003	0,601	20	1,17E-12	7	0,630	0,6271	0,23	1,93
		25			0,788	0,7346	0,16	1,38
		30			0,945	0,8186	0,11	0,95
		35			1,103	0,8811	0,07	0,63
		40			1,260	0,9252	0,05	0,41
		50			1,575	0,9741	0,02	0,16
		60			1,890	0,9925	0,01	0,06
		70			2,205	0,9982	0,00	0,03

Tools - addins - hak av Analysis ToolPak

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

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



Dagv	Dref	tref	Aging factor alpha	t1	t2	Ar
1,1748E-12	6,10E-12	3974400	0,6	2419200	214444800	7

Levetid: NB2 50mm overdekning - 18 år

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

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

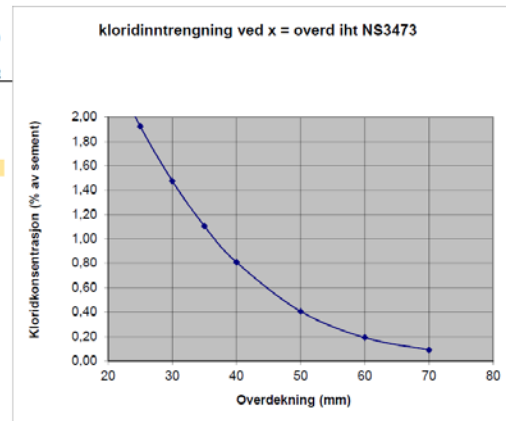
sement: 275 kg/m³ Betongdensitet: 2343 kg/m³
 C_s(m-%Cl) 0,601 (m-% av betong)= 14,1 (kg/m³) = 5,12 % av sement

startkons c _i	overfl.kons c _s	overd. (tab15.b XD, XS)	diffusivitet D (m ² /s)	tid t (år)	z	erf(z)	c(x,t) m-%	c beregnet % av sement
0,003	0,601	20	6,92E-13	18	0,604	0,5244	0,29	2,45
		25			0,631	0,6275	0,23	1,92
		30			0,757	0,7154	0,17	1,48
		35			0,883	0,7881	0,13	1,11
		40			1,009	0,8463	0,09	0,81
		50			1,261	0,9255	0,05	0,41
		60			1,513	0,9677	0,02	0,19
		70			1,765	0,9875	0,01	0,09

Tools - addins - hak av Analysis ToolPak

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

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



Dagv	Dref	tref	Aging factor alpha	t1	t2	Ar
6,9234E-13	6,10E-12	3974400	0,6	2419200	567648000	18

Levetid NB3 betong

Levetid: NB3 40mm overdekning - 3 år

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

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

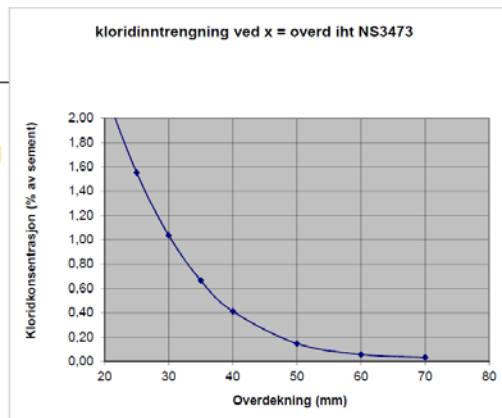
sement: 279 kg/m³ Betongdensitet: 2378 kg/m³
 C_s(m-%Cl) 0,743 (m-% av betong)= 17,7 (kg/m³) = 6,33 % av sement

startkons c _i	overfl.kons c _s	overd. NS3473 (tab 15.b XD, XS) (mm)	diffusivitet D (m ² /s)	tid t (år)	z	erf(z)	c(x,t) m-%	kloridkonsentrasjon c beregnet % av sement
0,003	0,743	20	2,13E-12	3	0,662	0,6508	0,26	2,23
		25			0,827	0,7580	0,18	1,55
		30			0,993	0,8397	0,12	1,04
		35			1,158	0,8986	0,08	0,67
		40			1,324	0,9388	0,05	0,41
		50			1,655	0,9807	0,02	0,15
		60			1,986	0,9950	0,01	0,06
		70			2,317	0,9989	0,00	0,03

Tools - addins - hak av Analysis ToolPak

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

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



Davg	Dref	tref	Aging factor alpha	t1	t2	Ar
2,1288E-12	7,70E-12	3974400	0,6	2419200	107222400	3

Levetid: NB3 50mm overdekning - 9 år

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

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

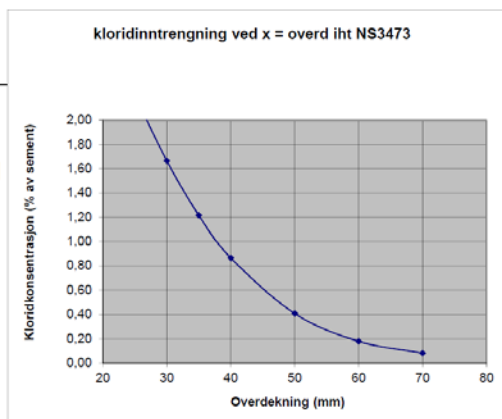
sement: 279 kg/m³ Betongdensitet: 2378 kg/m³
 C_s(m-%Cl) 0,743 (m-% av betong)= 17,7 (kg/m³) = 6,33 % av sement

startkons c _i	overfl.kons c _s	overd. NS3473 (tab 15.b XD, XS) (mm)	diffusivitet D (m ² /s)	tid t (år)	z	erf(z)	c(x,t) m-%	kloridkonsentrasjon c beregnet % av sement
0,003	0,743	20	1,31E-12	9	0,631	0,5473	0,34	2,88
		25			0,664	0,6521	0,26	2,22
		30			0,796	0,7400	0,20	1,67
		35			0,929	0,8112	0,14	1,22
		40			1,062	0,8668	0,10	0,87
		50			1,327	0,9395	0,05	0,41
		60			1,593	0,9757	0,02	0,18
		70			1,858	0,9914	0,01	0,08

Tools - addins - hak av Analysis ToolPak

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

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



Davg	Dref	tref	Aging factor alpha	t1	t2	Ar
1,308E-12	7,70E-12	3974400	0,6	2419200	271209600	9

Levetid H2 betong ved ny overflatekonsentrasjon

Ny overflatekonsentrasjon: Levetid H2 40mm overdekning - 34 år

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

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

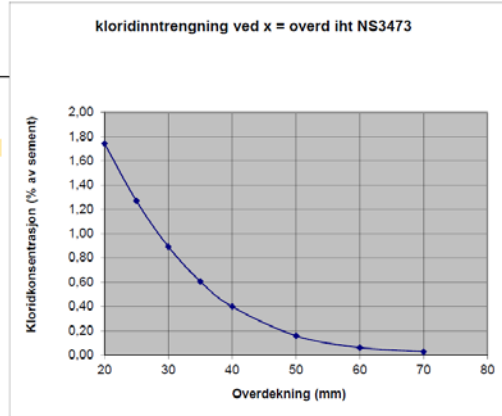
sement: 487 kg/m³ Betongdensitet: 2400 kg/m³
 C_s(m-%Cl) 0,897 (m-% av betong)= 21,5 (kg/m³) = 4,42 % av sement

startkons c _i	overfl. kons c _s	overd. NS3473 (tab15.b XD, XS) (mm)	diffusivitet D (m ² /s)	tid t (år)	z	erf(z)	kloridkonsentrasjon c(x,t) m-%	c beregnet % av sement
0,003	0,897	20	2,55E-13	34	0,605	0,6080	0,35	1,74
		25			0,757	0,7154	0,26	1,27
		30			0,908	0,8009	0,18	0,89
		35			1,059	0,8659	0,12	0,61
		40			1,211	0,9131	0,08	0,40
		50			1,513	0,9677	0,03	0,16
		60			1,816	0,9898	0,01	0,06
		70			2,119	0,9973	0,01	0,03

Tools - addins - hak av Analysis ToolPak

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

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



Dagv	Dref	tref	Aging factor alpha	t1	t2	År
2,5454E-13	3,20E-12	3974400	0,6	2419200	1072224000	34

Ny overflatekonsentrasjon: Levetid H2 50mm overdekning - 97 år

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

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

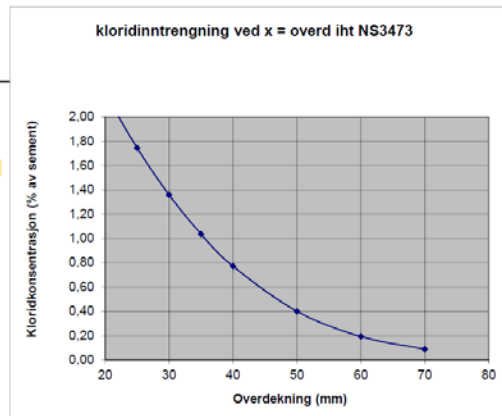
sement: 487 kg/m³ Betongdensitet: 2400 kg/m³
 C_s(m-%Cl) 0,897 (m-% av betong)= 21,5 (kg/m³) = 4,42 % av sement

startkons c _i	overfl. kons c _s	overd. NS3473 (tab15.b XD, XS) (mm)	diffusivitet D (m ² /s)	tid t (år)	z	erf(z)	kloridkonsentrasjon c(x,t) m-%	c beregnet % av sement
0,003	0,897	20	1,40E-13	97	0,483	0,5057	0,44	2,19
		25			0,604	0,6071	0,35	1,75
		30			0,725	0,6948	0,28	1,36
		35			0,846	0,7684	0,21	1,04
		40			0,967	0,8284	0,16	0,77
		50			1,208	0,9125	0,08	0,40
		60			1,450	0,9597	0,04	0,19
		70			1,692	0,9833	0,02	0,09

Tools - addins - hak av Analysis ToolPak

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

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



Dagv	Dref	tref	Aging factor alpha	t1	t2	År
1,3994E-13	3,20E-12	3974400	0,6	2419200	3058992000	97

Levetid H3 betong ved ny overflatekonsentrasjon

Ny overflatekonsentrasjon: Levetid H3 40mm overdekning - 27 år

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

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

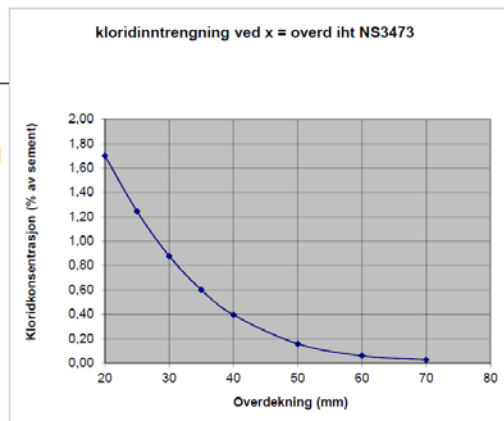
sement: 497 kg/m³ Betongdensitet: 2368 kg/m³
 C_s(m-%Cl) 0,897 (m-% av betong)= 21,2 (kg/m²) = 4,27 % av sement

startkons	overfl.kons	overd. NS3473	diffusivitet	tid	z	erf(z)	kloridkonsentrasjon	c beregnet
c _i	c _s	(tab15.b XD, XS)	D	t			c(x,t)	
m-% betong	m-% betong	(mm)	(m ² /s)	(år)			m-%	% av sement
0,003	0,897	20	3,26E-13	27	0,600	0,6040	0,36	1,70
		25			0,750	0,7113	0,26	1,24
		30			0,900	0,7971	0,18	0,88
		35			1,050	0,8626	0,13	0,60
		40			1,200	0,9104	0,08	0,40
		50			1,501	0,9662	0,03	0,16
		60			1,801	0,9891	0,01	0,06
		70			2,101	0,9970	0,01	0,03

