

# Utvikling av prøvingsmetodikk, og prøving av frostbestandighet for sprøytebetong til vanntett permanent tunnelkledning i moderne veg- og jernbanetunneler

**Maren Kristine Tandberg**

Tekniske geofag

Innlevert: juni 2014

Hovedveileder: Bjørn Nilsen, IGB

Medveileder: Karl Gunnar Holter, IGB

Sverre Smeplass, Institutt for konstruksjonsteknikk, NTNU  
Trine Bye Sagen, Jernbaneverket Teknologi, Trondheim

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Institutt for geologi og bergteknikk



## **Forord**

Denne masteroppgaven er skrevet våren 2014 ved Institutt for geologi og bergteknikk, NTNU. Oppgaven representerer avslutningen på det femårige sivilingeniørstudiet ved studieprogrammet Tekniske Geofag, med hovedprofil Ingeniørgeologi og bergmekanikk.

Masteroppgaven representerer en videreføring av prosjektoppgaven jeg skrev høsten 2013 og er et samarbeid med PhD-kandidat Karl Gunnar Holter, Jernbaneverket og Statens Vegvesen.

Hovedveileder for oppgaven har vært Bjørn Nilsen, men det har vært PhD kandidat Karl Gunnar Holter og Prof. II Sverre Smeplass som har stått for veiledningen. Dette pga. relasjonen til Holter sin doktorgrad og betongteknologikunnskapene til Sverre. Tusen takk for all hjelp og veiledning.

Vil takke de hyggelige personene på betonglaben til Statens Vegvesen for utførelse av Borås testen. Chris for hjelp med egenfrekvensmålinger på disk. Torgeir for bidrag med det instrumentelle til den egenutviklede frostapparatoren. Ove og Steinar for hjelp på konstruksjonsteknikklaben. Erik for samarbeid og utførelse av ASTM C666 forsøkene. Vil også takke Christine Langås for at hun har stilt opp med å åpne og lukke fryseskap når verken jeg eller Holter har hatt anledning.

Til slutt vil jeg takke venner og kjæreste for fin studietid i Trondheim.

Trondheim, 06. juni 2014

Maren Kristine Tandberg



## **Sammendrag**

Oppgaven er en videreføring av prosjektoppgaven som ble skrevet høsten 2013. I oppgaven har sprøytebetongens frostbelastning og frostbestandighet blitt undersøkt. Det har blitt laget til en frostapparat spesielt rettet mot sprøytebetong. Denne apparaturen viser gode resultater med tanke på temperaturforløpet i prøvene.

Testene som er utført er ASTM C666, Borås testmetode, PF, Kapillærabsorpsjonsmetoden, egenfrekvensmålinger på disker og risskartlegging i tunnel med sprøytbar sprøytebetong og sprøytbar membran. Resultatene fra dette tyder på at sprøytebetongen tåler mye med tanke på frost. Den ligger tett oppunder kravet til frostbestandig betong, med PF rundt 0.20 og makroporøsiteter over 4%, men inhomogeniteter i materialet gir unntak og variasjoner.

ASTM C666 viste svekkelse etter 59 fryse/tine-sykler i vann, Borås testmetode ga resultater godt under kravet når kun utsatt for vann og langt over når utsatt for salter. Det er kun kjørt 25 og 50 fryse/tine-sykler i egenutviklet apparatur, resultatene tyder på at dette er for kort tid til å se noen form for skade.

## **Abstract**

This master thesis is a continuation of the paper the author wrote in the autumn of 2013. The frost capacity and the frost resistance of sprayed concrete have been investigated. It has been made an apparatus for cyclic freezing/thawing of sprayed concrete. This apparatus is specially constructed to simulate the situation in a modern rail and road tunnel in Norway. The results from the calibration show good temperature gradients upwards in the samples.

The tests that are done in this thesis are ASTM C666, CEN/TS 12390-9, PF, Capillary absorption, testing of resonant frequency on disks and fissures mapping in a rail tunnel with sprayed concrete and sprayed membrane. From the results it seems like the sprayed concrete can withstand a lot in terms of frost. From the PF-testing, the results show that the concrete lies close below the requirement of frost-resistant concrete with a PF around 0.20 and macro porosities above 4%, but inhomogeneity in the material gives exceptions and variations in the results. ASTM C666 shows deterioration after 59 freezing and thawing cycles in water. The test method CEN/TS 12390-9 gave results below the requirement when exposed to water and over when subjected to salt. In the apparatus for cyclic freezing and thawing it was done to few cycles to get any serious damage.



# Innholdsfortegnelse

<b>FORORD</b>	<b>I</b>
<b>SAMMENDRAG</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>III</b>
<b>INNHOLDSFORTEGNELSE</b>	<b>V</b>
<b>1 INNLEDNING</b>	<b>1</b>
<b>2 TEORI: BETONG GENERELT OG SPRØYTEBETONG</b>	<b>2</b>
<b>2.1 HVA ER BETONG?</b>	<b>2</b>
2.1.1 SEMENT	2
HYDRATISERING: REAKSJONEN MELLOM SEMENT OG VANN	4
2.1.2 TILSETNINGER	6
2.1.3 HERDET BETONG BESTÅR AV FLERE TYPER PORER	7
2.1.4 LUFTFUKTIGHET I BETONG	7
2.1.5 MIKROSPREKKER I BETONG, GRUNNET AUTOGEN- OG UTTØRKINGSKRYMPING	8
<b>2.2 SPRØYTEBETONG: HVA ER SPESIELT MED SPRØYTEBETONG?</b>	<b>11</b>
2.2.1 TO TYPER ”METODER” MED SPRØYTEBETONG: TØRR- OG VÅTBLANDING	11
2.2.2 I SPRØYTEBETONG ER DET SPESIELLE KRAV TIL TILSLAG OG SILIKASTØV	12
2.2.3 AKSELERATOR	12
2.2.4 FIBER	13
2.2.5 HOLDBARHET	14
2.2.6 KODER I FORBINDELSE MED SPRØYTEBETONG (NCA, 2011)	14
<b>2.3 KOMBINASJONEN BETONG, VANN OG FROST</b>	<b>15</b>
2.3.1 TO HOVEDHYPOTESER PÅ HVORDAN VANN FRYSER:	15
2.3.2 FROSTSKADE	16
2.3.3 FROSTBESTANDIG BETONG	16
<b>3 TUNNELSITUASJONEN I TUNNELER MED SPRØYTBAR MEMBRAN, RETTET MOT DENNE OPPGAVEN</b>	<b>17</b>
<b>3.1 KJERNEPRØVER FRA TO TUNNELER</b>	<b>17</b>
<b>3.2 TUNNELKLEDNINGEN MED SPRØYTEBETONG OG SPRØYTBAR MEMBRAN</b>	<b>17</b>
<b>3.3 SPRØYTEBETONGRESEPTER, AKSELERATOR OG FIBERINNHold</b>	<b>18</b>
<b>3.4 BERG-, VANN- OG SALTSITUASJONEN I TUNNELER I NORGE</b>	<b>19</b>
<b>3.5 TEMPERATUR- OG VINDMÅLINGER I GEVINGÅSTUNNELEN</b>	<b>20</b>
<b>3.6 TEMPERATURMÅLINGER INNOVER I SPRØYTEBETONGEN OG BERGET</b>	<b>21</b>
<b>4 METODER</b>	<b>23</b>
<b>4.1 ASTM C666</b>	<b>24</b>
4.1.1 KRAV TIL PRØVESTYKKENE	24
4.1.2 PROSEDYRE	24
4.1.3 ASTM C215	25
4.1.4 BEREGNING AV SKADEFAKTOR I HENHOLD TIL ASTM C666	28
4.1.5 ASTM C666 I DENNE MASTEREN	28
<b>4.2 CEN/TS 12390-9 (BORÅS TESTMETODE)</b>	<b>29</b>
4.2.1 FORBEHANDLING AV PRØVESTYKKER	29
4.2.2 OPPSETT	29
4.2.3 PROSEDYRE	30

4.2.4	BEREGNING	32
4.2.5	VURDERING AV RESULTAT	32
4.2.6	BORÅS TEST I DENNE MASTEREN	32
<b>4.3</b>	<b>"REALISTISK" TILPASSET FROSTAPPARATUR I FORHOLD TIL SPRØYTEBETONG I TUNNEL</b>	<b>33</b>
4.3.1	PREPARERING AV KJERNEPRØVENE	33
4.3.2	PROSEDYRE	34
4.3.3	VARIGHET AV FRYSE/TINE-SYKLER I DENNE MASTEREN	35
4.3.4	UTFØRELSE AV ARBEIDET I DENNE MASTEREN	35
<b>4.4</b>	<b>EGENFREKVENSMÅLING PÅ DISKER</b>	<b>36</b>
4.4.1	FORBEHANDLING AV PRØVESTYKKER	36
4.4.2	PROSEDYRE	36
4.4.3	UTFØRELSE AV ARBEIDET I DENNE MASTEREN	37
<b>4.5</b>	<b>PF-METODEN</b>	<b>38</b>
4.5.1	PRØVEUTTAK	38
4.5.2	PROSEDYRE	39
4.5.3	KALKULASJON	39
4.5.4	PF I DENNE MASTEREN	40
<b>4.6</b>	<b>KAPILLÆRABSORPSJONSMETODEN</b>	<b>41</b>
4.6.1	PRØVEUTTAK	41
4.6.2	PROSEDYRE	41
4.6.3	KALKULASJON	43
4.6.4	KAPILLÆRABSORPSJON I DENNE MASTEREN	43
<b>4.7</b>	<b>RISSKARTLEGGING I TUNNEL</b>	<b>44</b>
4.7.1	PROSEDYRE I DENNE MASTEREN	44
4.7.2	RISSKARTLEGGING I DENNE MASTEREN	44
<b>5</b>	<b>EGENUTVIKLET TESTMETODE FOR "REALISTISK" TESTING AV SPRØYTEBETONG</b>	<b>45</b>
<b>5.1</b>	<b>FRYSE/TINE-TESTMETODE</b>	<b>45</b>
5.1.1	KJERNEPRØVENE	45
5.1.2	APPARATUREN	46
5.1.3	KALIBRERING I EGENUTVIKLET FROSTAPPARATUR UTEN VANN	47
5.1.4	KALIBRERING MED VANN, VARMEELEMENT OG THERMOSTAT	49
5.1.5	KONKLUSJON	50
<b>5.2</b>	<b>DISKMETODEN</b>	<b>50</b>
5.2.1	BAKGRUNN	51
5.2.2	OPPSETT OG UTFØRELSE	51
5.2.3	KALIBRERINGSUTSTYR	52
5.2.4	FORBEHANDLING, RESULTATER OG DISKUSJON	53
<b>6</b>	<b>RESULTATER MED KOMMENTARAVSNITT</b>	<b>57</b>
<b>6.1</b>	<b>ASTM C666/ ASTM C215 (VEDLEGG 2)</b>	<b>57</b>
6.1.1	BILDER OG FORKLARING AV KJERNEPRØVENE FRA HARANGSTUNNELEN ETTER X ANTALL FRYSE/TINE-SYKLER IHT. ASTM C666	57
6.1.2	RESULTATER FRA ASTM C666, KJERNEPRØVER FRA HARANGSTUNNELEN	59
6.1.3	KOMMENTAR TIL RESULTATENE FRA ASTM C666	61
<b>6.2</b>	<b>CEN/TS 12390-9 (BORÅS TESTMETODE) (VEDLEGG 3A-G)</b>	<b>63</b>
6.2.1	BILDER AV KJERNEPRØVENE (FRA HARANGSTUNNELEN) ETTER FRYSE/TINE-SYKLER IHT. BORÅS TESTMETODE	63
6.2.2	RESULTATER FRA BORÅS TESTMETODE, KJERNEPRØVER FRA HARANGSTUNNELEN	65
6.2.3	KOMMENTAR TIL RESULTATENE FRA BORÅS TESTMETODE	66
<b>6.3</b>	<b>EGENUTVIKLET TESTMETODE, FRYSE/TINE-SYKLER (VEDLEGG 4A-E)</b>	<b>67</b>
6.3.1	KOMMENTAR TIL EGENUTVIKLET TESTMETODE, FRYSE/TINE-SYKLER	70



<b>6.4</b>	<b>EGENFREKVENSMÅLINGER PÅ DISKER KUTTET FRA KJERNEPRØVER UTSATT FOR 25 OG 50 FRYSE/TINE-SYKLER I EGENUTVIKLET FROSTAPPARATUR (VEDLEGG 5A-D)</b>	<b>71</b>
6.4.1	RESULTATER FRA EGENFREKVENSMÅLINGENE PÅ DISKER	71
6.4.2	KOMMENTAR TIL RESULTATENE FRA EGENFREKVENSMÅLINGER PÅ DISKER	72
<b>6.5</b>	<b>PF-METODEN (VEDLEGG 6A-K)</b>	<b>73</b>
6.5.1	KJERNEPRØVER FRA HARANGSTUNNELEN	73
6.5.2	KJERNEPRØVER FRA GEVINGÅSTUNNELEN	78
<b>6.6</b>	<b>KAPILLÆRABSORPSJON (VEDLEGG 7A-F)</b>	<b>83</b>
6.6.1	KOMMENTAR TIL RESULTATENE I KAPILLÆRABSORPSJONSMETODEN:	87
<b>6.7</b>	<b>RISSKARTLEGGING GEVINGÅSTUNNELEN (VEDLEGG 8A-E)</b>	<b>88</b>
6.7.1	RESULTATER FRA RISSKARTLEGGING I GEVINGÅSTUNNELEN	88
6.7.2	KOMMENTAR TIL RISSKARTLEGGING I GEVINGÅSTUNNELEN	88
<b>7</b>	<b><u>DISKUSJON MED GRAFISK SAMMENHENG I FORBINDELSE MED DEN EGENUTVIKLETE FROSTAPPARATUREN</u></b>	<b>89</b>
<b>8</b>	<b><u>KONKLUSJON</u></b>	<b>93</b>
<b>9</b>	<b><u>KILDER</u></b>	<b>94</b>
	<b><u>VEDLEGG</u></b>	<b>96</b>



## 1 Innledning

Sprøytbar membran testes for bruk i norske tunneler. En slik tunnelkledningen vil være uisolert og vanntett. Dette medfører at sprøytebetonglaget mot berget vil kunne bli utsatt for vann som fryser og ekspanderer.

Masteroppgaven representerer en oppfølging av prosjektoppgaven skrevet av forfatteren høstsemesteret 2013. Det ble da foretatt en vurdering av sprøytebetongs frostbelastning og frostbestandighet. Det ble i den forbindelse laget til et oppsett for reell frostbelastning, for syklisk frysing/tining av sprøytebetong på laboratoriet. Det ble også sett på testing av egenfrekvens på 20mm disker. I denne oppgaven vil dette arbeidet videreføres. Det vil bli benyttet standardtestmetoder og metoden med egenutviklet oppsett for reell frostbelastning, fra prosjektoppgaven, i kombinasjon med egenfrekvensmålinger på disker.

Kjerneprøvene som er benyttet er hentet fra en jernbanetunnel og en vegtunnel; Gevingåstunnelen og Harangstunnelen. Begge er tunneler i Norge hvor det er benyttet tunnelkledning med sprøytbar membran som vanntetting. Testmetodene som er benyttet er PF-metoden, kapillærabsorpsjonsmetoden, Borås testmetode, ASTM C666, risskartlegging, syklisk frysing/tining i egenutviklet apparatur og egenfrekvensmåling på disker. Borås testmetode og ASTM C666 er standard testmetoder med hard påkjenning, disse er benyttet for å ha noe å sammenlikne resultatene fra den egenutviklede metoden, hvor kjerner utsettes for syklisk frysing/tining og kuttet opp i disker som det blir utført egenfrekvensmålinger på.

Innledningsvis vil det bli gitt teori om betong og sprøytebetong. Først vil det bli gitt en del teori om betong, dette er gjort for at en leser med ingeniørgeologibakgrunn, som ikke har hatt betongteknologi, vil kunne ha mulighet til å sette seg inn i og forstå oppgaven. Videre vil det bli gitt informasjon om sprøytebetongen som er benyttet og tunnelsituasjonen som problemstillingen retter seg mot. Deretter vil det bli gitt en methodedel hvor hver av metodene benyttet i oppgaven vil bli belyst med teori og informasjon rettet mot oppgaven. Et eget kapittel om den egenutviklede metoden vil bli gitt etter methodedelen, kapittelet er hentet fra prosjektoppgaven skrevet av forfatter høsten 2013. Til slutt vil det bli vist resultater og diskusjon/kommentar til hver av metodene, før en samlet diskusjon og avslutningsvis en konklusjon/oppsummering.

## **2 Teori: Betong generelt og Sprøytebetong**

I dette kapittelet vil det først bli gått igjennom grunnleggende betongteknologi, deretter vil fokuset bevege seg over på sprøytebetong som er betongtypen som det vil bli sett nærmere på i denne oppgaven. Tilslutt vil det bli gitt litt teori rundt problemstillingen: betong, vann og frost.

### **2.1 Hva er betong?**

For å forstå prosessene i betong må en se på det helt grunnleggende ved betongteknologien. Først og fremst, hva er egentlig betong? Betong er en blanding av grovkornet stein > 4mm, sand, sement, kjemiske tilsetninger og mineraltilsetninger som pozzolaner, dvs. grovt sett en blanding av sementlim og steinmaterialer. Sementlim består i hovedsak av sement og vann. Omtrent 70% av betongen består av fine og grove steinmaterialer (sand og grovkornet stein > 4mm). Sementpastaen utgjør om lag 30% (Maage M., ch. 1, 2005).

#### **2.1.1 Sement**

Den mest brukte sementen er Portlandsement og ble oppfunnet av mureren Joseph Aspdin i Leeds i 1824 (SNL, 04.12.13). Denne sementen er basis for alle beregningene i betongteknologi.

Kalkstein er hovedingrediensen i sement. For å få en korrekt blanding av oksider blir den blandet med bauxitt, kvarts og gips. Kalkstein utgjør ca. 90% av andelen (Kjellsen K. O., ch. 5, 2003). Resten avhenger av sementanlegget og hva som er lokalt tilgjengelig. Det ferdige produktet portlandsement er en finmalt blanding bestående av individuelle kantete partikler med størrelse 0.001-0.1mm, hvor gjennomsnittlig størrelse er på 0.02mm (Kjellsen K. O., ch. 5, 2003).

#### **Klinker: Et mellomsteg i produksjonen av sement**

Klinker er harde kuler av sammensintret materiale. Det er dette produktet en står igjen med etter brenning, før det finmales til sement. Klinker er med andre ord et mellomsteg i produksjonen av sement. Klinkermateriale, fra mest til minst, består av oksidene:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$  og  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  (Kjellsen K. O., ch. 5, 2003).

Viktig å merke seg at noen av oksidene forkortes til bare en bokstav for å gjøre det lettere:

C	=	CaO
S	=	SiO <sub>2</sub>
A	=	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
F	=	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

Klinkeren deles inn i fire hovedfaser. Den vanlige terminologien på disse klinkermineralene er: Alitt (C<sub>3</sub>S), Belitt (C<sub>2</sub>S), Aluminat (C<sub>3</sub>A) og Ferritt (C<sub>4</sub>AF) (Kjellsen K. O., ch. 5, 2003).

I Tabell 1 er de fire hovedklinkermineralene listet opp etter navn, kjemisk navn, kjemisk sammensetning og den forkortete, kjemiske sammensetningen.

**Tabell 1 Klinkermineralene (Kjellsen K. O., ch. 5, 2003)**

Navn (mineralogi)	Kjemisk navn	Kjemisk sammensetning	Forkortet kjemisk sammensetning
Alitt	Tri-kalsium-silikat	3CaO * SiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S
Belitt	Di-kalsium-silikat	2 CaO * SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S
Aluminat	Tri-kalsium- aluminat	3CaO * Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A
Ferritt	Tetra-kalsium-aluminat- ferritt	4CaO * Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> * Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> AF

Tabell 2, se neste side, er det vist en oversikt over hver av de fire hovedklinkermineralene med informasjon. Informasjonen til hver av klinkerne er hentet fra kapittel 5 og 6 i TKT 4215 Betongteknologi 1.

**Tabell 2 Informasjon om de fire hovedklinkermineralene**

Klinkermineral	Informasjon
"Alitt" $C_3S$	<ul style="list-style-type: none"><li>• 50-70%</li><li>• Høyest innhold av kalk</li><li>• Relativt hurtig hydratisering</li><li>• Årsak til initial sett (fra væske til plastisk) og tidlig styrke</li><li>• Bidrar til høy styrke senere, høy 28. dag styrke</li><li>• Varmeutvikling: 500kJ/kg</li><li>• Vannbehovet lavt i forhold til ikke-silikat komponentene</li><li>• Produktene er sulfatresistente</li></ul>
"Belitt" $C_2S$	<ul style="list-style-type: none"><li>• 15-30%</li><li>• Inneholder mindre kalk enn Alitt</li><li>• Langsommere hydratisering enn Alitt, bidrar dermed lite til tidlig styrke, men signifikant til langtidsstyrken</li><li>• Varmeutvikling: totalt ca. 260 kJ/kg</li><li>• Produktene er sulfatresistente</li><li>• Danner mest C-S-H per unit reagert materiale, bidrar dermed betydelig til langtids styrken</li><li>• Nyttig i lav-temperatur- betong til massive konstruksjoner</li></ul>
"Aluminat" $C_3A$	<ul style="list-style-type: none"><li>• Normal portlandklinker inneholder 5-10%, sulfatresistent portlandklinker(minimert forhold mellom <math>Al_2O_3</math> og <math>Fe_2O_3</math> i råmateriale) &lt;3%</li><li>• Rask hydratisering (avbinding i løpet av minutter), sementen er derfor tilsatt kalsiumsulfat (ofte gips) for å kontrollere den hurtige fasthetsutviklingen</li><li>• Bidrar til tidlig styrke, men liten innvirkning på langtidsstyrken</li><li>• Varmeutvikling: totalt ca. 870kJ/kg</li><li>• Inneholder mer vann enn Alitt og Belitt</li><li>• Moderat mengde ønskelig, normalt for portlandsement, men ikke for sulfatresistente</li><li>• Grense på svært lite når sulfatresistent sement</li></ul>
"Ferritt" $C_4AF$	<ul style="list-style-type: none"><li>• 5-15%</li><li>• Bidrar lite til styrken</li><li>• Grunn til den mørke grå fargen til Portlandsement (hvit portlandsement lages ved å øke forholdet mellom <math>Al_2O_3</math> og <math>Fe_2O_3</math> i råmaterialet)</li><li>• Gir liknende reaksjonsprodukt som Aluminat, men reaksjonen går tregere som fører til at Ferritt ikke har samme bindingsproblematikk som Aluminat</li><li>• Varmeutvikling: 420kJ/kg</li><li>• Ingen grense på ferritt når sulfatresistent sement.</li></ul>

### Hydratisering: reaksjonen mellom sement og vann

Den kjemiske reaksjonen mellom sementmineralene og vann kalles hydratisering. Selve hydratiseringen er temperaturfølsom, men ellers svært repeterbar. Hydratiseringen deles inn i avbindingsfasen og herdefasen. I avbindingsfasen går blandingen over fra å være flytende til fast. Denne prosessen tar normalt 2-4 timer ved 20°C, betongen får gradvis struktur som fast stoff og en lav mekanisk styrke. Overgangen til herdefasen er ikke tydelig, men bestemmes ved mekanisk prøving, dvs. penetrasjonsprøving eller ved å bestemme varmeutviklingen, ved

12kJ/kg er avbindingsfasen over. I herdefasen skjer det meste av hydratiseringen, varme- og styrkeutviklingen (Smeplass S., 2014).

Hydratiseringsproduktene og porestrukturen avhenger også av temperaturen ved hydratiseringen. Opp til 40-50°C er effekten relativt lav, ved høyere temperaturer derimot vil egenskapene til betongen bli redusert. Ved økt finhet øker hydratiseringsgraden, dette er analogt med temperaturen (Sellevoid E. J., ch. 6, 2008).

Ved fullstendig hydratisering av kalsiumsilikatene får en produktene kalsiumsilikathydrat (C-S-H gel) og kalsiumhydroksid. C-S-H gel er hovedårsaken til langtidsstyrken og impermeabiliteten til herdet betong. I Tabell 3 er det listet opp hvor mye vann som bindes kjemisk og hvor store mengder en får av produktene per 100g klinkertype.

**Tabell 3 Kalsiumsilikatene ved fullstendig hydratisering, mengdeforhold (Sellevoid E. J., ch. 6, 2008)**

Klinkertype og mengde	Vann [g]	C-S-H [g]	Kalsiumhydroksid CH [g]
100g C <sub>3</sub> S	24	75	49
100g C <sub>2</sub> S	21	99	22

### Reaksjonsgrad

For å finne ut hydratasjonsgraden,  $\alpha$ , til sementen må en først finne andelen kjemisk bundet vann. Ved full hydratisering,  $w_{\infty}$ , er denne andelen på 23% av den hydratiserte sementens masse. Mengden kjemisk bundet vann,  $w_n$ , er vekttapet mellom tørket ved 105°C og antent ved 1000°C dividert på den antente vekten (Sellevoid E. J, ch. 8, 2008). Bedre (høyere) hydratasjonsgrad gir bedre betong.

Hydratasjonsgraden finnes med denne formelen:

$$\alpha = \frac{w_n}{w_{\infty}} = \frac{w_n}{0.23}$$

Det skal nevnes at ved bruk av blandet sement (flygeaske, silikastøv eller andre tilsetninger) så er det ikke sikkert at denne sammenhengen blir antatt (Sellevoid E. J., ch 8, 2008).

### 2.1.2 Tilsetninger

#### Gips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ):

Før finmaling til portlandsement blir 2-5% gips ( $\text{SO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ) tilsatt til klinkeren. Dette blir gjort for å regulere den raske reaksjonen mellom Aluminat og vann. Hvor mye som tilsettes avhenger av ønsket hydratiseringsstart. Hydratiseringen kan utsettes i 10-20 timer, normal bindingstid er 2-5 timer ved ( $20^\circ\text{C}$ ). Dersom temperaturen under finmalingen blir for høy kan gipsen miste noe av fuktigheten og gå over til  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ . Dette har derimot lite å si for effekten til gipsen, men kan gi ”false sett” når vann skal tilsettes. Dette skjer fordi gipsen reagerer tilbake til sin opprinnelige form. ”False sett” er eliminert før videre miksing (Sellevold E. J., ch. 6, 2008).

#### Pozzolaner:

Pozzolaner er materialer som inneholder silika og alumina, de er også kalt fyllstoff (partikler  $<0.125\text{mm}$ ). Alene har de ingen bindingsegenskaper, men ved fuktighet reagerer de med kalsiumhydroksid og danner produkter med bindingsegenskaper. Pozzolanske egenskaper finnes i en rekke naturlig forekommende materialer. Silikastøv og flygeaske er de mest relevante i Norge. Begge to er biprodukter. Silikastøv er et biprodukt fra Si- eller FeSi produksjonen og flygeaske er et biprodukt fra kullbrenning. Tilsats av pozzolaner fører til mer C-S-H gel og dermed bedre egenskaper i forhold til styrke og holdbarhet (Sellevold E. J., ch. 6, 2008).

Ved tilsats av pozzolaner er det vanlig å anta at reaksjonen har dobbelt så stort kjemisk svinn som hydratasjonen av sement dvs. en får økt kontraksjonsporevolum. Betongen vil ikke binde vann på samme måte og vil få litt større kapillærporøsitet. Tilsats av pozzolaner gir også finere porestruktur og et tettere materiale, som vil si en sterkere betong (Smeplass S., 2014)

Forskjellen på silikastøv og flygeaske er finheten og mengden  $\text{SiO}_2$ , se Tabell 4.

**Tabell 4 Finhet og  $\text{SiO}_2$  innhold til pozzolanene silikastøv og flygeaske (Sellevold E. J., ch. 6, 2008)**

Pozzolan	Finhet [ $\mu\text{m}$ ]	$\text{SiO}_2$ innhold [%]
Silikastøv	0.2	90
Flygeaske	10-25	50



### 2.1.3 Herdet betong består av flere typer porer

Hard betong består av flere forskjellige typer porer; den inneholder kontraksjonsporer, kapillærporer, gelporer og luft-/makroporer. I Tabell 5 er det laget et oversikt over alle porene i betong.

**Tabell 5 Oversikt over de forskjellige porene i betong (Kildeinnhold: Smeplass S., 2014)**

Type porer	Størrelse	Hvor mye?	Info
Kapillærporer	5nm - 1 $\mu$ m	Varierer fra 0 til 40% av sementpastavolumet ved full hydratasjon avh. av masseforholdet.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Utgjør det vannet som ikke har reagert</li><li>• Når betong herder reduseres kapillærvolumet</li><li>• Disse som suger opp vann</li><li>• Mindre porer har mer sug enn større</li><li>• Når kapillærporene tømmes stopper hydratasjonen</li><li>• For stort kapillærporevolum gir redusert styrke og økt permeabilitet</li></ul>
Kontraksjonsporer	5nm - 1 $\mu$ m	Litt mindre 2% av totalt volum	<ul style="list-style-type: none"><li>• Porer som er resultat av volumreduksjonen</li><li>• I prinsipp tomme</li></ul>
Gelporer	Bredde på 2nm	18% av sement pasta volumet ved full hydratasjon	<ul style="list-style-type: none"><li>• Utgjør de trange passasjene i det nåleformete nettverket av C-H-S krystaller (det som binder sementlimet sammen)</li><li>• Fylt med fysisk bundet vann (dvs. fysisk bundet til C-S-H overflatene ved adsorpsjon)</li><li>• Er så hardt bundet at det ikke er tilgjengelig for videre hydratasjon</li></ul>
Luft-/makroporer	>1 $\mu$ m	I konstruksjonsbetong utgjør de ca. 2%	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ikke vannfylt</li><li>• Oppstår ved at luft piskes inn i sementlimet eller betongen under blanding</li><li>• Ønskes ved frostbestandig betong, fordi da har vannet et sted å ekspandere inn i</li><li>• Kan sees med det blotte øyet</li></ul>

### 2.1.4 Luftfuktighet i betong

Under hydratiseringen blir vann brukt opp og kapillærporene og luftfuktigheten (RH) minker. Det er ønskelig å oppnå lavest mulig RH så fort som mulig. For vanlige blandinger er 80% RH vanligste oppnådde verdi. Ved bruk av betong med lavt v/c-forhold og silikastøv er det mulig å oppnå en RH-verdi på 70% (Sellevold E. J., ch.8, 2008). Til sammenlikning vil en luftfuktighet på mellom 50-70% virke behagelig for de fleste mennesker (SNL, 07.12.13).

