

Frostbestandige betongkonstruksjoner

Kjell Tore Fosså, Kværner AS

KVÆRNERTM

Hva er frostsikker betong?

- *Betong som er utsatt for gjentatt frysing/tining i fuktig tilstand, med eller uten avisingsmidler skal være tilsatt luftinnførende tilsetningsstoff. Kravene til luftinnhold i NS-EN 206-1 er:*
 - *Tabell NA.9: “Minste luftinnhold i fersk betong er 4%”*
- *Luftinnførende tilsetningsstoff i henhold til NS-EN 934-2*
- *Tilfører en kontrollert mengde av små, jevnt fordelte luftbobler under blanding, som blir værende etter herding*

Eksponeringsklasser for frost (4 av 20 klasser)

Tabell 1 i EN 206:

Klassebetegnelse	Beskrivelse av miljø	Eksempler på hvor eksponeringsklassene kan forekomme (informativt)
5 Fryse-/tineangrep med og uten avisingsmiddel		
Der våt betong utsettes for betydelig angrep fra vekselvis frysing og tining, skal miljøeksponeringen klassifiseres som angitt nedenfor:		
XF1	Moderat vannmetning, uten avisingsmiddel	Vertikale betongoverflater utsatt for regn og frost
XF2	Moderat vannmetning, med avisingsmiddel	Vertikale betongoverflater i vegkonstruksjoner utsatt for frost og luftbårne avisingsmidler
XF3	Høy vannmetning, uten avisingsmiddel	Horisontale betongoverflater utsatt for regn og frost
XF4	Høy vannmetning, med avisingsmiddel eller sjøvann	Veg- og brudekker utsatt for avisingsmidler Betongoverflater utsatt for frost og direkte sprut som inneholder avisingsmidler Skvalpesonen i marine konstruksjoner utsatt for frost

Bestandighetsklasser

Tabell 5: Bestandighetsklasser og eksponeringsklasser (fra nasjonalt tillegg NS-EN 206-1, tabell NA.10)	Bestandighetsklasser					
Eksponeringsklasse	M90	M60	M45	MF45	M40	MF40
X0	X	X	X	X	X	X
XC1, XC2, XC3, XC4, XF1		X	X	X	X	X
XA1, XA2 ^{a)} , XA4 ^{b)} , XD1, XS1			X	X	X	X
XF2, XF3, XF4				X		X
XD2, XD3, XS2, XS3, XA3 ^{a)}					X	X
XSA ^{a)}	Betongsammensetning og beskyttelsestiltak fastsettes særskilt. Betongsammensetning skal minst tilfredsstille 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 produksjonsgrunnlaget presiseres at det skal anvendes sulfatbestandig sement. ^{b)} For konstruksjoner utsatt for husdyrgjødsel, skal det i produksjonsunderlaget presiseres at det skal anvendes minst 6 % silikastøv.						

Bestandighetsklasse - krav til sammensetning

Tabell 2: Grenseverdier for sammensetning og egenskaper

(nasjonalt tillegg til NS-EN 206-1, tabell NA.9)

	Bestandighetsklasse					
	M90	M60	M45	MF45 ^{a)}	M40	MF40 ^{a)}
Største masseforhold ^{b)} $v/(c+\Sigma k p)$	0,90	0,60	0,45	0,45	0,40	0,40
Minste luftinnhold i fersk betong	-	-	-	4% ^{c)}	-	4% ^{c)}
Minste effektive bindemiddelmengde $c+\Sigma k p$ (kg/m³)^{d)}	225	250	300	300	330	330

Tabell 2: Grenseverdier for sammensetning og egenskaper
(nasjonalt tillegg til NS-EN 206-1, tabell NA.9)

Bestandighetsklasse

	M90	M60	M45	MF45 ^{a)}	M40	MF40 ^{a)}
Største masseforhold ^{b)} v/(c+Σk p)	0,90	0,60	0,45	0,45	0,40	0,40
Minste luftinnhold i fersk betong	-	-	-	4% ^{c)}	-	4% ^{c)}
Minste effektive bindemiddelmengde c+Σk p (kg/m ³) ^{d)}	225	250	300	300	330	330
	Tillatt sementtype ^{e) f)}					
CEM I	X	X	X	X	X Forutsatt mer enn 6% tilsetning av silikastøv	X Forutsatt mer enn 6% tilsetning av silikastøv
CEM II/A-L (6-20 kalkfiller)	X	X	0	0	0	0
CEM II/A-S (6-20 slagg)	X	X	X	0	X	0
CEM II/B-S (21-35 slagg)	X	0	X	0	X	0
CEM II/A-D (6-10 silikastøv)	X	X	X	X	X	X
CEM II/A-V (6-20 flygeaske)	X	X	X	X	X	X
CEM II/B-V (21-35 flygeaske)	X	0	X	0	X	0
CEM III/A (35-65 slagg)	X	0	X	0	X	0

^{a)} For bestandighetsklasse MF40 og MF45 skal det anvendes frostsikkert tilslag (se punkt 5.1.3)

^{b)} Betongens "masseforhold" er "vann/(sement + k x tilsetningsmateriale)-forholdet", der mengden "(sement + k x tilsetningsmateriale)" betegnes "effektiv bindemiddelmengde"

^{c)} Norsk standard gir ikke regler for produksjon av frostsikker betong uten bruk av luftinnførende tilsetningstoffer

^{d)} Ved innblanding av flygeaske skal mengden av sement ikke være mindre enn 200 kg/m³

^{e)} X i tabellen betyr at sementtype er tillatt. 0 i tabellen betyr at norsk standard ikke gir regler for bruken av sementtypen i denne kombinasjonen med bestandighetsklasse.

^{f)} Når det i spesifikasjonen er krevd "Sulfatbestandig sement", skal det anvendes CEM I -SR etter NS 3086:2003.

NS-EN 206 (tabell NA.9)

- Krav til luftinnhold 4.0% – 8.0 %
- Enkelt lass -0.5 eller + 1%, dvs 3.5% - 9.0 %
- Avvik i inntil 33% av målingene

NS-EN 206 NA.8.3 Levering, mottak og transport av fersk betong på byggeplassen

Samsvarskontroll av luftinnhold (betongprodusentens ansvar):
«Samsvarkontroll av luftinnhold skal utføres på prøver tatt ut etter transport til byggeplass og etter eventuell justering med tilsetningsstoff. Dersom betongen pumpes, skal prøver (fortrinnsvis) tas ut etter pumping».

Identitetsprøving av luftinnhold (Entreprenørens/brukerens ansvar): «På byggeplassen skal luftinnholdet alltid kontrolleres daglig når støpingen starter, og videre ved fortløpende støping minst hver 3.time eller minst 1 gang pr. påbegynt 50 m³.



➤ Reduksjon i fasthet er ca 5 % ved hver 1% økning av luftinnhold

Statens vegvesen – Prosesskode 2: Standard beskrivelse for bruer og kaier

> Håndbok R762, Prosesskode 2, 20.nov 2015

> 84.4 Betongstøp *Frostbestandighet*

- Betong til konstruksjonsdeler som utsettes for frysing/tining i fuktig tilstand skal tilsettes luftinnførende tilsetningsstoff. Likeledes alle konstruksjonsdeler som utsettes for tinesalt eller saltsprut og saltføyke.
- Dersom betongens frostbestandighet ikke dokumenteres på annen måte akseptert av byggherren, skal doseringen av luftinnførende tilsetningsstoff være slik at luftporevolumet målt i den ferske betongen umiddelbart før utstøping (etter eventuell pumping) er:
 - - $4,5 \pm 1,5$ % for spesifiserte fasthetsklasser til og med B 45
 - - $3,5 \pm 1,5$ % for spesifiserte fasthetsklasser over B 45

> Tidligere:

- $5,0 \pm 1,5$ % for spesifiserte fasthetsklasser til og med B 45,
- $3,5 \pm 1,5$ % for spesifiserte fasthetsklasser over B 45.