Tools - addins - hak av Analysis ToolPak

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

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



Dagv	Dref	tref	Aging factor alpha	t1	t2	År
3,2599E-13	3,60E-12	3974400	0,6	2419200	851472000	27

Ny overflatekonsentrasjon: Levetid H3 50mm overdekning - 76 år

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

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

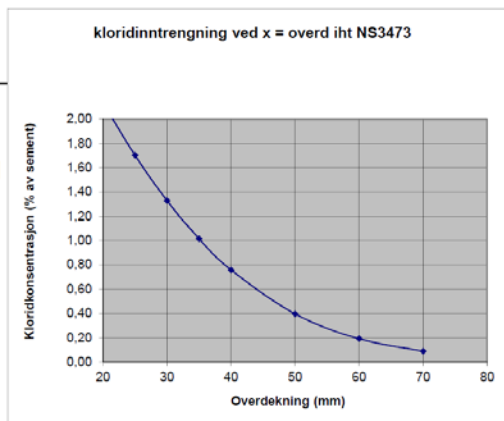
sement: 497 kg/m³ Betongdensitet: 2368 kg/m³
 C_s(m-%Cl) 0,897 (m-% av betong)= 21,2 (kg/m²) = 4,27 % av sement

startkons	overfl.kons	overd. NS3473	diffusivitet	tid	z	erf(z)	kloridkonsentrasjon	c beregnet
c _i	c _s	(tab15.b XD, XS)	D	t			c(x,t)	
m-% betong	m-% betong	(mm)	(m ² /s)	(år)			m-%	% av sement
0,003	0,897	20	1,81E-13	76	0,480	0,5027	0,45	2,13
		25			0,600	0,6038	0,36	1,70
		30			0,720	0,6913	0,28	1,33
		35			0,840	0,7651	0,21	1,02
		40			0,960	0,8253	0,16	0,76
		50			1,200	0,9103	0,08	0,40
		60			1,440	0,9583	0,04	0,19
		70			1,680	0,9825	0,02	0,09

Tools - addins - hak av Analysis ToolPak

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

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

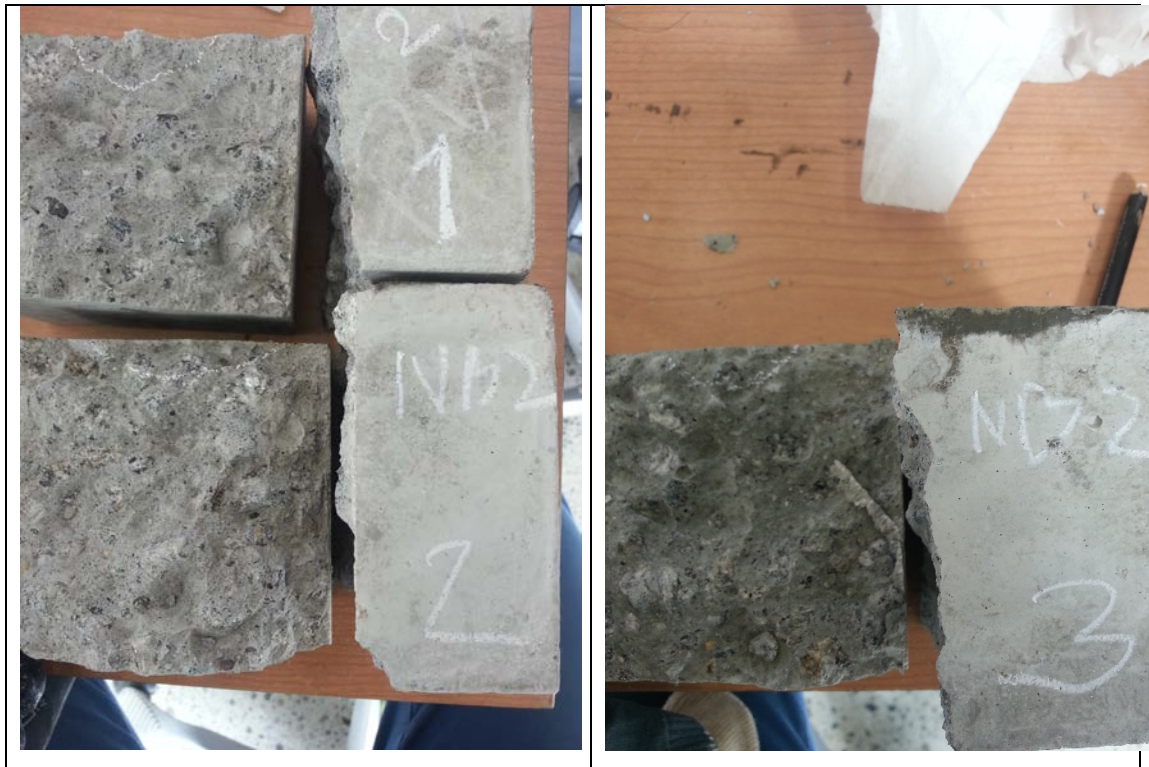


Dagv	Dref	tref	Aging factor alpha	t1	t2	År
1,8116E-13	3,60E-12	3974400	0,6	2419200	2396736000	76

Vanninntrengningsprøven







	NB1			NB2			NB3		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	0,4	0,7	0,3	0,3	0,2	0,4	0,5	0,4	0,5
2	1,1	1,3	1,0	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7	1,0
3	1,6	2,0	1,6	1,1	0,9	1,1	1,0	1,2	1,7
4	2,1	2,2	1,8	1,3	1,2	1,2	1,3	1,8	1,8
5	2,1	2,3	1,9	1,7	1,3	1,5	1,5	2,2	1,6
6	2,1	2,0	2,0	1,9	1,4	1,2	1,5	2,1	1,3
7	1,9	1,7	2,1	1,4	1,0	1,0	1,4	1,7	1,1
8	1,7	1,5	1,5	1,1	0,8	0,7	1,1	1,5	1,0
9	1,3	1,0	0,8	0,8	0,5	0,4	0,7	1,1	0,8
10	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,7	0,4
Gjen.snitt cm	1,5	1,52	1,34	1,07	0,83	0,84	1,01	1,34	1,12

Gjennomsnitt av prøver

Betongblanding	Inntrengsfront (mm)
NB1	15
NB2	9
NB3	12

Vedlegg D

Penetron admix

ISO 9001 ISO 14001   

Penetron 2014 KOMPENDIUM PAL-PAS Betongtillsatser



PENETRON® Produkter & Metodsistem

BETONGTILLSATS

Penetron® PAL18 Penetron® PAS

PENETRON® FUNKTIONSBESKRIVNING 2014#1

SW2014#PAL18 Vätska Produktinformation
SW2014#PAS Pulver Produktinformation

Penetron® Teknisk Information:
SW2014#E1 & E2 Skydd av exponerad betong
SW2014#T01 Vattenstopp & alkali-pH-stabilisering av betong
SW2014#T10 Betongskydd och Reduktion av Permeabilitet
SW2014#T11 Betongskydd och Stopp för armeringskorrosion
SW2014#T12 Betongskydd Resistenstabeller

Penetron® ACADEMY

KOMPENDIUM

PENETRON® Generalagent & Distributör i Danmark, Finland, Norge, Sverige
Pen-Tec Nordic AB
Höregatan 9, SE-571 34 NÄSSJÖ
+46 380 555 790 info@pen-tec.se www.penetron.se



ISO 9001 ISO 14001

FUNKTIONSBESKRIVNING

2014#1

Penetron® kristalliserande vattentätning av betong och betongskydd

Penetron® Metodsistem

Basprodukter:

Penetron® PAL18	Betongtillsats Vätska
Penetron® PAS	Betongtillsats Pulver
Penetron® Slamma	Pulver för efterbehandling, vattentätning och eller skydd av gamla eller nya betongkonstruktioner

Metodprodukter:

Penecrete® MORTAR	Spackelmasa för utfyllnad av håligheter, ojämnheter
Peneplug®	Snabbhårdnande pluggmasa för stopp av vattenläckage med tryck

Betong som gjuts med Penetron® PAL18 eller PAS Betongtillsats eller
Betong som efterbehandlas med Penetron® Slamma + Metodprodukter
ger betongen samma vattentätande och skyddande egenskaper

Teknisk information:	SW2014#T01 Vattentätar betong
	SW2014#T10 Permeabilitetsreducerande och därmed skyddande funktion
	SW2014#T11 Skydd mot aggressiv kemi, skydd mot armeringskorrosion

Tätning av en läckande betongkonstruktion med Penetron® Slamma + Metodprodukter

Penetron® kan appliceras på åtkomlig sida av en betongkonstruktion, d.v.s. på positiv (= trycksida) eller negativ sida av en betongkonstruktion som är exponerad för vatten, vattentryck.

Penetron® tätar med hjälp av betongens eget vatten och läckagevattnet, det vill säga det vatten som är på väg igenom betongens sprickor och kapillärer.

Penetrans aktiva del är en katalysator som vid kontakt med betongens kalcium, salter och vatten startar en osmotisk kristallbyggande och tätande fysisk process inne i betongens sprickor (mindre än 0,4 mm), porer och kapillärer.

Penetrontätningen vandrar genom hela betongtjockleken, med eller mot vatteninträngningen och gör betongen vatten- & vätsketät. När betongen är tät och torr så avstannar kristallbildningen i brist på vatten och blir vilande. Om nya vattenförande sprickor uppstår så självtätar Penetron® dessa sprickor <0,4 mm upprepande i betongens egen livstid.

I kristalltättningsprocessen avgår vatten ur betongen som vattenånga. Eventuella vattenlösliga salter, humussubstanser, alkali eller järnoxider (rost) inne i betongen följer vattenvandringen mot betongytan. Olikfärgade kristallutfällningar kan uppstå på ytan när vattnet avdunstar.

Penetron® gör betongen beständigt vatten- & vätsketät men fortsatt beständigt diffusionsöppen.

OBSERVERA!

Tättningsprocessen, från behandling till färdig tät betong, varierar från några dygn till någon månad. Processen påverkas av betongkvalitet, betongtemperatur, lufttemperatur och RF, Relativ Fuktighet i omgivande luft. Under processen kan avgående processvatten bilda ytliga svagt fuktmörka partier på Penetronbehandlade delar. Detta är en bekräftelse på pågående tättningsprocess. Betongytan ljusnar efter hand samtidigt som eventuella kristallutfällningar avstannar och upphör.

Penetronprodukter är giftfria, redovisade och bedömda i BASTA & BYGGVARUBEDÖMNINGEN och Sunda Hus. Penetron® Produkter och Metodsistem är miljökonsekvensbedömda och godkända som betongtillsats och för behandling av betongdelar och konstruktioner ovan och under jord.

Kompletterande information och SDS – Säkerhetsdatablad finns tillgängliga.

PENETRON® Generalagent & Distributör i Danmark, Finland, Norge, Sverige

Pen-Tec Nordic AB

Höregatan 9, SE-571 34 NÄSSJÖ

+46 380 555 790 info@pen-tec.se www.penetron.se

ISO 9001
ISO 14001PRODUKTINFORMATION PENETRON®
BETONGTILLSATS SW2014#PAL18

Sida 1 av 1

PENETRON® PAL18 PENETRON® ADMIX LIQUID VÄTSKETILLSATS VID BETONGBLANDNING



PENETRON® PAL18 kristalliserande tillsats gör betongen vattentät och repeterande vattentätande av eventuella nya sprickläckage <0,4 mm i betongens egen livstid.

Förhindrar vatten- & vätskeinträngning i betongen. Stabiliserar, förebygger och skyddar effektivt mot armeringskorrosion.