Et finere poresystem vil produsere mindre porer og gi større reduksjon i RH som fører til mer autogen krypning. Større reduksjon i RH ved finere poresystem skyldes mindre meniskradius og mer spenning i porevannet (Sellevold E. J., ch. 8, 2008).

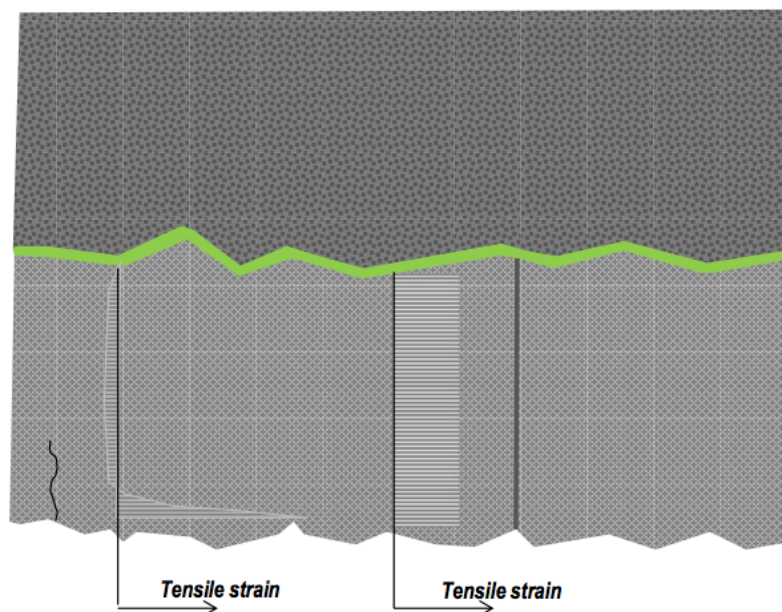
Ioner i vannet reduserer også RH, men effekten er liten, maks 3-4% reduksjon for sement med høyt alkaliinnhold (Sellevold E. J., ch. 8, 2008).

### 2.1.5 Mikrosprekker i betong, grunnet autogen- og uttøringskrymping

Volumforandringer i betong skjer både under hydratasjonen (indre faktorer) og ved fuktighetsbytte med omgivelsene (eksterne faktorer). Dette fører til spenningsendringer og mulig oppsprekning.

#### Mikrosprekker grunnet autogen- og uttøringskrymping

De to typene mikrosprekkene som vil bli sett på her er oppsprekning grunnet autogen krymping og uttøringskrymping (Bjøntegaard Ø, TKT 4215, ch. 13, 2009). I Figur 1 er det vist en illustrasjon på forskjellen på disse to typene mikrosprekker.



**Figur 1** Illustrasjon på to ulike mikrosprekker i sprøytebetong med sprøytbar membran. Til venstre: Mikrosprekk forårsaket av krymping grunnet uttørring, høye spenninger nær overflaten. Til høyre: Mikrosprekk forårsaket av autogen krymping grunnet volumetrisk endring under hydratasjonen, uniform spenningsfordeling. Kilde: (Holter og Tandberg, p.p., WTC2014)

Autogen krymping, se Figur 2, (Holter og Tandberg, p.p., WTC2014):

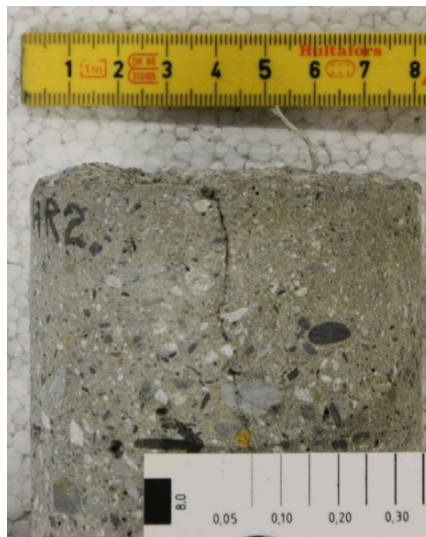
- Skyldes volumetrisk endring i betongen under hydratasjonen
- Utsetter betongen for uniform spenningsfordeling gjennom tykkelsen av betonglaget
- Størrelsen på spenningene grunnet autogen krymping:  $200-500\mu\epsilon$



**Figur 2 Mikrosprekk grunnet autogen krymping. Foto av en sprøytebetongkjerne med sprøybar membran. Kilde: (Holter og Tandberg, p.p., WTC2014)**

Krymping pga. uttørking, se Figur 3 (Holter og Tandberg, p.p., WTC2014):

- Forårsaket av effekten ved reduksjon i kapillært vann nær en overflate eksponert for uttørking (lav RH)
- Resulterer i høye spenninger nær betongens overflate
- Størrelsen på spenningene grunnet uttørkingskrymping:  $1000-4000\mu\epsilon$



**Figur 3 Mikrosprekk grunnet uttørking, reduksjon i kapillært vann nær overflaten. Foto av en sprøytebetongkjerne. Kilde: (Holter og Tandberg, p.p., WTC2014)**

## Effekt av temperatur

Betong deformeres under temperaturendringer, noe som skjer gjennom hydratasjonen og gjennom daglige- og årlige klimavariasjoner, (Bjøntegaard Ø, TKT 4215, ch. 13, 2009).

Formelen under brukes til å beregne seg frem til spenningen grunnet temperaturendringer i betongen (Bjøntegaard Ø, TKT 4215, ch. 13, 2009):

$$\varepsilon_T = \alpha_T * \Delta T$$

$\varepsilon_T$  = Termisk utviding (spenning)

$\alpha_T$  = koeffisient for termisk ekspansjon

$\Delta T$  = Temperaturvariasjon

En  $\alpha_T$  på  $10 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$  er ofte brukt for betong. Dersom en antar at dette stemmer så vil en temperaturendring på  $10^\circ\text{C}$  gi en  $\varepsilon_T$  på  $0.1\%$ . Dersom betongstrukturen er 10m lang vil dette resulterer i en endring på 1mm (Bjøntegaard Ø, TKT 4215, ch. 13, 2009).

Den termiske koeffisienten for ekspansjon varierer veldig avhengig av hva slags tilslagskorn som er i betongen, se Tabell 6. Den varierer også med fuktigheten i bindingsfasen. En betong med RH på 60-80% har omtrent dobbelt så høy  $\alpha_T$  som en vannmettet betong (Bjøntegaard Ø, TKT 4215, ch. 13, 2009).

**Tabell 6 Termisk koeffisient for ekspansjon for noen mineraler og bergarter. Tallene for mineralene er basert på flere kilder, mens bare en for bergartene (Bjøntegaard Ø, TKT 4215, ch. 13, 2009).**

Mineral	Bergart	$\alpha_T$ [ $10^{-6}/^\circ\text{C}$ ]
Kalsitt (kalsium karbonat)		4-6.5
Plagioklas		3.8-5.8
Kvarts		10.6-15
	Kalkstein	5
	Trondhemitt	7.2
	Gneis	7.3
	Basalt	8.5
	Sandstein	11
	Kvartsitt	12.5

## **2.2 Sprøytebetong: Hva er spesielt med sprøytebetong?**

Sprøytebetong blir, som navnet tilsier, sprøytet på. Det er viktig med tidlig fasthet og sprøyteprosessen har stor betydning for resultatet. I sprøytebetong, sammenliknet med vanlig konstruksjonsbetong, blir det i tillegg tilsatt akselerator og ofte tilsettes også fiberarmering. Det er ingen krav til luftinnhold i sprøytebetong, mtp. frostbestandighet, men et luftinnhold i basisblandingen er antatt å ligge på omtrent 4%. Med sprøytebetong er tykkelsen en av de viktigste faktorene, dette er med tanke på last kapasitet og holdbarhet (NCA, 2011).

Alle ”portlandsementer” i Norge kan benyttes til sprøytebetong. Sulfatresistent sement er ikke anbefalt til sprøytebetong, dette fordi den reagere sakte med akseleratoren (NCA, 2011).

### **2.2.1 To typer ”metoder” med sprøytebetong: Tørr- og våtblanding**

Det finnes to typer ”metoder” for å sprøyte på sprøytebetong. Den ene er våtblanding og den andre er tørrblanding. Når våtblandingsmetoden kom på markedet skiftet en i Skandinavia fra 100% tørrblanding til 100% våtblanding (Melby T et. al., 2006).

#### **1) Tørrblanding**

Tørrblandingsmetoden kom først av de to metodene. Ved tørrblanding blir tørr sand og sement plassert i et trykkammer. Vann blir tilsatt når tørrblandingen kommer til sprøytehodet. Metoden er lite bra helsemessig grunnet mye støv og er i dag lite/ikke brukt.

#### **2) Våtblanding**

Våtblandings metoden er den vanligste metoden for påføring av sprøytebetong i Norge. Den ble først tatt i bruk sent på 70-tallet når maskiner for dette ble laget. Metoden går ut på at betongen er ferdig blandet før den blir pumpet inn i sprøytehodet. I sprøytehodet blir betongen tilsatt en blanding av akselerator og trykkluft. Kompressorkapasiteten bør være 10-16m<sup>3</sup>/min og 7bars trykk. For lite trykkluft vil gi lav påføringshastighet som igjen vil gi dårlig kompaktering og sannsynligvis en dårlig blandet akselerator (NCA, 2011).

### Fokus ved blanding:

- Homogen fiberfordeling
- At det ikke har lurt seg med større aggregater som kan blokkere sprøyteutstyret (NCA, 2011)
- Lang nok blandingstid
  - Få homogenitet i massen og fibre
  - Full effekt fra tilsetningene

Ved påføring er det viktig at overflaten er ren, at det sprøytes normalt på flaten og at en begynner nedenfra og opp. Sprøytebetongen må holdes fuktig i minst 4 døgn etter påføring (NCA, 2011).

### **2.2.2 I sprøytebetong er det spesielle krav til tilslag og silikastøv**

#### Tilslag:

Tilslaget i sprøytebetong skal være vellgradert sand med  $D_{maks} \leq 8$  mm, maks 10% etter vekt kan være større (NCA, 2011). Naturlige forekomster er å foretrekke. Dette skyldes den avrundete formen som er fordel ved pumping. Knust tilslag derimot har normalt bedre mekaniske egenskaper, men kan også øke vannbehovet som igjen vil føre til at en må tilsette mer sement for å få riktig masseforhold. Dette er ikke gunstig, for mye sement kan føre til økt kryppotensial og økt fare for oppsprekning (NCA 2011).

#### Silikastøv:

Det er krav om at minst 4% av sementvekten i sprøytebetong skal være silikastøv. Silikastøv forbedrer pumpbarheten, gjør at betongen holder bedre på vannet under sprøyting, gjør betongen mer klebrig og gir høyere styrke og tetthet i hard betong. Tettheten forbedrer frostbestandigheten, gjør kloridpenetrasjonen tregere, hindrer sulfatangrep og alkalireaksjoner, samt gir en positiv effekt på holdbarheten (NCA, 2011).

### **2.2.3 Akselerator**

Det er 3 hovedgrunner til at akselerator blir tilsatt til sprøytebetong (NCA, 2011):

- Gir momentan størkning og tidlig fasthetsutvikling
- Kan ha tykkere lag med sprøytebetong
- Bedrer heften

Høyere temperatur på akseleratoren gir lavere viskositet og dermed bedre blanding, som igjen gir bedre effekt. Akseleratoren består i hovedsak av aluminiumsulfat og reagerer med det samme og danner etringitt. Denne mineralfasen er i utgangspunktet ikke positiv grunnet ekspansjon, men dannelsen skjer så tidlig at betongen er fremdeles plastisk og kan tåle denne utvidelsen. Det er viktig at vanninnholdet i akseleratoren medberegnes i masseforholdet (w/c) (NCA, 2011).

Ikke alkalifri akselerator har en pH på 11-13 og beskytter dermed utstyret som er laget av stål/jern mot korrosjon. Alkalifrie akseleratorer derimot har en pH på 2-4 noe som kan føre til korrosjon mellom akselerator og utstyr. Utstyr i plastikk er anbefalt i slike tilfeller, men også syrefast stål (NCA, 2011)..

### **Annen type utsetter i sprøytebetong enn i konstruksjonsbetong for at akseleratoren skal fungere**

Det blir brukt utsettere i betong for å hindre størkningsprosessen. I sprøytebetong blir dette tilsatt for at betongen ikke skal størkne før etter sprøyting. Det er viktig å vite at det blir brukt en annen type utsetter i sprøytebetong enn i konstruksjonsbetong. Utsetterne brukt i konstruksjonsbetong vil fortsette å hindre størkningsprosessen selv om akseleratorer er tilsatt (NCA, 2011). Dette vil med andre ord si at tilsatt av samme akselerator som ved konstruksjonsbetong ikke vil gi ønsket effekt ved sprøytebetong.

#### **2.2.4 Fiber**

Det kan tilsettes enten stål- eller polymerfiber. Det er viktig at fiberne får en homogen fordeling i sprøytebetongen slik at sprøytingen skal gå fint og for å gi en jevn armering. Effekten av fiberarmering testes ved energi absorpsjon. Viktig å få homogen fordeling av fibre under blanding (NCA, 2011).

### 2.2.5 Holdbarhet

Hovedfaktorer med tanke på holdbarheten til sprøytebetongen (NCA, 2011):

- Tykkelse: et tykt lag med sprøytebetong er tettere mtp. vannpenetrering og den er mindre utsatt for tørke- og fuktighetssyklus som kan svekke båndet til berget
- Tykkelsen må velges ut ifra ønsket sikkerhetsfaktor og holdbarhet
- Kravet i veitunneler i forhold til tykkelse er et gjennomsnitt på 80mm, og minste tillatte målte punkt er 40mm
- Lavere masseforhold gir bedre holdbarhet
- silikastøv og andre pozzolaner som tilsettes og danner, etter hvert, CSH-gel som bidrar til å fylle opp poresystemet og fører til bedre holdbarhet og bedre styrke
- Kompaktering ved sprøyting, det er viktig at betongen fester seg godt til berget og at den er godt kompaktert
- Miljøet, både kjemisk og fysisk, i tunnelen mtp. vann, temperatur etc.

Selv om luft ikke er kontrollert så vil sprøytebetong, med lavt masseforhold, sjelden oppleve frostforverring. Det er sonen mellom sprøytebetongen og berget som er svakheten når det kommer til frost (NCA, 2011).

### 2.2.6 Koder i forbindelse med sprøytebetong (NCA, 2011)

Klasser i forhold til styrke:

- B30, B35 eller B45 er anbefalt til sprøytebetong
- Tallet etter B står for minste trykkfasthet når prøvestykket er et sylinder [MPa]
- Krav om å ha med i spesifikasjonen
- Avhengig av masseforholdet, sementtype og kompaktering

Energiabsorpsjonsklasser i forhold til fiberarmering:

- E500, E700 eller E1000, eller uten fiberarmering
- Tallet etter E står for minste energi absorpsjon tillatt.
- Krav om å ha med i spesifikasjonen



### Holdbarhets klasse, masseforhold:

- Relevante klasser er M40, M45, M60
- Tallet etter M står for høyeste tillatte masseforhold
- Masseforhold (hovedparameter), sementtype og den mekaniske styrken til tilslaget
- Krav om å ha med i spesifikasjonen

### Tidlig styrke

- J1, J2 eller J3
- Tidsperiode 10 min til 24 timer etter spraying
- Viktig i forhold til mannskapet som arbeider

## **2.3 Kombinasjonen betong, vann og frost**

Erfaringsmessig viser det seg at maks ødeleggelse inntreffer ved direkte kontakt med væske (vann, saltløsning) under frysing og tining (Sellevold E. J. og Jacobsen S., ch. 15, 2009).

Når vann fryser skjer det en ekspansjon på 9%. Samtidig som vannet i porene fryser vil betongen ha en tendens til å absorbere mer vann fra utsiden. Sprøytebetongen blir produsert for å tåle dette slik at den skal være så frostbestandig som mulig. De fleste porene kan fylles med vann, dette kan ta uker eller opp til måneder. Vannet i de minste porene krever lavere temperatur for å fryse enn i de større porene, dette skyldes høyere spenninger i vannet. God drenering er viktig for at betongen skal tåle enda lavere temperaturer (Sellevold E. J. og Jacobsen S., ch. 15, 2009).

Ved v/c-forhold = 0.40 vil ca. 10% av de vannfylte porene fryse ved -20 °C. Dersom høyere v/c-forhold vil en større andel fryse ved samme temperatur (Sellevold E. J. og Jacobsen S., ch. 15, 2009). Det lønner seg med andre ord med lavt v/c-forhold.

### **2.3.1 To hovedhypoteser på hvordan vann fryser:**

Det finnes to hovedhypoteser når det kommer til hvordan frostskaaden oppstår i betong, men ingen av de kan alene forklare prosessen. Sannsynligvis stemmer begge to, men i sammenheng med blant annet økt metning fordi ufrosset vann transporteres mot isen.

1. Den ene hypotesen går ut på at betongen ikke har nok strekkfasthet til å tåle det hydrauliske trykket som oppstår når vannet i porene utvider seg. Når vann fryser i betong vil det gå mot de tomme porene. Dersom det ikke er nok tomme porer vil trykket i betongen overstige strekkfastheten og sprekker vil oppstå. Dette forklarer den positive effekten av luftporer. Ingen tvil om at dette gjelder for betong med høyt v/c-tall, men dette stemmer ikke med kunnskapen om betong med lavt v/c-forhold (Sellevold E. J. og Jacobsen S., ch. 15, 2009).
2. Den andre hypotesen går ut på at osmotisk trykk skyldes økt ionisk konsentrasjon rundt ufrosset porevann når is dannes i en pore, dette gjelder spesielt når salt er tilstede. Vannløste ioner er mindre mobile enn vannmolekyler. For å utligne konsentrasjonen vil det bli en netto transport av vann mot den konsentrerte løsningen nær isen. Lav nedkjøling gir mer frost-salt-skade enn rask nedkjøling og mulig at luftrom beskytter

### **2.3.2 Frostskade**

Det skilles mellom to typer frostskader på betong. Den ene er overflateavskalling og den andre er indre oppsprekning. Overflateavskalling skjer ved frysing og tining, særlig når salter er til stede. Indre oppsprekning oppstår på grunn av volumøkning internt i betongen (Sellevold E. J. og Jacobsen S., ch. 15, 2009). Det vil være den indre oppsprekningen som er interessant å teste i forhold til sprøytebetongens frostbestandighet.

### **2.3.3 Frostbestandig betong**

En frostbestandig betong som ikke blir utsatt for salter skal ha et forholdsvis høyt luftporeinnhold, dvs. ca. 5% (4-6%) i kombinasjon med PF på over 0.20. Luftporeavstanden skal være på under 0.25mm. Betong som kan få en høy vannmetningsgrad bør ha et masseforhold på under 0.45. Det er her forutsatt god håndtering og gode herdeforhold. Betong som ikke har oppnådd en trykkfasthet på 5MPa er spesielt utsatt for frostskade uansett om betongen skal være frostbestandig (Sellevold E. J. og Jacobsen S., ch. 15, 2009).

### 3 Tunnelsituasjonen i tunneler med sprøytbar membran, rettet mot denne oppgaven

Her vil det bli gitt informasjon om tunnelene, sprøytebetongen, sprøytbar membran metoden, temperaturforløp i tunnel og tunnelkledning, samt vann-, berg og saltsituasjonen.

#### 3.1 Kjerneprøver fra to tunneler

Det er benyttet kjerneprøver fra Harangstunnelen og Gevingåstunnelen:

- Gevingåstunnelen:

Gevingåstunnelen er en jernbanetunnel på strekningen Trondheim-Stjørdal. Det er benyttet sprøytbar membran på ca. 1.9km av tunnelstrekningen på 4500 meter.

Tunnelen ble ferdigstilt for togtrafikk 15. august 2011.

- Harangstunnelen:

Harangstunnelen er en veitunnel i Orkdal, Sør-Trøndelag. Den er 785m lang. Tunnelen ble åpnet for trafikk 6. mars 2014. Den vil være en del av ny trasé: E39 Harangen-Høgkjølen.

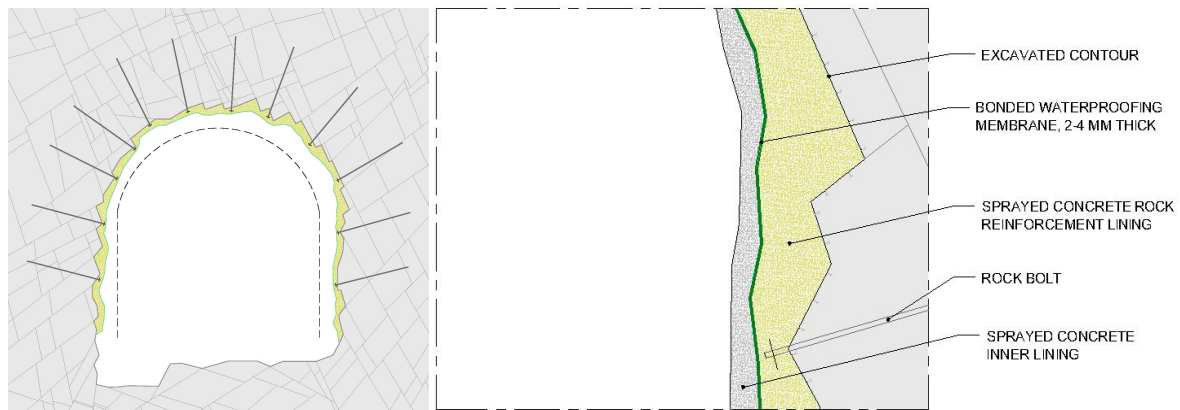
#### 3.2 Tunnelkledningen med sprøytebetong og sprøytbar membran

Sprøytebetongen som benyttes er vanlig fiberarmert sprøytebetong. Eneste forskjellen i denne typen tunnelkledning er at en sprøytbar membran blir integrert i sprøytebetongen som vanntetting. Membranen vil ha en tykkelse på 2-4mm avhengig av påføring. Et tverrsnitt av tunnelkledning med membran og sprøytebetong er avbildet i Figur 4.



**Figur 4 Bilde av sprøytebetong med membran (Holter K. G., 2013)**

I Figur 5 er det tegnet en prinsippkisse over hvordan bergsikringen vil se ut både i fult profil og nærme. I laget nærmest berget vil det være satt opp bolter der dette er nødvendig. Laget med sprøytebetong etter membranen er på minst 6 cm.



**Figur 5** Til venstre: Tunnelverrsnitt av tunnelkledning med sprøytebetong og sprøybar membran. Til høyre: Et nærbilde av illustrasjonen til venstre. (Holter K. G., okt. 2013)

### 3.3 Sprøytebetongresepter, Akselerator og Fiberinnhold

Sprøytebetongen som er benyttet i Gevingåstunnelen og Harangstunnelen er helt vanlig fiberarmert sprøytebetong som benyttes i Norge i dag.

#### Sprøytebetongresepter (Vedlegg 1A-E)

Fra Gevingåstunnelen er det benyttet betongresept med norm. verdier, dvs. slik som bestilt, såkalte ”bør”-verdier. Fra Harangstunnelen er det benyttet betongresept med målt innhold av komponenter, dvs. ”er”-verdier. En oversikt over betongreseptene er oppgitt i Tabell 7.

**Tabell 7** Oversikt over betongreseptene som er benyttet i Harangstunnelen og Gevingåstunnelen. Ekv. sementmengde, silikamengde, vannmengde og v/-forhold er oppgitt

Betongresept	Ekv. sement mengde <sup>1</sup> [kg/m <sup>3</sup> ]	Silikamengde	Vannmengde <sup>2</sup>	v/c-forhold
E39 Harangstunnelen (H)	558	25	256	0.46
Gevingåstunnelen (Ga)	556	21	223	0.41

<sup>1</sup> Sementmengde medberegnet silikainnhold

<sup>2</sup> Medberegnet vann til akseleratoren

## Akselerator

I både Harangstunnelen og Gevingåsen er det benyttet den samme ”typen” akselerator, se Tabell 8. Det er viktig å oppgi akseleratortillegget fordi akseleratoren inneholder en betydelig mengde vann.

**Tabell 8 Oversikt over akseleratoren som er benyttet i Harangstunnelen og Gevingåstunnelen. Vanntilsats, Akselerator, densitet og tørrstoffinnhold er oppgitt**

Akselerator	Vanntilsats [l/m <sup>3</sup> ]	Akselerator-tilsats [l/m <sup>3</sup> ]	Densitet	Tørrstoffinnhold [%]
E39 Harangstunnelen (H)	17-19	25-28	1.46	57
Gevingåstunnelen (Ga)	17-19	25-28	1.46	57

## Fiber

I Gevingåstunnelen er det benyttet 5kg/m<sup>3</sup> av polypropylenfibertypen Enduro 600 og i Harangstunnelen er det benyttet 9kg/m<sup>3</sup> av polypropylenfibertypen Barchip BC54.

### 3.4 Berg-, vann- og saltsituasjonen i tunneler i Norge

Generelt om berg-, vann og saltsitasjonen i tunneler i Norge.

#### Bergsituasjonen

Store deler av berggrunnen i Norge består av hardt grunnfjell. Bergartene som dominerer her er granitt, gneis og andre dypbergarter, omvandlede sedimenter og vulkanske bergarter (snl.no,11.06.14).

#### Vannsituasjonen

Undersøkelser fra Ulvintunnelen som har grunnvannstand i høyde med tunnelsålen viser samme trend som Gevingåstunnelen som kan antas å ha et hydrostatisk vanntrykk. Man kunne forvente at Gevingåsen ville gi høyere vannmetningsforhold enn Ulvin, men målinger viser at dette ikke er tilfelle (Holter, WTC 14).

#### Saltsituasjonen

For en jernbanetunnel er ikke salt et problem, men for vegtunneler kan salteksponering fra kjørebanel eksponere tunnelkledningen for klorider. Velger å ignorere salt også i vegtunnel fordi det vil bli satt opp en barriere mellom tunnelkledningen og saltsprut fra vegbanen ved å



Tabell 9 er hentet fra Artikkelen til Holter publisert i 2013. I tabellen er det oppgitt sammenhengen mellom lufttemperatur nær portal og inni tunnelen. Det er også oppgitt vindhastighet, varighet på kuldeperioden og maks dybde til 0°C.

**Tabell 9 Data fra temperaturmålinger i kuldeperioden i januar 2013 vindhastighet er også oppgitt. (Holter, Okt. 2013)**

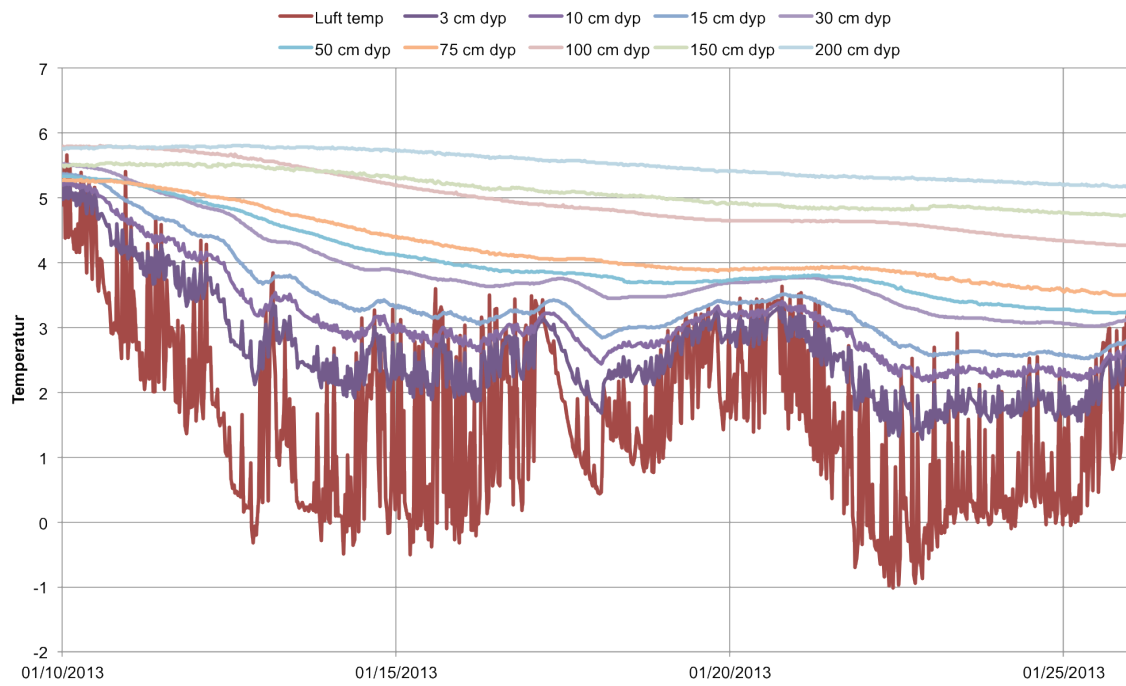
Site, location	Air temperature near tunnel portal [°C]	Air temperature in tunnel [°C]	Air speed in tunnel [m/s]	Duration of exposure event [days]	Maximum depth of 0°C isotherm [cm]
Gevingås rail tunnel 1500m from portal	-10	-1	0.1 - 0.3	7	0

### 3.6 Temperaturmålinger innover i sprøytebetongen og berget

Temperaturmålingene i tunnelkledning og berg er gjort i tidsrommet 10.01.13-25.01.13. Målingene er gjort 2560 meter inn i tunnelen fra Hell-siden. Temperturforløpet ved de ulike dypene kan sees i Figur 9. Temperatursensorene er omtrentlig plassert som vist i Figur 8, de parvise røde strekene viser hvor sensorene er plassert.