Luftinnførende tilsetningsstoffer L-stoff

- Luftinnførende tilsetningsstoffer er overflateaktive molekyler som stabiliserer/etablere luftbobler når de blandes kraftig i vann.
- Luftboblene er ladet og boblene frastøter hverandre. Dette hindrer og at boblene vokser sammen. Størrelse på luftboblene er fra 0.01-1mm i diameter
- Forskjellige typer L-stoff:
 - Treharpiks (vinsol resin)
 - Polyetylenoksyder (tensider)
 - fettsyresalter (fra tallolje eller kokosnøttolje)
 - Andre typer er alkyl-aryl sulfonater, akrylsulfater

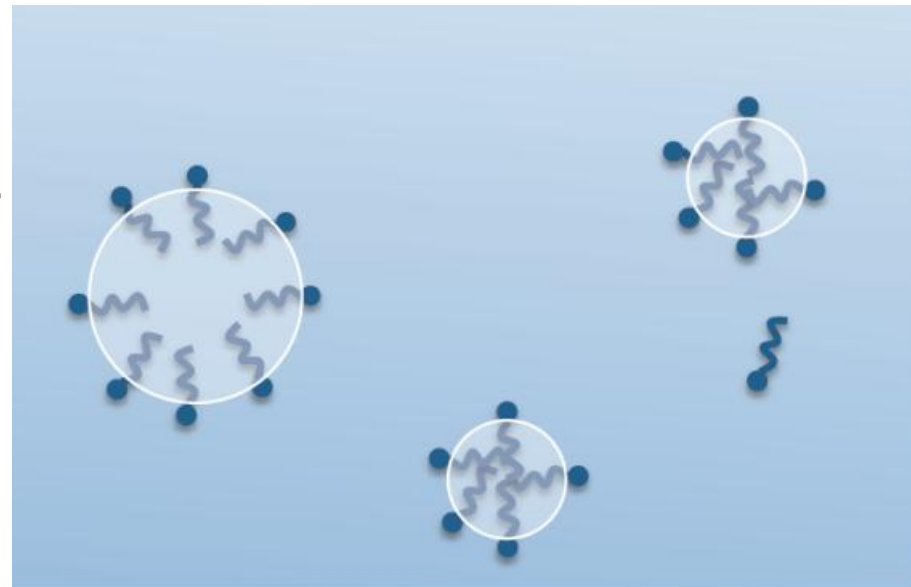
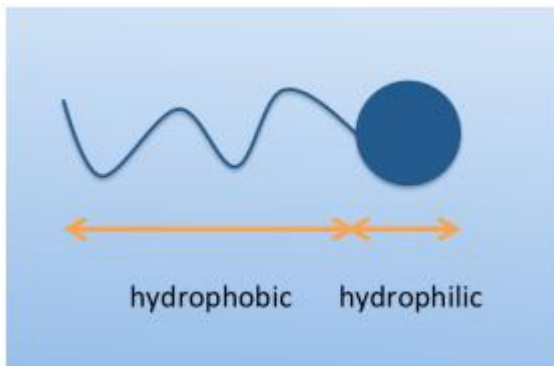


Figure 1-2. Air bubbles stabilized by surfactant adsorption at the air/liquid interface (note that the size of the surfactant molecules are exaggerated for clarity; these bubbles are 10 to 200 μm , while the surfactant tails are on the order of 0.01 μm)

Materialparametre som påvirker frostbestandighet

- Bindemiddel: valg av sement kan ha stor innvirkning på frostbestandigheten av en betong. Også silika og ikke minst flygeaske kan ha stor betydning på luftinnhold og frostbestandighet.
 - *Fra Fagerlund 1995 (BRITE/EURAM project BREU-CT92-0591)*
 - Mineral admixtures shall preferably not be used in concrete exposed to long time exposure to moisture with and without salt, and repeated frost. Low amounts of silica fume can, however, be accepted.
 - The selection of the Portland cement is a crucial factor. It is necessary to select a cement which is able to produce a high frost resistance with a low air content as possible. This selection must be based on pre-tests of the frost and salt scaling resistance.
 - The flyash to be used in concretes with high frost resistance must be of an exceptional quality, with small variation in the loss of ignition and “organic content”.
- v/c-tall: lavere v/c-tall gir tettere pasta, lavere porøsitet, mindre mengde fritt og frysbart vann samt høyere strekkfasthet—betongen tåler fryse/tine-belastningene bedre
- Tilslag: kornform og siktekurve påvirker luftinnholdet. Mer L-stoff er nødvendig ved knust tilslag og ved mer finstoff.
- Transport og pumping: normalt reduseres luftinnholdet over tid og ved pumping.
- Konsistens og utstøping: høy støpelighet, ustabil betong eller mye vibrering gir redusert luftinnhold.

Prøvingsmetoder

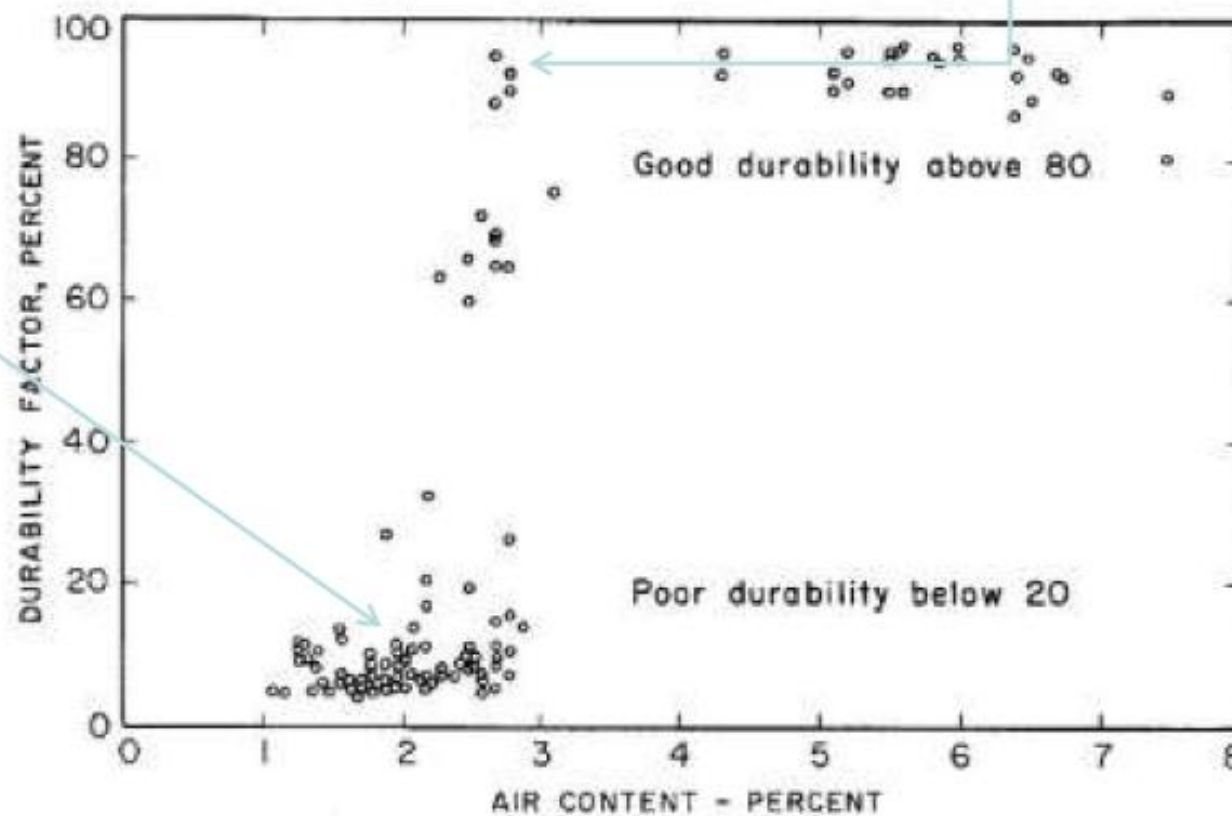
- Fersk betong:
 - Luftinnhold
 - AVA – luftporestruktur i fersk tilstand beregner porestørrelsesfordeling og avstandsfaktor
- Herdnet betong:
 - Luftpore analyse: Måler/beregner avstandsfaktor og karakteristisk overflate
 - Borås metoden: fryse/tine-sykluser - avskallingsprøving med 3% NaCl-løsning.
 - ASTM C6667: fryse/tine-sykluser i rent vann