Skyddar betongen mot aggressiv nedbrytande påverkan förorsakad av kontaminerat avloppsvatten, processvatten, aggressivt grundvatten, havsvatten, tösalt, karbonater, klorider, sulfater, nitriter m.m. vid konstant belastning inom pH3 – pH11 området.

Se PENETRON® PAL/PAS BETONGTILLSATS, Teknisk Information SW2013#T-10

PENETRON® PAL18

SDB - SW2014#5 PENETRON® PAL18
BVD3 - PENETRON® PAL18 - 2014#2

PRODUKTBESKRIVNING: VÄTSKA

PENETRON® PAL18 innehåller Penetron® spricktätande kemi och vatten.

FÖRPACKNINGAR

1000 liter/1174 kg vätskeprodukt i IBC - returcontainer.
Alternativa förpackningar enligt överenskommelse.

LAGRING

Vid frostfri förvaring i obrutna förpackningar är produkten lagringsbeständig minst 12 månader efter tillverkningsdag.

DOSERING DOSERINGSANVISNING

Doseringsmängd beräknas i kilo
 $1,11 \text{ VIKT-\%} = 0,0111 \times \text{cementvikt i kilo}$

DENSITET TORRSUBSTANS

Relativ densitet 1,17 vid 20 grader C
Relativ torrsubstans 18,74% vid 20 grader C
1 kg PENETRON® PAL18 produkt innehåller 0,8126 kg vatten

INBLANDNINGSFÖRESKRIFTER:

PENETRON® PAL18

TILLSÄTTS TILLSAMMANS MED BLANDNINGSVATTEN

OBSERVERA!

Glöm inte ATT MINSKA BLANDNINGSVATTEN enligt betongrecept med den vattenmängd som tillsätts via PENETRON PAL18 enligt specifikation ovan.

PENETRON® PAL18

är giffritt, dricksvatten- & miljökonsekvensgodkänt

SDB Säkerhetsdatablad och BVD3 – BYGGVARUDEKLARATION för alla Penetronprodukter kan hämtas på www.penetron.se
PENETRON PAL/PAS, Teknisk INFO SW2013#T-10 kan beställas på telefon +46 380 555 790 eller på www.penetron.se



BASTA – registreringen innebär att vi kan styrka att denna byggvara uppfyller överenskomna egenskapskriterier avseende miljö- och hälsofarliga egenskaper. Se www.bastaonline.se

PENETRON® Generalagent & Distributör i Danmark, Finland, Norge, Sverige
Pen-Tec Nordic AB
Höregatan 9, SE-571 34 NÄSSJÖ
+46 380 555 790 info@pen-tec.se www.penetron.se



PENETRON® Betongtillsatser
TEKNISK INFORMATION SW2014#T-10

PENETRON® BETONGTILLSATSER

Sida 1 av 3

PENETRON® PAL18
PENETRON® PAS

PENETRON® Produkter och PENETRON® Metodsystem erbjuder motståndskraftiga, vattentäta och repeterande självtätande betongkonstruktioner

PENETRON® PAL & PAS vattentätande betongtillsatser erbjuder betong med kraftigt förbättrade egenskaper



Vätskors förmåga till att tränga igenom t.ex. betong kallas PERMEABILITET. Ju lägre mätvärde på betongens permeabilitet desto bättre tätande funktion.

PENETRON® PAL18/PAS är en permeabilitetsreducerande betongtillsats. Denna funktion bekräftas av svenska och internationella EU – certifierade betongprovningstinstitut. Reduktion av betongens permeabilitet innebär minskad risk för armeringskorrosion och frysskador samt minskad risk för ASR/AKR, alkali-kisel-reaktion.

PENETRON® PAL18/PAS ger betongen ökad motståndskraft mot kemiskt aggressiv nedbrytande påverkan och ökar skydd mot permeabilitet med upp till 70 %.

PENETRON® PAL18/PAS + FLYGASKA i kombination minskar betongens permeabilitet med ytterligare upp till 70 % i jämförelse med referensbetong med tillsats av enbart flygaska.

*/ Se SW2014#T-12 Penetron® Resistenstabeller

Generalagent för Penetron® i Danmark, Finland, Norge, Sverige

Pen-Tec Nordic Group

Pen-Tec Nordic AB

Höregatan 9, SE 57134 NÄSSJÖ

Telefon +46 380 555 790

www.penetron.se
info@pen-tec.se

PENETRON® Byggteknisk Support

janolof.tegnesjo@pen-tec.se

Mobil +46 70 405 9665



PENETRON® Betongtillsatser
TEKNISK INFORMATION



ISO 9001
ISO 14001

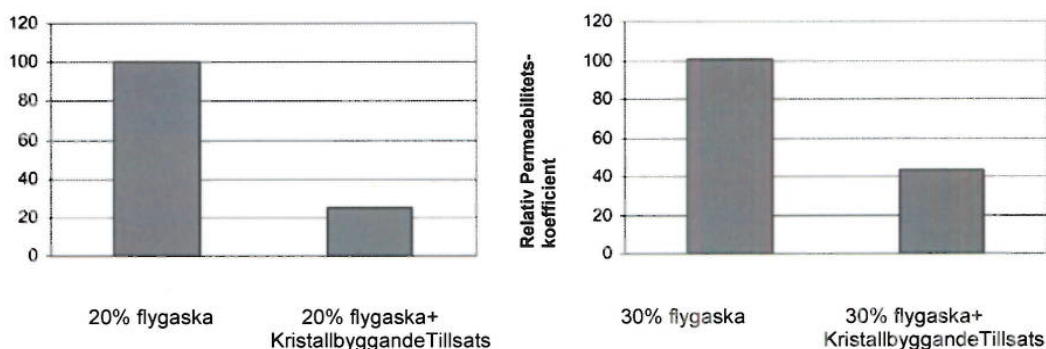
SW2014#T-10
Sida 2 av 3

ACI – AMERICAN CONCRETE INSTITUTE
är ett av världens mest respekterade oberoende betonginstitut.

I rapport ACI 212.3R-10 "CHEMICAL ADMIXTURES FOR CONCRETE" daterad november 2010, rekommenderar ACI kristallbyggande tillsatser för användning som "PRAH (Permeability Reducing Admixtures for concrete under permanent high hydrostatic pressure)" d.v.s. permeabilitetsreducerande tillsatser i betong med permanent exponering för höga vattentryck.

ACI rekommenderar kristallbyggande tillsatser också för ökad beständighet av betongkonstruktioner i aggressiv miljö.

Betong med 20–30 vikt-% tillsats av Flygaska
i jämförelse med
Betong med tillsats av 20-30 vikt-% Flygaska & Kristallbyggande tillsats

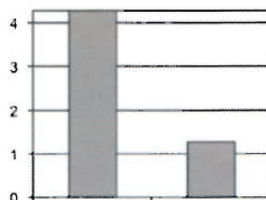


Reduktion av permeabilitet i betong med kristallbyggande tillsats i jämförelse med referensbetong utan tillsats

PERMEABILITETSKOEFFICIENT Enligt Darcy (Darcian) Referensbetong utan tillsats	PERMEABILITETSKOEFFICIENT Enligt Darcy (Darcian) Betong med kristallbyggande tillsats	Reduktion av Permeabilitet
$4,29 \times 10^{-14}$	$1,28 \times 10^{-14}$	70 %

Provnorm EN 12390-8. Provtryck 1,0 MPa. 96 timmar

DIAGRAM
Permeabilitets-
Koefficient $\times 10^{-14}$



Generalagent för Penetron® i Danmark, Finland, Norge, Sverige

Pen-Tec Nordic Group

Pen-Tec Nordic AB
Höregatan 9, SE 571 34 NÄSSJÖ
Telefon +46 380 555 790

www.penetron.se
info@pen-tec.se

PENETRON® Byggteknisk Support

janolof.tegnesjo@pen-tec.se
Mobil +46 70 405 9665

CBI/SP har provat:

PENETRON® Kristallbyggande Betongtillsats PENETRON® PAL/ PAS
 med avseende på skydd mot kloridinträngning/kloridmigration i betong.

Kloridmigrationsprovning enligt testnorm NT-Build 492

CBI/SP: Uppdragsnummer: PX 331A + FX 570

Provningar genomfördes i perioden 2010-april-07 till 2010-juli-26

med jämförande tester av: Betong C30-37 referens utan tillsats

Betong C30/37 med Penetron PAL20/PAS tillsats

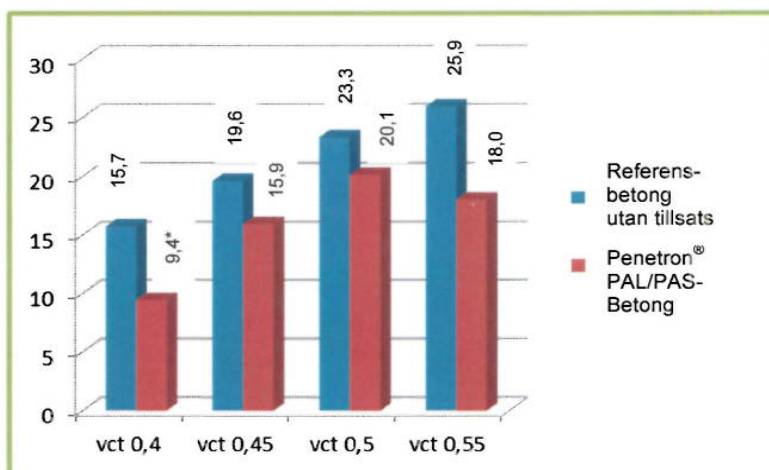
KLORIDMIGRATIONTESTER

genomfördes i 2 parallella provserier med varierade vatten/cementtal, vct 0,40 - 0,45 - 0,50 - 0,55

Sammanställning av provresultat

Medelvärde av DNTB492(x 10⁻¹² m²/s)

Lägre mätvärde visar på bättre motstånd mot kloridinträngning



VCT / VC / WC-ratio

Betongprover:

Referensbetong: C30/37 Byggcement vct 0,40 - 0,55

Penetron® PAL/PAS betong: C30/37 Byggcement vct 0,40 - 0,55

Ålder vid provstart:

Prover med vct 0,4 och 0,45 - 76 dygn (* 53 dygn)

Prover med vct 0,5 och 0,55 - 82 dygn

Slutsats - Kommentar:

Betong C30-37, vct 0,45 med Penetron® PAL/PAS motsvarar krav på kloridmigrationsmotstånd för referensbetong med vct 0,40

Betong C30-37, vct 0,55 med Penetron® tillsats motsvarar krav på kloridmigrationsmotstånd för referensbetong med vct 0,45

Generalagent för Penetron® i Danmark, Finland, Norge, Sverige

Pen-Tec Nordic Group

Pen-Tec Nordic AB

Höregatan 9, SE 571 34 NÄSSJÖ

Telefon +46 380 555 790

www.penetron.se

info@pen-tec.se

PENETRON® Byggteknisk Support

janolof.tegnesjo@pen-tec.se

Mobil +46 70 405 9665



PENETRON® BETONGSKYDD
TEKNISK INFORMATION SW2014#T-11

PENETRON® BETONGSKYDD



Påverkan av järnklorid på betong i vattenreningsanläggningar

BETONG

i bassänger och anläggningar för behandling, rening av dricksvatten, avloppsvatten, havsvatten, processvatten, kommunalt och industriellt avlopp, kulvertar, sedimenteringsbassänger m.m. är exponerade för aggressiv nedbrytande kemi, exempelvis saltlösningar med klorider, sulfater, karbonater, nitriter, nitrater...

BETONG i fodersilos, plansilos, produktionsanläggningar för metangas/biogas, grundgjutningar i aggressivt grundvatten är ofta exponerade för organiska syror och svavelföreningar, exempelvis vätesulfid/svavelväte (H_2S) och sulfater (SO_4).