**Figur 8 Grenser for hvor temperatursensorene er plassert i tunnelkledningen (K. G. Holter, p.p., 2013)**



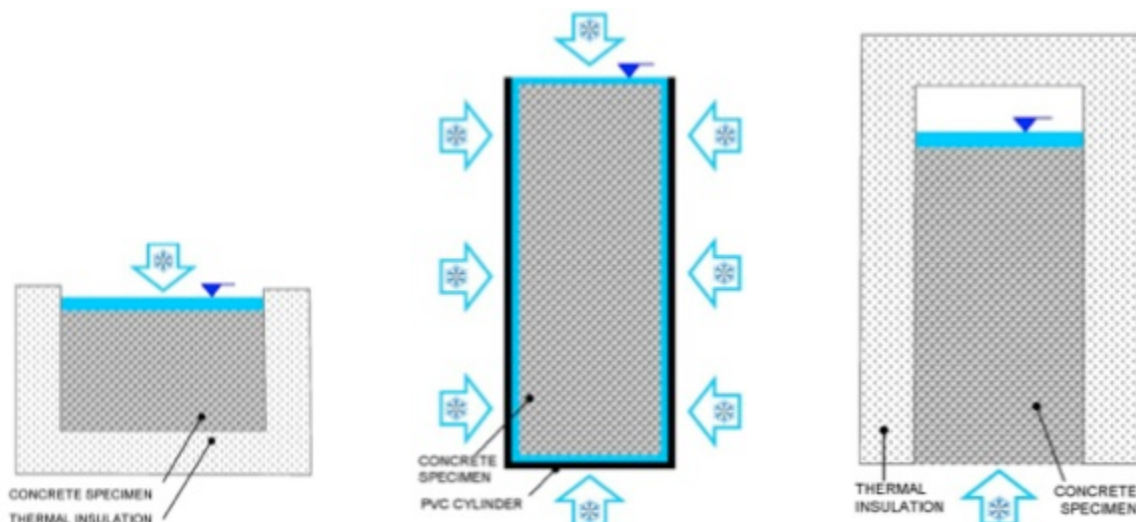
**Figur 9 Graf over temperaturmålingene i tunnelkledning og berg i perioden 10.01.13-25.01.13 (K. G. Holter, p.p., 2013)**



## 4 Metoder

Metodene som er blitt benyttet, i denne oppgaven, er ASTM C666, CEN/TS 12390-9, PF-metoden, risskartlegging, Kapillært sug og en NTNU utviklet testmetode spesielt rettet mot sprøytebetong. Hver og en av testmetodene vil bli gått gjennom i dette avsnittet. Det vil først bli gått i gjennom teori rundt metodene og deretter litt info om utførelsen i denne oppgaven.

Det er benyttet tre ulike testmetoder i forhold til frostpåkjenning: ASTM C666, CEN/TS 12390-9 og en egenutviklet testmetode ut ifra tunnelsituasjonen. Grunnen til at den egenutviklede testmetoden, se til høyre i Figur 10, ble utviklet var fordi verken CEN/TS 12390-9 eller ASTM C666 gjenspeilet påkjenningen til sprøytebetong i en tunnelkledning. Situasjonen i en tunnel er enveisfropåkjenning, og fuktighet og stabil bergtemperatur på den andre. Testmetoden ASTM C666, se midten av Figur 10, går ut på å fryse og tine prøvestykket når dekket med 3mm vann rundt og frostpåkjenning rundt hele prøvestykket og teste svekkelse i prøven. Testmetoden CEN/TS 12390-9, se til venstre Figur 10, går ut på enveisfropåkjenning og saltløsning på samme side, og underveis undersøke mengde avskalling.



**Figur 10** Tre ulike måter å fryse betongen på. Til venstre: enveisfrostinntregning og væske på samme side som frostinntregningen, CEN/TS 12390-9. I midten: Frost og vann fra alle kanter, ASTM C666. Høyre: Enveisfrostinntregning og vann med stabil temperatur på motsatt side, egenutviklet metode (Holter et al, Jan. 2014)

## 4.1 ASTM C666

Hovedpoenget med ASTM C666 er å teste frostbestandigheten til betong og se hvor lang tid det vil ta før 60% svekkelse i dynamisk e-modul (ASTM C666, 2008).

To prosedyrer beskrives i ASTM C666: prosedyre A og B. Det som skiller disse to er at prosedyre (ASTM C666, 2008):

- A skjer ved hurtig frysing og tining i vann
- B skjer ved hurtig frysing i luft og tining i vann

Det er antatt at ingen av prosedyrene vil gi frostskaide på frostbestandig betong. Det vil her kun bli sett på prosedyre A.

### 4.1.1 Krav til prøvestykkene

Prøvestykkene kan være enten støpte prizmer/sylindere eller kjerneprøver. Kravene til prøvestykkene er (ASTM C666, 2008):

a) Prizmer eller sylindere etter C192/C192M og C490

- $75\text{mm} \leq \text{vidde/diameter/dybde} \leq 125\text{mm}$
- $275\text{mm} \leq \text{lengde} \leq 405\text{mm}$

b) Kan også være kjerner eller prizmer kuttet fra herdet betong

- Prøvene skal ikke tørke til en metningsgrad lavere enn insitu metningsgraden i tunnelkledningen. Dette kan hindres ved å pakke prøvene inn i plast eller et annet egnet materiale
- Se C341/C341M for nærmere informasjon

### 4.1.2 Prosedyre

#### Forbehandling av prøvestykkene

Prøvestykkene skal ligge i mettet kalkvann ved  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  i 48 timer hvis ikke annet er spesifisert (ASTM C666, 2008).

Før fryse/tine-syklene kan begynne skal prøvestykkene (ASTM C666, 2008):

- Kjøles ned til mellom  $-1^\circ\text{C}$  og  $-2^\circ\text{C}$
- Veies og måles
- Testes for ”transversal” egenfrekvens (ASTM C215)

Fryse/tine-apparaturen skal være slik at en får produsert kontinuerlig og automatisk reproduserende sykler innenfor temperaturene 4 til -18grader, i senter av prøve. Dette skal ta mellom 2-5 timer. Slutt fryseperiode er når senter har en temperatur på  $-18\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Slutt opptining er når senter har en temperatur på  $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Minst 25% av tiden skal brukes til tining. Temperaturen skal ikke til noen tid overstige  $6^{\circ}\text{C}$  eller bli kaldere enn  $-20^{\circ}\text{C}$ . Prøvene blir plassert i beholdere som gir  $1\text{mm} \leq$  vann rundt hele prøven under hele testperioden  $\leq 3\text{mm}$  (ASTM C666, 2008). I Figur 11 sees apparaturen for ASTM C666, benyttet av SINTEF, som regulerer temperatur og vann, samt hvordan det ser ut oppi apparaturen.



**Figur 11** Til venstre: Apparaturen som regulerer temperatur og vann i ASTM C666 utført på SINTEF. Til høyre: Oppi apparaturen. Til venstre: Vann fylles opp til over beholderne som prøvene står i og blir så fjernet slik at det kun er 3mm vann rundt prøvene og ikke utenfor beholderne. Beholderne er laget til av Karl Gunnar Holter for akkurat dette forsøket. Foto: Karl Gunnar Holter

Det skal kjøres totalt 300 fryse/tine-sykler hvis ikke den dynamiske e-modulen til prøvestykket tidligere blir 60% av startverdien (ASTM C666, 2008).

#### 4.1.3 ASTM C215

ASTM C215 er en metode for målingen av egenfrekvens og kalkulering av dynamisk e-modul. Etter Fryse/tine-syklene i ASTM C666 måles egenfrekvensen til prøvestykkene i henhold til ASTM C215. Dette gjøres flere ganger under fryse/tinesyklene, slik at det kan følges med på utviklingen til prøvene.

### **Utstyret iht. ASTM C215**

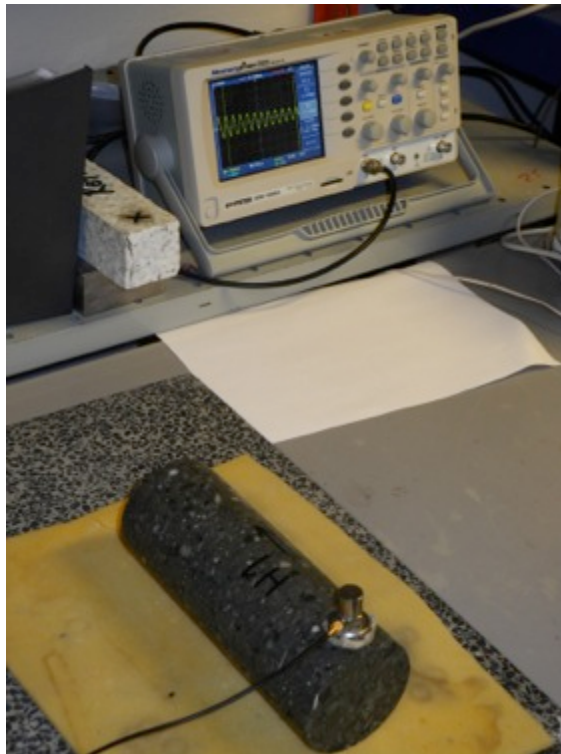
Apparatet som registrerer vibrasjonene viser bølger og en kan lese av hvor lang tid det har tatt fra et punkt til et annet. Apparatet skal ha en nøyaktighet på  $\pm 1\%$ , ta inn 20kHz per måling og registrere minst 1024punkt Slagverktøyet som benyttes skal være laget av metall eller hard plastikk, massen til hodet skal være i størrelsesorden  $0.11 \pm 0.02\text{kg}$  og slagsiden skal være av sfærisk fasong med diameter  $6 \pm 1\text{mm}$ . Sensoren som benyttes skal være et piezoelektrisk akselerometer med masse  $< 30\text{g}$  og skal kunne ta inn frekvenser fra 100-1000Hz (ASTM C215, 2003).

### **Krav til prøvestykkene, iht. ASTM C215**

Prøvestykket skal ha et forhold mellom lengde og bredde på mellom 3 og 5, minst 2. Det kan benyttes sylinder eller prisme (ASTM C215, 2003). Større kjerner gir bedre resultat enn mindre.

### **Oppsett/utførelse, iht. ASTM C215**

Prøvestykket plasseres på et underlag som lar det vibrere fritt, slik at underlaget ikke påvirker målingene, se Figur 12. Sensoren plasseres nær enden av prøven (innenfor  $0.024 * L$ ) med ”kitt” (ASTM C215, 2003). Innstilling av apparaturen skjer etter hva som står beskrevet i ASTM C215. Kjerneprøven blir så påført et slag i midten med det valgte slagverktøyet. Redskapet blir brukt til å gi svingninger i prøven som igjen kan leses av i tid. Det skal registreres minst tre målinger. Hvis en måling avviker med mer enn 10% ekskluderes den og prosedyren gjentas en gang til (ASTM C215, 2003).



**Figur 12** Oppsett for egenfrekvens målinger etter ASTM C215.  
**Foto: Maren Kristine Tandberg**

### **Beregning av dynamisk E-modul**

Dynamisk e-modul for sylindere beregnes ut ifra den formelen (ASTM C215, 2003):

$$\text{Dynamisk } E = CMn^2$$

M = Masse, [kg]

n = Frekvens, [Hz]

C = 1.6067 (L<sup>3</sup>T/d<sup>4</sup>), [N\*s<sup>2</sup>(kg\*m<sup>2</sup>)]

L = Lengde, [m]

d = Diameter, [m]

T = Korreksjonsfaktor som avhenger av forholdet mellom K/L og Poissons tall

K= d/4

#### 4.1.4 Beregning av skadefaktor i henhold til ASTM C666

Relativ dynamisk e-modul (ASTM C666, 2008):

$$P_c = \left( \frac{n_1^2}{n^2} * 100 \right)$$

$P_c$  = Relativ dynamisk e-modul, etter c sykler med frysing og tining, [%]

n = Fundamental transvers egenfrekvens ved 0 sykler av frysing og tining

$n_1$  = Fundamental transvers egenfrekvens etter c sykler av frysing og tining

Antakelser testen bygger på:

- Konstant masse gjennom hele testen
- Konstante dimensjoner gjennom hele testen

Disse antakelsene er ikke sanne i flere tilfeller pga. svekkelse i prøvestykkene (ASTM C666, 2008).

#### 4.1.5 ASTM C666 i denne masteren

Utført av:

- SINTEF (Erik Johansen) utfører selve fryse/tine-syklene
- SINTEF (Erik Johansen) og forfatter utfører i samarbeid registreringene i ASTM C215

Prøvestykker:

- Kjerneprøver fra Harangstunnelen
- L=198mm, D=74mm
- Prøvene blir plassert i beholdere som gir 3mm klaring rundt hele prøven.

Mulige feilkilder:

- Prøvestykkene ikke har eksakte dimensjoner, pga. borutstyr og sag.
- Inhomogent materiale kan føre til ulikt utslag i ASTM C215
- Ulik tørking av utsiden grunnet rekkefølgen kjernene blir testet
- Apparaturen kjernene står i for å få omtrent 3mm vann rundt hele, ikke klart å få helt lik fordeling rundt hele prøven
- Is i bunnen som sprenger, tiner ikke likt rundt prøven

## 4.2 CEN/TS 12390-9 (Borås testmetode)

Dette er en Europeisk testmetode for testing av frostbestandighet når utsatt for salter.

Tidligere ble denne kalt Borås test- SS137244 (Sellevold E. J. og Jacobsen S., ch. 15, 2009).

Hensikten med denne testmetoden er å finne mengden avskalling etter bestemte tider og sammenlikne med kravet for avskalling i forhold til frostbestandighet.

### 4.2.1 Forbehandling av prøvestykker

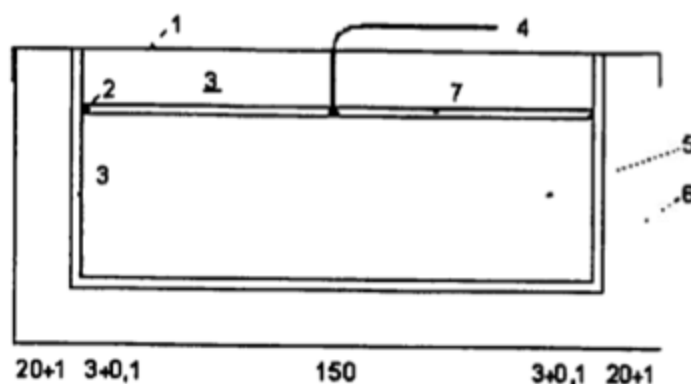
#### Krav til prøvestykkene

Testoverflaten må være på minst 400cm<sup>2</sup> for å få et mest mulig riktig resultat.

Før testen kan starte må prøven ligge 7døgn i vann og 21døgn ved 65% RH ved 20°C. Den siste uken blir prøven våtkuttet til disker på 50mm. Tilslutt blir den lagt 3 døgn i avionisert vann (Sellevold E. J. og Jacobsen S., ch. 15, 2009).

### 4.2.2 Oppsett

Gummi blir tredd på prøven og strammet til. Prøven blir deretter isolert i bunn og sider, slik at det kun vil være mulig med frostgjennomtrengning fra toppen av prøven. Toppiden blir dekket med et 3mm tykt lag med 3% NaCl-løsning eller annet frysemedium. For å unngå fordamping blir det lagt plastfolie minst 15mm over testflaten som et lokk, dette blir holdt på plass med en ring som strammes til (CEN-TS 12390-9, 2006). Se Figur 13 for illustrasjon over oppsettet og Figur 14 for bilder av hvordan dette ser ut i virkeligheten.



#### Key

- 1 Polyethylene sheet
- 2 Glue string
- 3 Rubber sheet

- 4 Temperature measuring device in contact with the test surface
- 5 Specimen
- 6 Thermal insulation
- 7 Freezing medium

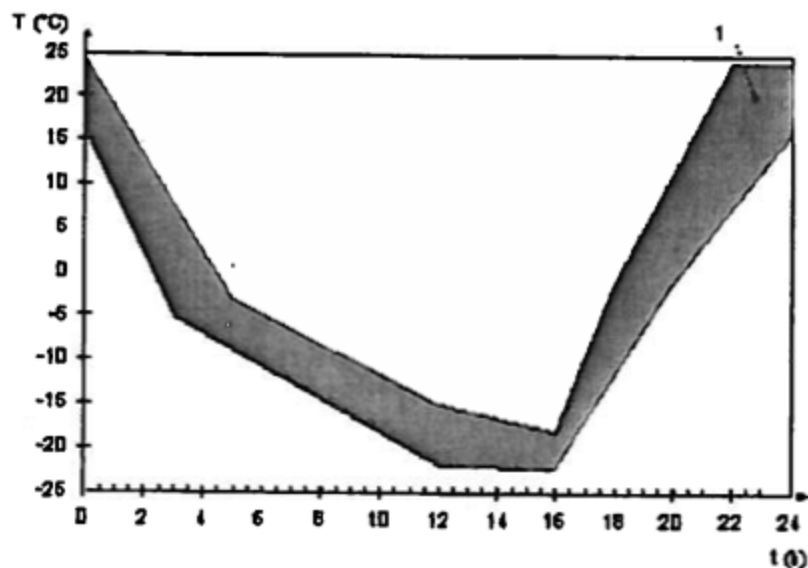
Figur 13 Illustrasjon over oppsettet til prøven under Borås test (CEN-TS 12390-9, 2006)



**Figur 14 Til venstre: Oppsett med kun gummi. Til høyre: Oppsett med gummi, isolering og plastfilm. Foto: Maren Kristine Tandberg**

### 4.2.3 Prosedyre

Hele oppsettet blir plassert i et fryse/tine-skap. Det kjøres 56sykler, hver av disse syklene varer i 24timer. Temperaturen vil gå fra +20 til -20°C for hver syklus, prøven skal falle under 0°C i 7-9 timer (CEN/TS 12390-9, 2006). I Figur 15 er temperaturforløpet til en syklus illustrert.



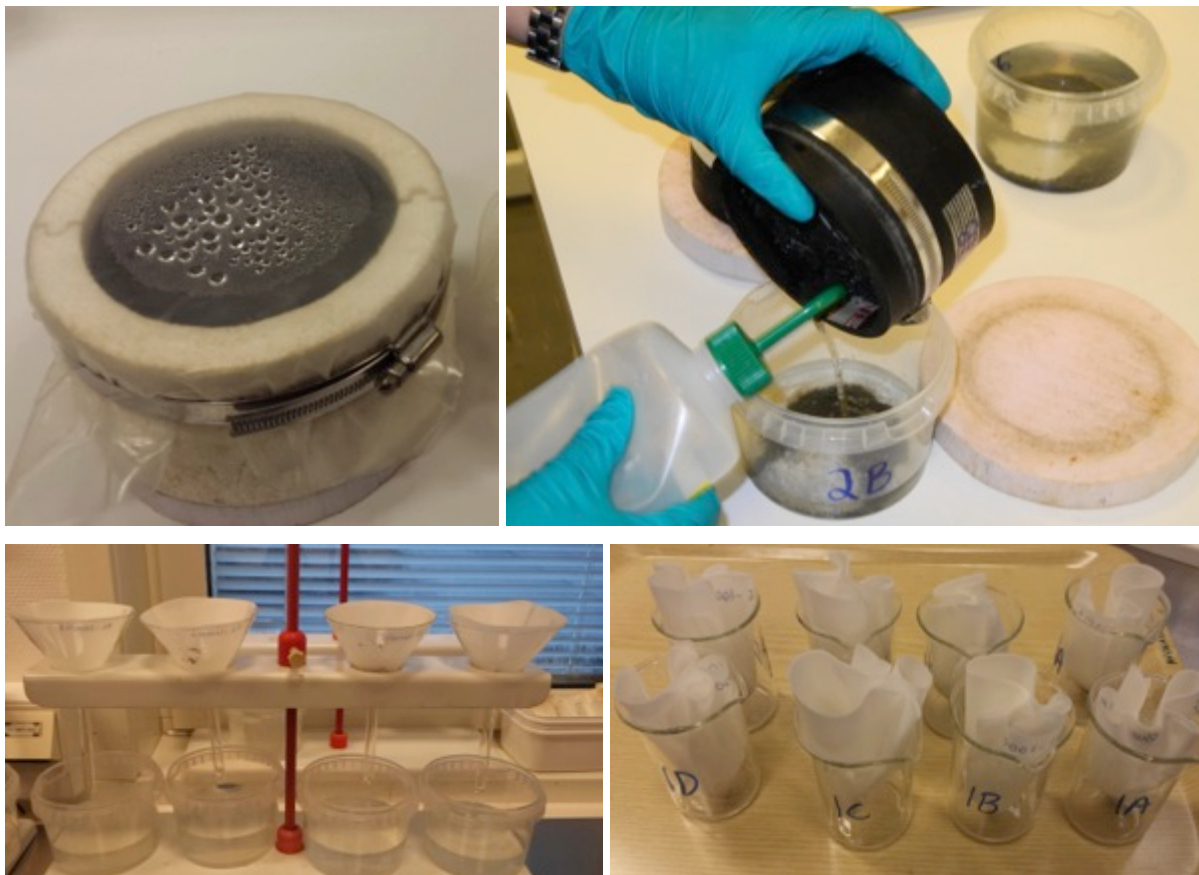
**Figur 15 Temperaturforløp for en fryse/tinesyklus (skravert: temperaturområdet), (CEN/TS 12390-9, 2006)**

Etter et regelmessig intervall (7±1, 14±1, 28±1, 42±1 og 56sykler) samles avskallet masse, tørkes ved 110±10°C og veies til nærmeste 0.1g (CEN/TS 12390-9, 2006).



Prosedyren for å samle den avskallede massen og for å tørke den, se Figur 16:

- Spyl med avionisert vann på sprayflaske og kost den eksponerte betongflaten, ned i en beholder
- Brett et rundt filterpapir til siktform, plasser oppi en glasstrakt med beholder under og hell vannet med det avskallede materialet oppi
- La renne fra seg
- Filterpapiret med avskallet masse legges i et glassbeger for så å tørkes



**Figur 16** Øverst til venstre: Prøver klare for avskallingsmåling. Øverst til høyre: Renser ut avskallet materiale. Nede til venstre: Vann med avskalling filtreres gjennom filterpapir. Nede til høyre: Filterpapir med avskalling, klare for tørking.

Foto: Maren K Tandberg

#### 4.2.4 Beregning

Beregning av avskallet masse (CEN/TS 12390-9, 2006):

$$m_{s,n} = m_{s,before} + (m_{v+s(+f)} - m_{v(+f)})$$

$m_{s,n}$	Avskallet, tørr masse etter n fryse/tine-sykler, avrundet til nærmeste 0.1g
$m_{s,before}$	Avskallet, tørr masse etter n-1 fryse/tine-sykler, avrundet til nærmeste 0.1g
$m_{v+s(+f)}$	Massen av beholderen med tørket avskallet masse og evt. filterpapir, avrundet til nærmeste 0.1g
$m_{v(+f)}$	Massen av tom beholder og evt. filterpapir, avrundet til nærmeste 0.1g

#### 4.2.5 Vurdering av resultat

Resultatet deles inn etter mengde avskallet masse. Dette gir en indikasjon på betongens saltfrostbestandighet, og deles inn slik (Sellevoid E. J. og Jacobsen S., ch. 15, 2009):

Dårlig:	$m_{56} > 1 \text{ kg/m}^2$
Veldig bra:	$m_{56} < 0.1 \text{ kg/m}^2$

Mengden avskallingen etter de første 28 syklene bør være større enn etter det siste 28 (Sellevoid E. J. og Jacobsen S., ch. 15, 2009).

Ved denne testen kan det også bestemmes indre skader ved å registrere lengdeendring underveis.

#### 4.2.6 Borås test i denne masteren

Utført av:

Veidirektoratet i Oslo (Bente Mc Gonnell) og forfatter

Prøvestykker:

- Kjerneprøver fra Harangstunnelen
- D=102.5mm, L ca. 50mm
- Halvparten av prøvestykkene blir utsatt for 3% NaCl og resten kun vann.

### 4.3 “Realistisk” tilpasset frostapparat i forhold til sprøytebetong i tunnel

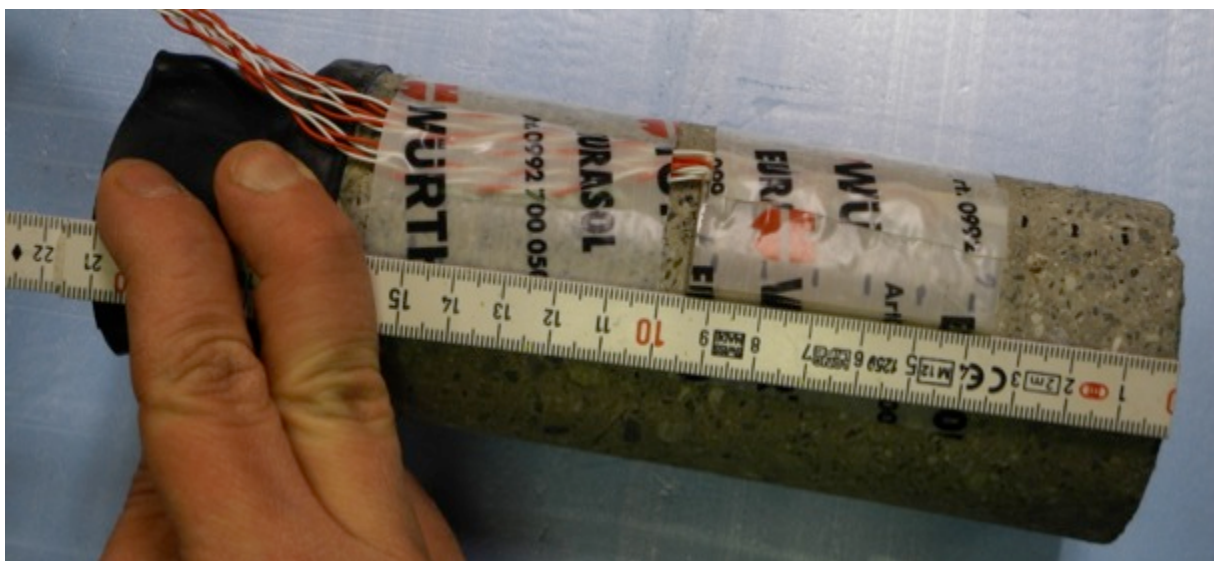
Metoden går ut på å belaste betongen, i forhold til temperatur og fuktighet, på en måte som likner på situasjonen i en tunnel. Apparaturen gir enveisfrostinntregning på den ene siden, ”tunnel”-siden, og stabil temperatur på den andre, ”berg”-siden. Prøvestykket vil også bli tilført vann på ”berg”-siden og kun luft på ”tunnel”-siden.

Hele apparaturen blir så satt inn i et fryseskap. Prøvene vil bli fryst i omtrent 18 timer og tint i omtrent 5 timer. Dette gjøres manuelt ved å ”åpne og slå av” og ”lukke og slå på” fryseskapet til bestemte tider. I kap.5 kan det leses mer om denne testmetoden og pilotforsøkene.

#### 4.3.1 Preparering av kjerneprøvene

Klargjøringen av kjerneprøvene før plassering i fryse/tine-apparaturen:

- 1) Plaststrømpe varmes på den ene siden av prøven
- 2) Minst 7 døgn i vann
- 3) Lufttørke prøvestykkene slik at yttersiden er tørr
- 4) 1 prøve per fryseskap påmonteres en termometer på siden (6cm, 6sensorer), denne monteres med teip og plasseres slik at første sensor er 4cm fra frostsiden, se Figur 17
- 5) Prøvene pakkes stramt inn i skumplast som festes med dobbeltsidig teip og solid teip i skjøten

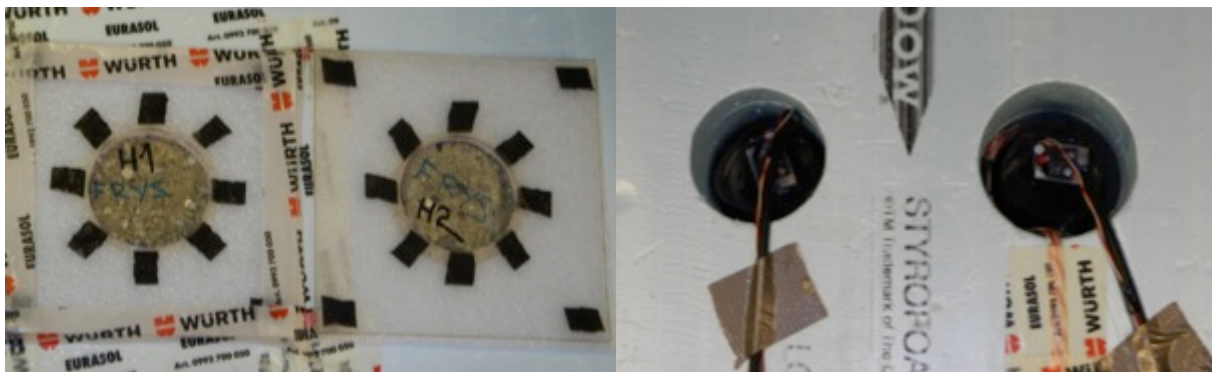


**Figur 17 Kjerneprøve med plaststrømpe og termometer med 6 sensorer.  
Foto: Maren Kristine Tandberg**

### 4.3.2 Prosedyre

Fremgangsmåte for klargjøring til fryse/tine-sykler:

1. Prøvene plasseres i apparaturen helt ned til bunnen med plaststrømpen øverst, se Figur 18 til venstre
2. Det fylles i 15-20mm vann på toppen i plaststrømpa
3. Varmeelement med termostat legges i vannet, Figur 18 til høyre og Figur 19
4. Lokket til apparaturen festes
5. Prøvene settes inn i fryseskap ved  $-20^{\circ}\text{C}$
6. Fryse/tine-sykler starter



**Figur 18** Til venstre: Apparaturen med kjerneprøvene sett nedenfra og opp. Til høyre: Apparaturen med kjerneprøvene sett ovenfra og ned, når lokket er fjernet.