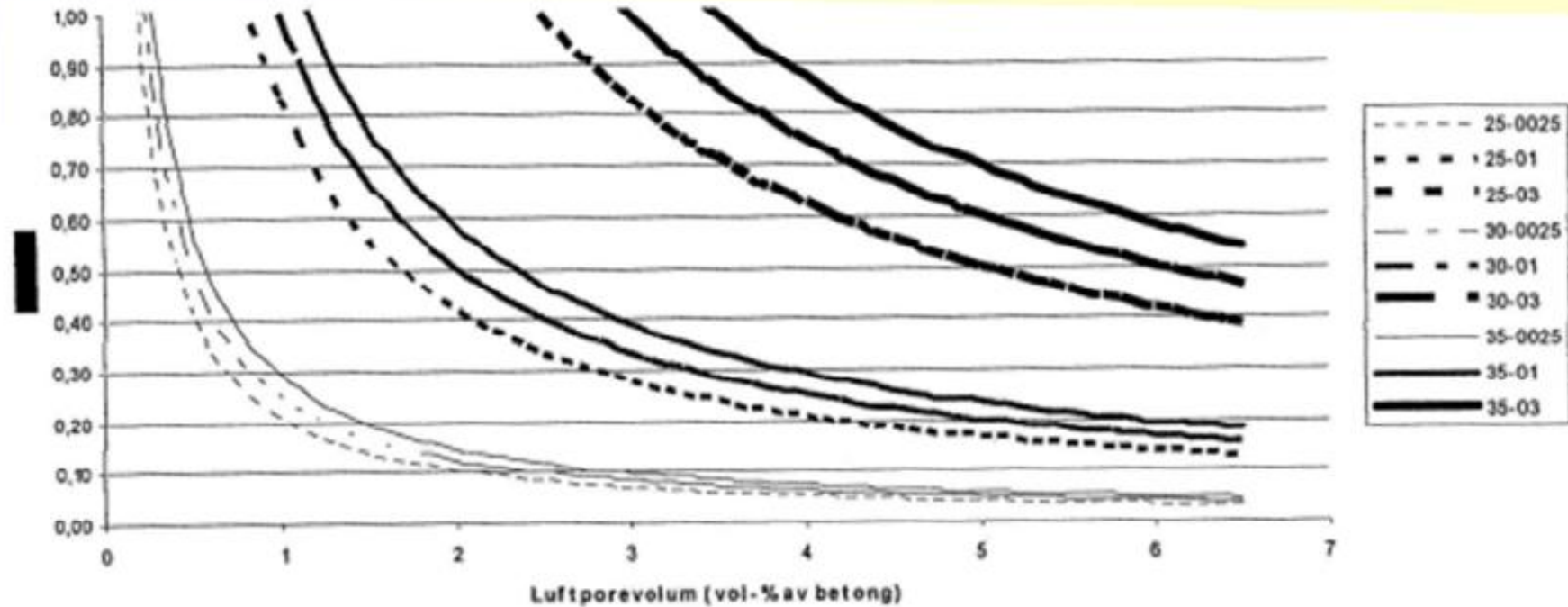
Nødvendig luftinnhold for frostbestandig betong

Minimum 3% luft er nødvendig for å få frostbestandig betong

1-2% er naturlig luftinnhold

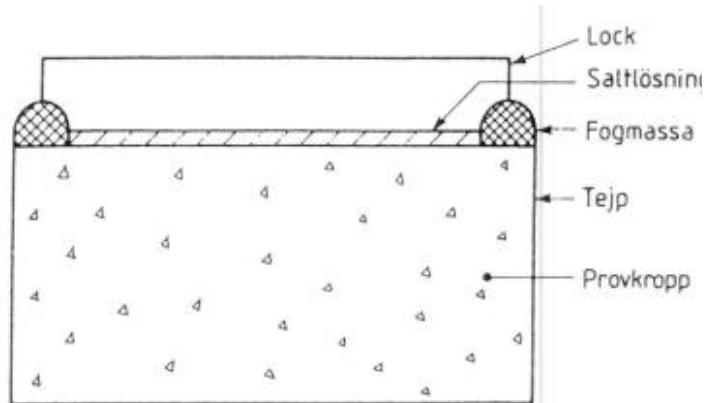


Luftporestruktur: luft/avstandsfaktor



Avstandsfaktor vs luftporevolum: $V_{\text{pasta}} = 25, 30 \text{ og } 35 \text{ vol-\%}$, radius = 0,025, 0,1 og 0,3 mm

Borås metoden (avskalling på overflaten)



Resultat:

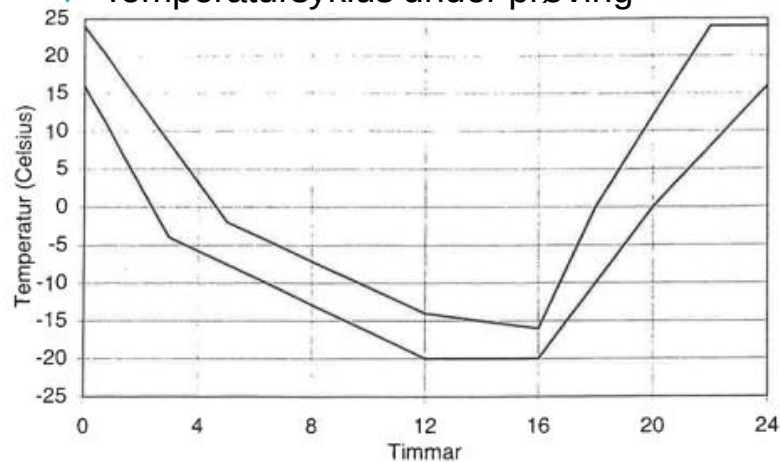
- Meget god: Maks avskalling 0,1 kg/m²
- God: Maks avskalling 0,5 kg/m², samt M56/M28 < 2
- Akseptabel: Maks avskalling 1,0 kg/m², samt M56/M28 < 2
- Ikke akseptabel: Overstiger ovenstående