Biologiska svavelväten som bildar sulfater vid oxidation är aggressiva kemiska föreningar som har nedbrytande påverkan på betong. Tillsammans med klorider och karbonater kan en accelererande armeringskorrosion på kort tid förstöra fungerande betongstrukturer.

Biologiska svavelväten kan vara naturligt förekommande i grundvatten och bildas bland annat vid mikrobiologisk nedbrytning av organiska ämnen.

Det skall påpekas att trots att svavelväte har korrosiv påverkan på betong och armering så är själva korrosiviteten ganska låg. Problemet skall hänföras till den nedbrytning i det organiska avfallet som aktiva mikrober genomför och som i denna process ombildar svavelväte till svavelsyra (H_2SO_4) och andra metaboliska substanser. Processen pågår i fuktig miljö. I samarbete med andra bakterier, svampar och mögel så accelererar bildandet av olika aggressiva organiska syror. En av dessa mikrober, Thiobacillus, är känd för sin förmåga att producera upp till 40 % -koncentration av svavelsyra.

SÅ SNART PROCESSEN ÄR IGÅNG, SÅ PÅVERKAR DESSA SVAVELFÖRENINGAR BETONG OCH STÅL PÅ OLIKA VIS:

- All betong innehåller tillgänglig kalk i form av kalciumhydroxid, kalciumaluminat. Svavel reagerar med denna kalk och bildar nya mineral, bl.a. ettringit och thaumasit. Dessa mineral kännetecknas av lägre densitet och hållfasthet än betong MEN MED STÖRRE VOLYM. Således uppstår svagare partier med ökande tryck inne i betongen vilket resulterar i sprickbildning och söndervittring. Efter hand resulterar processen i minskade täcksikt och friläggande av ballast och armering.
- Samtidigt påskyndar lösningar av klorider och andra salter betongens nedbrytning. Betongens egen höga alkalitet skapar normalt ett skyddande skikt omkring all armering. Så länge detta skikt är intakt är armeringen skyddad. Inträngande saltlösningar kan förstöra dessa skyddande skikt. Generellt kan sägas att lägre betongkvaliteter tillåter större inträngning också av korrosiva saltlösningar, exempelvis klorider.
- När dessa korrosiva lösningar väl har brutit igenom fram till armeringsjärnen så startar oxideringen – rostbildningen. Oxidation av stål är en kraftfull process som ökar stålets volym med upp till 2 gånger ursprunglig volym. Eftersom betongens draghållfasthet är låg så spricker den lätt. Efterhand tränger aggressiva salter allt djupare in i betongen och påskyndar rostbildningen och nedbrytningen av betongkonstruktionen.

1

Generalagent för Penetron® i Danmark, Finland, Norge, Sverige

Pen-Tec Nordic Group

Pen-Tec Nordic AB, Höregatan 9, SE-571 34 NÄSSJÖ
Telefon +46 380 555 790

www.penetron.se
info@pen-tec.se



PENETRON® BETONGSKYDD
TEKNISK INFORMATION SW2014#T-11

SÅ HÄR SKYDDAR PENETRON® BETONGKONSTRUKTIONER I FUKTIG OCH AGGRESSIV MILJÖ.

- Penetron® startar en osmotisk katalytisk kristallbildning inne i betongen. Beständiga kristallstrukturer bildas inne i betongens porer och kapillärer. Betongen blir vatten och vätsketät. PENETRON® använder bland annat betongens kalciumöverskott och berövar därigenom svavelföreningarna dess möjligheter till att bilda nedbrytande ettringit- och thaumasit inne i betongen.
- Penetron® åldras inte och behåller betongen tät och repeterande vattentätande om nya vattenförande sprickor uppstår i betongens egen livstid. Klorider och andra saltlösningar får stora svårigheter att tränga fram till betongens armering. PENETRON® skapar ett försvarsområde inne i betongen som i sin tur skyddar armeringens eget skyddande skikt.
- När Penetron® har gjort betongen tät så avstannar processen i brist på vatten och går in i ett vänteläge. Uppstår nya vattenledande sprickor startar processen på nytt fram till tät betong. Penetron® ger betongen repeterande självförseglande egenskaper och tätar sprickor < 0,4 mm i betongens egen livstid.

PENETRON® ökar betongens motståndskraft mot en lång rad aggressiva substanser i kontaminerat avloppsvatten, grundvatten, saltvatten, o.s.v.

Teknisk information finns i:

SW2014#T-10 Betong med Penetrantillsats

SW2014#T-12 Resistenstabell

SW2014#T-10 och SW2014#T-12 Penetron® kan beställas på telefon +46 380 555 790 eller på www.penetron.se

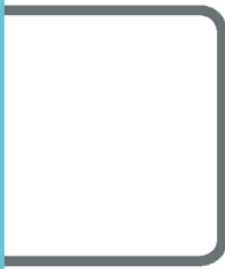


BASTA – registreringen innebär att vi kan styrka att denna byggvara uppfyller överenskomna egenskapskriterier avseende miljö- och hälsofarliga egenskaper. Se www.bastaonline.se

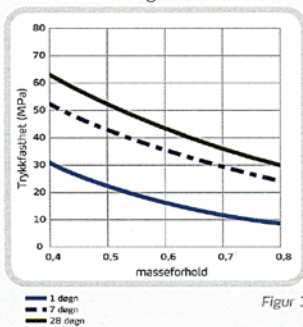
Sement

Standardsement





Fasthetsutvikling



Figur 1

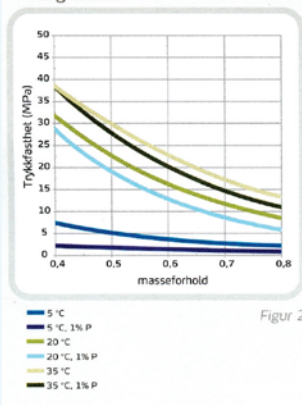
Fasthetsutvikling

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

Tidligfasthet

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

Tidligfasthet



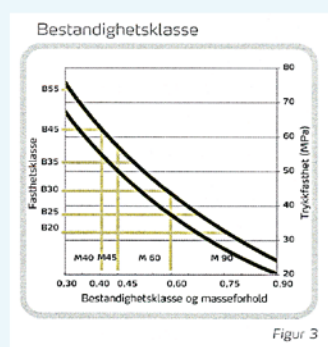
Figur 2

Fasthetsklasse - masseforhold

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

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

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



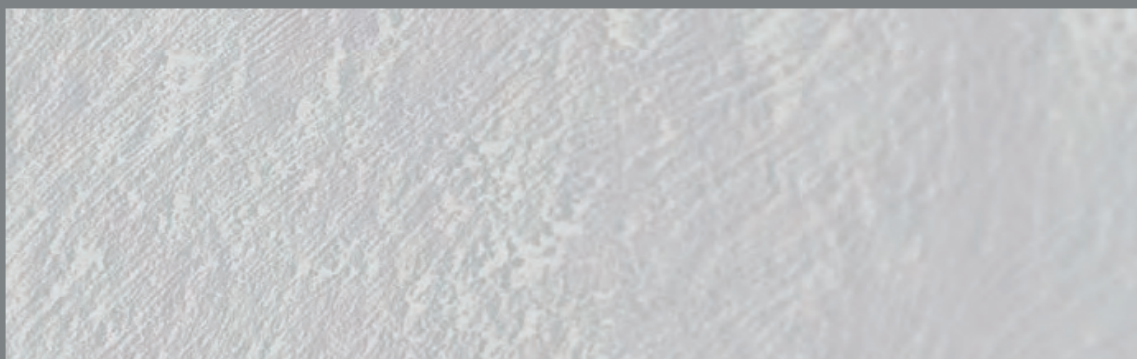
Bestandighetsklasse

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

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

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

* Minst 4% luft



Deklarerte data

Norcem Standardsement tilfredsstiller kravene til Portlandsement
EN 197-1-CEM I 42,5R

Kjemiske data		
Egenskap	Deklarerte data	Krav iflg NS-EN 197-1
Finhet (Blaine)	370 m ² /kg ⁱ⁾ / 380m ² /kg ⁱⁱ⁾	
Tri kalsiumaluminat C3A	7 %	
Alkali (ekv Na ₂ O, NB21)	1,3% ⁱ⁾ / 1,3% ⁱⁱ⁾	Deklarert verdi iht NB21
Minerale tilsetninger	4%	≤ 5%
Glødetap	2,5%	≤ 5%
Uløselig rest	1%	≤ 5%
Sulfat (SO ₃)	3-4%	≤ 4%
Klorid	< 0,085 %	≤ 0,1%
Vannløselig Cr ⁶⁺	< 2 ppm	≤ 2 ppm *)
Spesifikk vekt	3,15 kg/dm ³	

i) Brevik-produsert

ii) Høpsvik-produsert

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

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

i) Brevik-produsert

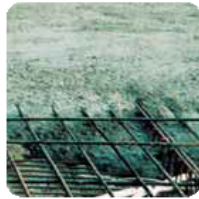
ii) Høpsvik-produsert



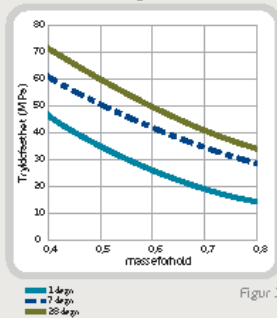
www.norcem.no

PRODUKTINFORMASJON
Industrisement





Fasthetsutvikling

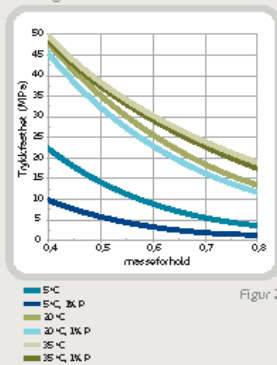


Figur 1

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



Figur 2

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

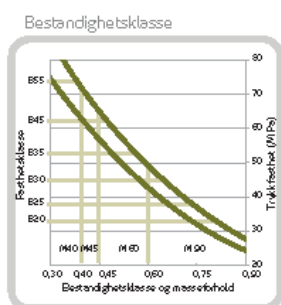
Med normal, god styring av betongproduksjonen er det behov for en overhøyde på ca. 7 MPa ved de ulike fasthetsklassene for å produsere med tilstrekkelig sikkerhet mot undermålere. Industrisement gir følgende retningsgivende verdier for største masseforhold i ulike fasthetsklasser for betong uten luftinnføring,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

INDUSTRISEMENT

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

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	*	*	*	*	*	*
XC1, XC2, XC3, XC4, XF1		*	*	*	*	*
XD1, XS1, XA1, XA2, XA4			*	*	*	*
XF2, XF3, XF4				*		*
XD2, XD3, XS2, XS3, XA3					*	*
XSA	Betongsammensetning og beskyttelsestiltak fastsettes særskilt. Betongsammensetningen skal minst tilfredsstille kravene til M40.					
Største masseforhold $v/(c+\Sigma k_p)$	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-CEMI 42,5 R og NS 3086-CEMI-42,5 RR

Kjemiske data

Egenskap	Deklarerte data	Krav ifølge 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 C ⁴⁺	< 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	≥ 40 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



www.norcem.no

Oppsett: rekla000 - 01.12

Silikastøv



Produktsikkerhetsinformasjon

1. Identifikasjon av produktet og ansvarlig firma

Produktnavn: **Elkem Microsilica** ®
 Synonymer: Amorf silisiumoksid, silisiumdioksidpulver, kondensert SiO₂-damp.
 Produktanvendelse: Sementbaserte systemer.
 Adresse/Telefon: **Elkem AS,
Silicon Materials**
 P.O.Box 8126 Vaagsbygd
 NO-4675 Kristiansand S., Norway
 Telephone: + 47 38 01 75 00
 Telefax: + 47 38 01 49 70
<http://www.materials.elkem.com>
 Kontaktperson: Bernd Friede, e-mail: bernd.friede@elkem.no
 REACH-reg.nr.: 01-2119486866-17-0000
 REACH-hjelp: http://www.klif.no/xform_40761.aspx
 CLP-hjelp: <http://www.klif.no/Tema/Kjemikalier/Klassifisering-og-merking-av-kjemikalier-CLP/Kontakt-CLP-hjelp/>
 Nummer til nødtelefon: + 47 22 59 13 00 (Giftinformasjonen)
 Tilgjengelig utenom kontortid: Døgnåpen telefon

2. Viktigste faremomenter

Fareklassifisering: Produktet oppfyller ikke kriteriene for fareklassifisering iht. Forskrift om klassifisering, merking mv. av farlige kjemikalier (MD, 2002-07-16 nr 1139) og Forordning (EF) 1272/2008 (CLP).
 Faresymbol/farepiktogram: Ingen
 Fareangivelse: Ingen
 Varselord: Ingen
 R-/H-setninger: Ingen
 S-/P-setninger: Ingen

3. Opplysninger om kjemisk sammensetning

	CAS nr.	EINECS nr.	% w/w
Silisiumdioksid (amorf)	69012-64-2	273-761-1	100

Produktet kan inneholde små mengder krystallinsk kvarts (< 0,5 %).
 Mengde respirabel krystallinsk silika (RKS) i produktet er under 0,1 %.