Foto: Maren Kristine Tandberg



**Figur 19** Sett ovenfra og ned. Varmeelement med termostat. 15-20mm vannbad. Foto: Maren Kristine Tandberg

### **4.3.3 Varighet av fryse/tine-sykler i denne masteren**

Prøvestykkene har gjennomgått henholdsvis 25 og 50 sykler i frostapparatet.

### **4.3.4 Utførelse av arbeidet i denne masteren**

#### Utført av:

- Preparering og klargjøring for fryse/tine-sykler: forfatter og PhD- kandidat Karl Gunnar Holter.
- Lukking og åpning av fryseskap for kjøring av frysesykler: forfatter og PhD- kandidat Karl Gunnar Holter. Christine Langås har hjulpet når de førstnevnte ikke har kunnet

#### Prøvestykker:

- Sprøytebetong fra Harangstunnelen
- D=74mm, L=180mm
- Sprøytet 22.februar 2013, 03. august 2013 kjerneboret i tunnel, Lagret i vann 1.desember 2013

#### Mulige feilkilder:

- Ikke klart å få det helt tett rundt kjerneprøven, slik at kulde kan trenge inn langs kanten også, forsøkt unngått
- Miste vann langs siden
- Ikke like lange fryse/tine- perioder

#### 4.4 Egenfrekvensmåling på disker

Metoden går ut på å våtsage disker med ca. 20mm tykkelse. Deretter blir de hengt opp og påført et slag i senter for å finne ut om prøvene har blitt svekket av fryse/tine-syklene. I kap 5 kan det leses mer om denne testmetoden både kalibreringsforsøk og oppsett.

##### 4.4.1 Forbehandling av prøvestykker

Forbehandling av prøvestykker før egenfrekvensmålingene kjøres:

- Metoden er ment å bli utført i sammenheng med den egenutviklede frostapparaturen
- Våtsag kjernene til disker på ca. 20mm, viktig med så plan flate som mulig
- Vannmettes i minst 7døgn

##### 4.4.2 Prosedyre

Fremgangsmåten for denne testmetoden, se Figur 20:

- 1) Kalibrer utstyret med stål- eller aluminiumdisk før betongdisken testes
- 2) Heng opp disken
- 3) Plasser sensoren med kitt i senter av disken
- 4) Heng opp ei kule slik at den treffer i senter (motsatt side av sensor)
- 5) Når tellbare svingninger er oppnådd registreres tid per minst 5 svingninger
- 6) Minst tre registreringer per disk
- 7) Beregn relativ dynamisk e-modul, se ASTM C215



**Figur 20 Til venstre: Kalibreringsoppsett. Til høyre: Oppsett med betongdisk. Foto: Maren Kristine Tandberg**

#### **4.4.3 Utførelse av arbeidet i denne masteren**

Utført av:

Forfatter og Christoffer "Chris" Thoresen (SINTEF)

Prøvestykker:

- Kjerneprøver fra Harangstunnelen
- D=74mm, L= ca. 20mm

Mulige feilkilder:

- Ulik "tørketid" før testing, best utslag når litt tørket overflate, vanskelig å få dette likt
- Inhomogent materiale, små diskser gjør at dette spiller en større rolle
- Ikke jevn saging, prøvd å unngå
- Person slipper kulen, vanskelig å få til helt lik høyde og vinkel hver gang

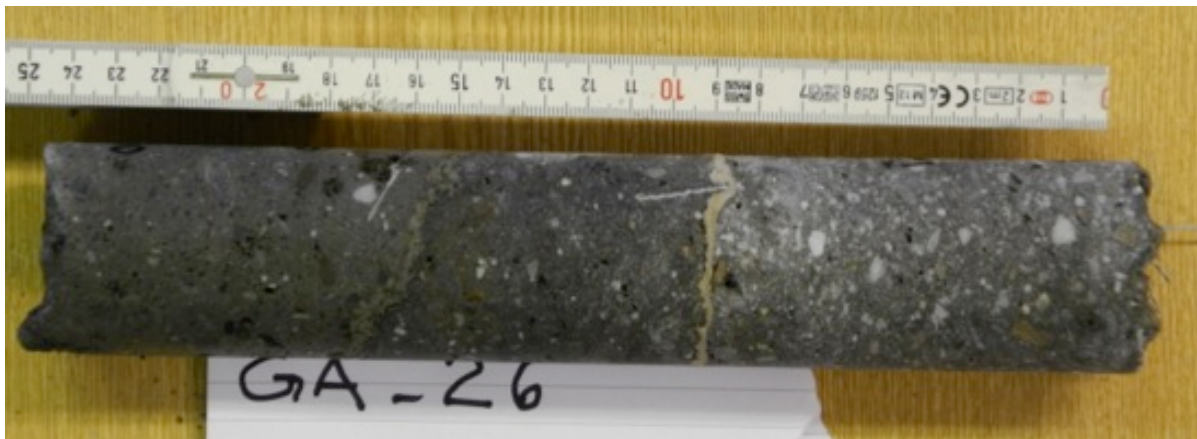
## 4.5 PF-metoden

Hovedpoenget med PF-metoden er at den gir oss informasjon om poresystemet i betongen som igjen gir en indikasjon på frostbestandigheten til betongen. Gjennom veiing etter ulike prosesser gjort i en bestemt rekkefølge beregnes volumet av kapillærporer (vannfylte) og makroporer (ikke-vannfylte porer). Ved å dividere volumet av makroporer på det totale porevolumet kommer en fram til ”Poreskyddsfaktoren” (PF).

Frostbestandig betong, kun utsatt for vann, har en tilstrekkelig høy makroporøsitet på 4-6 %, kombinert med en PF på  $>0.20$  (Sellevold og Jacobsen, ch. 15, 2009).

### 4.5.1 Prøveuttak

Det skal benyttes våtboring, dersom kjerneboring. Den ideelle kjernediameteren er 50 til 55mm. Umiddelbart etter boring tørkes kjernene for overflatevann og pakkes godt inn i plastfolie for å bevare in-situ fuktigheten. Se Figur 21 for eksempel på hvordan en kjerneprøve med membran kan se ut.



**Figur 21** Kjerneprøve fra Gevingåstunnelen. Hvit stripe er membranen som er benyttet. Venstre side er fra bergsiden og høyre fra tunnelsiden. Foto: Karl Gunnar Holter



#### 4.5.2 Prosedyre

- 1) Kjernene splittes mekanisk i biter på ca. 30-40mm kjernelengde. Prøvene blir veid rett etter ankomst til betonglaboratoriet,  $w_1$
- 2) Vannmetning under vann i 7 døgn (kapillær vannmetning). Prøvene blir veid i luft,  $w_2$ , (tørrveining) og i vann,  $w_2'$ , (våtveining)
- 3) Tørrking ved 105°C i 7 døgn. Prøvene blir veid,  $w_3$
- 4) Ny vannmetning under vann i 7 døgn. Prøvene blir veid i luft,  $w_4$
- 5) Trykkmetning ved 50 bar trykk i 3 døgn. Prøvene blir veid i luft,  $w_5$
- 6) Tørrking ved 105°C, kontrollveining, sammenlikn resultater ved veining under pkt. 3. Disse to verdiene skal være tilnærmet like,  $w_6$

#### 4.5.3 Kalkulasjon

Fukttinnhold:  $w_1 - w_3$

Prøvens volum, V:  $V = w_2 - w_2'$

Kapillærporøsitet,  $P_s$ :  $P_s = \frac{w_2 - w_3}{V}$

Kapillær metningsgrad:  $\frac{w_1 - w_3}{w_2 - w_3}$

Makroporøsitet,  $P_a$ :  $P_a = \frac{w_5 - w_4}{V}$

Totalporøsitet,  $P_t$ :  $P_t = P_a + P_s$

PF-verdi:  $PF = \frac{P_a}{P_t}$

#### 4.5.4 PF i denne masteren

Utført av:

Forfatter og PhD- kandidat K. G. Holter

Prøvestykker:

Det vil bli testet prøver fra Gevingåstunnelen og Harangstunnelen.

1. Kjerneprøver fra Gevingåstunnelen:

- Våtboret insitu, diameter: 50mm
- Pakket godt inn i plastfolie for å bevare fuktigheten
- Fraktet direkte til laboratoriet for veiing
- Uttak av borkjerner fra tunnelvegg:
  - 3stk, dato: 28. februar 2014
  - 3stk, dato: 24. april 2014
- Gjennomgang av tidligere utførte kjerneuttak
  - 3stk, dato: 24. februar 2012
  - 4stk, dato 12. mars 2013

2. Kjerneprøver fra Harangstunnelen:

- Sprøytet: 22. februar 2013
- Kjerneboret i tunnel 03. august 2013
- Diameter 74mm
- Lagret i vann: 18.02.14-04.03.14
  - 2 prøver utsatt for 25 frost/tine-sykler (i egenutviklet apparatur)
  - 2 som er utsatt for 50 fryse/tine-sykler (i egenutviklet apparatur)
- 1 referanseprøve (null frysing). Lagret i vann: 01.12.13-29.03.14

SINTEF har tidligere utført PF-målinger på kjerneprøver fra Gevingåstunnelen. Dette er gjort i februar 2012 og i mars 2013. Disse resultatene vil også bli vurdert her.

Mulige feilkilder:

Ikke helt klart å bevare in situ fuktigheten. Kan ha mistet noe avskalling under testing. Berg eller membran som sitter igjen på prøvestykket. Prøvene i Harangstunnelen har ikke blitt lagret lenge nok i vann.

## 4.6 Kapillærabsorpsjonsmetoden

Kapillærabsorpsjonsmetoden er ofte benyttet i Norge, vanligvis i sammenheng med PF (Sellevold og Jacobsen, ch. 14, 2010). Metoden står beskrevet i SINTEF prosedyre KS 70110. Den går ut på å tørke prøvene, legge de på et vannspeil og veie prøvene etter bestemte tider for å se hvor mye vann prøvene har sugd til seg. Det som skiller kapillærabsorpsjonsmetoden fra PF-metoden er at den også tar med kapillaritetstall og motstandstall, i tillegg skiller den mellom åpen og lukket makroporøsitet. Kapillaritetstallet er et uttrykk for hastigheten til vannabsorpsjonen (Smeplass, 05.04.1988). Motstandstallet gjenspeiler finheten i kapillærsystemet, og forventes å ha god korrelasjon til masseforholdet w/c (Smeplass, 05.04.1988). Når det kommer til makroporøsiteten så er bare den lukkede makroporøsiteten som bidrar til frostbestandighet. En åpen makroporøsitet utover ca. 1% tyder på dårlig kompaktering under sprøyteprosessen.

### 4.6.1 Prøveuttak

Det benyttes 20mm diskere sagd fra støpte sylindere/kuber eller fra kjerneprøver. Kan benytte sagd eller naturlig overflate avhengig av formålet (Sellevold og Jacobsen, ch. 14, 2010).

### 4.6.2 Prosedyre

Prøvestykkene kan bli forseglet med epoxy for å forsikre seg om enveis vannabsorpsjon.

1) Tørking i tørkeskap (Sellevold og Jacobsen, ch. 14, 2010):

a) Ved 105°C

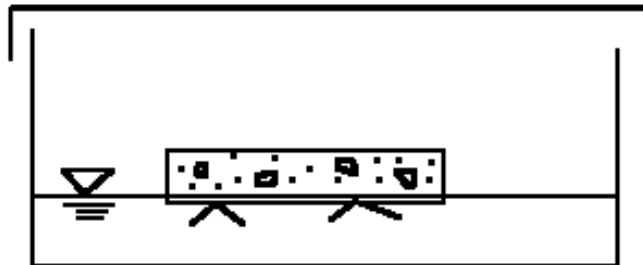
- Veldig sterk tørking som endrer porestrukturen. Det blir større og mer kontinuerlige porer og mikrosprekker kan øke betydelig
- Høy kvalitet betong oppnår stabil vekt etter 2-4 dager

b) Ved 50°C

- Mer forsiktig tørking som gir mindre strukturelle endringer i betongen
- Vannabsorpsjonshastigheten representerer bedre in situ situasjonen enn tørking ved 105°C
- Høy kvalitet betong oppnår stabil vekt etter minst 1 måned

I rutinetester er det mer vanlig med 105°C, mens i forskningsarbeid er det vanligere med 50°C (Sellevold og Jacobsen, ch. 14, 2010).

- 2) I en kasse plasseres diskene på en rist der vannspeilet står 1mm over rista, se Figur 22 og Figur 23 . Ristene skal være utformet slik at hele betongoverflaten har fri tilgang til vann. Det skal til en hver tid være 1mm vannstand i forhold til prøvene. Kassen dekkes med et lokk, for å holde luftfuktigheten på et høyt nivå, hindrer dermed avdamping fra prøvestykkets overflate (Smeplass, 05.04.1988)



**Figur 22** Illustrasjon av oppsettet for kapillær absorpsjonsforsøket når prøvene står i 1mm vann

- 3) Prøvestykkene veies, etter å ha blitt tørket med fuktig klut, etter intervallene: 0, 10min, 30min, 1t, 2t, 3t, 4t, 1d, 2d, 3d, 4d (Smeplass, 05.04.1988)
- 4) Kassene fylles opp med vann til prøvene er dekket med vann og veies tørt og i vann etter 3 døgn
- 5) Vannmetning ved 50 atm. trykk i 3 døgn (Smeplass, 05.04.1988)
- 6) Tørking ved 105°C, veies etter 7 dager (Smeplass, 05.04.1988)



**Figur 23** Kapillær absorpsjon. Disker lagt på en rist fylt med ca. 1mm vann over rista. En tydelig vannkant kan sees på betongen. Foto: Maren Kristine Tandberg

### 4.6.3 Kalkulasjon

Et elektronisk regneark behandler resultatene fra prøvingsprosedyren (Smeplass, 05.04.1988).

Fra dette regnearket kan det leses av :

- Kapillaritetstall [ $\text{kg/m}^2\sqrt{s}$  ]
- Sugporøsitet [% vol.]
- Åpen makroporøsitet [% vol.]
- Lukket makroporøsitet [% vol.]
- Faststoffdensitet [ $\text{kg/m}^3$  ]
- Tørrdensitet [ $\text{kg/m}^3$  ]
- Motstandstall [ $\text{s/m}^2$ ]

### 4.6.4 Kapillærabsorpsjon i denne masteren

Utført av:

Forfatter og PhD-kandidat Karl Gunnar Holter

Prøvestykkene:

- Kjerneprøver fra Harangstunnelen
- D=74mm, L=20mm
- Det er i denne oppgaven benyttet de samme prøvestykkene som i egenfrekvensmålinger på diskere
- Sprøytet 22.februar 2013, kjerneboret i tunnel 03. august 2013, Lagret i vann fra 1.desember 2013

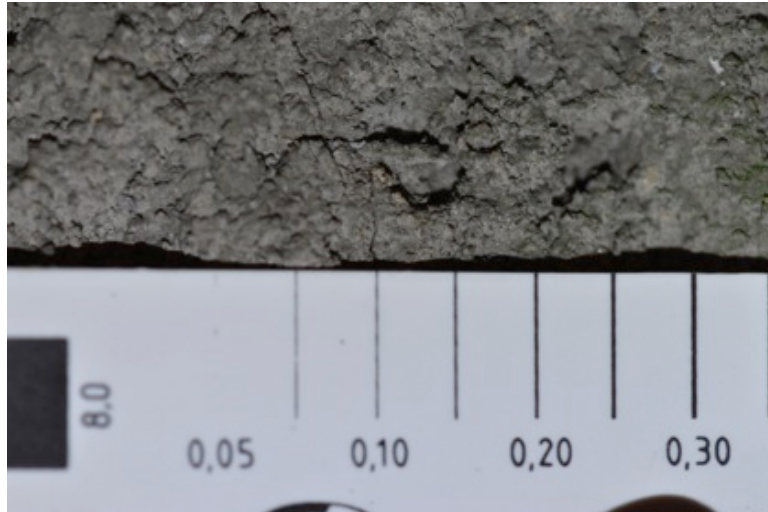
Testing gjøres på prøver som er ubelastet, mtp. fryse/tine-sykler på laben, og på prøver som har gjennomgått 50 og 25 fryse/tinesykler.

Mulige feilkilder:

- Helning på underlag, som kan føre til ulik vannhøyde opp på diskene
- Miste en dråpe på toppen, når løfting av annen prøve
- Tid lokket er av under veiing
- Vekt i vann er vanskelig å få helt nøyaktig grunnet bevegelse i vannet og opphenget

## 4.7 Risskartlegging i tunnel

For å følge med på mikroriss i betongen er det foretatt risskartlegging av sprøytebetongen. Risskartlegging vil si å måle bredden på små sprekker i ”mm”-skala ved hjelp av en rissmal, se Figur 24.



**Figur 24 Rissmal og et riss som samsvarer. Foto: K G Holter**

### 4.7.1 Prosedyre i denne masteren

For hvert riss som ble funnet ble det festet opp en snor normalt på risset. Rissmalen legges inntil risset som vist i Figur 24. Det ble gjort registrering for hver centimeter langs risset. Totalt 5 målinger over og under snora, dersom det lot seg gjøre, samt under snora. Alle riss ble markert med et nummer. Dette ble gjort for å kunne følge med på hvordan rissene endret seg med temperaturen.

### 4.7.2 Risskartlegging i denne masteren

Utført av:

- August 2013: Forfatter og Christine Langås
- Februar 2014: Forfatter

Sted:

Gevingåstunnelen

Mulige feilkilder:

Vanskelig å se rissene helt, grunnet sprøytet overflate.

## **5 Egenutviklet testmetode for ”realistisk” testing av sprøytebetong**

Det har vært ønskelig å komme frem til en metode for kjøring av fryse/tine-sykler, på laben, som er mer lik situasjonen til sprøytebetong enn dagens testprosedyrer som er mer rettet mot konstruksjonsbetong. Videre har det vært ønskelig å kunne benytte diskere i stedet for kjerner når sprøytebetongen skal testes. Grunnen til dette er at det vil være ulik påkjenningsgrad oppover i kjernen både med tanke på frost og vannmetning.

### **5.1 Fryse/tine-testmetode**

Sprøytbetongen i en tunnelkledning får kun frostinntrengning fra tunnelsiden, altså enveisfrostinntrengning. Berget vil holde en rimelig konstant temperatur gjennom hele året og vil ikke gå under 0°C. Vann vil kun komme fra bergsiden.

For å kunne teste sprøytebetongen så realistisk som mulig ble det forsøkt å lage et oppsett som ville gi nettopp enveis frostinntrengning på den ene siden og stabil temperatur og vanntilførsel på den andre.

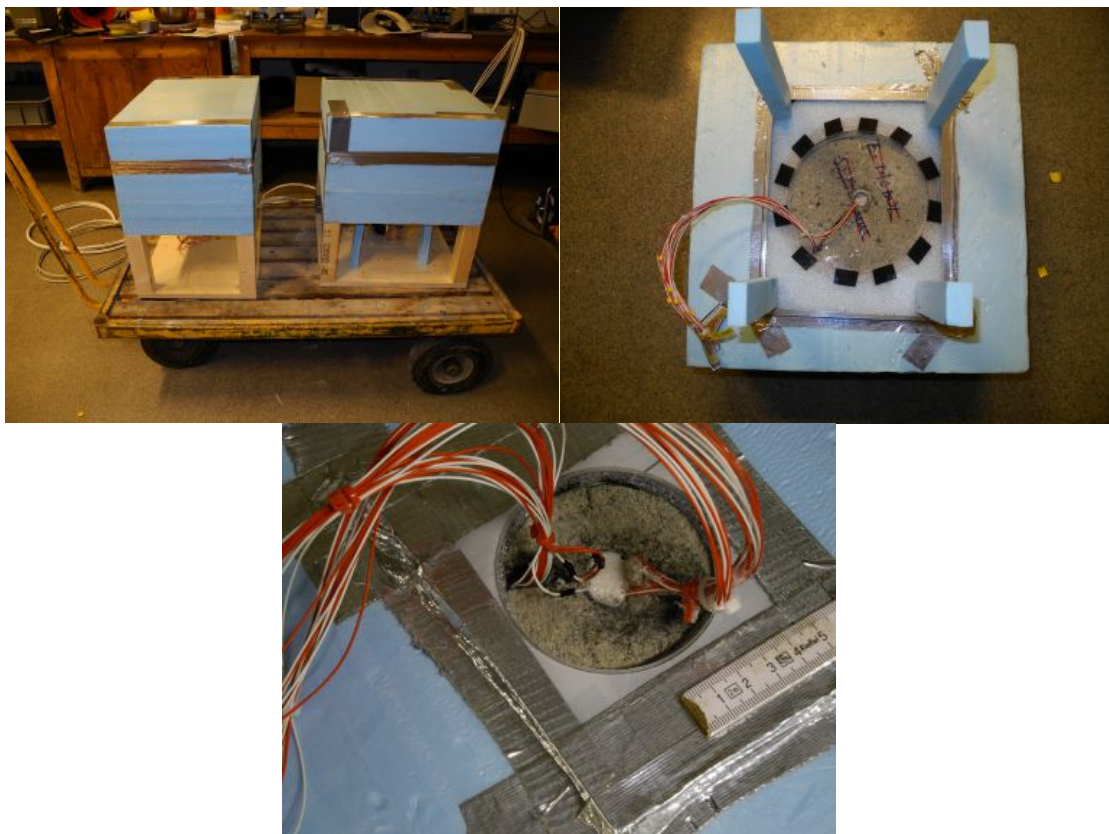
Med bakgrunn i dette vil en lage et oppsett slik at en får enveisfrostgjennomtrengning. Topp og sider må derfor isoleres. Mellom topp og kerne vil det være vann og et varmeelement med termostat slik at bergsiden til sprøytbetongen kan simuleres. For å ha kontroll på hvordan betongen fryser vil det være ønskelig med temperaturmålinger på ulike dyp i kjernen. Det vil også være ønskelig å vite den korrekte lufttemperaturen rundt den eksponerte flaten. Det er ønskelig med liten kerne slik at man har flere prøvestykker og teste samt at det blir mindre inngrep i tunnelen når prøveuttak.

#### **5.1.1 Kjerneprøvene**

Det har blitt kjørt pilotforsøk med kjerneprøver i størrelse 74mm og 190mm. Prøvene er utstyrt med temperatursensorer for å ha kontroll på temperaturforløpet. Sensorene som er benyttet er Resistanselement sensorene PT100. Disse er benyttet fordi de har høy presisjon. For å unngå feilkilde pga. ledningene er det benyttet tynne ledninger og sensorene er plassert litt unna.

### 5.1.2 Apparaturen

Det ble laget til en apparatur i termisk isolerende materiale, se Figur 25. Den består av en kasse med gjennomtrengende hull til kjerneprøvene og et lokk. Hullene er laget med en diameter som er litt større enn selve kjerneprøvene. I et forsøk på å redusere luft- og frostinntrengning fra uønskede steder er det benyttet skumplast, bl.a. rundt kjernene og mellom lokk og kasse. I bunnen er det også benyttet en pleksiglassplate med hull som har en diameter som er et par millimeter mindre enn kjerneprøvene. Pleksiglasset er benyttet for å begrense luft- og frostinntrengning langs sidene og for å støtte opp kjerneprøvene. I mellom pleksiglasset og kassen er det også benyttet skumplast.



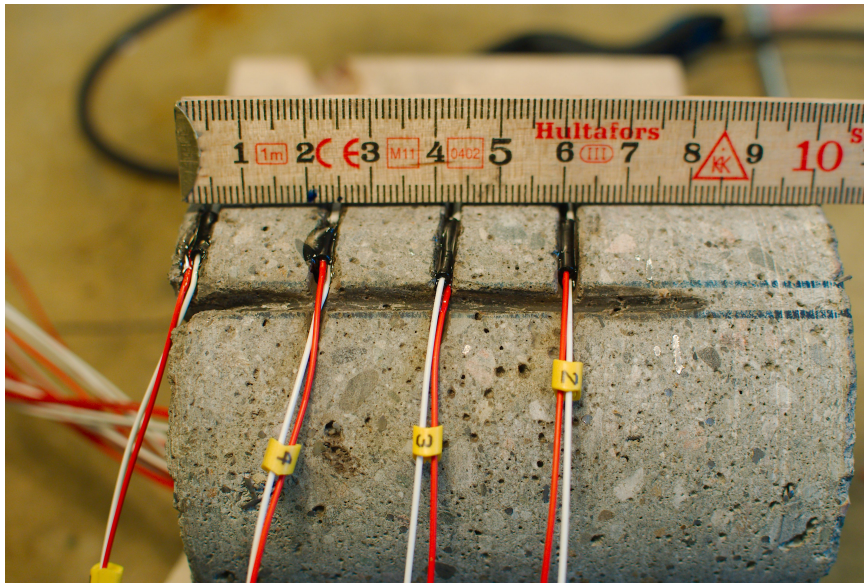
**Figur 25 Apparaturen. Oppe til venstre: Apparaturer med 190mm og 74mm kjerneprøver klare for fryse/tine-sykler. Oppe til høyre: Apparaturen med støttebein, 190mm kjerneprøve utstyrt med sensorer i periferi og senter sett nedenfra og opp. Nede: 74mm kjerneprøve med sensorer i periferi og senter i apparaturen sett nedenfra og opp.**

**Foto: Maren Kristine Tandberg**



### 5.1.3 Kalibrering i egenutviklet frostapparatet uten vann

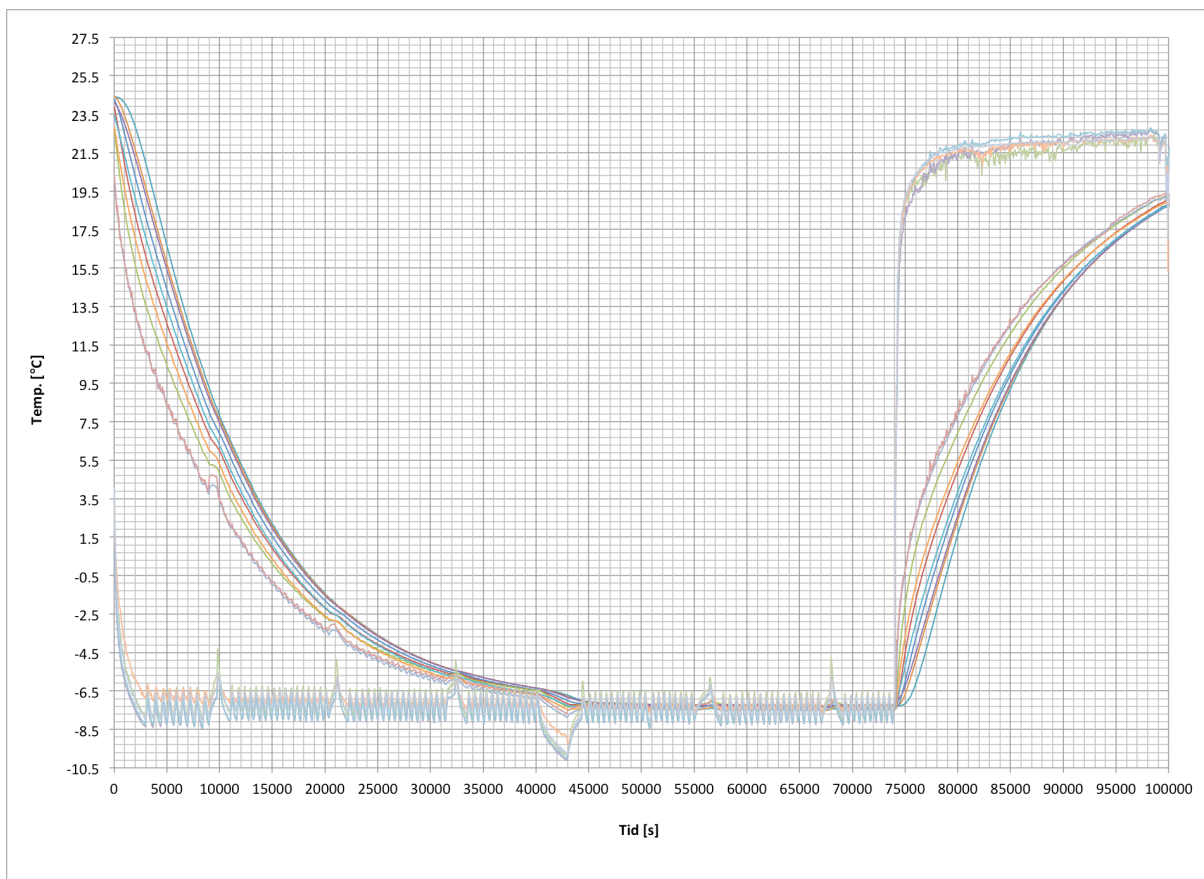
Først ble kjerneprøvene utstyrt med temperatursensorer i periferi og senter, se Figur 26. Dette ble gjort for å finne ut om apparaturen gir jevn, enveis frostinntrengning.