M56 = målt avskalling etter 56 sykluser

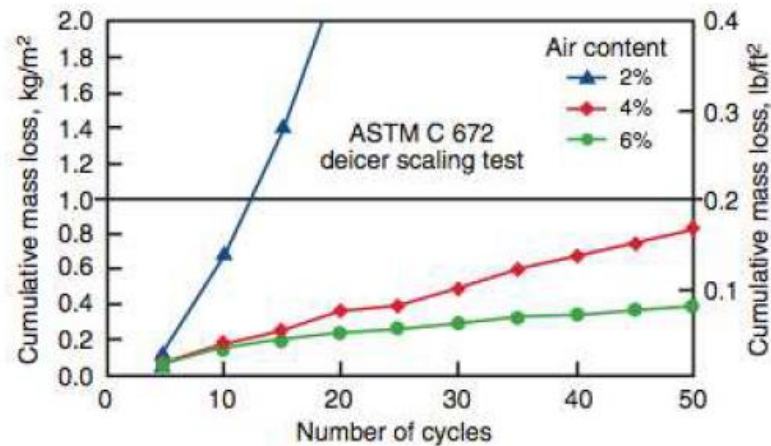
M28 = målt avskalling etter 28 sykluser

Ovenstående testing gjøres på 4 stk 150 mm terninger eller 6 stk 100 mm utborede cylindere. Også mindre antall/størrelser har blitt anvendt.

Temperatursyklus under prøving



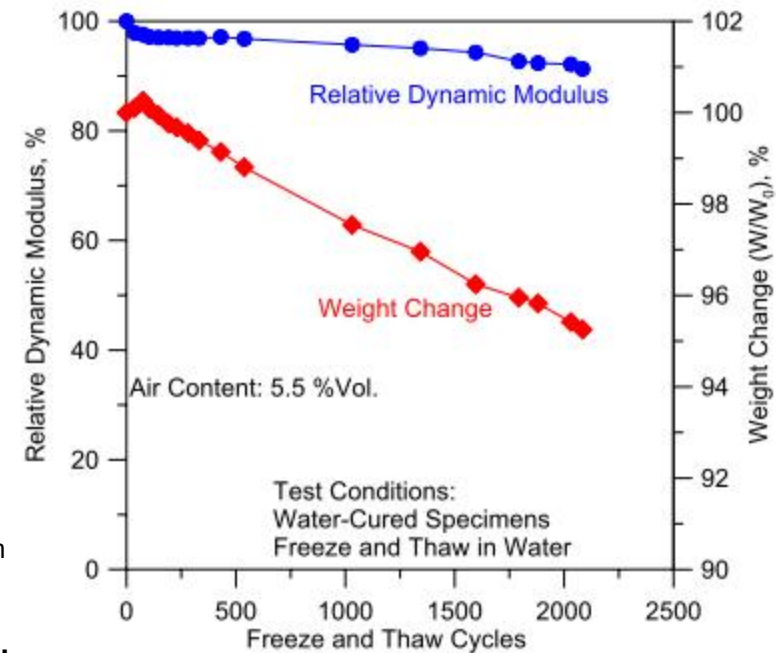
Typisk resultat:



ASTM C 666



Prøvestykket fryses/tines i en beholder med rent vann. 1- 3mm klaring mellom prøvestykke og beholder.



- > Aksept kriterium: 60% E-mod etter 300 sykluser
- > 300 sykluser +20 / -20 (6 sykluser pr dag)

Frostpåkjenning og krav?

➤ Spørsmål som er naturlig å stille:

- Er det sammenheng mellom frostpåkjenning og krav?
- Hva er sammenhengen mellom frostpåkjenning og prøvingsmetoder?



Frostskader

- Gruppe 1: Overflateavskalling karakterisert i form av gradvis mer og mer avskalling. Dette skjer spesielt ved fryse-tine sykluser i saltholdig miljø. Medfører til gradvis mindre overdekning.
- Gruppe 2: Indre opprissing karakterisert av en permanent volumøkning i betongen som medfører indre opprissing. Dette skjer ofte uten synlig skade. Medfører gradvis reduserte mekaniske- og bestandighets-egenskaper.
- Eksempler er eksponerte konstruksjoner med horisontal og vertikal ubeskyttet overflate og fryse/tine påkjenninger i fuktige omgivelser eller i kontakt med vann, regn, sjøvann, snø/is og veisalt.



Frysing av betong

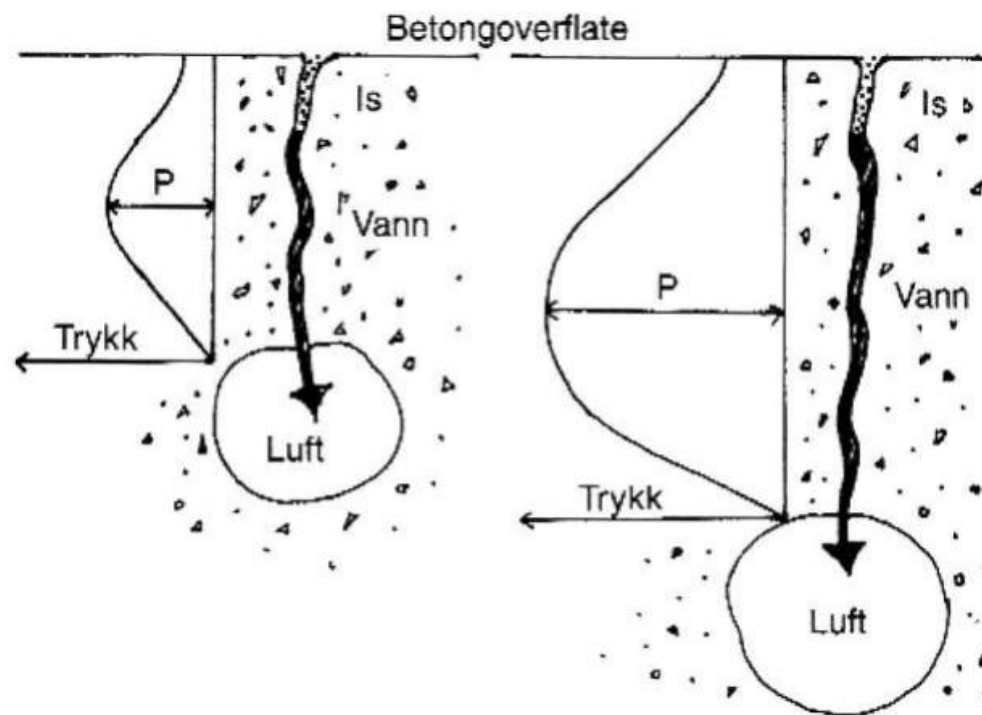
- Mange av porene i en betong vil bli vannfylt iløpet av uker eller måneder når betongen er i kontakt med vann, spesielt nær overflaten.
- Når porevannet fryser ekspanderes vannet 9%.
- Frysing av porevann medfører også økende tendens for absorpsjon av ikke-frøset vann fra utsiden og re-distribusjon av vann i poresystemet.
- Mengde is som dannes i poresystemet er avhengig av 2 faktorer:
 - Porestrukturen. Porestørrelsesfordeling og total porøsitet
 - Vannmetningsgrad
- Porestrukturen er kompleks og porestørrelsen variere fra nm til mm.
- Vannfylt porestruktur:
 - Pore 10nm fryser ved -25°C
 - Pore 100nm fryser ved -3°C
- $v/c=0.40$ (vannmettet), kun 10% av vannet i porene vil fryse ved -20°C
- $v/c=0.70$ (vannmettet). Omtrent 30% av vannet i porene vil fryse ved -20°C