© COPYRIGHT ELKEM AS 2013

501/PSI/NOR
 Rev. 00, 2013-08-07

Side 1 av 4

4. Førstehjelpstiltak

Innånding: Fjern vedkommende person fra det støvete området. Frisk luft.
 Hudkontakt: Vask med såpe og vann.
 Øyekontakt: Skyll med vann/øyeskyllevæske. Kontakt lege ved vedvarende ubehag.
 Svelging: Ikke relevant.

5. Tiltak ved brannslukking

Produktet er ikke brennbart, og støvet medfører ingen fare for eksplosjon.

Slukningsmidler: Ikke relevant.

6. Tiltak ved utilsiktet utslipp

Unngå innånding av støv. Søl samles i egnede beholdere.

7. Håndtering og oppbevaring

Håndtering: Unngå arbeidsoperasjoner som medfører støving. Se seksjon 8.

Oppbevaring: Oppbevares adskilt fra flussyre (HF). Bør ikke lagres ved temperatur i nærheten av eller under 0°C.

8. Eksponeringskontroll og personlig verneutstyr**A. Yrkeshygienisk eksponeringskontroll**

Unngå innånding av støv. Sørg for god ventilasjon under bruk. Bruk CE-merket åndedrettsvern med støvfilter iht. NS-EN 149 FFP 2S/3S eller tilsvarende i områder med utilstrekkelig ventilasjon. Bruk vernehansker og øyevern. Vann/øyeskyllevæske må være tilgjengelig.



Forskrift om tiltaksverdier og grenseverdier § 5-1. Vedlegg 1: Grenseverdier og tiltaksverdier for forurensninger i arbeidsatmosfæren (2013):

Stoff	CAS-nr.	ppm	mg/m ³	Anm.
Amorf silisiumdioksid		-	1,5**	
α-kvarts	14808-60-7	-	0,3*/0,1**	K
Tridymitt	15468-32-3	-	0,15*/0,05**	K
Kristobalitt	14464-46-1	-	0,15*/0,05**	K

*Totalstøv
 **Respirabelt støv

Fortsetter neste side

B. Eksponeringskontroll (grenseverdi); ytre miljø

Grenseverdier for utendørs luft (FOR 2004-06-01 nr 931: Forskrift om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften)).

Svevestøv	Midlingstid	Grenseverdi	Dato for oppnåelse av grenseverdi
PM ₁₀ ★	1 døgn	50 µg/m ³	
PM ₁₀	Kalenderår	40 µg/m ³	
PM _{2,5}	Kalenderår	25 µg/m ³	1. januar 2015
PM _{2,5}	Kalenderår	20 µg/m ³	1. januar 2020

★ Døgnmiddelet må ikke overskrides mer enn 35 ganger per kalenderår.

9. Fysiske og kjemiske egenskaper

Utseende:	Ultrafint amorf pulver (respirabelt støv), danner agglomerater.
Farge:	Grått
Lukt:	Ingen
Smeltepunkt (°C):	1550-1570
Oppløselighet (vann):	Uløselig/tungt løselig
Oppløselighet (organiske løsemidler):	Uløselig/tungt løselig
Egenvekt (vann=1):	2,2-2,3
Bulk tetthet (kg/m ³) ca. :	150-700
Spesifikk overflate (m ² /g):	15-30
Partikkelstørrelse, gjennomsnitt (µm):	≈0,15 (ca. 80 vekt % av primærpartiklene har diameter < 5 µm).

10. Stabilitet og reaktivitet

Forhold som må unngås: Se nedenfor.

Stoffer som må unngås: Flussyre (HF)

Farlige reaksjonsprodukter:

Microsilica reagerer med flussyre (HF) og danner den giftige gassen silisiumtetrafluorid (SiF₄). Oppvarming av microsilica over 1000 °C kan resultere i dannelsen av krystallinske SiO₂-modifikasjoner som kristobalitt / tridymitt som kan forårsake lungefibrose.

11. Opplysninger om helsefare

Produktet oppfyller ikke kriteriene for fareklassifisering iht. Forskrift om klassifisering, merking mv. av farlige kjemikalier (MD, 2002-07-16 nr 1139) og Forordning (EF) 1272/2008 (CLP).

Akutte effekter:

SVELGING:	Finfordelt støv kan irritere og virke uttørrende på slimhinner.
INNÅNDING:	Finfordelt støv kan irritere og virke uttørrende på slimhinner.
HUDKONTAKT:	Finfordelt støv kan irritere og virke uttørrende.
ØYNE:	Finfordelt støv kan irritere og virke uttørrende.

Kroniske effekter:

Innånding av støv fra produktet antas å medføre minimal risiko for silikose (lungefibrose), men kronisk obstruktiv lungesykdom er mistenkt ved eksponering over lang tid (år) for konsentrasjoner over administrativ norm.

12. Opplysninger om miljøfare

Produktet er ikke karakterisert som miljøfarlig.

MOBILITET: Produktet er lite mobilt ved normale miljøforhold.

NEDBRYTBARHET: Ikke relevant for uorganiske forbindelser.

BIOAKKUMULERING: Ikke relevant.

ØKOTOKSISITET:

Produktet oppfyller ikke kriteriene for fareklassifisering iht. Forskrift om klassifisering, merking mv. av farlige kjemikalier (MD, 2002-07-16 nr 1139) og Forordning (EF) 1272/2008 (CLP).

13. Fjerning av rester og avfall

Materialet resirkuleres der dette er mulig.

Produktet er ikke klassifisert som farlig avfall i henhold til Kapittel 11 i "Avfallsforskriften" (FOR 2004-06-01 nr 930: Forskrift om gjenvinning og behandling av avfall, MD (Miljøverndepartementet)).

Rester og avfall deponeres ellers etter gjeldende regelverk og etter avtale med lokale myndigheter.

14. Opplysninger om transport

UN

-

IMDG/IMO

Ikke klassifiseringspliktig

ADR/RID

Ikke klassifiseringspliktig

ICAO/IATA

Ikke klassifiseringspliktig

15. Opplysninger om lover og forskrifter

Denne produktsikkerhetsinformasjonen er utarbeidet i samsvar med:

- Forskrift om registrering, vurdering, godkjenning og begrensning av kjemikalier (REACH), Arbeids- og inkluderingsdepartementet, Justis- og politidepartementet og Miljøverndepartementet, 2008 med senere tilpasninger.
- Forordning (EF) 1272/2008 om klassifisering, merking og emballering av stoffer og stoffblandinger (CLP) med senere tekniske tilpasninger.

16. Andre opplysninger av betydning for brukerens sikkerhet og helse

I henhold til FNs globaliserte harmoniserte system for klassifisering og merking av kjemikalier (GHS), kapittel 1.5.2. og Forordning EF 1272/2008 (CLP), Artikkel 58(2)(a) og 59(2)(b) (som endrer REACH Artikkel 31(1)) kreves det sikkerhetsdatablad (SDS) bare for stoffer og stoffblandinger som møter de harmoniserte fareklassifiseringskriteriene for fysisk fare, helsefare og miljøfare. Da dette produktet ikke oppfyller disse kriteriene, er det ikke utarbeidet et SDS i henhold til 453/2010/EC. Relevant informasjon om helse, miljø og sikkerhet er i stedet gitt ved denne produktsikkerhetsinformasjonen (PSI).

REACH artikkel 31 (7) krever at relevante eksponeringsscenarier fra "Rapport om kjemikaliesikkerhet" (CSR) skal vedlegges stoffets eller stoffblandningens SDS. Imidlertid kreves slik informasjon (Ref. REACH vedlegg I, kapittel 0 (Introduction), avsnitt 0.6 nr. 4 og 5) bare for fareklassifiserte produkter. Ettersom dette produktet ikke er fareklassifisert iht. CLP-kriteriene, faller også kravet om eksponeringsscenarier bort.

Forbehold om ansvar

Denne produktsikkerhetsinformasjonen anses korrekt i henhold til Elkems kunnskaper fra og med den angitte datoen. Det kan likevel ikke gis noen garanti for at informasjonen er korrekt, pålitelig eller fullstendig. Det er brukerens ansvar å forsikre seg om at informasjonen er tilstrekkelig og passende for det tiltenkte bruksområdet.

Litteraturhenvisninger kan fås ved henvendelse til produsenten.

Elkem Microsilica® er et registrert varemerke.

Dynamon NRG-500

BESKRIVELSE

Dynamon NRG-500 er en modifisert akrylbasert polymerblanding som er spesiallaget for elementindustrien.

Dynamon NRG-500 er en videreutvikling av Mapeis **Dynamon SP**-system. **Dynamon SP**-systemet er basert på DPP-teknologien (Designed Performance Polymer), en kjemisk prosess der tilsetningsstoffenes egenskaper skreddersys til ulike betongformål. Denne prosessen er utviklet ved hjelp av Mapeis egen sammenstilling og produksjon av monomerer.

BRUKSOMRÅDER

Betong tilsatt **Dynamon NRG-500** gir god støpelighet (konsistensklasse S4 eller S5, iht. EN 206-1), noe som forenkler utstøpingsarbeidet. Samtidig gir den betongen utmerkede mekaniske egenskaper når den er herdet.

Dynamon NRG-500 er spesielt godt egnet til elementproduksjon der det er behov for kraftig vannreduksjon og relativt høye tidligfastheter, i forskjellige konsistensklasser.

Dynamon NRG-500 er spesielt godt egnet til å produsere selvkomprimerende betong, da den sikrer god flyt og akselerert utvikling av fastheter.

For selvkomprimerende betong med manglende finstoff kan **Dynamon NRG-500** kombineres med **Viscostar** eller **Viscofluid**, viskositetsmodifiserende tilsetningsstoffer, for å unngå fare for separasjon og for å sikre at blandingen holder seg homogen også ved svært høye slumpbredder.

TEKNISKE EGENSKAPER

Dynamon NRG-500 består av en ny generasjon akrylbaserte polymerer. Polymerene løser svært effektivt opp sementkornene og sørger for hurtig temperaturstigning inni betongen.