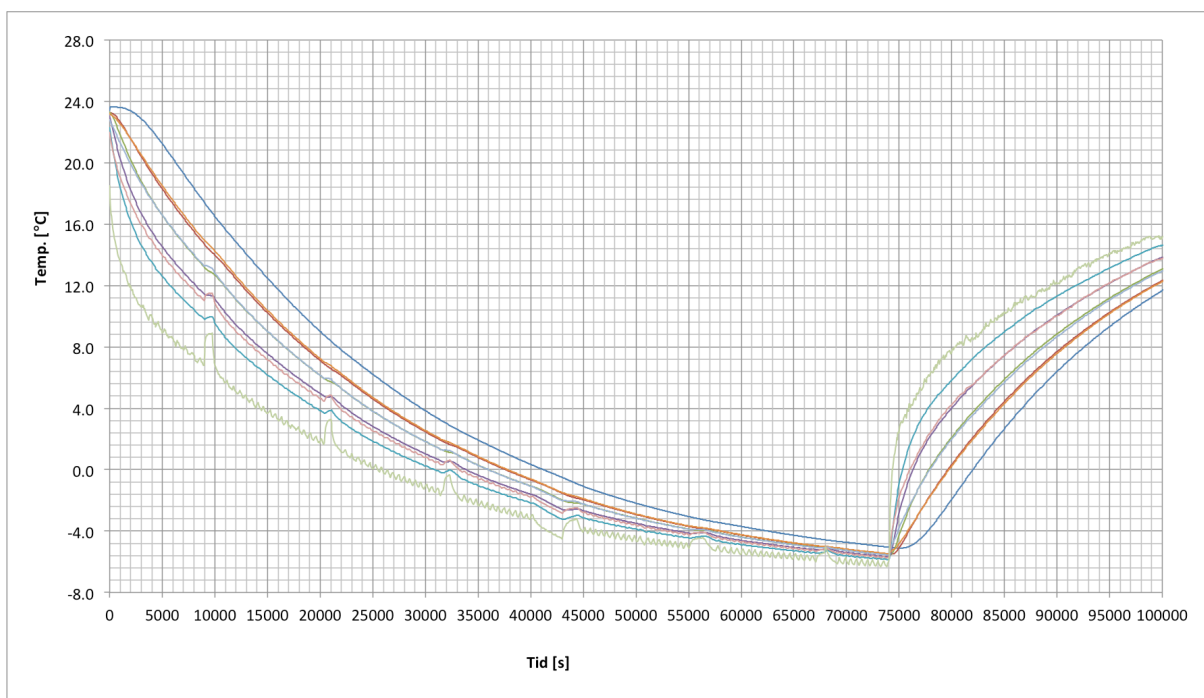
**Figur 26 Kjerneprøve utstyrt med parvise sensorer i periferi og senter.  
Foto: Karl Gunnar Holter**

I Figur 27 og Figur 28 er det vist en tilfeldig fryse/tine-syklus fra henholdsvis en 74mm og 190mm instrumentell kjerneprøve. Begge prøvene er satt inn samtidig i fryserrommet (temperatur  $-9^{\circ}\text{C}$ ). Lufttemperatursensorer er plassert tilfeldig på gulvet i nærheten av kjerneprøvene for å finne ut den virkelige lufttemperaturen rundt prøvene.

Resultatene for syklusen til 190mm kjernen viser akkurat det som ønskes; dvs. parvis like verdier for periferi og senter på samme dybde. Dette tyder på at apparaturen gir enveisfrostinntrengning. Lufttemperaturen viser omtrent  $-7^{\circ}\text{C}$ . Resultatene for temperaturforløpet til 74mm kjernen er noe mer ujevn. Sensorene i senter viser lavere temperaturer enn de i periferien. Dette kan skyldes at prøven er mindre og at nøyaktig plassering av sensorene har større betydning. Det kan også tenkes at pleksiglassplaten i bunnen har beskyttet kjernen mot frost langs kanten, altså at platen har dekket over for mye av den frostutsatte siden til kjernen. En annen årsak kan være dårlig innstøpning av sensorene i senter, som igjen har ført til lettere kuldeinntrengning.



**Figur 27 Temperaturforløp for 74mm kjerneprøve, med temperatursensorer både i periferi og senter, i egenutviklet frostapparat uten vann. Fryseskap satt til  $-9^{\circ}\text{C}$ . Lufttemperaturmålingene er også vist.**

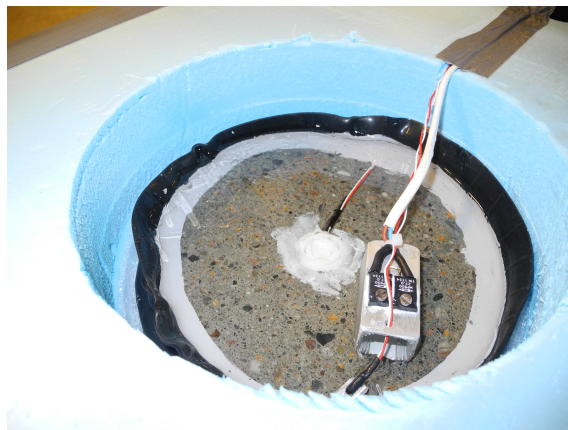


**Figur 28 Temperaturforløp for 190mm kjerneprøve, med temperatursensorer både i periferi og senter, i egenutviklet frostapparat uten vann. Fryseskap satt til  $-9^{\circ}\text{C}$ .**

#### 5.1.4 Kalibrering med vann, varmeelement og termostat

Etter at enveisfrostinntregning var sjekket var det over på neste punkt, Bergsiden. For å kunne simulere vann fra bergsiden ble 190mm kjernen påført en plaststrømpe med varmepistol. Plaststrømpen går 1-2cm ned på prøven. Silikon ble påført langs kanten av plaststrømpen og over sensorene i senter for at ikke vann skulle migrene gjennom andre steder enn gjennom betongen.

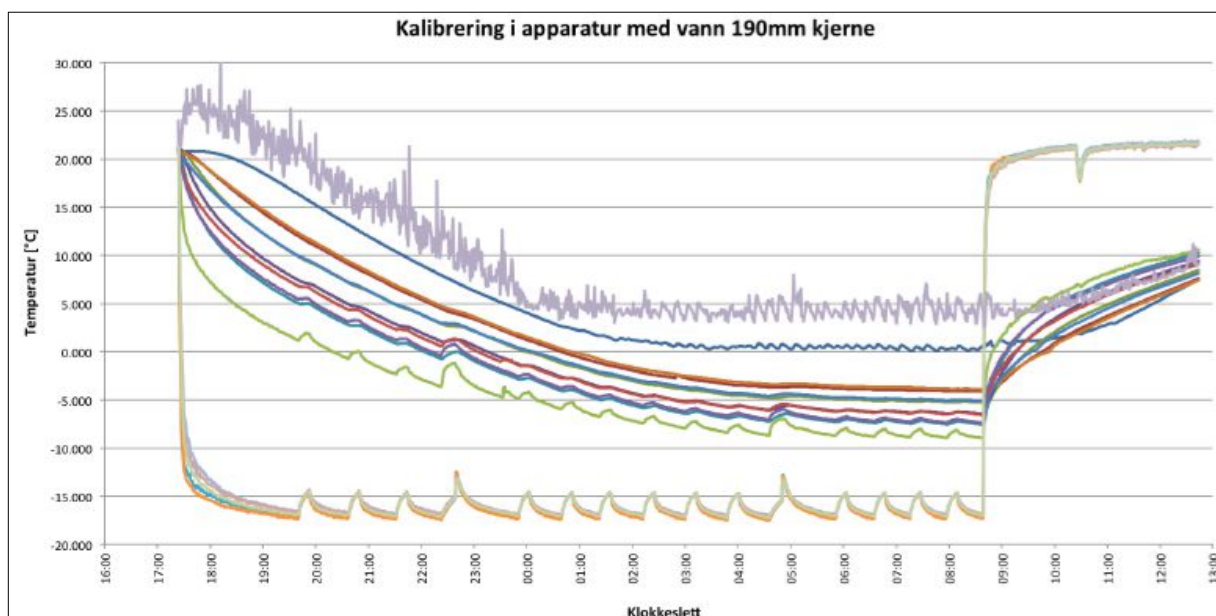
Kjernen plasseres i apparaturen, som før, men vann helles på toppen til omtrent 1cm og utstyres med et varmeelement og en temperatursensor for å holde temperaturen på vannet over 0°C. Varmeelementet vil ikke ligge i vannet selv, men oppå et varmeledende materiale som igjen vil varme opp vannet, som vist på Figur 29. Det er viktig at varmeelementoppsettet ikke ligger for nær kanten eller nær sensorene på prøven, dette for å hindre utslag i resultatene og for å få jevn varmfordeling.



**Figur 29** Kjerneprøve 190mm med varmeelement på toppen av ett varmeledende materiale og temperatursensor i vannet. Foto: Maren Kristine Tandberg

Hele oppsettet blir plassert inn i fryserommet (temperatur -17°C). Resultatene fra en syklus er vist i **Figur 30**. Vanntemperaturen (lilla) stabiliserte seg på 4°C som ønsket.

Temperatursensorene som kjerneprøven er utstyrt med viser parvis lik temperatur i periferi og senter. Temperaturene stabiliserer seg etter en viss tid og det blir ikke kaldere enn -9°C lengst mot frostsiden. Temperaturdifferansen, gradvis 2cm, inn i kjernen er på ca.  $2 \pm 1^\circ\text{C}$ . Dette samsvarer godt med at det vil være en økning i temperatur innover i prøven mot bergsiden.



**Figur 30 Kalibrering i apparatur med vann, 190mm kjerneprøve. Viser temperatur i vannet (lilla), temperaturen i periferi og senter og lufttemperaturer.**

### 5.1.5 Konklusjon

Apparaturen gir gode verdier for 190mm kjernen, med jevn frostinntrengning. Verdiene for 74mm kjernen er litt mer ujevne. Det antas at dette skyldes at sensorene ikke er plassert nøyaktig nok i forhold til periferi og senter og/eller at prøven ikke har vært isolert godt nok. Antakelsen er basert på resultatene fra 190mm kjernen og at mindre prøver er mer utsatt for feilkilder enn større. Bergsiden med varmeelement og termostat fungerer akkurat som ønsket med jevn temperatur i toppen, og gradvis økning i temperaturen oppover prøven.

## 5.2 Diskmetoden

Det er videre ønskelig å teste kjerneprøven for å finne ut svekkelse i frostbestandighet etter tid. Sprøytebetongen er utsatt for enveisfrostinntrengning og varme fra berget, dette fører til at betongen blir svekket på ulike tider oppover kjerneprøven. Å benytte disk kuttet opp fra kjerneprøver hadde derfor vært å foretrekke som prøvestykker. Det er ønskelig å benytte seg av en ikke-destruktiv metode slik som ASTM C215, denne standarden kan ikke benyttes fordi den er begrenset til å kun gjelde sylindere og prismer. Flere har forsøkt å teste dynamisk e-modul på disk, men slik testing er fremdeles på forskningsstadiet. I denne oppgaven vil det bli gjort forsøk med samme måleutstyr som i ASTM C215, men med annet oppsett og utførelse.

### **5.2.1 Bakgrunn**

Til bakgrunnsmateriale er det benyttet to tekniske rapporter, den ene er skrevet av Michael L. Leming, James M. Nau og Jason Fukada i 1998 og den andre er skrevet av Ufuk Dilek i 2008.

I rapporten som er utgitt i 1998 er det forklart en rask, enkel og ikke-destruktiv metode for nøyaktig ”måling” av dynamisk e-modul på betongdisker. Det står videre at resultatene de har fått ser veldig lovende ut og at de anbefaler videre undersøkelser. De ser ingen grunn til at testmetoden kun vil gjelde for materialene betong, stål og aluminium. Det ble testet ut to oppsett, det beste oppsettet var å plassere disken på en blokk av myk skumgummi, som har en mye lavere egenfrekvens enn diskene. De testet ut flere forskjellige typer myke skumgummier uten at det ga noen endring i utslaget. Sensoren ble plassert i dette laget, sentrert under disken (Leming M. L. et. al. 1998).

Ufuk Dilek hang diskene opp i en snor og benyttet en stålkule til å skape vibrasjoner i disken, sensoren var plassert på motsatt side av disken i forhold til kula. Han fant ut at måten å finne skadegraden innover i betongen var ved dynamisk e-modul på små betongdisker (Dilek U., 2008)

### **5.2.2 Oppsett og utførelse**

Det er ønskelig å kun benytte 74mm kjerner fordi disse vil være lettere å håndtere. Så oppsettet blir til denne diameteren.

Først våtsages kjerneprøvene til disk med ca. 20mm tykkelse. Deretter henges disken opp i en snor slik at den henger fritt, sensoren blir plassert på den ene siden og en stålkule blir hengt opp i en tråd, som en pendel, på den andre siden, se Figur 31. Sensoren blir plassert i senter på disken og stålkule henges slik at den treffer senter på motsatt side. Dette er samme oppsettet som Ufuk Dilek benyttet (Dilek U. 2008).

Når testen skal begynne blir kula dratt opp til en bestemt høyde, sluppet og tatt imot igjen på vei opp. Måleapparatet viser svingningene som sensoren har registrert, videre finner man et sted hvor det er registrert fine, repeterbare bølger. Tiden mellom minst fem bølger registreres og en beregner egenfrekvensen som kan brukes til å sammenlikne resultatene.



**Figur 31 Oppsett: betongdisk med sensor hengende i en snor. Kule i stål hengt opp til å treffe senter av disken. Foto: Maren Kristine Tandberg**

### 5.2.3 Kalibreringsutstyr

Det har blitt laget opp kalibreringsutstyr i stål og aluminium, se Figur 32. Dette ble laget til for å ha et homogent materiale å kunne kalibrere utstyret med hver gang. Kjerner og disker ble laget til i både stål, aluminium og sprøytebetong.



**Figur 32 Til venstre: Kalibreringsutstyr i form av disker i aluminium og stål, og stålkula. Til høyre: Oppsett med ståldisk. Foto: Maren Kristine Tandberg**

## 5.2.4 Forbehandling, resultater og diskusjon

### Forbehandling før hver testing av egenfrekvens

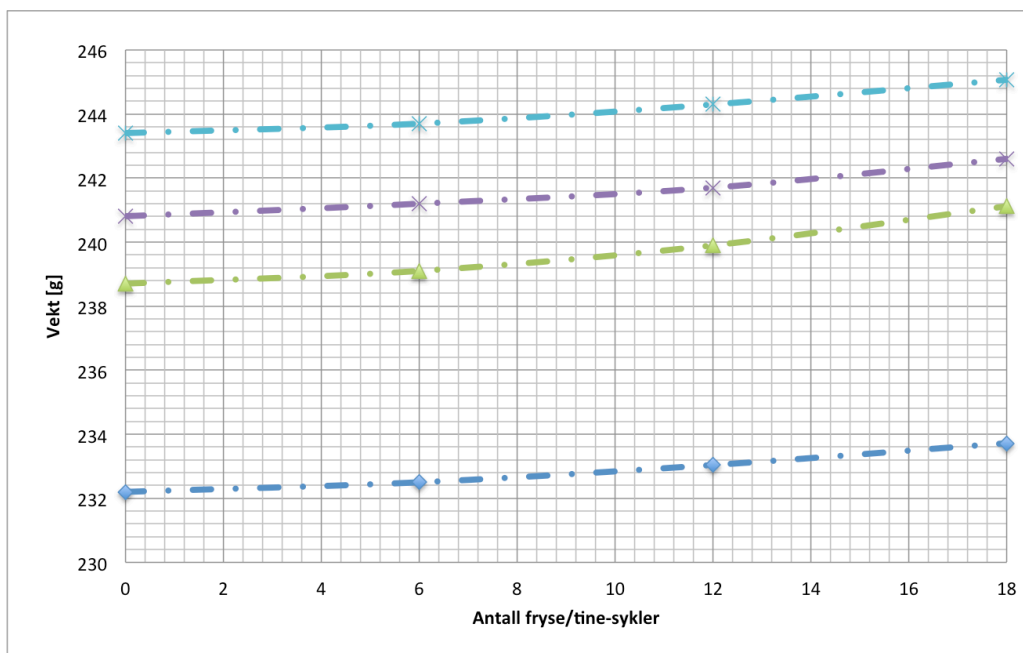
I Tabell 10 er det listet opp hva diskene har gjennomgått mellom hver egenfrekvensmåling.

Tabell 10 Forbehandling diskene før hver testrunde

20. sept. 2013	27. sept. 2013	4. okt. 2013	15. okt. 2013
7 døgn i vann	6 fryse/tinesykler i vann (-20°C, +20°C)	6 fryse/tinesykler i vann (-20°C, +20°C)	<ul style="list-style-type: none"><li>Trykkmetning ved 50 bar i 3 døgn</li><li>6 fryse/tinesykler i vann (-20°C, +20°C)</li></ul>

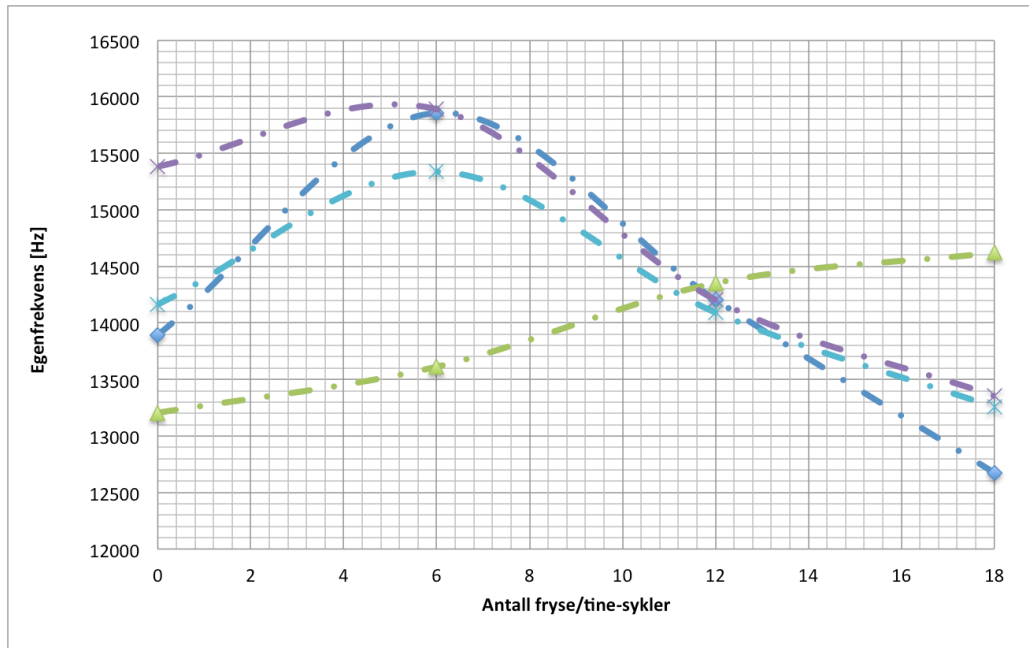
### Resultater

Figur 33 viser vektutviklingen for prøvene HR2\_1-5. Hver obs på at prøvene har vært igjennom 3 døgn med trykkmetning i mellom 3. og 4. veiing i motsetning til tidligere. Se Tabell 10 for ytterligere informasjon .



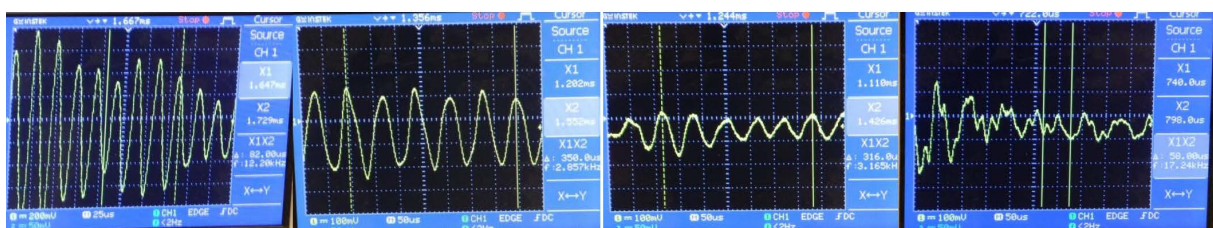
Figur 33 Disker som har gjennomgått fryse/tine-sykler i vann. Etter 12 sykler ble diskene trykkmettet i 3 døgn før fryse/tine-syklusene i vann. Her vises vekt i forhold til antall fryse/tine-sykler for 4 forskjellige diskene.

Figur 34 viser oversikt over utviklingen i egenfrekvenser mot antall fryse/tine-sykler for de samme diskene som i Figur 33. Den 18. gangen har prøvene også vært igjennom trykkmetning.



**Figur 34 Egenfrekvens mot fryse/tine-sykler for diskene som har gjennomgått fryse/tine-sykler i vann. Etter 12 fryse/tine-sykler ble diskene trykkmettet i 3 døgn, før nye 6 fryse/tine-sykler i vann.**

Det ble registrert flere svingninger, se Figur 35. De tre første var mest vanlig i starten, deretter ble svingningene mer rotete som svingebildet helt til høyre. Svingebildene til venstre viser to forskjellige svingninger.



**Figur 35 Ulike typer svingebilder for egenfrekvensmåling på diskene. De to helt til venstre viser to ulike svingninger. Svingebildet lengst til høyre opptror ofte og var vanskeligere å tyde.**



Det ble laget til et skjema over sammenhenger mellom stål, aluminium og betong, se **Tabell 11**. Resultatene for betongdiskene varierer en del, så dette er kun ca. tall. Sammenhengene som er tatt med er teoretisk statisk e-modul, målt statisk e-modul, beregnet dynamisk e-modul og målt egenfrekvens på diskene og kjerner.

**Tabell 11 Skjema over sammenhengen mellom stål, aluminium og ikke frostbelastet sprøytebetong, når det kommer til teoretisk statisk e-modul, målt statisk e-modul og beregnet dynamisk e-modul, og målt egenfrekvens på kjerner og diskene.**

Material parametere	Rustfritt stål 316	Aluminium 6082	Sprøytebetong <sup>1</sup> ikke frostbelastet
Youngs modulus, teori [GPa]	190 - 205	70	-
Målt <sup>2</sup> statisk Youngs modulus [GPa]	200	73	26
Målt transversal egenfrekvens [Hz] på kjerner <sup>3</sup>	10000	10331	7627
Kalkulert dynamisk Youngs modulus [GPa] ut ifra ASTM C215	195	71	33
Målt egenfrekvens [Hz], diskene <sup>4</sup>	8696	8982	14160

<sup>1</sup> Sprøytebetong prøvestykker testet i vannmettet tilstand, minimum 7 dager under vann

<sup>2</sup> Målt enaksial trykkfasthet med spenning opp til maksimum 30% av enaksial trykkfasthet

<sup>3</sup> Sylinder med diameter 40mm og lengde 120mm

<sup>4</sup> Disker med diameter 74mm og tykkelse 20mm

## Vurderinger/konklusjon

To svingetyper:

Det viser seg at resultatene fra denne metoden er varierende. To svingetyper utpeker seg. Den ene kaller vi 200serien og den andre for 300serien. Det er som regel ca. 100µs mellom de to seriene, men resultatene er også ganske tett oppå hverandre enkelte ganger. Dette gjør det vanskelig å finne den riktige egenfrekvensen. De to forskjellige seriene kan skyldes inhomogeniteter i materiale, altså at en treffer på litt ulike steder og dette gir utslag. Men de to seriene kan også skyldes forskjeller i hvordan kula slippes, i og med at dette blir gjort manuelt.

Det ble registrert minst 3målinger på hver prøve hver gang. Etter hvert ble det bestemt at dersom en fikk målinger av både 200 og 300serien så skulle forsøket gjøres så mange ganger at det ble minst tre målinger for en av seriene. En burde heller prøvd å holde seg til samme type svingning, hver gang.

### Vurdering av resultatene:

Alle diskene viser en fin liten økning i vekt for hver gang, pga. at prøven suger til seg mer vann når vannet i prøven fryser. Når det kommer til egenfrekvensmålingene viser tre av diskene først en økning i egenfrekvenser for så å gå gradvis ned i verdi dette kan tyde på at de holder på å utvikle frostskade, men i forhold til start frekvensene har de ikke minket veldig i verdi. Den siste disken viser en svak økning som begynner å flate ut. Trolig skyldes økningene og nedgangene at det har blitt registrert egenfrekvenser fra ulike steder i det inhomogene materialet.

### Forbedringer på oppsettet:

Må prøve å finne en metode for å få bedre resultater og kun en svingetype hver gang. Om mulig lage en mekanisme som slipper kula isteden for manuel. Mulig mye hadde hjulpet ved at snora til kula og disken var tredd gjennom et hull slik at snorene hver gang er plassert på samme sted. Istedenfor å knyte opp dette hver gang kunne det vært laget en mekanisme for å feste opp tauet, type lås av et slag. Men forskjeller knyttet til at materialet er inhomogent lar seg ikke løse ved å forbedre oppsettet, dette kan heller virke motsatt vei. Vanskelig å si hva som bør gjøres. Mulig at en bør gi metoden forklart i rapporten fra 1998 en sjanse, i og med at de fikk gode resultater.

Sensoren festes til prøven ved hjelp av litt skitt. Dette gir ikke alltid like godt feste til betongen. Den faller flere ganger av noe som ikke er bra for sensorens ledning. Burde finne en bedre festemåte for sensoren slik at den ikke faller av.

## 6 Resultater med kommentaravsnitt

I dette kapitlet vil resultatene bli vist først, deretter vil det komme en kommentar til hver av metodene. I et eget kapittel vil det bli gitt en samlet diskusjon.

### 6.1 ASTM C666/ ASTM C215 (Vedlegg 2)

#### 6.1.1 Bilder og forklaring av kjerneprøvene fra Harangstunnelen etter x antall fryse/tine-sykler iht. ASTM C666

Prøvene ble testet, iht. ASTM C215, etter 0, 42, 59 og 97 fryse/tine-sykler iht. ASTM C666. Prøvene var etter 97 sykler så ødelagte at det antas at det ville vært tilnærmet lik umulig å få repeterbare svingninger.

Etter 42 fryse/tine-sykler, se Figur 36:

- 3 av kjerneprøvene ga gode repeterbare svingninger, lest av tid per 10 bølger
- 1 av kjerneprøvene ga kun 5 repeterbare svingninger, mer porøs og holdt seg lengre fuktig enn de som ga gode svingninger
- 1 av kjerneprøvene ga ingen repeterende svingninger, hadde sprekk og var mer porøs og holdt seg lengre fuktig enn de som ga gode svingninger



**Figur 36** Kjerneprøvene fra ASTM C666 etter 42 fryse/tine-sykler. De to kjerneprøvene som er lengst til høyre og venstre er mer fuktige enn de andre etter like lang tid på benken. Foto: Maren K Tandberg

Etter 59 fryse/tine-sykler:

- Den som hadde sprekk har delt seg i to og tas ut av testen, se Figur 37
- De samme 3 gir gode, repeterbare svingninger
- Den kjerneprøven som kun ga 5 repeterbare svingninger, etter 42 fryse/tine-sykler, gir nå kun 3



**Figur 37 Etter 59 fryse/tine-sykler hadde en av kjerneprøvene, i ASTM C666, delt seg i 2. Foto: Maren K Tandberg**

Etter 97 fryse/tine-sykler, se Figur 38:

- 1 av kjerneprøvene ga kun 3 repeterbare svingninger og den var oppløst i bunnen
- 1 av kjerneprøvene ga kun 3 repeterbare svingninger, men ser like fin ut
- 1 av kjerneprøvene ga kun 2 repeterbare svingninger, det var vanskelig å få utslag i svingninger og den var oppløst i bunnen
- Den kjerneprøven som ga kun 3 repeterbare svingninger etter 59 fryse/tine-sykler ga denne gangen ingen utslag i svingninger, den hadde en tydelig sprekk, se Figur 39



**Figur 38** Kjerneprøvene fra ASTM C666 etter 97 fryse/tine-sykler. Kjerneprøven lengst til venstre har en tydelig sprekk, se neste figur. Foto: Maren K Tandberg



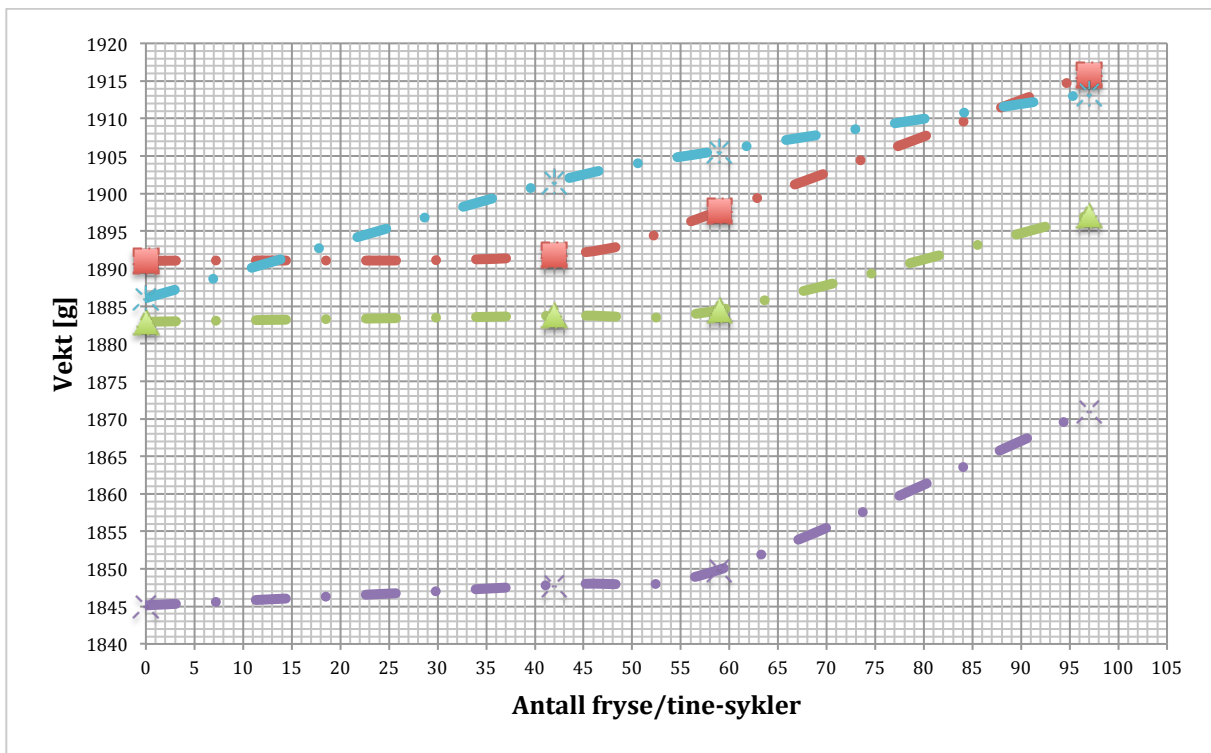
**Figur 39** Kjerneprøven fra ASTM C666 etter 97 fryse/tine-sykler som har fått en tydelig sprekk på midten. Foto: Maren K Tandberg

### 6.1.2 Resultater fra ASTM C666, kjerneprøver fra Harangstunnelen

Oversikt over kjerneprøvenes vekt etter x antall fryse/tine-sykler vises i Tabell 12 og grafisk i Figur 40.