Nedbrytningsmekanismer - frost

- Før 1940 så var det “Milk bottle” teori hvor vannet ekspanderer 9% ved frysning som var den gyldige teorien.
- 1945-49. Etterhvert så kom man fram til Hydraulisk trykk teori som kunne forklare hvorfor luftporer i sementpastaen kunne forhindre frostnedbrytning.
- 1950-1970 Mikroskopisk Is-linse-teori og Osmotisk trykk teori

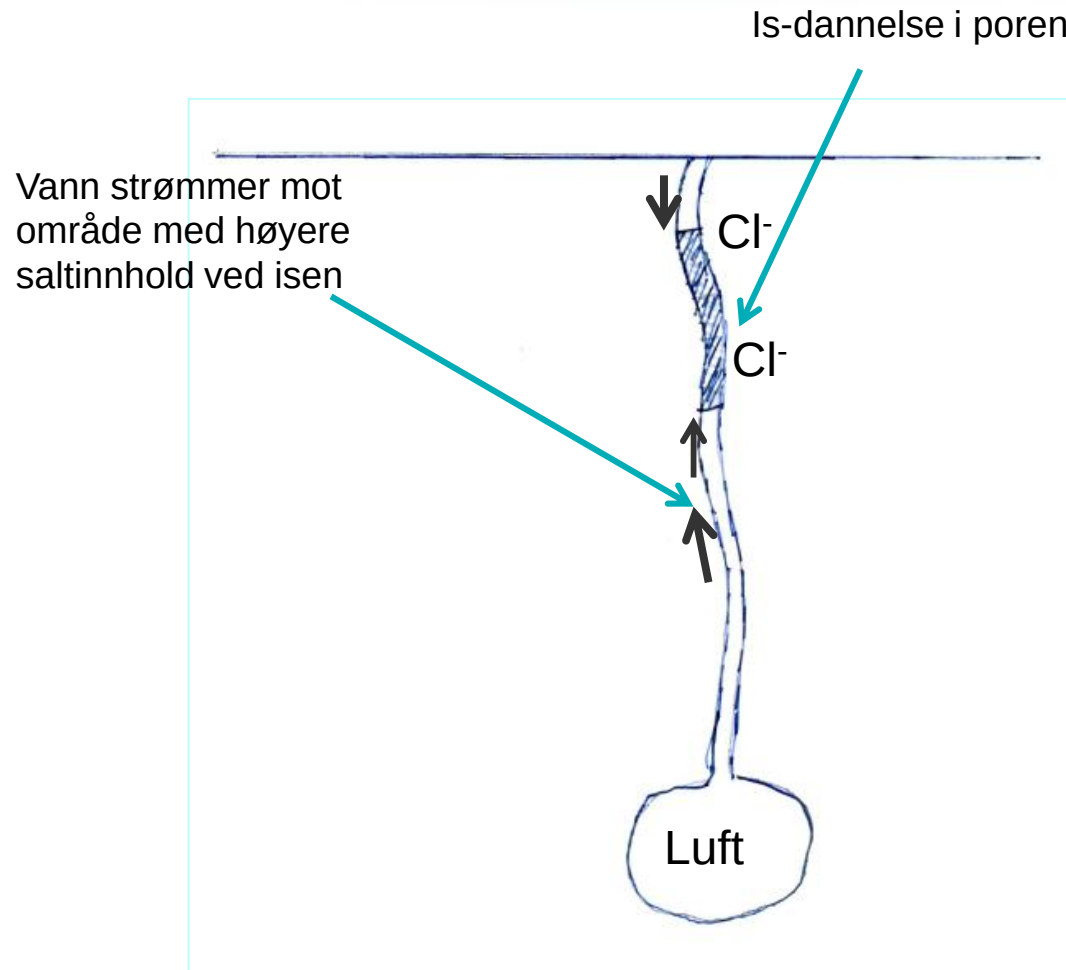
Nedbrytningsmekanismer – Hydraulisk trykk teori

- Når is dannes i poresystemet medfører dette 9% volumøkning og trykk mot porevegger og omkringliggende ufrøset væske. Dersom dette trykket ikke kan reduseres eller elimineres ved at ufrøset vann flyter mot tomme porer, pga mangel på tomme porer eller for smalt poresystem, så kan trykket medføre at strekk-kapasiteten i betongen overskrides og sprekker opp.



- Fra H.Vikan
Statens
vegvesen

Nedbrytningsmekanismer – Osmose teori



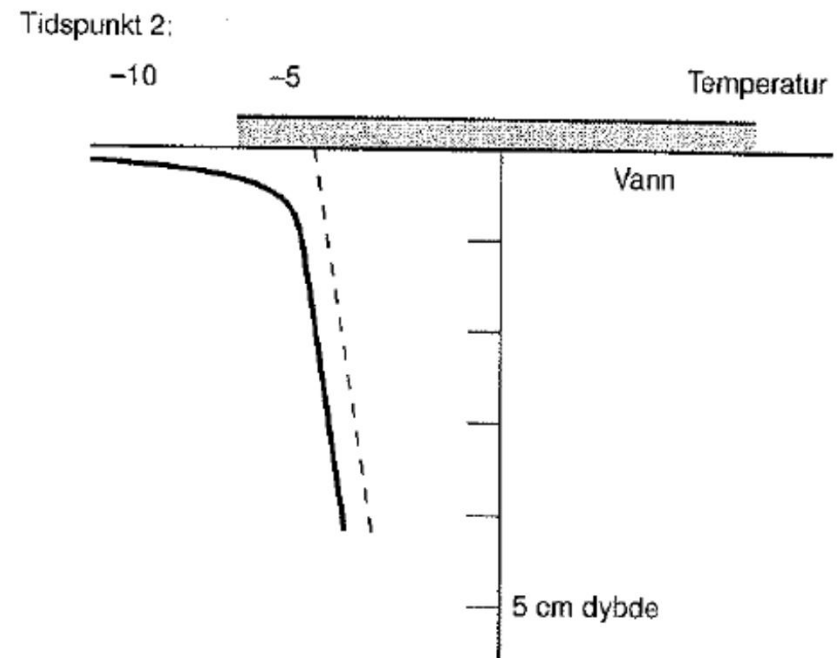
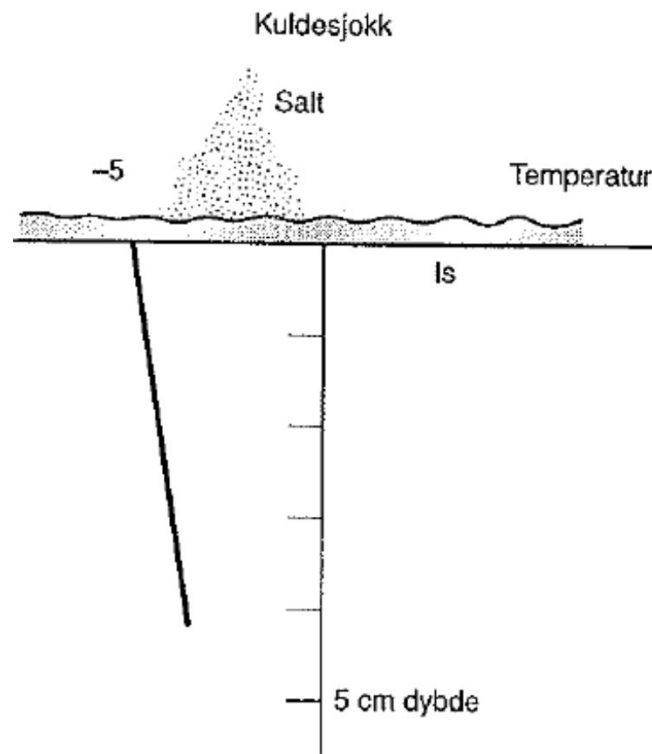
Osmotisk trykk: forårsaket av økt ione-konsentrasjon rundt ikke-frøset porevann der hvor is dannes, spesielt i nærvær av salt.