Denne effekten kan prinsipielt utnyttes på følgende tre fordelaktige måter:

- Til å redusere mengden vann ved samme støpelighet.
- Til å øke støpeligheten ved samme forhold mellom vann og sement.
- Til å redusere både vann og sement ved samme w/c-forhold og samme støpelighet.

ANVENDELSE

Dynamon NRG-500 utvikler maksimal effekt når det tilsettes etter de andre delmaterialene (sement, andre tilsetningsstoffer, pozzoloner eller filler og minst 80 % av blandingsvannet) og før **Viscostar** eller **Viscofluid**.



Dynamon NRG-500

KOMPATIBILITET MED ANDRE PRODUKTER

Dynamon NRG-500 er kompatibel med andre produkter for å lage spesialbetonger og spesielt med:

- **Viscostar** eller **Viscofluid**, viskositetsmodifiserende og stabiliserende tilsetningsstoff for produksjon av selvkomprimerende betong.
- **Mapefast**, akseleratorer for tidlig pussing/glatting og/eller høy tidligfasthet.
- Silika for produksjon av vanlig betong og selvkomprimerende betong.
- Ulike typer fillere for produksjon av selvkomprimerende betong.
- **Mapeform** formoljer.
- **Mapecure** herdemembraner som beskytter den ferske betongen mot hurtig avdamping.

Vår tekniske avdeling er behjelpelig med å vurdere hvilket **Mapeair** tilsetningsstoff som er best egnet til å produsere frostbestandig betong, avhengig av hvilken type sement som er brukt.

DOSERING

For tradisjonelle systemer - fra 0,3 til 2,0 % av sementvekt.

EMBALLASJE

Dynamon NRG-500 leveres i 25 liters kanner, 200 liters fat, 1000 liter IBC-tanker og i tank.

LAGRING

Produktet må oppbevares ved temperaturer mellom +8°C og +35°C. I lukket emballasje bevarer produktet sine egenskaper i minst 12 måneder. Forsiktig omrøring før bruk anbefales. Hvis produktet utsettes for direkte sollys, kan det føre til variasjoner i fargetonen uten at dette påvirker egenskapene til produktet.

SIKKERHETSINSTRUKSJONER FOR KLARGJØRING OG BRUK

Dynamon NRG-500 er ikke merkepliktig etter dagens regelverk. Det er likevel å anbefale at man benytter hansker, vernebriller og å ta vanlige forholdsregler som gjelder for håndtering av kjemikalier.

For ytterligere og fullstendig informasjon vedrørende sikker håndtering av vårt produkt, vennligst se sikkerhetsdatabladet som du finner på www.mapei.no

PRODUKT FOR PROFESJONELL BRUK

MERK

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

All overstående 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.

Vennligst referer til siste oppdaterte versjon av teknisk datablad som finnes tilgjengelig på vår webside www.mapei.no

Alle relevante referanser for produktet er tilgjengelige på forespørsel og fra www.mapei.no eller www.mapei.com

TEKNISKE DATA (typiske verdier)

PRODUKTBEKRIVELSE

Form:	væske
Farge:	ravgul *
Tørrestoffinnhold iht. NS-EN 480-8 (%):	28,0 ± 1,4
Spesifikk vekt, g/cm ³ :	1,06 ± 0,02
Produktegenskaper:	Øker stopeligheten og/eller reduserer mengde blandevann med kraftig akselerasjon av tidligfasthet også ved lave temperaturer
Klassifisering iht. NS-EN 934-2:	Superplastiserende eller sterkt vannreduserende tilsetningsstoff, tabellene 3.1 og 3.2
Klorider løselig i vann iht. NS-EN 480-10 (%):	< 0,05 (fraværende iht. NS-EN 934-2)
Alkaliinnhold (Na ₂ O ekvivalent) iht. NS-EN 480-12 (%):	< 1,0
pH iht. ISO 4316:	6,5 ± 1
Lagring:	12 måneder

* Hvis produktet utsettes for direkte sollys, kan det føre til variasjoner i fargetonen uten at det på noen som helst måte påvirker ytelsen til produktet.

Dynamon NRG-500

BRUKSEGSKAPER I BETONG		
Som SP-stoff (synkforbedrer)	Referanse	Dynamon NRG-500
Sementmengde, kg/m ³ (Norcem standard sement)	350	350
Tilsetningsmengde (i % av sementvekt):	0	0,9
Masseforhold:	0,47	0,47
Luftinnhold:	2,2	1,8
Konsistens, mm:		
- synkmål, 5 min	40	200
- synkmål, 30 min	20	170
- synkmål, 60 min	-	130
- synkutbredelse, 5 min	-	510
- synkutbredelse, 30 min	-	320
- synkutbredelse, 60 min	-	250
Lik konsistens (vannreducerende evne)	Referanse	Dynamon NRG-500
Sementmengde, kg/m ³ (Norcem standard sement)	350	350
Tilsetningsmengde (i % av sementvekt):	0	0,9
Vannreduksjon (i %):	-	20
Masseforhold:	0,50	0,41
Trykfasthet, 1 dogn:	20	36
Trykfasthet, 7 dogn:	40	55
Trykfasthet, 28 dogn:	52	64

Any reproduction of texts, photos and illustrations published here is prohibited and subject to prosecution

29.10.2014 NO



BUILDING THE FUTURE

Prøvemetoder/prosedyrer

Speedy Moisture test

Large Size Speedy – Moisture Test Procedure

The test procedure is simple to follow and takes a just few minutes for most materials. To ensure accurate and consistent results the procedure should be followed precisely.

- 1. Clean the Speedy Vessel.** Prior to using the speedy tester ensure that the inside of the Speedy cap and vessel are empty and clean. Use the bristle brush to remove any residues from previous tests as shown.



- 2. Select and prepare the sample.** Ensure that the sample to be weighed and placed in the Speedy is representative of the material that is under investigation. Some materials, such as free-flowing powders and sands, need no preparation whereas others may need to be ground prior to testing or pulverised during the test – please refer to the Sample Preparation Table for further information.

- 3. Weigh the sample.** Place the empty measuring beaker on the electronic scale and zero the scale – Refer to the electronic balance user instructions for further details. Add small amounts of material from the sample until the correct sample weight is reached. The sample weight is determined by the size and measurement range of the Speedy that is being used as detailed below:



Part No.	Vessel Size	Measurement Range H ₂ O%W/W	Sample weight (g)
L2000C	Large	0 – 10	40g
L2000D	Large	0 – 20	20g
L2000G	Large	0 – 50	8g

- 4. Add the sample to the Speedy vessel.** Pour the sample into the chamber of the Speedy vessel as shown. Place pulverising balls into the chamber if required – refer to Sample Preparation Table.



- 5. Add the reagent to the Speedy cap.** Using the metal scoop, add a minimum of two full scoops of reagent to the Speedy cap cavity as shown.



- 6. Seal the Speedy.** Hold the Speedy horizontally and position the cap as shown. Swing the stirrup into position and tighten the top screw to seal.



- 7. Mix the sample with the reagent.** Hold the Speedy vertically with the pressure gauge facing the ground and shake vigorously for 5 seconds. Rotate the Speedy through 180° so that the pressure gauge faces the sky, tap the sides of the Speedy to ensure the sample falls into the cap cavity and prop or hold the Speedy in this position for 1 – 2 minutes.

Alternatively, if the pulverising balls are being used, hold the Speedy horizontally and shake it in an orbital motion to make the balls spin around the inside of the Speedy vessel. Do this for 20 seconds and then rest for 20 seconds. Repeat this process two or three times. The spinning balls pulverise the sample to give a more reliable measurement.

- 8. Take the reading.** Hold the Speedy horizontally and at eye level and take the moisture content reading directly from the pressure gauge.



- 9. Release the pressure.** Hold the Speedy vertically with the pressure gauge facing the ground. Locate the arrow on the flange of the cap and point this away from yourself and other people in your vicinity. Unscrew the top screw slowly to vent the gas that may have been generated within the Speedy.



- 10. Remove the sample and reagent.** Tip the contents of the Speedy directly into a clean and dry open container and dispose of in accordance with **Section 13** of the Calcium Carbide **Material Safety Data Sheet**.
- 11. Clean the Speedy.** Clean the Speedy vessel and cap and measuring beaker in preparation for the next moisture measurement.

User Guidance Notes

Proportional Test Technique

If the moisture content of the material exceeds the measurement range of the Speedy being used then the Proportional Test Technique may be used to obtain measurements. This involves halving the normal sample weight and doubling the gauge value. For example:

Assume a L2000D Speedy with a measurement range of 0 – 20 H₂O%W/W is being used to test soil with a nominal moisture content of 30%. The sample is prepared as required and half the normal weight – 10g – is weighed and placed in the Speedy. The test procedure is followed and a gauge value of 14.7% is recorded. This value is then doubled to give the actual moisture content of 29.4%.

The proportional test may also be used to obtain clearer readings in very dry material by doubling the sample size and halving the gauge value.

Temperature

For optimum performance the Speedy tester and sample should be at 20°C (68°F) when used. If this is not practical, take at least three tests in quick succession to equilibrate temperatures as far as possible. Ignore the first and second test results and record the later results.

Correction Factors

When compared with oven test results, Speedy readings may be low if the material under investigation contains volatile components other than water as these may evaporate with the water at elevated temperatures. Correction factors for given materials can be established by plotting graphs of Speedy test results against oven test results.

Measuring Liquids

Speedy testers may be used to measure the moisture content of certain liquids (most commonly oils) by adapting the test procedure as follows:

1. Weigh the liquid sample as normal
2. Place the liquid in a clean mixing vessel and add two to four scoops of **dry** sand. Mix thoroughly and place the mixture in the Speedy vessel.
3. Continue with the test as detailed in the Moisture Test Procedure.

Wet Weight to Dry Weight Conversion

The pressure gauges used with the Series 2000 Speedy testers are calibrated to give the moisture content expressed as a percentage of the sample's wet weight. If required, the measured value (M_{WW}) can be expressed as a percentage of the sample's dry weight (M_{DW}) by using the following formula:

$$M_{DW} = \frac{100 \times M_{WW}}{100 - M_{WW}}$$

Fault Diagnosis

Suspect Low Reading

If gauge readings are lower than you expect or anticipate check the following:

1. Test procedure has not been followed correctly. Ensure correct sample weight is used. Ensure sample is placed in the Speedy vessel and reagent is placed in the Speedy cap. Ensure Speedy vessel and cap are united and sealed in the horizontal plain to prevent premature contact of reagent and sample.
2. Inadequate cleaning of Speedy vessel and cap between tests. Ensure all residues from previous tests have been removed from the cap and vessel before starting a new test.
3. Insufficient reagent. Repeat the test using an additional scoop of reagent.
4. Ineffective reagent. Ensure that the reagent is fresh. Note that the colour of fresh reagent is dark grey; ineffective reagent (that has been exposed to moisture in the air or other sources) will have turned light grey in colour.
5. Inadequate sample preparation or sample-reagent mixing. Consider grinding the sample prior to weighing and/or (for Large Speedy only) using pulverising balls.
6. Temperature effects. Low readings may be recorded if the Speedy is used in very low temperatures. Take numerous readings in quick succession to raise the operating temperature of the Speedy.
7. Pressure loss. Visually check the cap washer for signs of holes or leak paths. Remove pressure gauge and visually check pressure gauge washer. Visually check Speedy vessel and cap for hairline cracks.
8. Defective pressure gauge. Does the needle sweep smoothly across the scale plate? If not, replace the gauge, or return the Speedy tester to an authorised distributor for service.

Suspect High Reading

If gauge readings are higher than you expect or anticipate check the following:

1. Ensure correct sample weight is used.
2. Ensure Speedy is held in the horizontal plain at eye level when reading the pressure gauge.
3. Temperature effects. High readings may be recorded if the Speedy is used in very high temperatures. If the Speedy is warm/hot to touch as a result of taking many readings in quick succession, allow time for it to cool down before taking more tests.
4. Defective pressure gauge. Does the needle return to zero after releasing pressure from the Speedy? If not, replace the gauge, or return the Speedy tester to an authorised distributor for service.