**Tabell 12 Kjerneprøvenes vekt mot antall fryse/tine-sykler iht. ASTM C666**

Kjerneprøvenavn/ Antall fryse/tine-sykler	Vekt [g]				
	H1	H2	H3	H4	H5
0	1880	1891	1883	1845	1886
42	1901	1892	1884	1848	1902
59		1898	1885	1850	1906
97		1916	1897	1871	1913

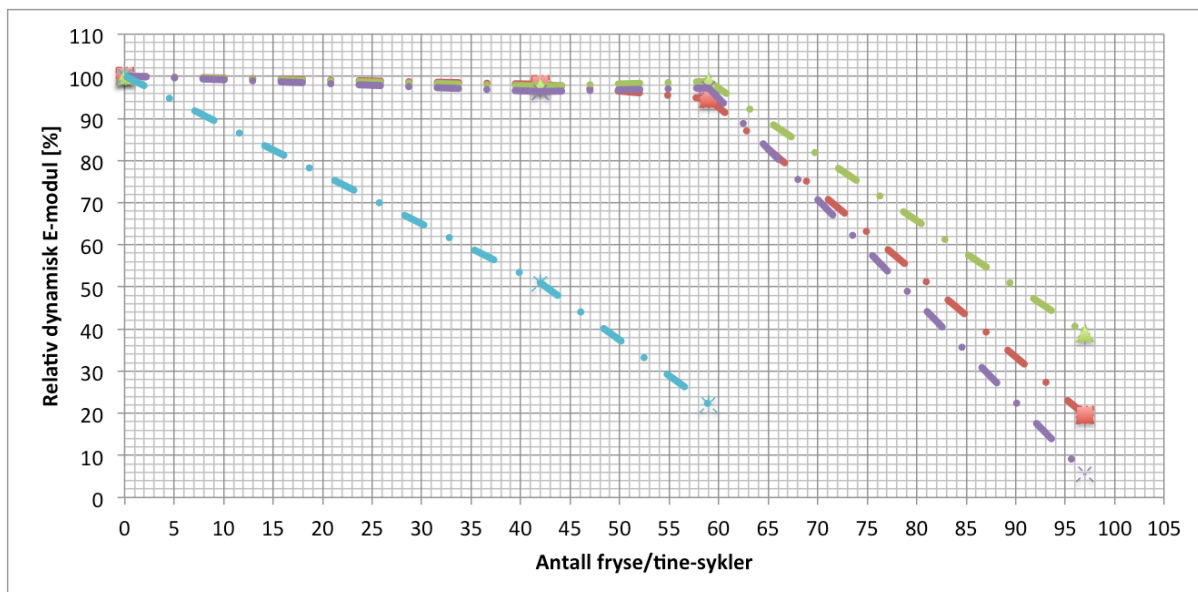


**Figur 40 Grafisk fremstilling mot antall fryse/tine-sykler, iht. ASTM C666. Den blå grafen viser kjerneprøven som etter 42 sykler ga kun 5 repeterbare svingninger.**

Oversikt over kjerneprøvenes dynamiske e-modul, iht. ASTM C215, etter x antall fryse/tine-sykler vises i Tabell 13. I Figur 41 vises sammenhengen mellom relativ dynamisk e-modul i prosent mot antall fryse/tine-sykler iht. ASTM C666.

**Tabell 13 Kjerneprøvenes dynamiske e-modul mot antall fryse/tine-sykler iht. ASTM C215**

Kjerneprøvenavn/ Antall fryse/tine-sykler	Dynamisk E-modul [Pa]				
	H1	H2	H3	H4	H5
0	27317870409	27737643994	27722860662	28878399257	26264797223
42		27233928380	27104219013	27884229194	13514280611
59		26330168713	27383841212	28182628511	5865147428
97		5482650113	10920892884	1709893728	



**Figur 41 Kjerneprøvenes relative dynamiske e-modul i prosent mot antall fryse/tine-sykler, iht. ASTM C666**

### 6.1.3 Kommentar til resultatene fra ASTM C666

Det ble utført tester på 5 kjerneprøver. Av disse viste 3 stk. en rimelig lik trend både når det gjelder vektøkning og svekkelse. Før 59 sykler skjer det svært lite med prøvene mtp. svekkelse, men etter 97 sykler har alle prøvene blitt betydelig svekket, se Figur 41. De to andre kjerneprøvene derimot viste helt andre resultater. Den ene prøven ga null resultater etter 42 sykler og hadde sprekk, mens den andre var vanskelig å få noen lesbare svingninger. Fellesnevner for begge disse var at de så mer porøse ut og holdt lengre på fuktigheten enn de tre andre.

Grunnen til forskjellene kan skyldes dårligere kompaktering noen steder eller dårlig blanding av den inhomogene sprøytebetongen. Det kan også skyldes apparaturen som fylles med vann slik at prøvene har maks 3mm vann rundt seg. Denne var hjemmesnekret og var derfor ikke helt lik for alle kjerneprøvene.

Alt i alt antas det at de 3 kjerneprøvene som hadde omtrent lik trend er representative for sprøytebetongen. 59 fryse/tine-sykler under tøffe forhold, tining og frysing i vann, ansees til å være veldig bra med tanke på forholdene i en uisolert tunnelkledning, se kap. 3.



## 6.2 CEN/TS 12390-9 (Borås testmetode) (Vedlegg 3A-G)

### 6.2.1 Bilder av kjerneprøvene (fra Harangstunnelen) etter fryse/tine-sykler iht. Borås testmetode

Etter 14 fryse/tine-sykler ble den første veiingen av avskallet masse utført, iht. Borås testmetode. På Figur 42 er det avbildet filterpapir med avskallet masse fra en av prøvene utsatt for kun vann og en som har vært utsatt for 3% saltløsning.

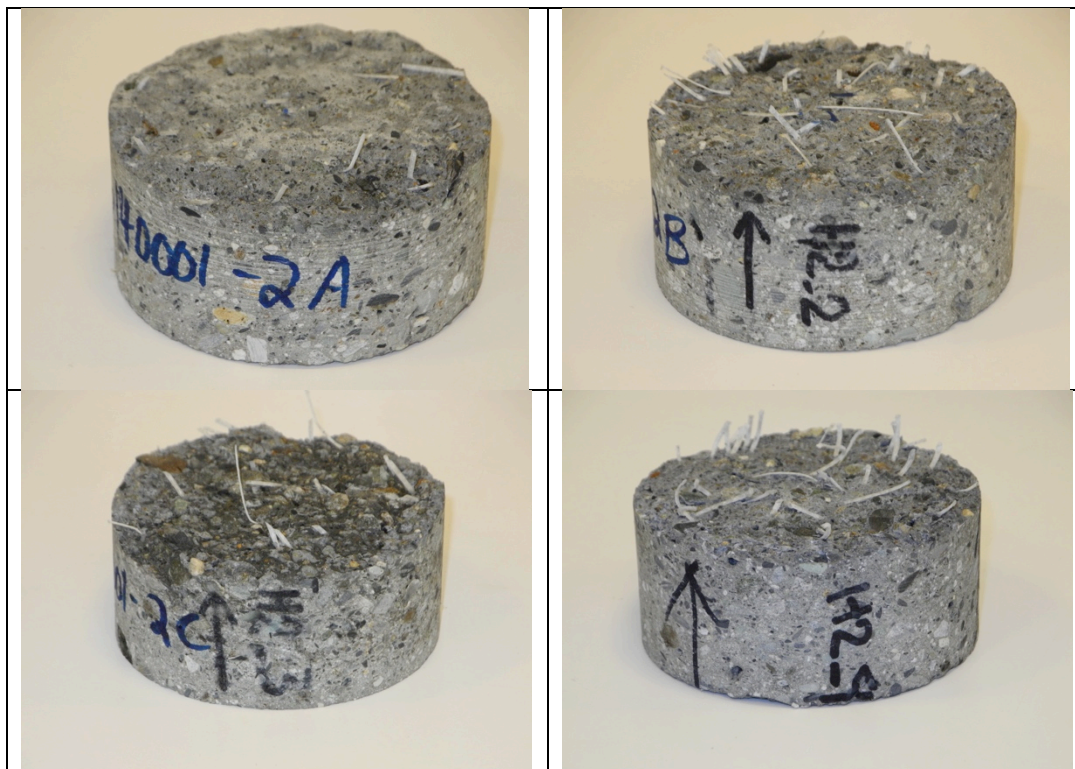


**Figur 42 Betongavskalling i filterpapir etter 14 dager. Til venstre sees avskalling fra en prøve utsatt for kun vann og til høyre avskalling fra en prøve utsatt for 3% saltløsning.  
Foto: Maren K Tandberg**

Etter endt Boråstest ble prøvene avbildet. I Figur 43 har prøvestykkene kun blitt utsatt for vann, mens i Figur 44 har prøvestykkene blitt utsatt for 3% saltløsning.



Figur 43 Kjerneprøver gjennomgått 56 fryse/tine-sykler iht. Borås testmetode med kun vann som væske på toppen. Foto: Karl Gunnar Holter



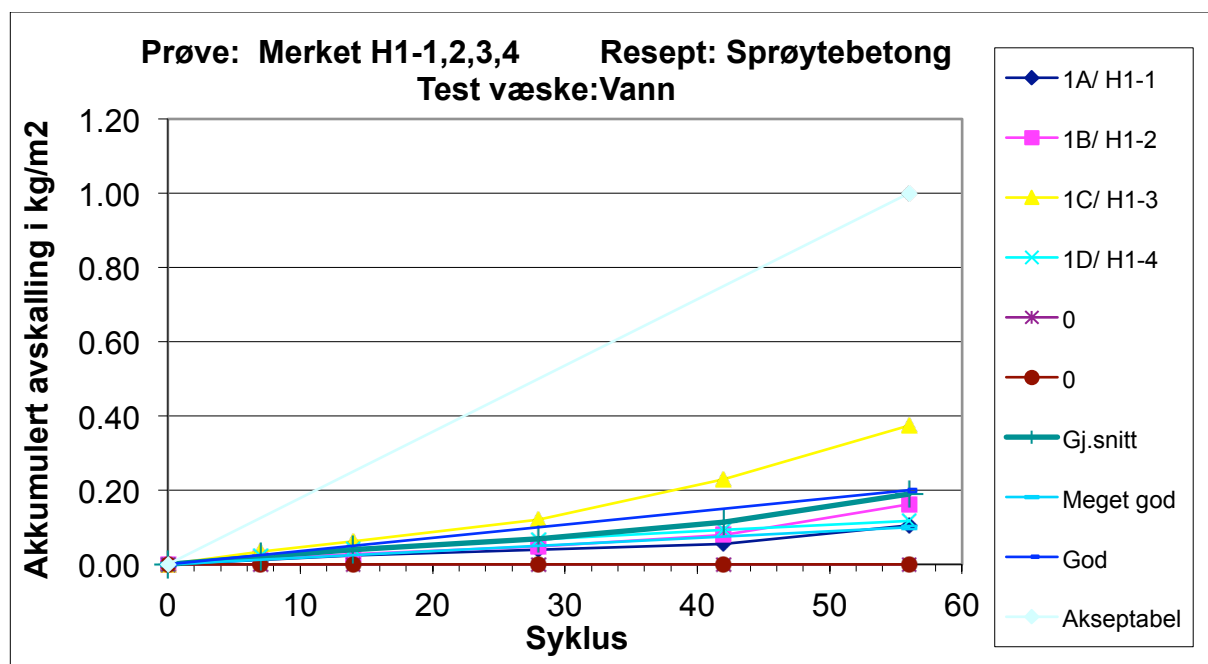
Figur 44 Kjerneprøver gjennomgått 56 fryse/tine-sykler iht. Borås testmetode med 3% saltløsning som væske på toppen. Foto: Karl Gunnar Holter

## 6.2.2 Resultater fra Borås testmetode, kjerneprøver fra Harangstunnelen

Resultatene vil bli fremstilt i tabell og grafisk etter akkumulert avskallet masse i forhold til x antall fryse/tine-sykler iht. Borås testmetode. I Tabell 14 og Figur 44 er prøvestykkene utsatt for kun vann, mens i Tabell 15 og Figur 46 er prøvestykkene utsatt for 3% saltløsning.

**Tabell 14 Akkumulert avskalling i kg/m<sup>2</sup> etter 7, 14, 28, 42 og 56 fryse/tine-sykler, iht. Borås testmetode med kun vann**

Akkumulert avskalling i kg/m <sup>2</sup>							
Syklus	1A/ H1-1	1B/ H1-2	1C/ H1-3	1D/ H1-4	0	0	Gj.snitt
m <sub>7</sub>	0.012	0.015	0.034	0.024			0.021
m <sub>14</sub>	0.024	0.028	0.062	0.044			0.039
m <sub>28</sub>	0.040	0.049	0.120	0.067			0.069
m <sub>42</sub>	0.056	0.079	0.229	0.092			0.114
m <sub>56</sub>	0.104	0.161	0.373	0.116			0.189

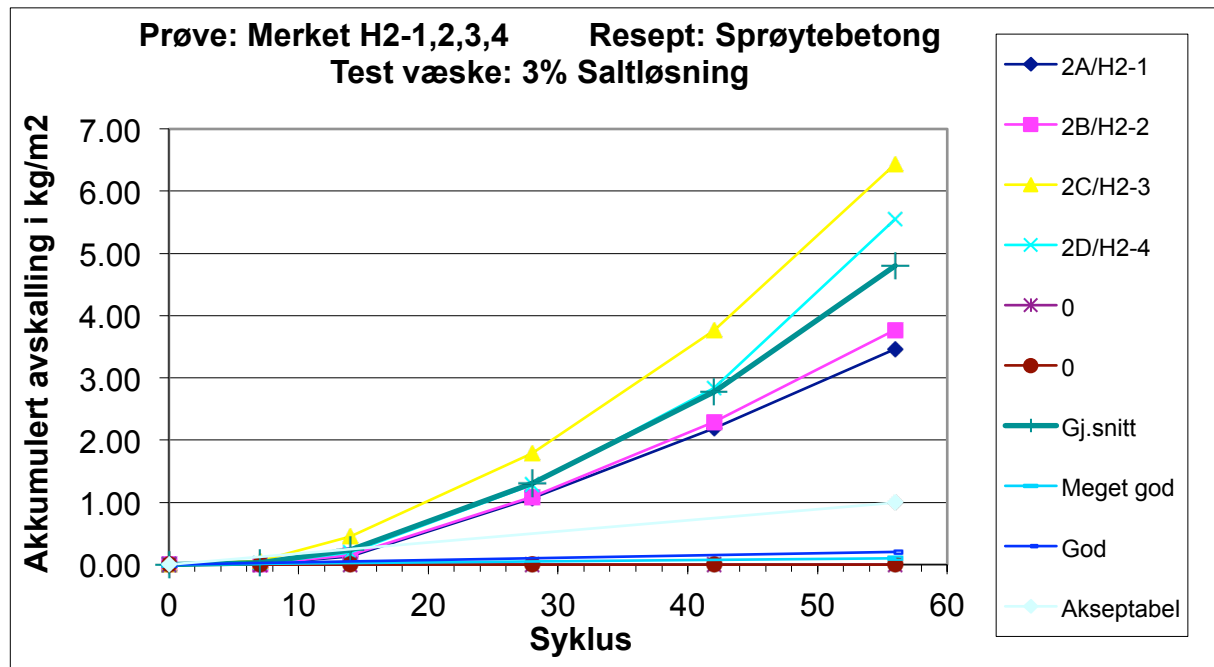


**Figur 45 Grafisk fremstilling av akkumulert avskalling i kg/m<sup>2</sup> etter 7, 14, 28, 42 og 56 fryse/tine-sykler, iht. Borås testmetode med kun vann**

Prøvestykkene er merket 1A-1D. Alle prøvestykkene ligger under akseptabel verdi.

**Tabell 15 Akkumulert avskalling i kg/m<sup>2</sup> etter 7, 14, 28, 42 og 56 fryse/tine-sykler, iht. Borås testmetode med 3% saltløsning**

Akkumulert avskalling i kg/m <sup>2</sup>								
Syklus	Lab.prøve	2A/H2-1	2B/H2-2	2C/H2-3	2D/H2-4	0	0	Gj.snitt
	m <sub>7</sub>	0.012	0.013	0.063	0.018			0.027
	m <sub>14</sub>	0.137	0.156	0.446	0.193			0.233
	m <sub>28</sub>	1.072	1.084	1.786	1.280			1.306
	m <sub>42</sub>	2.190	2.293	3.765	2.836			2.771
	m <sub>56</sub>	3.464	3.768	6.432	5.550			4.804



**Figur 46 Grafisk fremstilling av akkumulert avskalling i kg/m<sup>2</sup> etter 7, 14, 28, 42 og 56 fryse/tine-sykler, iht. Borås testmetode med 3% saltløsning**

Prøvestykkene er merket 2A-2D. Alle prøvestykkene ligger over akseptabel verdi.

### 6.2.3 Kommentar til resultatene fra Borås testmetode

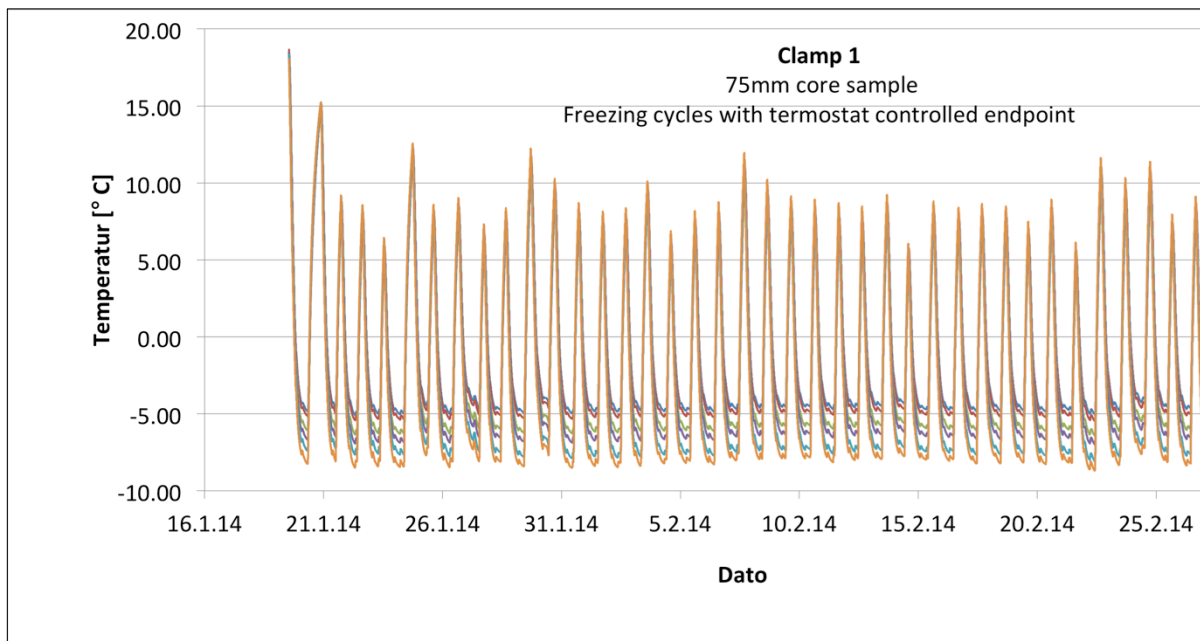
Som antatt ser vi av bildene, etter endt Borås test, at prøvene utsatt for 3% saltløsning er betydelig mer avskallet enn prøvene utsatt for kun vann. Dette vises også i resultatene. De prøvestykkene som kun har vært utsatt for vann er resultatene veldig bra og godt under kravet, riktig nok er dette kravet rettet mot betong som utsettes for salter. Når sprøytebetongen utsettes for 3% saltløsning ligger akkumulert avskalling for prøvene langt over kravet. I og med at sprøytebetongen antas å være i et "saltfritt" miljø er ikke dette noe å tenke spesielt på.

### 6.3 Egenutviklet testmetode, fryse/tine-sykler (Vedlegg 4A-E)

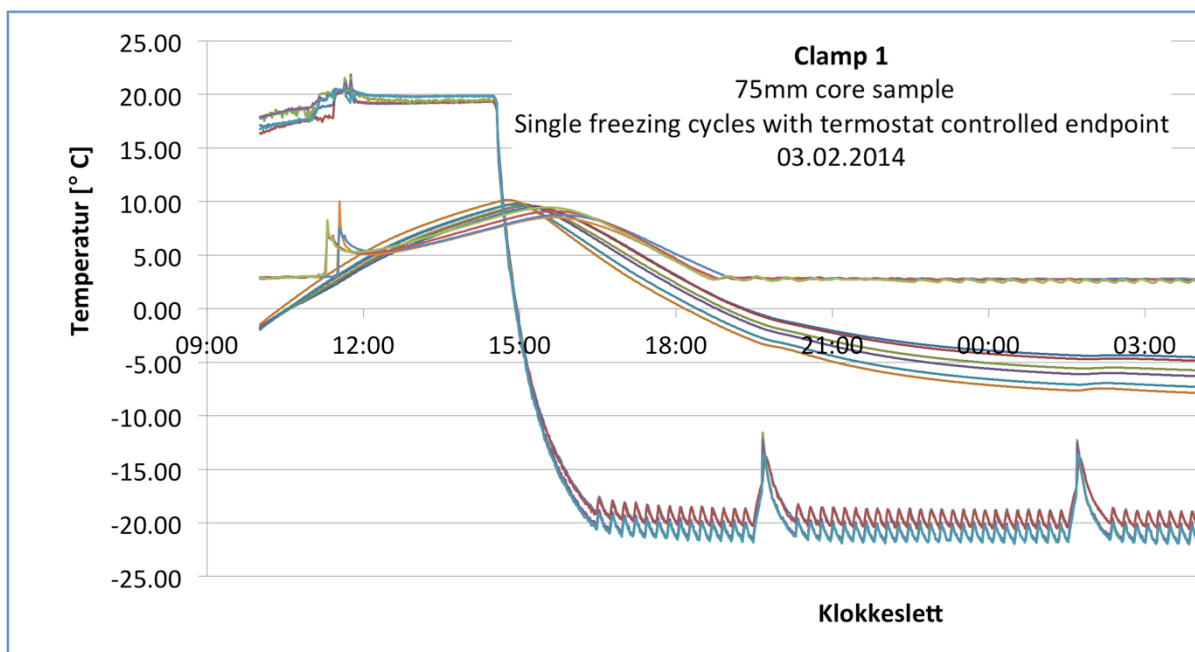
En kjerneprøve per skap er påført en ”clamp” med 6 temperatursensorer, med 1cm avstand mellom hver sensor. Sensorene er plassert fra 4cm og opp til 10cm fra kjernens frostsida. I Figur 47 og Figur 48 er det vist registreringene fra sensorene over en og flere sykler for kjerneprøvene merket H1-H4, ”clamp 1”. Det samme er vist for kjerneprøvene merket H5-H8, ”clamp 2”, i Figur 50 og Figur 51.

I Figur 48 er det også vist lufttemperaturen i fryseskapet og temperaturen i toppen av kjerneprøven som er termostatstyrt til 3°C. Temperaturen i toppen av prøven er også vist i Figur 51.

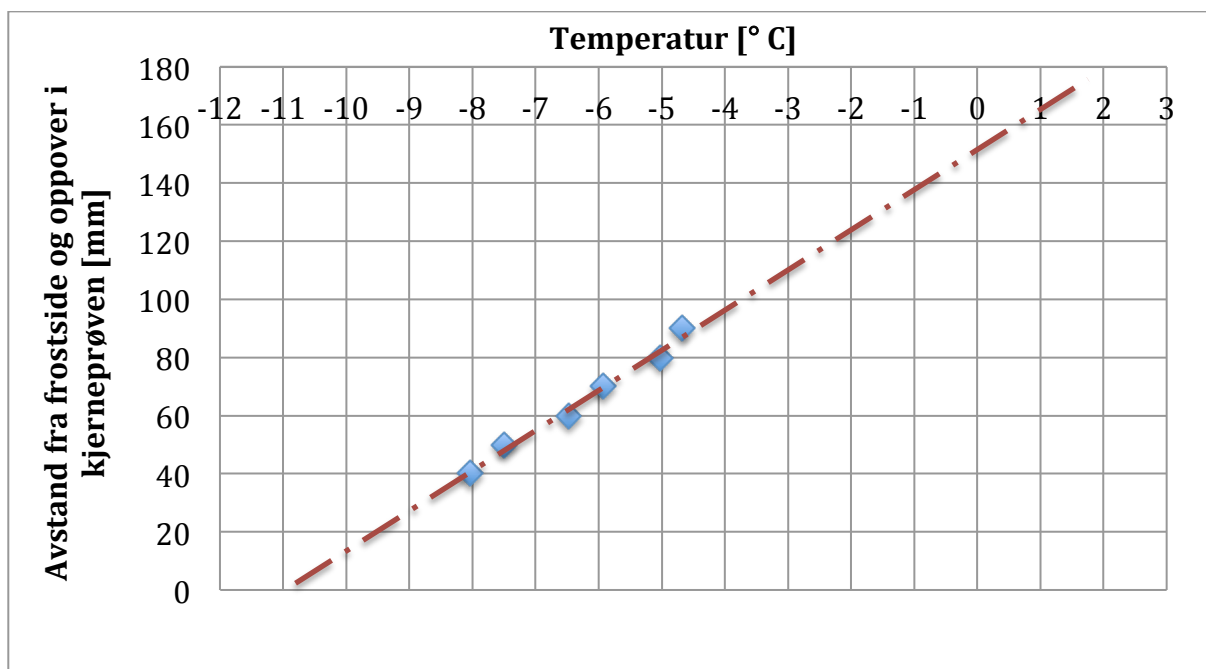
I Figur 49 og Figur 52 er det vist graf over temperaturforløpet oppover i prøven fra frostsiden, for en syklus når temperaturen er på det kaldeste. Ut ifra registreringene fra ”clampene” er det antatt lineær sammenheng av temperaturen fra tunnelside til bergside.