Vannløselige ioner er mye mindre mobile enn vann-molekyler. For å etablere likevekt i konsentrasjonen av ioner så vil det bli en (netto) transport av vann mot område med høy konsentrasjon av ioner ved is.

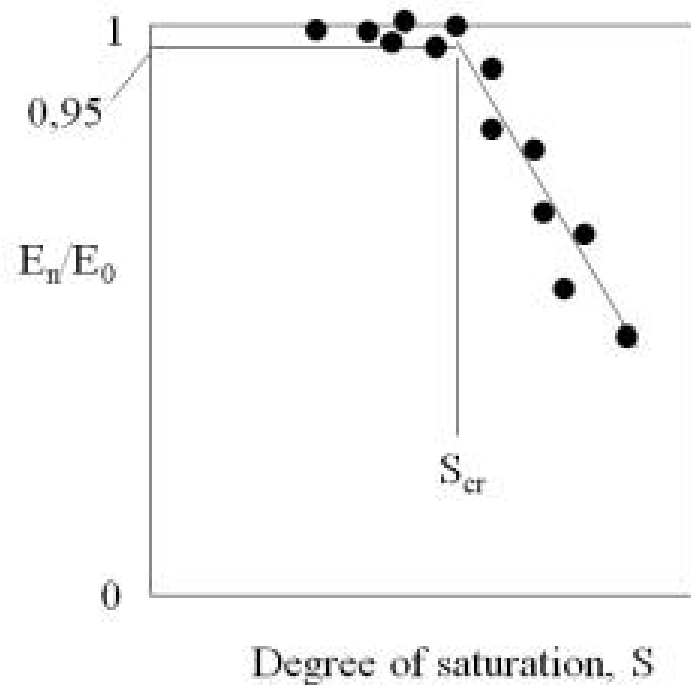
Dette vil danne trykk i området hvor is dannes.

Effekt av salting

Salting kan medføre lavere temperatur og forsterket osmotisk trykk

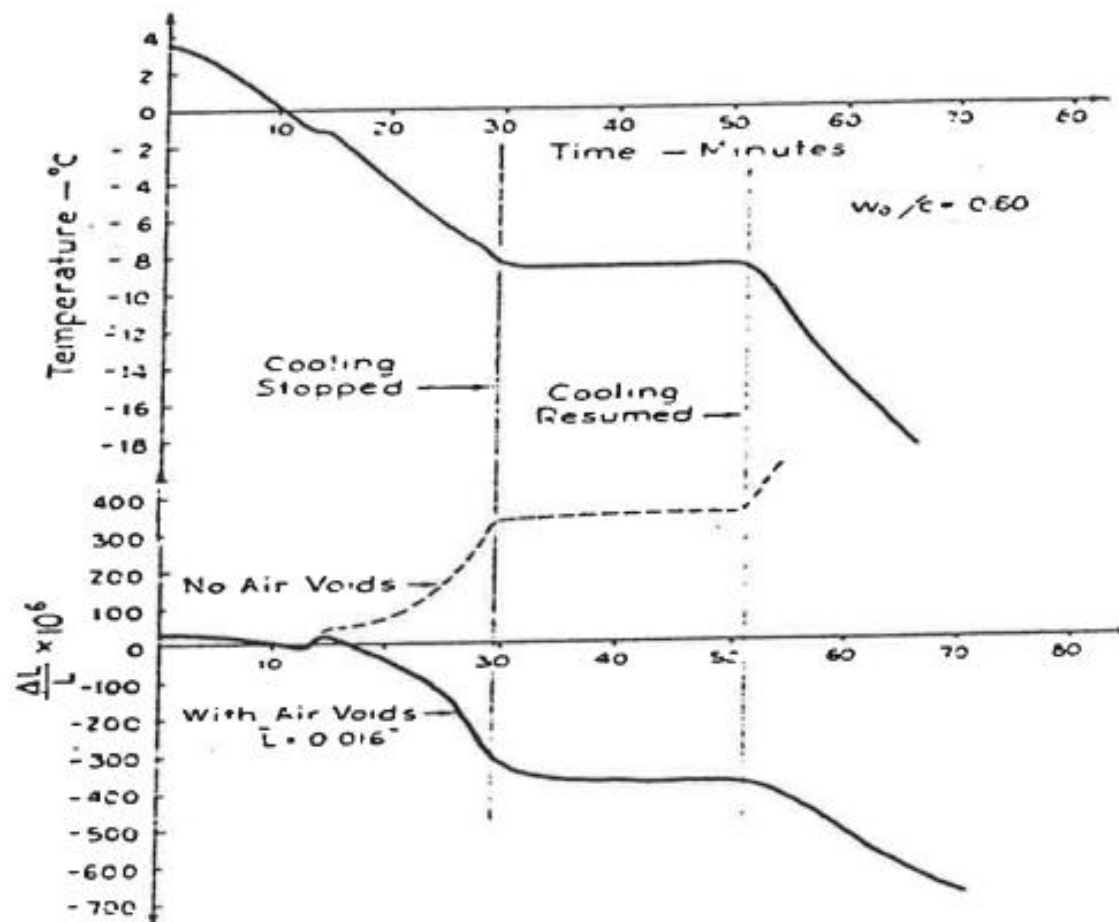


Kritisk vannmetningsgrad (Fagerlund, 2012)



- > S_{cr} – kritisk vannmetningsgrad
- > Identifiseres ved at prøvestykker prøves ved forskjellige vannmetningsgrader
- > F/T-sykluser øker vannmetningsgraden i betongen
- > Ett godt luft-poresystem vil motvirke at kritisk vannmetningsgrad oppnås.

Hva skjer når temperaturen synker i betongen (typisk forløp)



Figur 1. Längdändring som funktion av temperatur för två pastor med vct 0,60, en med luftinblandning och en utan. Hämtad ur Powers & Helmuth (1953).

DaCS WP2

Produksjon av frost bestandig betong

NTNU, Department of Structural Engineering, Concrete Group, Trondheim, Norway
Andrei Shpak (PhD candidate), Stefan Jacobsen (Supervisor), George W. Scherer (Co-supervisor)
02nd of November 2016

Produsere og dokumentere frostbestandig betong

- MÅL:
- Utvikle robuste tilsetningsstoff-bindemidler-tilslag kombinasjoner
- Evaluere krav, anbefalinger og metoder for fryse/tine-prøving av betong
- Evaluere akseptkriteria og tilhørende eksponeringsforhold

A1

Not sure whether we should keep this slide.