Recommended Spares and Consumables

It may be wise to consider having the following spares and consumables to hand when using the Speedy tester, especially in remote locations:

Batteries for the electronic scale, 3-off AA/LR6 1.5V
 Speedy cap washer
 Pressure gauge washer
 Pressure gauge (note the measurement range)
 Cleaning brushes

Other spares parts for the Speedy vessel are available on request.

Sample Preparation Table

Material Type	Recommended Preparation
Aggregate	Check maximum sample size; crush if larger than maximum recommended particle size
Dust	None required
Liquids	Mix with dry sand – see User Guidance Notes
Powders	None required
Sand	None required
Soils	Grind with mortar and pestle prior to testing, or use pulverising balls. Refer to Large Size Speedy – Moisture Test Procedure

Kloridinntrengningsprøve

nordtest method

NT BUILD 443
Approved 1995–11

1(5)

CONCRETE, HARDENED: ACCELERATED CHLORIDE PENETRATION

UDC 622.43

Key words: Test method, hardened concrete, chloride penetration, non-steady state diffusion

1 SCOPE

This Nordtest method specifies a procedure for the determination of penetration parameters for estimating the resistance against chloride penetration into hardened concrete or other cement-based materials.

The resistance against chloride penetration is determined by accelerated testing.

2 FIELD OF APPLICATION

The method is applicable to test specimens from existing structures and to new samples older than 28 maturity-days. The concrete test specimens must be free from construction faults such as cavities and visible cracks.

It is important to keep in mind that the values for the chloride penetration parameters are dependent on concrete maturity. Especially concretes containing pozzolans will not have reached optimum maturity after a period of 28 maturity-days, which is the specified minimum curing time before exposure.

Deviations from the requirements of the method concerning exposure temperature, exposure time, together with the composition and the chloride concentration of the exposure liquid, can be made where required by the purpose of the test. In case of any deviations, it must be stated in the test report that the results are obtained from a modified test and the deviations must be specified.

Parameters of importance for the resistance against chloride penetration are e.g. composition, workmanship, surfacing, curing, age.

3 REFERENCES

NT BUILD 202, 2nd ed. Approved 1984-05. Concrete, hardened: Sampling and treatment of cores for strength tests.

NT BUILD 208, 2nd ed. Approved 1984-05. Concrete, hardened: Chloride content.

4 DEFINITIONS

Chloride penetration: The ingress of chlorides into concrete due to exposure to external chloride sources.

Exposure temperature: The temperature of the exposure liquid while the test specimen is submerged in it.

Exposure time: The time from immersion of the test specimen in the exposure liquid to profile grinding.

Profile grinding: Grinding off concrete powder in thin successive layers from a test specimen using a dry process.

Maturity-day: A concrete of 28 maturity-days has developed a maturity corresponding to curing for 28 days at 20 °C

Surface-dry condition: Is achieved by drying the water-saturated test specimen with a clean cloth or similar leaving the test specimen damp but not wet. This is achieved by wetting the cloth with the liquid in which the test specimen has been immersed and then wringing it out sufficiently to absorb any liquid adhering to the surface of the specimen.

5 SAMPLING

This method requires drilled cores or cast cylinders as test specimens. They must be representative of the concrete and/or structure in question. The concrete must be hardened to minimum 28 maturity-days. At least three test specimens should be used in the test. The diameter should be at least Ø75 mm, but not less than 3 times the maximum aggregate size. The length should be minimum 100 mm.

6 METHOD OF TEST

6.1 Principle

A water-saturated concrete specimen is on one plane surface exposed to water containing sodium chloride. After a specified exposure time thin layers are ground off parallel to the exposed face of the specimen and the chloride content of the layers, C_x , is measured. The original (initial) chloride content of the concrete, C_j , is measured at a suitable depth below the exposed surface. The effective chloride transport coefficient, D_e , and the boundary condition of the chloride profile at the

exposed surface, C_s , are calculated. This is done by using the related values of measured depth below the exposed surface, x , and measured chloride content, C_x .

The penetration parameter, K_{C_r} , is calculated for a selected chloride concentration, C_r . The influence of D_e , C_s , C_i , and C_r is combined in the calculation of K_{C_r} , which facilitates comparison of the results.

6.2 Reagents and apparatus

6.2.1 Reagents

- Redistilled or demineralised water.
- Calcium hydroxide (Ca(OH)_2), technical quality.
- Sodium chloride (NaCl), technical quality.
- 2-component (chloride-ion diffusion-proof) polyurethane or epoxy-based paint (membrane).
- Chemicals for chloride analysis according to applied test method.

6.2.2 Apparatus

- Water-cooled diamond saw.
- Balance, accuracy better than $\pm 0,01$ g.
- Thermometer, accuracy better than ± 1 °C.
- Temperature controlled cupboard.
- Plastic container with tight-fitting lid.
- Equipment for grinding off and collecting concrete powder from thin concrete layers (less than 2 mm).
- Equipment for crushing concrete.
- Standard sieve, mesh width 1.0 mm.
- Equipment for chloride analysis according to applied test method.
- Slide caliper, accuracy better than ± 0.1 mm.

6.3 Preparation of test samples

From each of the concrete cones or concrete cylinders, the parts 6.3.1 and 6.3.2 specified below are cut off by means of a water-cooled diamond saw.

6.3.1 Test specimen for exposure in NaCl solution

If a drilled core is used, the test specimen is prepared by cutting off the outermost approx. 70 mm of the core. A test specimen is thus obtained, of which one end face is the original surface and the other is a sawn face. The outermost approx. 10 mm is then cut off the original concrete surface (note 1), and the resulting sawn surface is exposed in the NaCl solution.

Note 1: It is very important that the test is made on the concrete between the surface and the layer of reinforcement because it is here that the protection against chloride penetration is needed. Furthermore, the quality of the concrete in this particular area can deviate from the rest of the concrete. The outermost approx. 10 mm of concrete is removed to ensure that the measurement is made in an area with an approximately constant cement matrix content.

If a cast cylinder is used, the test specimen is prepared by dividing the cylinder into halves by a cut perpendicular to the axis of the cylinder. One half is used as test specimen, with the sawn surface exposed in the NaCl solution.

The test specimen is immersed in a saturated Ca(OH)_2 solution at about 23 °C in a tightly closed plastic container. The container must be filled to the top to minimize carbonation of the liquid. The next day the mass in surface-dry condition (m_{sd}) is determined by weighing the test specimen.

The storage in the saturated Ca(OH)_2 solution continues until m_{sd} does not change by more than 0.1 mass % per 24 hours.

All faces of the test specimen except the one to be exposed are then dried at room temperature to a stable white-dry condition and given an approx. 1 mm thick epoxy or polyurethane coating. Precautions must be taken to ensure that no coating material gets onto the surface to be exposed. It must be ensured that the method of application and hardening prescribed by the supplier of the coating material is observed.

When the coating has hardened, the test specimen is immersed in the Ca(OH)_2 solution until m_{sd} stabilizes as described above.

6.3.2 Slice of at least 20 mm thickness

From the remainder of the drilled core or cast cylinder a slice of at least 20 mm thickness is cut in extension of test specimen 6.3.1.

6.4 Procedure

6.4.1 Exposure liquid

An aqueous NaCl solution is prepared with a concentration of $165 \text{ g} \pm 1 \text{ g NaCl per dm}^3$ solution. This exposure liquid is used for 5 weeks and then replaced by a new pure NaCl solution. The NaCl concentration of the solution must be checked at least before and after use.

6.4.2 Exposure temperature

The temperature of the water bath must be 21-25 °C with a target average temperature of 23 °C. The temperature must be measured at least once a day.

6.4.3 Exposure

The Ca(OH)_2 solution in the container used for water saturation is replaced with the exposure liquid and the test specimen 6.3.1 is immersed in surface-dry condition in the saline solution. It is important that the container is completely filled with the exposure liquid and closed tightly. The ratio between the exposed area in cm^2 and the volume of exposure liquid in dm^3 shall be minimum 20 and maximum 80. The container is placed in the temperature controlled cupboard during exposure. The exposure shall last for at least 35 days, and the container is

shaked once every week. The date and time of exposure start and exposure stop is recorded.

6.4.4 Profile grinding

The chloride profile is measured immediately after the exposure by grinding off material in layers parallel to the exposed surface. The grinding is performed within a diameter approx. 10 mm less than the full diameter of the core. This obviates the risk of edge effects and disturbances from the coating.

At least eight layers must be ground off. The thickness of the layers must be adjusted according to the expected chloride profile, so that minimum 6 points covers the part of the profile between the exposed surface and the depth with a chloride content of $C_i + 0.03$ mass %. However, the outermost layer must always have a thickness of minimum 1.0 mm.

It must be ensured that a sample of at least 5 g of dry concrete dust is obtained from each layer. For each sample of concrete dust collected, the depth below the exposed surface is calculated as the average of five uniformly distributed measurements using a slide caliper.

6.4.5 Chloride analysis

The acid-soluble chloride content of the samples is determined to three decimals in accordance with NT BUILD 208 or by a similar method with the same or better accuracy. The accuracy must be documented.

6.4.6 Initial chloride content

From the concrete slice 6.3.2, a representative subsample of approx. 20 g is prepared, e.g. by crushing until the material passes a 1 mm standard sieve, followed by splitting. The acid-soluble chloride content of the subsample is determined to three decimals by using the method described in 6.4.5. The measured chloride content is the initial chloride content of the specimen, C_i .

6.5 Expression of results

6.5.1 Test results

The values of C_s and D_e are determined by fitting the equation (1) to the measured chloride contents by means of a non-linear regression analysis in accordance with the method of least squares fit. The first point of the profile determined from the sawn face is omitted in the regression analysis. The other points are weighted equally.

$$C(x,t) = C_s - (C_s - C_i) \cdot \operatorname{erf}\left(x / \sqrt{4 \cdot D_e \cdot t}\right) \quad (1)$$

where

$C(x,t)$ [mass %] is the chloride concentration, measured at the depth x at the exposure time t

C_s [mass %] is the boundary condition at the exposed surface

C_i [mass %] is the initial chloride concentration measured on the concrete slice 6.3.2

x [m] is the depth below the exposed surface (to the middle of a layer)

D_e [m²/s] is the effective chloride transport coefficient

t [s] is the exposure time (with an accuracy better than 5 hours)

erf is the error function defined in (2)

$$\operatorname{erf} z = 2 / \sqrt{\pi} \cdot \int_0^z \exp(-u^2) du \quad (2)$$

Tables with values of the error function are given in standard mathematical reference books.

The penetration parameter, K_{C_r} is calculated using the values of C_i [mass % of concrete], C_s [mass % of concrete], D_e [m²/s], and C_r [mass % of concrete] (note 2) according to (3). The C_r -value is set to 0.05 mass % unless another value is required.

$$K_{C_r} = 2\sqrt{D_e} \cdot \operatorname{erf}^{-1}\left(\frac{C_s - C_r}{C_s - C_i}\right) \quad (3)$$

Note 2: In (3) C_r is a selected reference chloride concentration. Note that K_{C_r} , only is defined when $C_s > C_r > C_i$.

The test results are:

- The initial chloride concentration, C_i , stated to three decimals in mass % of dry concrete.
- The boundary condition at the exposed surface, C_s , stated to three decimals in mass % of dry concrete.
- The effective chloride transport coefficient, D_e , stated to two significant digits in m²/s.
- The penetration parameter, K_{C_r} stated to two significant digits in mm[√]/year. The C_r -value used to calculate K_{C_r} must be clearly stated in the test report.