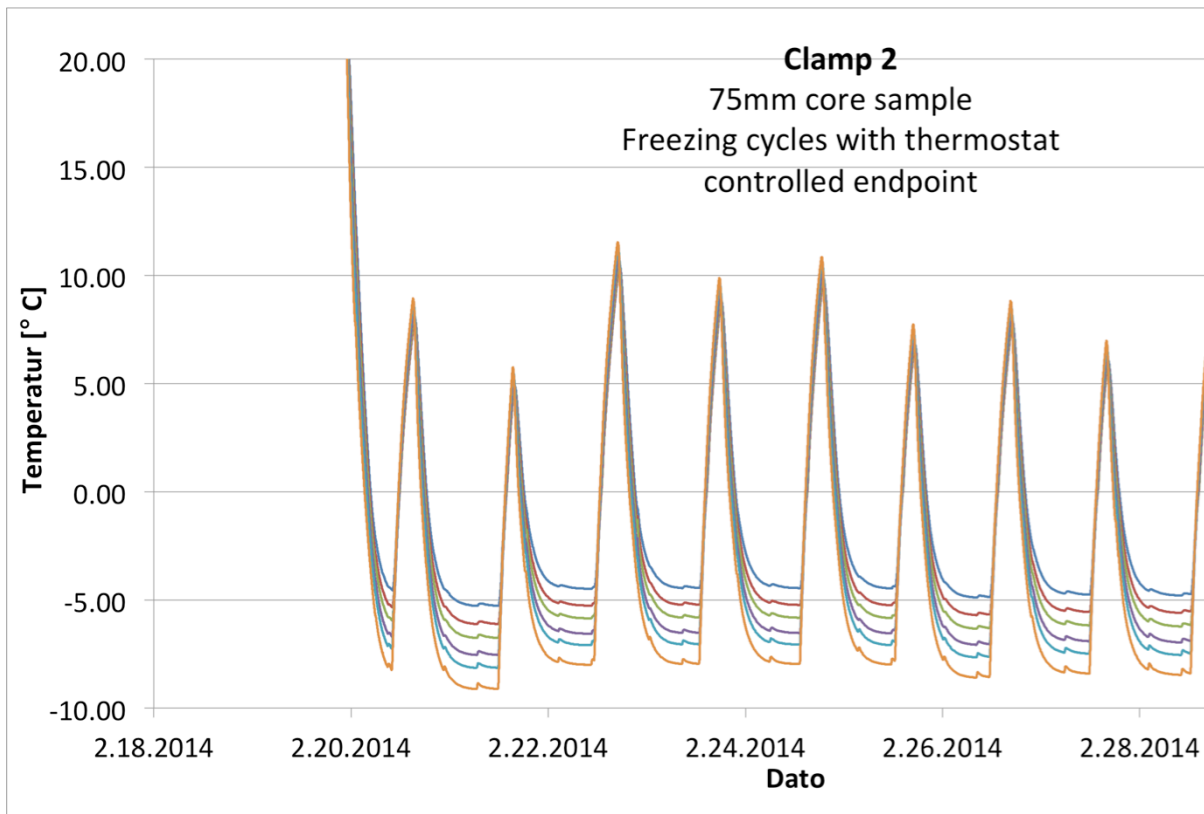
**Figur 47** Frysesykler for 75mm kjerneprøve (skap med kjerneprøvene merket H1, H2, H3 og H4) i egenutviklet frostapparat, hvor det er termostatstyrt varme satt til 3°C i toppen av prøven. Grafikk: Torgeir Jensen (SINTEF)



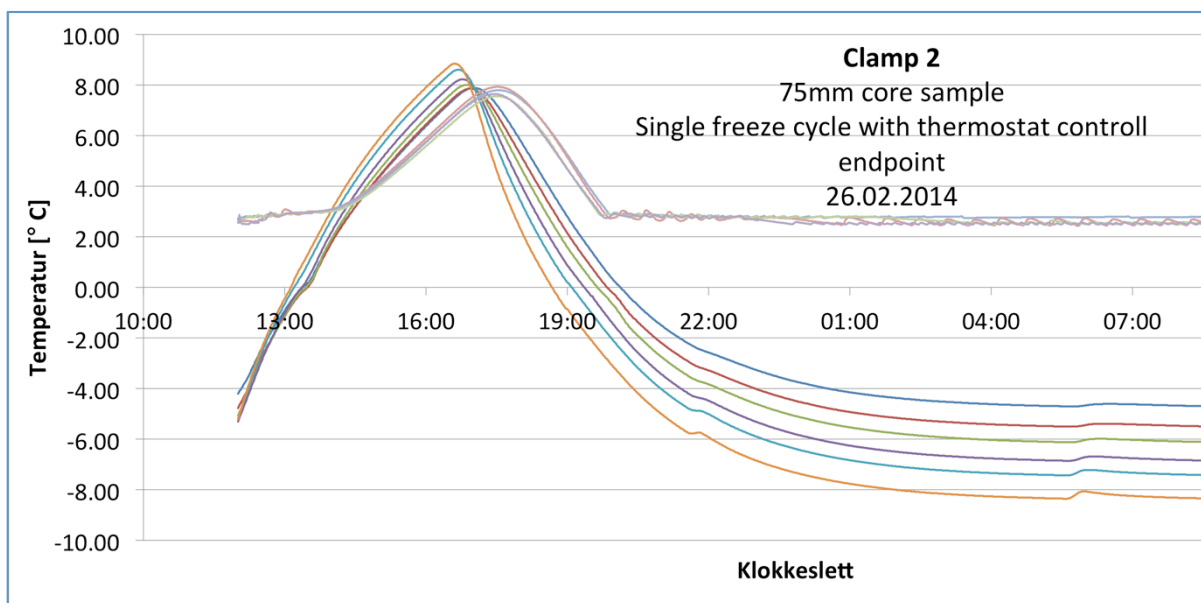
**Figur 48 Frysesyklus for 75mm kjerneprøve (skap med kjerneprøvene merket H1, H2, H3 og H4) i egenutviklet frostapparat, hvor det er termostatstyrt varme satt til 3°C i toppen av prøven. Lufttemperaturen er også registrert. Grafikk: Torgeir Jensen (SINTEF)**



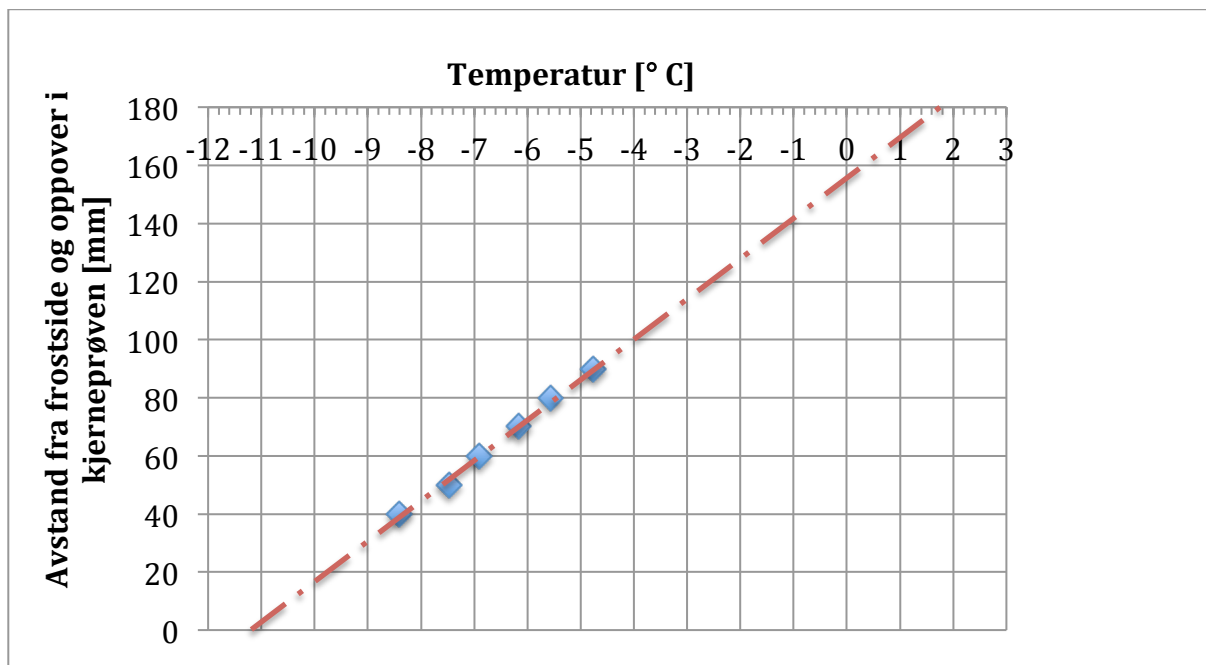
**Figur 49 Temperaturfordelingen oppover i prøven, fra frostsiden når temperaturen er på det kaldeste gjennom en syklus, stiplet linje er antatt temperaturforløp ut ifra registreringene fra clamp 1, punktene.**



**Figur 50** Frysesyklus for 75mm kjerneprøve (skap med kjerneprøvene merket H5, H6, H7 og H8) i egenutviklet frostapparat, hvor det er termostatstyrt varme satt til 3°C i toppen av prøven. Grafikk: Torgeir Jensen (SINTEF)



**Figur 51** Frysesyklus for 75mm kjerneprøve (skap med kjerneprøvene merket H5, H6, H7 og H8) i egenutviklet frostapparat, hvor det er termostatstyrt varme satt til 3°C i toppen av prøven. Grafikk: Torgeir Jensen (SINTEF)



**Figur 52** Temperaturfordelingen oppover i prøven, fra frostsiden når temperaturen er på det kaldeste gjennom en syklus, stiplet linje er antatt temperaturforløp ut ifra registreringene fra clamp 2, punktene.

### 6.3.1 Kommentar til egenutviklet testmetode, fryse/tine-sykler

Resultatene viser jevne sykler og fin temperaturfordeling i begge kjerneprøvene.

Temperaturgradienten oppover i prøvene er på omtrent  $0.75^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ . Når det gjelder

temperaturen i vannet på toppen av prøven så stabiliserer den seg på omtrent  $2.5^{\circ}\text{C}$  for begge kjernene. Dette er gode resultater og apparaturen gjør akkurat som ønsket.

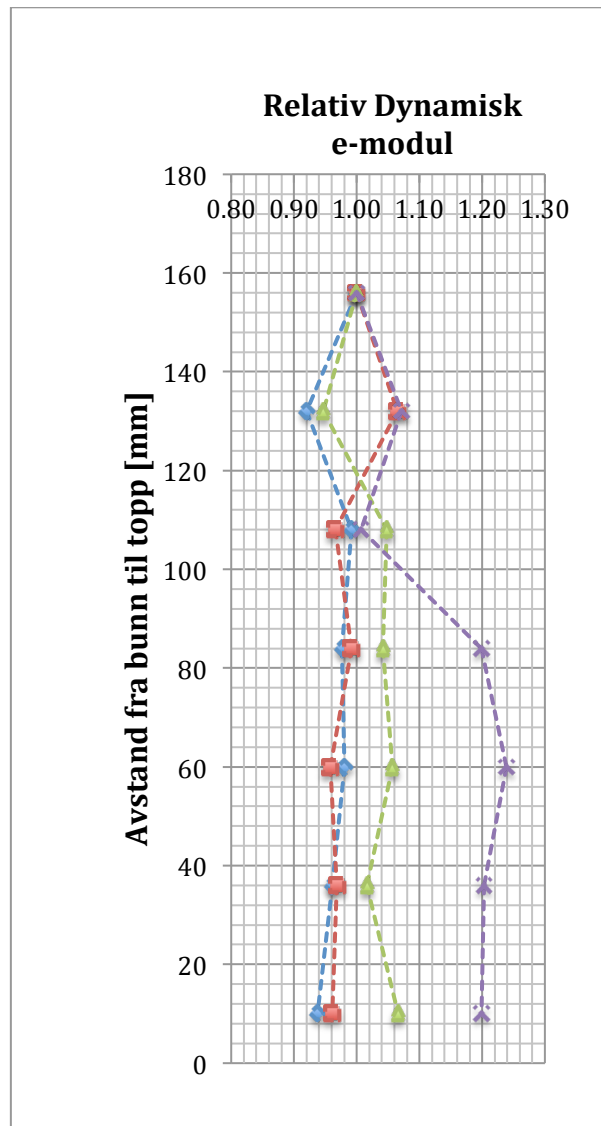


## 6.4 Egenfrekvensmålinger på disker kuttet fra kjerneprøver utsatt for 25 og 50 fryse/tine-sykler i egenutviklet frostapparat (Vedlegg 5A-D)

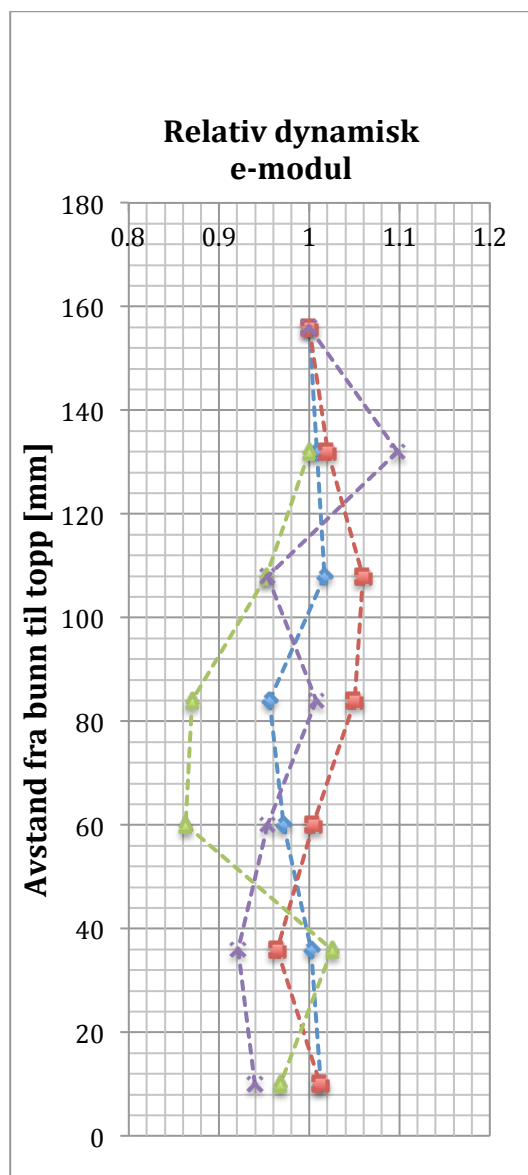
### 6.4.1 Resultater fra egenfrekvensmålingene på disker

Det er benyttet 8 kjerneprøver fra Harangstunnelen som 4 og 4 har gjennomgått 25 og 50 fryse/tine-sykler i egenutviklet apparatur. Disse har deretter blitt splittet i disker og er grafisk fremstilt med relativ dynamisk e-modul mot avstand fra fryseseide, se Figur 53 og Figur 54.

Den øverste disken er antatt upåvirket og benyttes som referanse til de andre diskene.



**Figur 53** Disker etter 25 fryse/tine-sykler, i egenutviklet frostapparat. Resultatet er vist i relativ dynamisk e-modul mot avstand fra bunn til topp (stigende) etter hvor de var plassert i forhold til hverandre når hel kjerneprøve.



**Figur 54 Disker etter 50 fryse/tine-sykler, i egenutviklet frostapparat. Resultatet er vist i relativ dynamisk e-modul mot avstand fra bunn til topp (stigende) etter hvor de var plassert i forhold til hverandre når hel kjerneprøve.**

#### 6.4.2 Kommentar til resultatene fra egenfrekvensmålinger på disk

Det kan se ut til at et par av diskene i en av kjernene etter 50 fryse/tine-sykler er skadet i området 50-90mm fra frostsiden. Disse prøvestykkene viser en relativ dynamisk e-modul på omtrent 86%, i motsetning til de andre som ligger på rundt 100%. Av kjernene som har gjennomgått 25 fryse/tine-sykler er resultatene fra en av kjernene veldig merkelige, dette skyldes trolig inhomogeniteter i sprøytebetongen som har gitt utslag i svingningene. Ellers viser ikke resultatene noen spesiell trend. Det kan tyde på at prøvestykkene ikke har tatt skade av fryse/tine-syklene, men at variasjonen skyldes usikkerhet i testmetoden. Sprøytebetong er et inhomogent materiale og jo mindre prøvestykker, jo større usikkerhet.

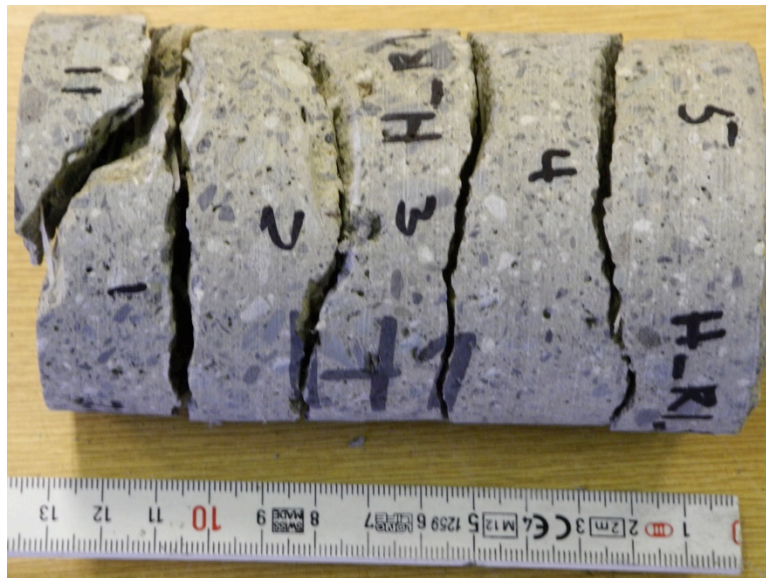
## 6.5 PF-metoden (Vedlegg 6A-K)

### 6.5.1 Kjerneprøver fra Harangstunnelen

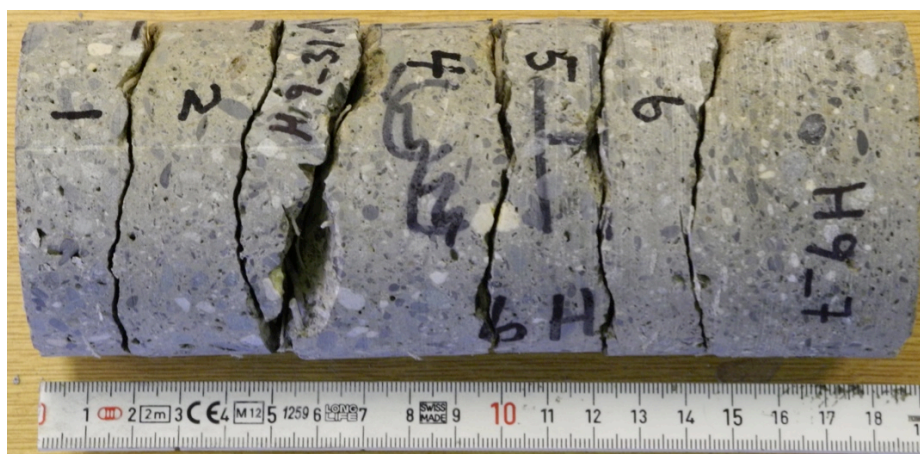
Det vil først bli vist bilder av de splittede kjerneprøvene, i riktig rekkefølge, og deretter resultatene fra PF- målingene. Til slutt diskusjon av resultatene.

#### 6.5.1.1 Splitting av kjerneprøvene fra Harangstunnelen

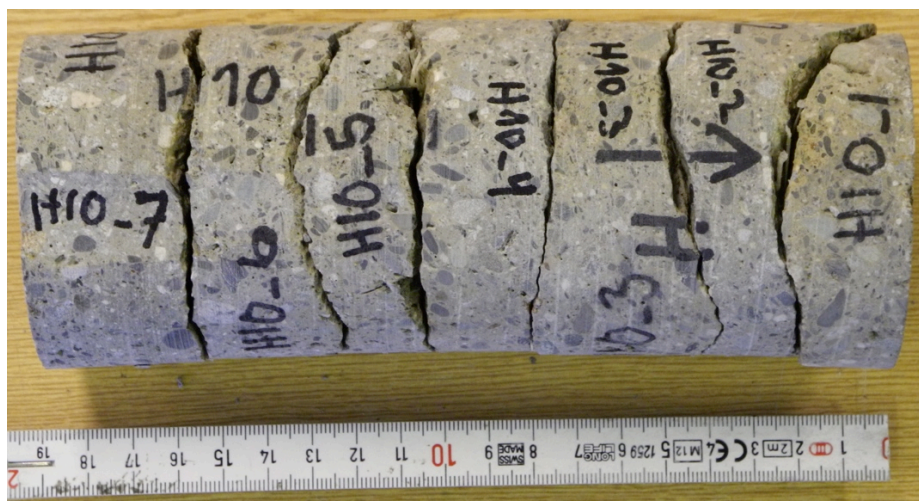
Bildene under viser de splittede kjerneprøvene, se Figur 55, Figur 56, Figur 57, Figur 58 og Figur 59. Prøvestykkene ligger plassert i riktig rekkefølge i forhold til før splitting.



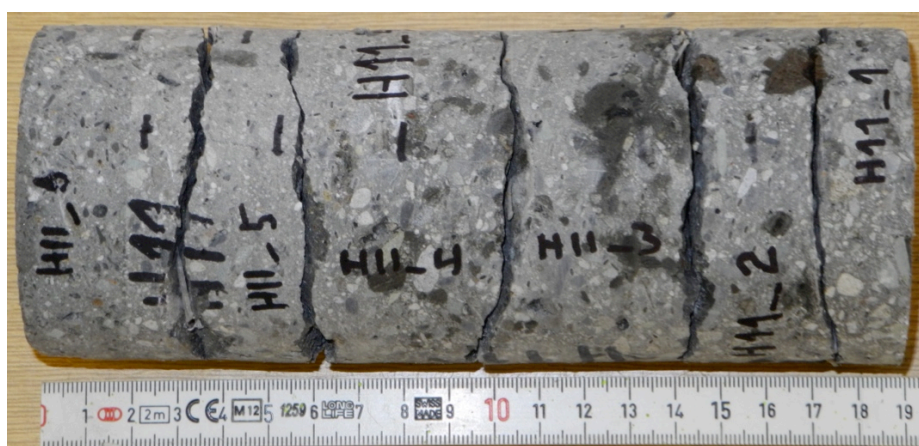
**Figur 55** Referanseprøve som ikke har vært utsatt for fryse/tine-syklus, splittet fra 1-5. Totalt 6 prøvestykker, 2 fra nr. 1. Foto: Maren Kristine Tandberg



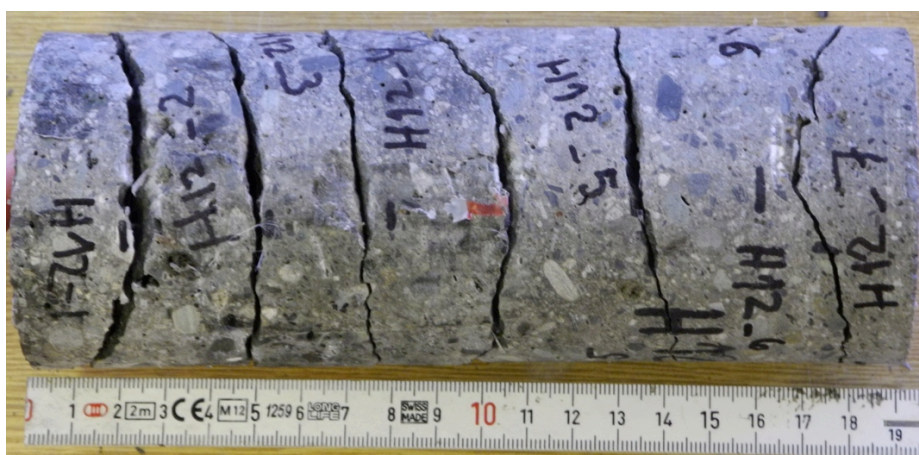
**Figur 56** Kjerneprøve nr. H9 som har gjennomgått 25 fryse/tine-syklus i egenutviklet apparatur, delt i 7 prøvestykker, nummeret fra fryseside. Foto: Maren Kristine Tandberg



Figur 57 Kjerneprøve nr. H10 som har gjennomgått 25 fryse/tine-syklus i egenutviklet apparatur, delt i 7 prøvestykker, nummeret fra fryseside. Foto: Maren Kristine Tandberg



Figur 58 Kjerneprøve nr. H11 som har gjennomgått 50 fryse/tine-syklus i egenutviklet apparatur, delt i 6 prøvestykker, nummeret fra fryseside. Foto: Karl Gunnar Holter



Figur 59 Kjerneprøve nr. H12 som har gjennomgått 50 fryse/tine-syklus i egenutviklet apparatur, delt i 7 prøvestykker, nummeret fra fryseside. Foto: Karl Gunnar Holter

### 6.5.1.2 Resultater fra PF-metoden, kjerneprøver fra Harangstunnelen

I Tabell 16 er verdiene for kapillærporøsitet, makroporøsitet, kapillær metningsgrad og PF-verdien vist for PF-målingene på Referanseprøven.

**Tabell 16 Verdier fra PF-målingene (kap. por., makro por., kap. metn. og PF-verdi) for Referanseprøven**

Prøvestykket navn (1=fryseside)	H R1 11	H R1 12	H R1 2	H R1 3	H R1 4	H R1 5
Kapillærporøsitet %	20.81	19.13	19.28	19.84	21.02	21.60
Makroporøsitet %	4.24	4.18	4.40	4.44	4.55	4.36
Kapillær metningsgrad %	101.43	97.87	95.75	95.55	97.90	99.10
PF	0.17	0.18	0.19	0.18	0.18	0.17

I Tabell 17 og Tabell 18 er verdiene for kapillærporøsitet, makroporøsitet, kapillær metningsgrad og PF-verdien vist for PF-målingene på kjerneprøvene, fra Harangstunnelen, som har gjennomgått 25 fryse/tine-sykler i egenutviklet frostapparat.

**Tabell 17 Verdier fra PF-målingene (kap. por., makro por., kap. metn. og PF-verdi) for H9, 1 av 2 kjerneprøver etter 25 fryse/tine-sykler**

Prøvestykket navn (1=fryseside)	H9 1	H9 2	H9 31	H9 4	H9 5	H9 6	H9 7
Kapillærporøsitet %	17.29	19.28	18.80	16.85	20.07	20.72	19.38
Makroporøsitet %	5.12	5.01	4.14	4.66	5.01	13.15	5.24
Kapillær metningsgrad %	94.79	94.73	85.79	95.03	90.78	93.36	92.85
PF	0.23	0.21	0.18	0.22	0.20	0.39	0.21

**Tabell 18 Verdier fra PF-målingene (kap. por., makro por., kap. metn. og PF-verdi) for H10, 1 av 2 kjerneprøver etter 25 fryse/tine-sykler**

Prøvestykket navn (1=fryseside)	H10 1	H10 2	H10 3	H10 4	H10 5	H10 6	H10 7
Kapillærporøsitet %	16.86	17.78	17.45	18.01	19.58	19.18	17.22
Makroporøsitet %	4.42	4.37	5.02	4.69	4.48	4.43	4.41
Kapillær metningsgrad %	92.01	91.59	93.88	93.92	88.76	92.44	94.33
PF	0.21	0.20	0.22	0.21	0.19	0.19	0.20

I Tabell 19 og Tabell 20 er verdiene for kapillærporøsitet, makroporøsitet, kapillær metningsgrad og PF-verdien vist for PF-målingene på kjerneprøvene, fra Harangstunnelen, som har gjennomgått 50 fryse/tine-sykler i egenutviklet frostapparat.

**Tabell 19 Verdier fra PF-målingene (kap. por., makro por., kap. metn. og PF-verdi) for H11, 1 av 2 kjerneprøver etter 50 fryse/tine-sykler**

Prøvestykket navn (1=fryseside)	H11_1	H11_2	H11_3	H11_4	H11_5	H11_6
Kapillærporøsitet %	19.50	20.29	20.11	20.53	25.58	21.99
Makroporøsitet %	4.29	4.90	5.18	4.93	4.90	5.57
Kapillær metningsgrad %	89.04	92.27	95.17	94.56	91.53	92.82
PF	0.18	0.19	0.20	0.19	0.16	0.20

**Tabell 20 Verdier fra PF-målingene (kap. por., makro por., kap. metn. og PF-verdi) for H12, 1 av 2 kjerneprøver etter 50 fryse/tine-sykler**

Prøvestykket navn (1=fryseside)	H12_1	H12_2	H12_3	H12_4	H12_5	H12_6	H12_7
Kapillærporøsitet %	17.28	17.36	18.25	19.82	19.58	18.48	23.75
Makroporøsitet %	4.01	4.67	4.48	4.72	4.84	4.89	5.93
Kapillær metningsgrad %	88.98	92.16	90.14	91.55	93.00	90.49	88.85
PF	0.19	0.21	0.20	0.19	0.20	0.21	0.20

### **6.5.1.3 Kommentar til resultatene fra kjerneprøvene fra Harangstunnelen som har gjennomgått 25 og 50 fryse/tine-sykler i frostapparat**

#### 25 fryse/tine-sykler:

Prøvestykket "H9\_6", fra en av kjerneprøvene som har gjennomgått 25 fryse/tine-sykler, skiller seg ut fra de andre, her har det trolig skjedd en feil under veiing og prøvestykket blir derfor ekskludert. Den ene kjerneprøven viser kapillærporøsiteter på 16.85-20.72, makroporøsiteter på 4.14-5.12 og PF verdier på 0.18-0.23. Den andre har kapillærporøsiteter på 16.86-19.58, makroporøsiteter på 4.41-5.02 og PF- verdier på 0.19-0.22.

#### 50 fryse/tine-sykler:

Kjerneprøvene som har gjennomgått 50 fryse/tine-sykler i egenutviklet apparatur viser den ene kjerneprøven kapillærporøsiteter på 19.50-25.58, makroporøsiteter på 4.29-5.18 og PF-verdier på 0.16 (den med 0.16 er den med kap por på 25.58) til 0.20. Den andre viser

kapillærpørøsiteter på 17.28-23.75, makropørøsiteter på 4,01-5.93 (5.93 er samme som 23.75) og PF-verdier på 0.19-0.21.

Generelt kan det sies at ingen av kjerneprøvene kan sies å være frostbestandige grunnet PF under 0.20, men alle har makropørøsiteter over 4% og dette er bra i forhold til frostbestandighet.

Når det gjelder den kapillære metningsgraden så har referansekjernen ligget lengre i vann enn kjernene utsatt for fryse/tine sykler i egenutviklet frostapparat. Dette gir utslag i metningsgraden, det er omtrent 5% lavere metningsgrad i de andre kjernene i forhold til referansekjernen. Av kjerneprøvene som har gjennomgått 50 fryse/tine-sykler viser resultatene at prøvestykket nærmest vannbadet har litt lavere vannmetning enn i midten. Dette kan tyde på at vann "svetter" ut av prøven ved midten av kjernen. Denne svettingen må ha noe med syklisk frysing/tining å gjøre. Ved bruk av kjerner på 74mm i diameter vil en sannsynligvis ikke klare å produsere jevne fuktforhold. Randeffektene av migrasjon av vann ut gjennom prøvens vegger er sannsynligvis betydelige. Våt overflate i nedre halvdel, tydet på en viss lekkasje langs platen mot betongen, men observasjoner tydet ikke på at det hadde vært noen lekkasje fra gummitettingen og nedover. Mulig det har vært uforsiktigheter når det har blitt fylt på vann.