Author; 2016-11-01

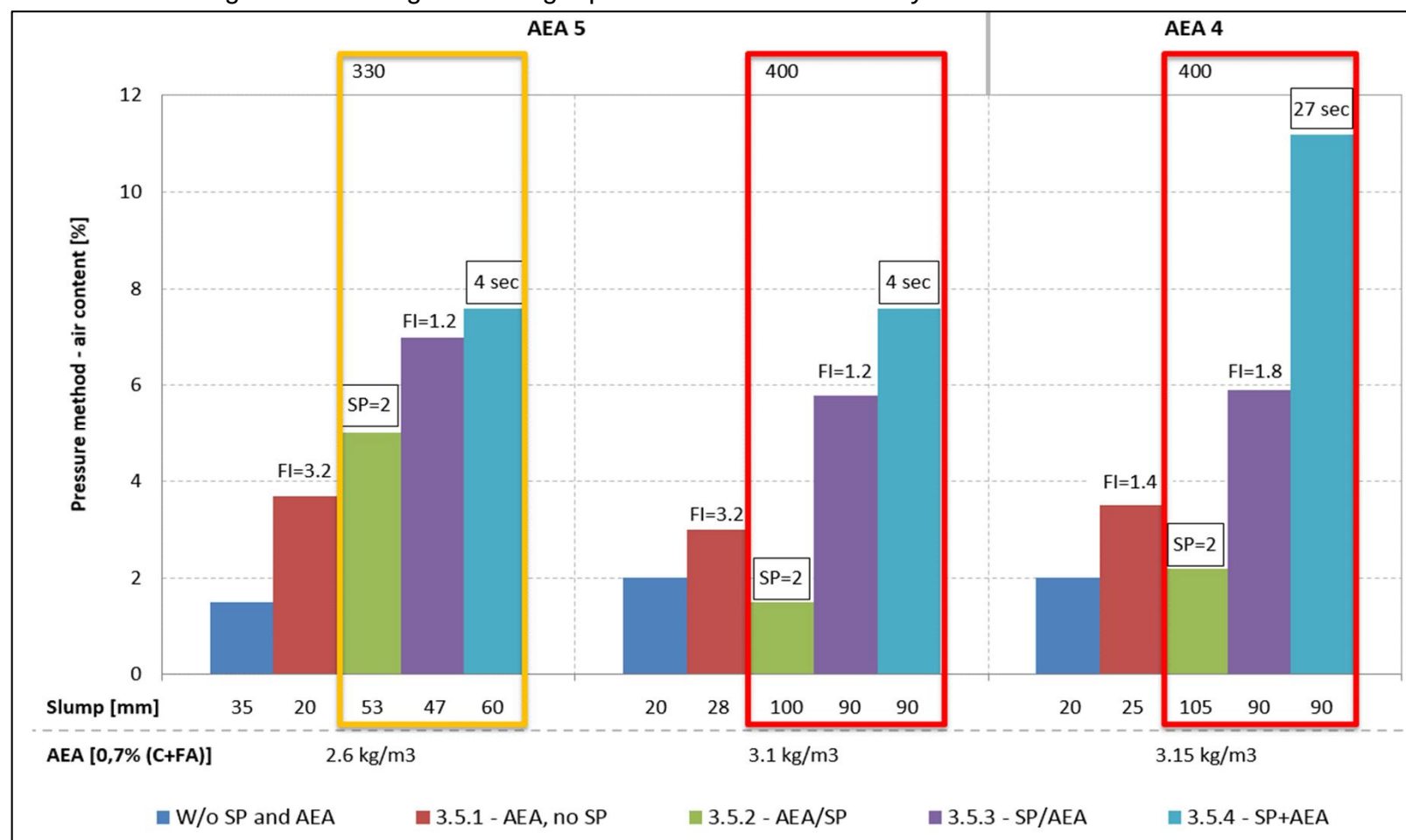
Program

1. State of the art. Oversikt over frostprøvningsmetoder, krav og anbefalinger for frostbestandige konstruksjoner.
2. Studere effekten av tilsetningsrekkefølge av SP og AEA på luftinnføring i mørtler og betong med flygeaske. Sammenlikning av forskjellige måleresultat. Inkludert StAr.
3. Vannfylling av luft fra betongoverflaten. Vannopptak vs tykkelse av prøvestykke. Fryse/tine motstand – intern rissing vs avskalling. Modellering.
4. Asorpsjonsmålinger ved bruk av «tensiometry» av SP og AEA på FA partikler for å evaluere effekten av tilsetningsrekkefølge på overflatespenningene.
Tilleggsprogram (for evaluering)

5. Gjensidig effekt av produksjonsaspekter, fersk betong temperatur, transport, levering, utstøping og herdebetingelser i luftinnført betong med flygeaske. Egenskapsprøving.
6. Eksperimentell studie. DIC betong overflate tøyning målinger for prøvestykker eksponert for F/T-sykluser.

Effekt av tilsetningsstoffrekkefølge for SP og L på luftinnholdet i mørtler med høyt innhold av flygeaske (FA)

Figur 1. Resultat from Stipendiat A. Shpak og MSc M. Turowski.
Effekt av tilsetningsstoffrekkefølge av SP og L på luftinnhold i mørtel. May 2016



Effekt av tilsetningsstoffrekkefølge av SP og L-stoff på luftinnhold i betong med høyt innhold av flygeaske (FA)

- Gjennomgang av vanlig praksis for doseringsstidspunkt og rekkefølge for Luft og SP.
- Litteraturstudium av adsorpsjon av SP og L for å forstå hvordan stoffene virker sammen (eller ikke) samt hvordan (teori) adsorpsjonen på flygeaske fungerer.
- Gjennomføre en serie prøver på blandeverket til Norbetong utenfor Trondheim for å måle effekten av tilsetningstidspunktet og rekkefølgen på kvalitet og stabilitet av luftporesystem, samt f/t-motstand under standardiserte og ikke-standardiserte herdebetingelser).