Please note that the values of C_s and D_e should not be directly used for prediction of chloride penetration under conditions other than those used in the test. (If K_{C_r} is calculated in the unit mm[√]/s it is multiplied by 5.6157·10⁶ to translate the unit to mm[√]/year.)

6.5.2 Other information of importance

- The measured chloride contents at all points are plotted versus the depths below the exposed surface. The curve for the optimized mathematical model (1) is plotted on the same graph (See Figure 1).
- The correlation between the measured chloride contents and the corresponding chloride contents calculated according to (1) is determined by means of a linear regression analysis.
- The average exposure temperature is calculated. The variation must be illustrated, e.g. by giving the measured temperature curve.
- The average chloride concentration of the exposure liquid is calculated.

6.6 Accuracy

The following variation coefficients (the standard deviation divided by the mean value) can be expected:

$$C_s = 20 \%, D_e = 15 \% \text{ and } K_{0,05} = 10 \%$$

6.7 Test report

The test report shall include the following information, if relevant:

- Name and address of the test laboratory, and the place at which the tests were performed if different from the laboratory address.
- Date and identification number of the test report.
- Name and address of the organisation or person who ordered the test.
- Purpose of the test.
- Method of sampling and other circumstances (date and person responsible for the sampling).

- Name and address of the manufacturer or supplier of the tested object.
- Name or other identification marks of the tested object.
- Description of the tested object including the age of the test specimen.
- Date of supply of the tested object.
- Date of the test.
- Test method.
- Conditioning of the test specimens, environmental data during the test (temperature, chloride concentration in exposure liquid, etc.)
- Identification of the test equipment and instruments used.
- Any deviations from the test method together with other information of importance for judging the result.
- Test results.
- Inaccuracy or uncertainty of the test result.
- Date and signature.

A.1 NON-LINEAR REGRESSION ANALYSIS

The regression analysis is performed by minimising the sum given in (A.1)

$$S = \sum_{n=2}^N \Delta C^2(n) = \sum_{n=2}^N (C_m(n) - C_c(n))^2 \quad (\text{A.1})$$

where

S [(mass %)²] is the sum of squares to be minimized

N [-] is the number of concrete layers ground off

$\Delta C(n)$ [mass %] is the difference between the measured and the calculated chloride concentration of the n 'th concrete layer

$C_m(n)$ [mass %] is the measured chloride concentration of the n 'th concrete layer

$C_c(n)$ [mass %] is the calculated chloride concentration in the middle of the n 'th concrete layer

Refer to Figure 1 for clarification.

A.2 BACKGROUND INFORMATION

Frederiksen, J. M.: "APM 302 - dansk målemetode for chloridindtrængning i beton" (APM 302 - Danish test method for chloride penetration into concrete). Dansk Beton, No. 2, p. 22-27, 1992. (In Danish.)

Sorensen, H. E.: "Determination of chloride penetration parameters for concrete". Nordtest project 1154-94, Nordtest, SF-021 51 ESPOO.

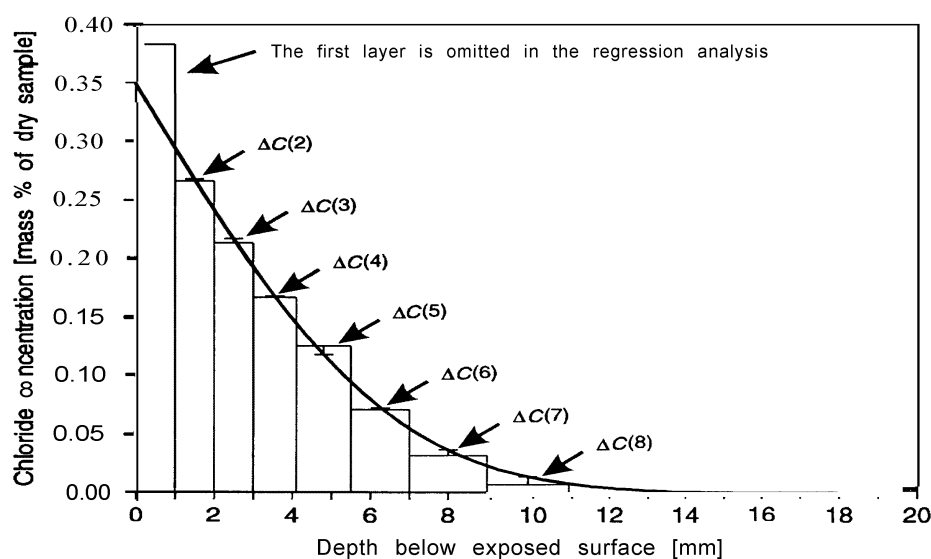


Figure 1. The regression analysis. The bars represent the measured chloride contents. The curve represents the optimized mathematical model.



Statens vegvesen

14.6 Betong og materialer til betong
14.63 Undersøkelse av herdet betong

14.633 Vanninntrengning

Gjeldende prosess (nov. 1996): 14.413

Omfang

Denne beskrivelsen omfatter prøving av vanninntrengning i betong på utsøpte eller utborede prøvestykker. Metoden kan benyttes på alle betonger. Måling av vanninntrengning og bedømmelse av betongs vanntetthet skal ikke utføres på betong med lavere alder enn 28 døgn.

Prinsipp

Betongs vanninntrengning måles på prøvestykker utsatt for ensidig vanntrykk basert på metode beskrevet i NS 3420, kap. L5.

Definisjoner

En prøve består av 3 prøvestykker.

Referanser

NS 3420 (1986): *Tekniske bestemmelser. Beskrivelsestekster for bygg og anlegg. Kap. L Betongkonstruksjoner.* NSF, Oslo

NS 3670 (1987): *Betongprøving. Herdet betong. Utboring og behandling av sylindere til å bestemme fasthet.* NSF, Oslo

Utstyr**Beskrivelse**

Det benyttes fastmontert utstyr, bestående av:

- 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 for trykkutjevningstank
- trykkutjevningstank med sikkerhetsventil for overtrykk og overløp for vann
- tilkoblinger til prøverigg, antall avhengig av kapasiteten til utstyret

Prinsipiell oppbygging av prøveutstyr for måling av vanninntrengning er vist på figur 14.633-1.

Kommentar: Før prøving må vanninntrengningsutstyret kontrolleres mht. lekkasjer. Koblinger og pakninger sjekkes. Manometrene skal alle vise samme trykk. Videre bør olje-

nivået i kompressoren kontrolleres, og olje etterfylles hvis nødvendig.

Fremgangsmåte**Prøvestykker**

- Prøvestykkene kan være utstøpte eller tildannet ved boring eller saging fra større blokker.
- Prøvestykkene skal være terninger/sylindere med tverrmål/diameter og høyde 100 mm. Unntaksvis kan det benyttes prøvestykker med andre dimensjoner, men tverrmål/diameter skal minst være 70 mm. Prøvestykkene skal være tilpasset forsøksriggen.
- Den eksponerte flaten skal være plan slik at det ikke oppstår lekkasje under prøvingen.
- Dersom ikke annet er avtalt skal eksponert flate være et sagsnitt. Ved prøving av borkjerner og utstøpte prøvestykker skal de ytterste 10 mm skjæres av. Hvis eksponert flate er annet enn saget flate skal dette beskrives spesielt i rapporten.
- Dersom det er store porer i sideflatene, ev. svært porøs betong, skal sideflatene belegges med en to-komponent epoxy før prøving.

Forbehandling av prøvestykker

- Prøvestykkene skal ikke vanlagres.
- Utstøpte prøvestykker oppbevares i luft med tilnærmet 100 % RF fra avforming frem til prøving.
- Prøvestykker tildannet på annen måte, f.eks. utborede prøvestykker, skal oppbevares i luft med tilnærmet 100 % RF minimum 3 døgn før prøving.

Prøving

- Prøvestykkene plasseres sentrisk i holderen.
- En gummiring (O-ring) legges i toppstykket for å sikre tett forbindelse, og dermed hindre vannlekkasje.
- Toppstykket plasseres over prøvestykket, og festes godt med vingemutrene.
- Prøveriggen kobles til det øvrige utstyret.
- Vannet kobles til, det foretas utlufting før vanntrykket settes på.
- Vanntrykket reguleres til 0,3 MPa, deretter til 0,5 MPa etter 24 timer og til 0,7 MPa 48 timer etter at prøvingen startet.
- Vanntrykket justeres ved behov.

Kommentar: Prøvingen utføres som beskrevet i NS 3420, kap. L5, med 0,3 MPa, 0,5 MPa og 0,7 MPa ensidig vanntrykk i en periode på 3 døgn med ett døgn på hvert tryknivå.

Ved behov, når vanntrykket ikke er stabilt, kobles kompressoren til. Ved bruk av kompressor er det viktig å hindre at luft kommer inn i systemet. Det skal ikke være vannlekkasjer fra prøvestykkene. Om nødvendig må topplokket strammes ytterligere mot prøvestykket, ev. må det benyttes flere O-ringer. Hyppig justering av vanntrykket skal angis i rapporten.

Måling av vanninntrengning

- Ved avsluttet prøving (etter totalt 72 timer) tas prøvestykkene ut av riggen og eventuelt overflatevann tørkes av.
- Ett etter ett prøvestykke tas ut og splittes. Splittingen utføres i et splittapparat eller i en trykkpresse med knivene plassert midt på motstående sideflater, slik at prøvestykket deles i et plan parallelt med vanninntrengningsretningen.
- Umiddelbart etter at prøvestykket er splittet foretas en vurdering av vanninntrengningen. Vannfronten tegnes på prøvestykket med vannfast tusj. Det skal ikke gå mer enn 5 min. fra prøvestykket er tatt ut av riggen til registrering av vanninntrengningsfronten er utført.
- Etter at alle prøvestykkene er splittet tegnes vanninntrengningen i målestokk 1:1 på et eget skjema. Vanninntrengningen måles i mm i 10 punkt jevnt fordelt over splittflaten, men begrenset til inntrengningssonen.

Resultater

Registreringer

Inntrengningsdybden måles på tegningene. Det måles maksimum og midlere inntrengningsdybde.

Maksimum inntrengningsdybde = største målte inntrengning

Midlere inntrengningsdybde = summen av vanninntrengning, målt langs alle målestreker innenfor inntrengningssonen, dividert på antall målestreker

Verdiene avrundes til nærmeste 5 mm.

Kommentar: Ved beregning av midlere inntrengningsdybde skal også målestreker uten vanninntrengning telles med.

I henhold til NS 3420 kap. L5 sies en betong å være vann-tett når midlere vanninntrengning er mindre enn 25 mm for noe prøvestykke av en serie på minst tre.

Usikkerhet

Usikkerhetene med metoden er i vesentlig grad knyttet til følgende forhold:

- avlesningsnøyaktigheten ved måling av vanninntrengningsdybden på splittet betongflate
- stabiliteten i vanntrykkene som er påført
- lengden av periodene med ulikt trykk

Rapportering

Rapporten skal minimum inneholde følgende opplysninger:

- prøvingslaboratorium (navn og adresse)
- ansvarlig for prøvingen
- dato og rapportidentifikasjon
- prøvingsmetode (denne beskrivelsens nummer og tittel)
- eventuelle avvik fra metodebeskrivelsen
- navn og adresse på oppdragsgiver/anlegg
- prøvingsresultat, maksimal og midlere inntrengningsdybde
- skisse av vanninntrengningsfronten
- andre ting som kan være av interesse for senere bedømmelse av prøvingsresultatet
- vurdering av resultatet hvis det inngår i oppdraget

Figur 14.633-1 Utstyr for måling av vanninntrengning