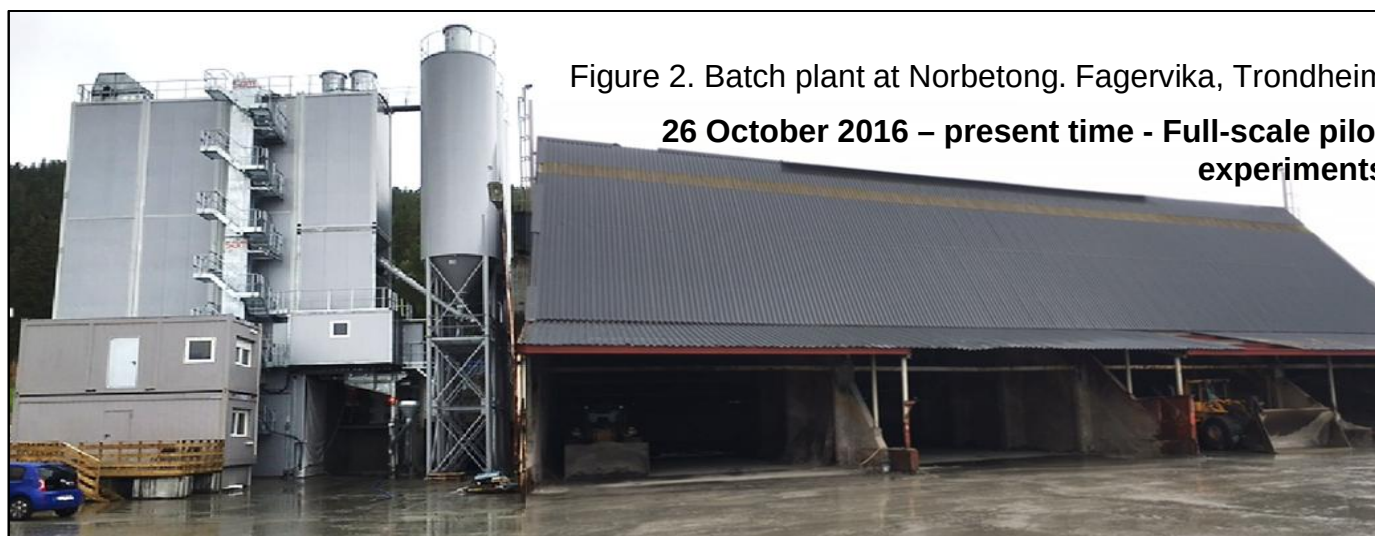


Figure 2. Batch plant at Norbetong. Fagervika, Trondheim
26 October 2016 – present time - Full-scale pilot experiments

Effekt av tilsetningsstoffrekkefølge av SP og L-stoff på luftinnhold i betong med høyt innhold av flygeaske (FA)

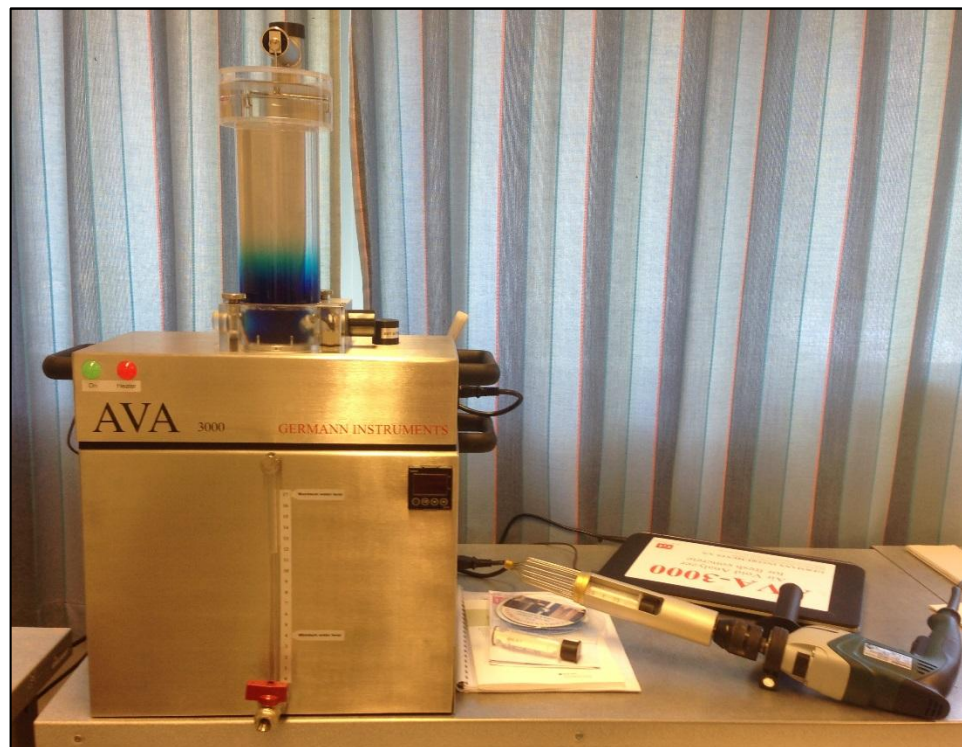
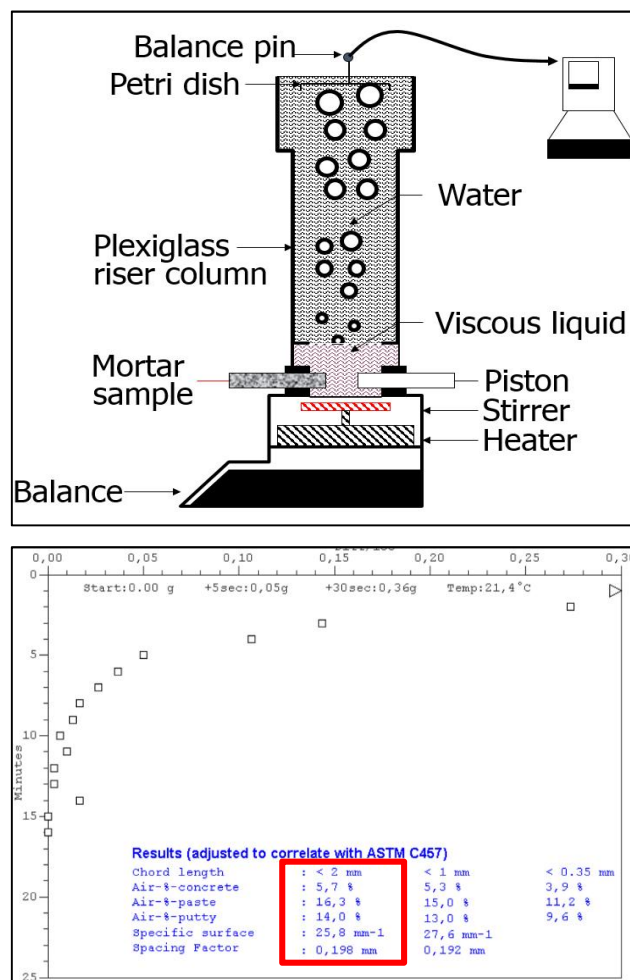


Figure 3. AVA – air-void analyzer for determination of quality of air-entrainment in the fresh concrete
(top left – principle, top right – AVA, bottom left – results)

Equipment is being used at batching plant for pilot full scale experiment at Norbetong for air-void stability studies

Copyright and disclaimer

Copyright

Copyright of all published material including photographs, drawings and images in this document remains vested in Kvaerner and third party contributors as appropriate. Accordingly, neither the whole nor any part of this document shall be reproduced in any form nor used in any manner without express prior permission and applicable acknowledgements. No trademark, copyright or other notice shall be altered or removed from any reproduction.

Disclaimer

This Presentation includes and is based, inter alia, on forward-looking information and statements that are subject to risks and uncertainties that could cause actual results to differ. These statements and this Presentation are based on current expectations, estimates and projections about global economic conditions, the economic conditions of the regions and industries that are major markets for Kvaerner ASA and Kvaerner ASA's (including subsidiaries and affiliates) lines of business. These expectations, estimates and projections are generally identifiable by statements containing words such as "expects", "believes", "estimates" or similar expressions. Important factors that could cause actual results to differ materially from those expectations include, among others, economic and market conditions in the geographic areas and industries that are or will be major markets for Kvaerner's businesses, oil prices, market acceptance of new products and services, changes in governmental regulations, interest rates, fluctuations in currency exchange rates and such other factors as may be discussed from time to time in the Presentation. Although Kvaerner ASA believes that its expectations and the Presentation are based upon reasonable assumptions, it can give no assurance that those expectations will be achieved or that the actual results will be as set out in the Presentation. Kvaerner ASA is making no representation or warranty, expressed or implied, as to the accuracy, reliability or completeness of the Presentation, and neither Kvaerner ASA nor any of its directors, officers or employees will have any liability to you or any other persons resulting from your use.