## 6.5.2 Kjerneprøver fra Gevingåstunnelen

Det vil først bli vist tabeller over resultatene fra PF- målingene og deretter grafikk av fuktigheten i kjerneprøvene ved ankomst. Tilslutt diskusjon av resultatene.

### 6.5.2.1 Resultater fra PF-metoden, kjerneprøver fra Gevingåstunnelen

I Tabell 21, Tabell 22, Tabell 23, Tabell 24 og Tabell 25 er verdiene for kapillærporøsitet, makroporøsitet, kapillær metningsgrad og PF-verdien vist for PF-målingene på kjerneprøvene fra Gevingåstunnelen i 2012, 2013 og to uttak fra 2014.

**Tabell 21 Verdier fra PF-målingene (kap. por., makro por., kap. metn. og PF-verdi) for kjerneprøver boret i Gevingåstunnelen 24.02.2012, antall kjerneprøver: 3. Dataene er hentet fra SINTEF Prøvningsrapport: "Bestemmelse av fuktinnhold og porøsitet for borkjerner fra Gevingåsen" rapportert av Ola Skjølvold, 30.04.2012.**

	150- 160	120- 150	110- 120	80- 110	70- 80	40- 70	30- 40	0-30		40- 0-30M	50- 30M	70- 40M	80- 50M	80- 70M
	Innenfor membran								Utenfor membran					
Kapillær- porøsitet %	18.7 ± 0.6	18.2 ± 0.3	17.9 ± 0.5	18.8 ± 0.3	19 ± 0.3	17.9 ± 1.4	19.1 ± 2.6	22.8 ± 0.3	21.1 ± 1.7	20.1 ± 1.9	19.0 ± 0.3	19.2 ± 0.4	19.5 ± 0.4	
Makro- porøsitet %	2.6 ± 5.3	3.1 ± 0.2	3.8 ± 0.5	3.9 ± 1.0	4.5 ± 0.5	5.3 ± 0.5	4.7 ± 0.8	3.8 ± 0.8	4.8 ± 0.3	5.0 ± 0.4	5.0 ± 0.4	4.9 ± 0.4	4.5 ± 0.4	
Kapillær metnings- grad %	97.3 ± 5.3	92.0 ± 4.8	91.5 ± 0.2	96.5 ± 0.5	96.3 ± 0.5	96 ± 0.5	96.1 ± 0.5	95.8 ± 0.7	89.6 ± 5.4	89.8 ± 5.2	89.2 ± 5.7	85.2 ± 1.1	84.1 ± 1.1	
PF	0.12 ± 0.03	0.15 ± 0.03	0.17 ± 0.02	0.17 ± 0.03	0.19 ± 0.03	0.23 ± 0.03	0.20 ± 0.05	0.14 ± 0.7	0.18 ± 0.02	0.20 ± 0.03	0.21 ± 0.01	0.21 ± 0.01	0.19 ± 0.02	



**Tabell 22** Verdier fra PF-målingene (kap. por., makro por., kap. metn. og PF-verdi) for innenfor membran på kjerneprøver boret i Gevingåstunnelen 12.03.2013, antall kjerneprøver: 4. Dataene er hentet fra SINTEF Prøvningsrapport: "Bestemmelse av fuktinnhold og porøsitet for borkjerner fra Gevingåsen" rapportert av Ola Skjølvold, 29.04.2013.

Plassering	180-195	165-180	135-165	120-135	95-120	90-95	80-90	50-80	45-50	40-45	0-40
	Innenfor membran										
Kapillærporøsitet %	28.6	24.2	23.7	21.9	21.4	20.9	21.2	21.7	20.5	20.4	19.8
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	3.4	3.1	1.4	0.9	0.8	0.5	1.1	1.1	1.1	1.4	1.1
Makroporøsitet %	7.0	5.4	5.3	5.2	5.4	5.6	5.7	5.8	5.9	6.1	5.7
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	1.1	1.0	0.5	0.4	0.2	0.4	0.2	0.2	0.2	0.6	0.3
Kapillær metningsgrad %	96.5	94.8	95.4	95.0	94.6	94.3	94.2	93.6	94.3	94.1	92.9
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	1.4	1.5	1.2	1.3	0.8	0.8	1.9	0.9	0.9	1.7	1.6
PF	0.20	0.18	0.18	0.19	0.20	0.21	0.21	0.21	0.22	0.23	0.22
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02

**Tabell 23** Verdier fra PF-målingene (kap. por., makro por., kap. metn. og PF-verdi) for utenfor membran på kjerneprøver boret i Gevingåstunnelen 12.03.2013, antall kjerneprøver: 4. Dataene er hentet fra SINTEF Prøvningsrapport: "Bestemmelse av fuktinnhold og porøsitet for borkjerner fra Gevingåsen" rapportert av Ola Skjølvold, 29.04.2013.

Plassering	0-45M	45-50M	50-55M	55-90M	90-100M	100-105M	105-115M
	Utenfor membran						
Kapillærporøsitet %	20.2	20.6	20.3	21.0	22.0	23.6	24.4
	±	±	±	±	±	±	±
	0.7	0.7	1.0	1.4	2.3	0.9	
Makroporøsitet %	4.7	4.4	4.2	3.9	3.6	3.4	3.1
	±	±	±	±	±	±	±
	0.2	0.4	0.4	0.2	0.4	0.3	
Kapillær metningsgrad %	91.0	89.6	88.6	86.8	84.3	82.0	80.7
	±	±	±	±	±	±	±
	2.9	2.8	1.9	2.5	3.4	1.3	
PF	0.19	0.18	0.17	0.16	0.14	0.13	0.11
	±	±	±	±	±	±	±
	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	1.3	

**Tabell 24 Verdier fra PF-målingene (kap. por., makro por., kap. metn. og PF-verdi) for kjerneprøver boret i Gevingåstunnelen 28.02.2014, antall kjerneprøver: 3**

Plassering	180-190	160-180	150-160	120-150	80-120	40-80	0-40	0-40M	40-50M	50-80M
	Innenfor membran							Utenfor membran		
Kapillærporøsitet %	17.3	17.4	17.4	18.3	19.3	23.1	20.9	22.9	20.3	19.5
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	0.08	0.08	1.2	1.3	0.9	0.7	1.7	1.7	0.5	
Makroporøsitet %	3.7	3.3	3.3	3.1		4.7	4.7	5.0	4.8	4.5
	±	±	±		3.6	±	±	±	±	±
	0.4	0.4	0.4	± 0.09	0.4	0.3	0.4	0.7	0.1	
Kapillær metningsgrad %	97.7	98.8	98.3	98.5	97.2	97.3	97.0	93.2	87.3	86.0
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	1.1	1.6	1.3	1.3	1.5	2.2	3.9	2.9	0.3	
	0.17	0.16	0.16	0.14	0.16	0.17	0.18	0.18	0.19	0.19
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
PF		0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01

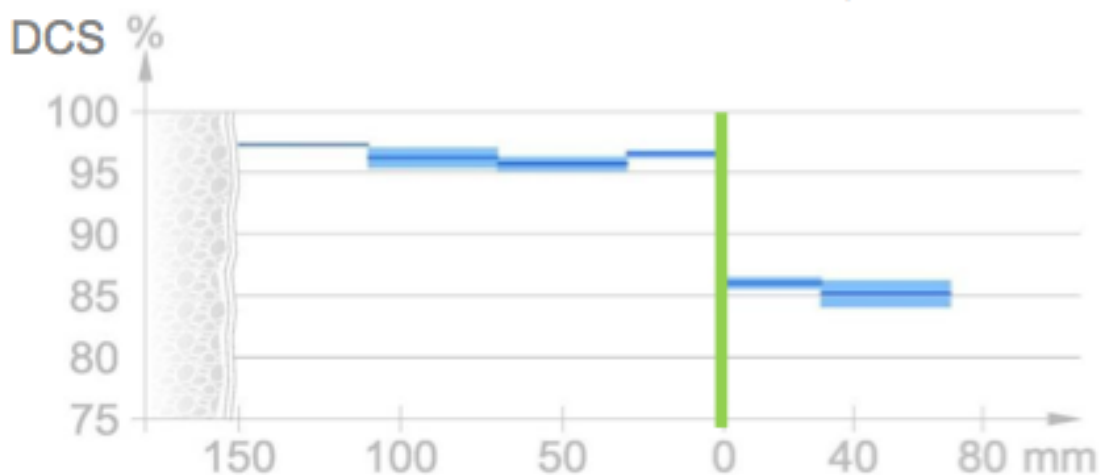
**Tabell 25 Verdier fra PF-målingene (kap. por., makro por., kap. metn. og PF-verdi) for kjerneprøver boret i Gevingåstunnelen 04.04.2014, antall kjerneprøver: 3**

Plassering	160-190	120-160	120-100	80-100	40-80	0-40	0-30M	30-70M	70-100M
	Innenfor membran						Utenfor membran		
Kapillærporøsitet %	25.4	23.7	21.3	21.2	20.9	21.7	21.3	17.1	18.0
	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	0.8	1.6	0.3	0.4	2.1	0.5	0.3	0.2	0.7
Makroporøsitet %	3.9	4.5	4.6	4.8	5.0	5.6	4.9	5.5	4.3
	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	0.01	0.1	0.3	0.3	0.1	0.4	0.2	0.2	0.2
Kapillær metningsgrad %	95.4	97.9	97.1	97.3	96.7	91.1	90.5	93.1	86.0
	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	2.6	0.5	0.9	0.7	0.7	2.1	1.6	0.5	2.0
	0.13	0.16	0.18	0.19	0.19	0.20	0.19	0.24	0.19
	±	±	±	±	±	±	±	±	±
PF	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01		0.01

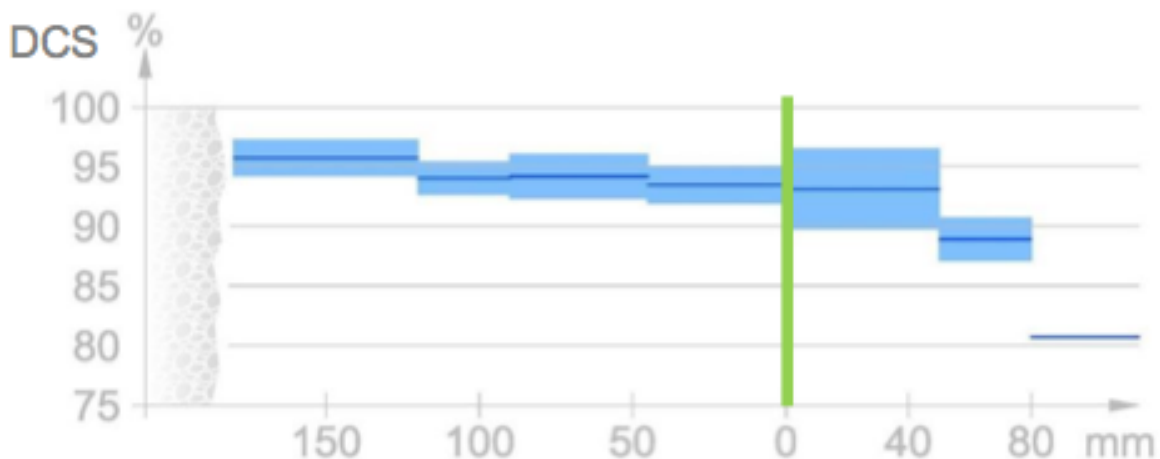
**Fuktighetsgrafikk av kjerneprøvene fra Gevingåstunnelen ved ankomst**

Figur 60 er det vist fuktighetsinnhold ved ankomst for kjerneprøvene fra 2012, 2013 og 2014. I 2014 ble det kjerneboret i både februar og i april, disse resultatene er slått sammen til en, slik at det er en grafikk per år.

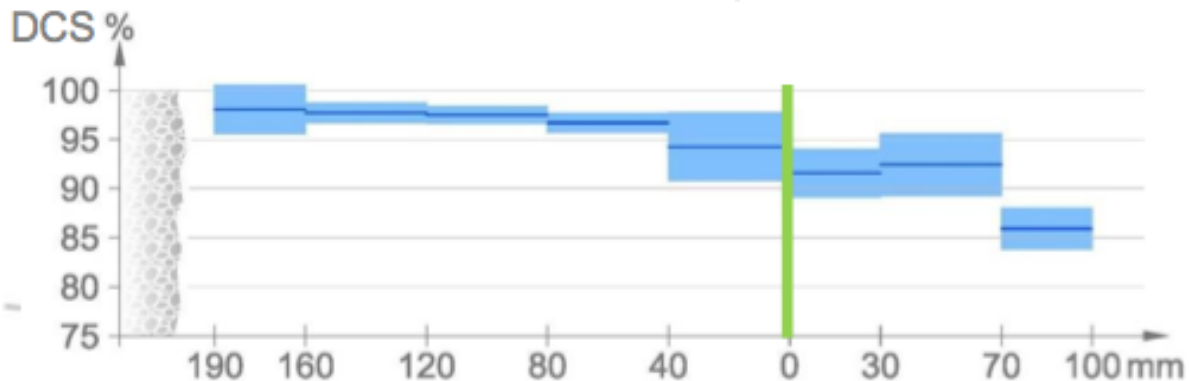
### GEVINGÅS RAIL TUNNEL MARCH 2012, 12 MONTHS



### GEVINGÅS RAIL TUNNEL APRIL 2013, 25 MONTHS



### GEVINGÅS RAIL TUNNEL APRIL 2014, 37 MONTHS



Figur 60 Grafer over fuktigheten i betongen i Gevingåstunnelen 3 forskjellige år, 2012, 2013 og 2014. Fuktigheten er vist fra berg til tunnelside, fra venstre til høyre. Membranen er markert med grønn vertikal linje. Gjennomsnittsverdi er vist med mørk blå og standardavvik er vist i lyseblått felt. Grafikk: Grafisk designer

### **6.5.2.2 *Kommentar til PF-metoden på kjerneprøver fra Gevingåstunnelen***

Som nevnt i teorikapittelet så kan en betong regnes som frostbestandig når luftporevolumet er på 4-6% i kombinasjon med PF på over 0.20 dersom det er meningen at betongen skal være i et miljø med kun vann. Det er da forutsatt god håndtering og gode herdeforhold.

Når en ser på resultatene fra 2012 vises varierende porøsiteter oppover kjernen.

Makroporøsiteter før membran på både over og under 4%, og over 4.5% etter membran.

Kapillærporøsiteter på omtrent 18.5% før membran og over 19% etter membran. PF er generelt under 0.20, 0.14 nærmest membran og opp til 0.23 litt lengre inn. Etter membran er PF på i gjennomsnitt 0.19. Disse resultatene viser til en ikke frostbestandig betong i og med makroporøsiteter på under 4% og PF under 0.20.

Resultatene fra 2013 viser makroporøsiteter på over 5% før membran, og under 5% etter membran, fra 4.7 ved membran og gradvis ned til 3% ved tunnelen. Kapillærporøsitetene er generelt over 20% før og etter membran. PF verdiene er over 0.20 fra membran og inn 120mm mot berget, der går den ned til 0.18. Etter membran er PF på under 0.20, fra 0.19 nærmest membranen til 0.11 på tunnelsiden. Det kan tyde på at sprøytebetongen kan sies å være frostbestandig fra membran og 120mm innover mot berget. Resten er ikke frostbestandig.

Resultatene fra 2014 av kapillærporøsitet og makroporøsitet viser generelt mindre porer i februar enn i april. Resultatene av porevolumet i april viser kapillærporøsiteter på omtrent 21% og makroporer på over 4%. Februar-kjerneprøvene derimot ga kapillærporøsiteter på under 18% og makroporøsiteter på under 4%. PF fra februar-kjernene på under 0.20 i hele kjernen, med 0.19 som maks etter membran og 0.14 som minste før membran. PF fra april-kjernene viser generelt verdier under 0.20, med unntak av i nærheten av membran. Ingen av kjernene fra 2014 kan sies å være frostbestandige.

Fuktighets grafikken viser generelt enn vannmetningsgrad før membran på rundt 95% for alle tre årene. Etter membran skiller 2012-verdiene seg fra 2013 og 2014. I 2012 er det et større sprang mellom verdiene før og etter membran, nærmest tunnelen er vannmetningen sunket til rundt 80-85% for alle tre årene.

## 6.6 Kapillærabsorpsjon (Vedlegg 7A-F)

I Tabell 26 og Tabell 27 er resultatene fra kapillær absorpsjonsforsøket vist med middelerverdi og standardavvik. Verdiene som er vist er motstandstall, kapillaritetstall, sugporøsitet og åpen og lukket makroporøsitet.

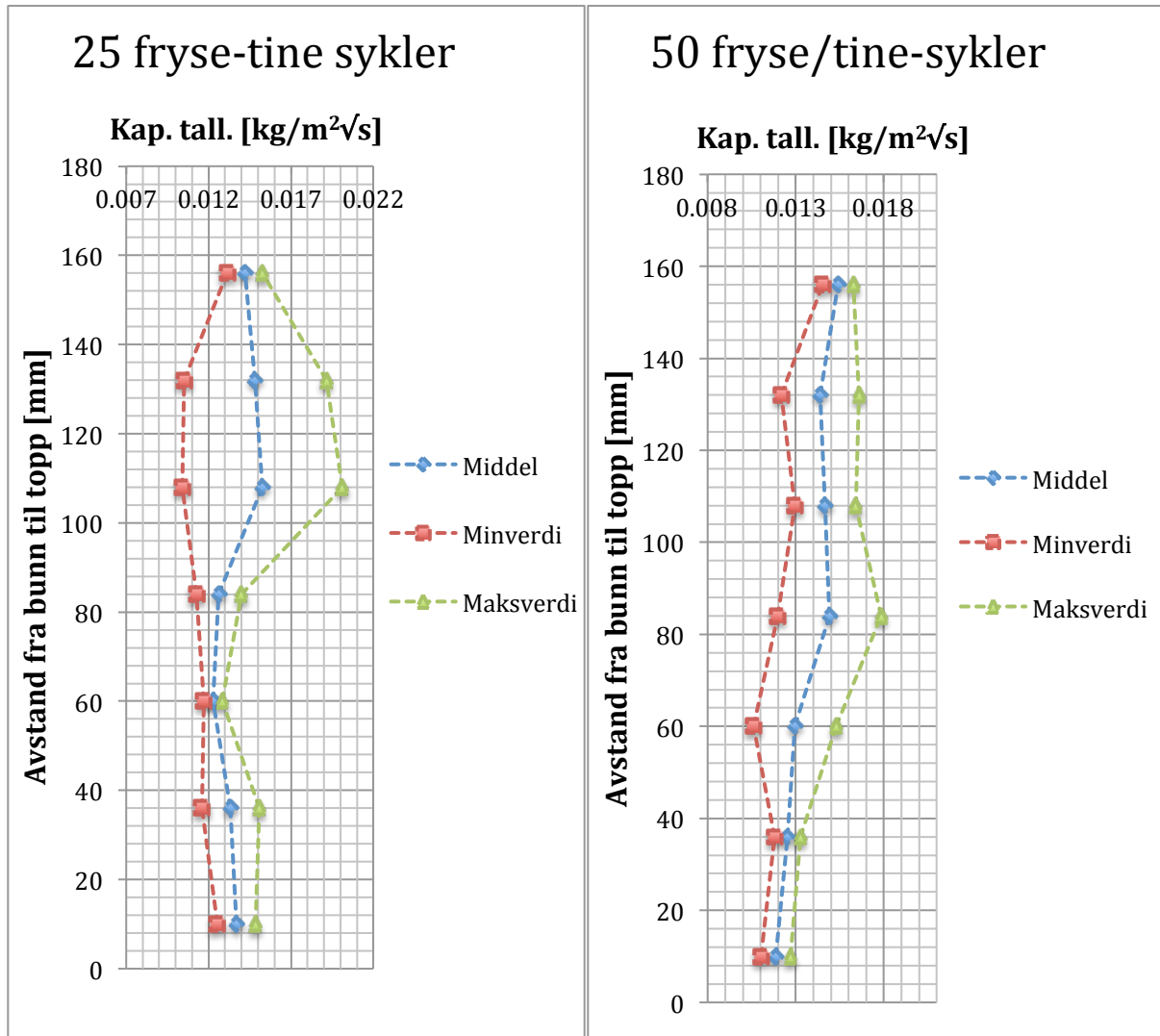
**Tabell 26 Resultatene fra kapillærabsorpsjon hvor prøvestykkene stammer fra kjerner som har vært igjennom 25 fryse/tine-syklus i egenutviklet apparatur. I tabellen vises middelerverdi og standard avvik for motstandstall, kapillaritetstall, sugporøsitet og åpen og lukket makroporøsitet.**

Navn på prøve	Størrelse	Middelerverdi	Var. koef. / std.av.
H5-8_1	Motstandstall	115860211 [s/m <sup>2</sup> ]	17.4 %
	Kapillaritetstall	0.014 [kg / m <sup>2</sup> √s ]	8.5 %
	Sugporøsitet	13.92 [% vol.]	3.7 %
	Åpen makroporøsitet	0.46 [% vol.]	20.4 %
	Lukket makroporøsitet	3.19 [% vol.]	3.5 %
H5-8_2	Motstandstall	137126421 [s/m <sup>2</sup> ]	21.4 %
	Kapillaritetstall	0.013 [kg / m <sup>2</sup> √s ]	13.1 %
	Sugporøsitet	14.39 [% vol.]	8.4 %
	Åpen makroporøsitet	0.53 [% vol.]	17.9 %
	Lukket makroporøsitet	3.68 [% vol.]	8.2 %
H5-8_3	Motstandstall	139859966 [s/m <sup>2</sup> ]	5.5 %
	Kapillaritetstall	0.012 [kg / m <sup>2</sup> √s ]	4.6 %
	Sugporøsitet	13.66 [% vol.]	6.3 %
	Åpen makroporøsitet	0.51 [% vol.]	31.0 %
	Lukket makroporøsitet	3.47 [% vol.]	6.7 %
H5-8_4	Motstandstall	151516177 [s/m <sup>2</sup> ]	22.7 %
	Kapillaritetstall	0.013 [kg / m <sup>2</sup> √s ]	10.8 %
	Sugporøsitet	14.30 [% vol.]	5.5 %
	Åpen makroporøsitet	0.47 [% vol.]	31.9 %
	Lukket makroporøsitet	2.56 [% vol.]	84.5 %
H5-8_5	Motstandstall	132750790 [s/m <sup>2</sup> ]	51.1 %
	Kapillaritetstall	0.015 [kg / m <sup>2</sup> √s ]	31.8 %
	Sugporøsitet	15.58 [% vol.]	9.9 %
	Åpen makroporøsitet	0.56 [% vol.]	17.9 %
	Lukket makroporøsitet	3.57 [% vol.]	8.9 %
H5-8_6	Motstandstall	146664767 [s/m <sup>2</sup> ]	39.2 %
	Kapillaritetstall	0.015 [kg / m <sup>2</sup> √s ]	29.1 %
	Sugporøsitet	16.08 [% vol.]	13.5 %
	Åpen makroporøsitet	0.57 [% vol.]	34.1 %
	Lukket makroporøsitet	3.48 [% vol.]	10.8 %
H5-8_7	Motstandstall	127754664 [s/m <sup>2</sup> ]	18.0 %
	Kapillaritetstall	0.014 [kg / m <sup>2</sup> √s ]	7.5 %
	Sugporøsitet	15.15 [% vol.]	7.9 %
	Åpen makroporøsitet	0.59 [% vol.]	14.5 %
	Lukket makroporøsitet	3.66 [% vol.]	13.2 %

**Tabell 27 Resultatene fra kapillærabsorpsjon hvor prøvestykkene stammer fra kjerner som har vært igjennom 50 fryse/tine-syklus i egenutviklet apparatur. I tabellen vises middelerdi og standard avvik for motstandstall, kapillaritetstall, sugporøsitet og åpen og lukket makroporøsitet.**

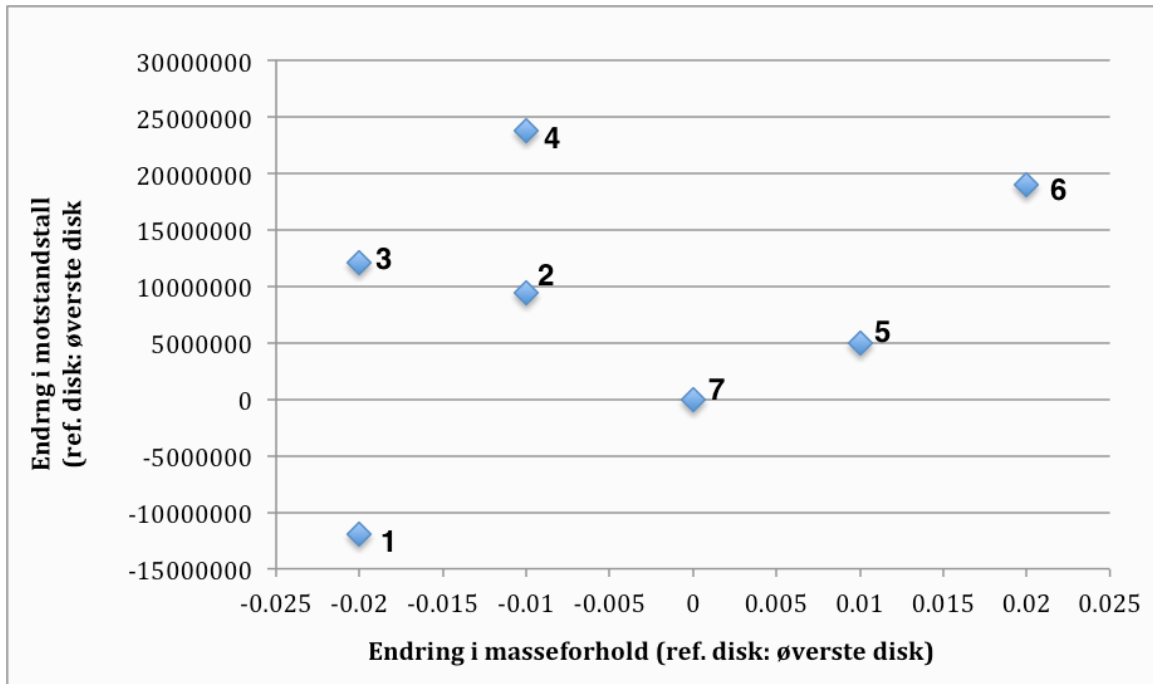
Navn på prøve	Størrelse	Middelerdi	Var. koeff. / std.av.
HI-4_1	Motstandstall	158653182 [s/m <sup>2</sup> ]	10.14 %
	Kapillaritetstall	0.012 [kg / m <sup>2</sup> √s ]	6.99 %
	Sugporøsitet	14.14 [% vol.]	6.36 %
	Åpen makroporøsitet	0.49 [% vol.]	42.68 %
	Lukket makroporøsitet	3.19 [% vol.]	6.18 %
HI-4_2	Motstandstall	159453866 [s/m <sup>2</sup> ]	5.52 %
	Kapillaritetstall	0.013 [kg / m <sup>2</sup> √s ]	5.76 %
	Sugporøsitet	15.06 [% vol.]	9.99 %
	Åpen makroporøsitet	0.37 [% vol.]	22.73 %
	Lukket makroporøsitet	3.60 [% vol.]	6.18 %
HI-4_3	Motstandstall	156725522 [s/m <sup>2</sup> ]	23.31 %
	Kapillaritetstall	0.013 [kg / m <sup>2</sup> √s ]	18.20 %
	Sugporøsitet	15.30 [% vol.]	12.76 %
	Åpen makroporøsitet	0.44 [% vol.]	14.75 %
	Lukket makroporøsitet	3.56 [% vol.]	5.17 %
HI-4_4	Motstandstall	120829081 [s/m <sup>2</sup> ]	43.07 %
	Kapillaritetstall	0.015 [kg / m <sup>2</sup> √s ]	19.67 %
	Sugporøsitet	15.18 [% vol.]	7.79 %
	Åpen makroporøsitet	0.56 [% vol.]	30.95 %
	Lukket makroporøsitet	3.58 [% vol.]	10.32 %
HI-4_5	Motstandstall	126474543 [s/m <sup>2</sup> ]	17.73 %
	Kapillaritetstall	0.015 [kg / m <sup>2</sup> √s ]	11.79 %
	Sugporøsitet	15.41 [% vol.]	10.78 %
	Åpen makroporøsitet	0.50 [% vol.]	25.80 %
	Lukket makroporøsitet	3.57 [% vol.]	6.07 %
HI-4_6	Motstandstall	131869388 [s/m <sup>2</sup> ]	29.58 %
	Kapillaritetstall	0.014 [kg / m <sup>2</sup> √s ]	15.25 %
	Sugporøsitet	15.21 [% vol.]	7.46 %
	Åpen makroporøsitet	0.52 [% vol.]	29.90 %
	Lukket makroporøsitet	3.52 [% vol.]	8.95 %
HI-4_7	Motstandstall	123197481 [s/m <sup>2</sup> ]	9.79 %
	Kapillaritetstall	0.05 [kg / m <sup>2</sup> √s ]	5.68 %
	Sugporøsitet	16.08 [% vol.]	5.76 %
	Åpen makroporøsitet	0.65 [% vol.]	17.84 %
	Lukket makroporøsitet	3.52 [% vol.]	6.30 %

I Figur 61 vises kapillaritetstall mot avstand fra bunn til topp, i forhold til posisjonen til disken i kjerneprøven. Til venstre vises for 25 fryse/tine-sykler og til høyre 50 fryse/tine-sykler i egenutviklet apparatur.

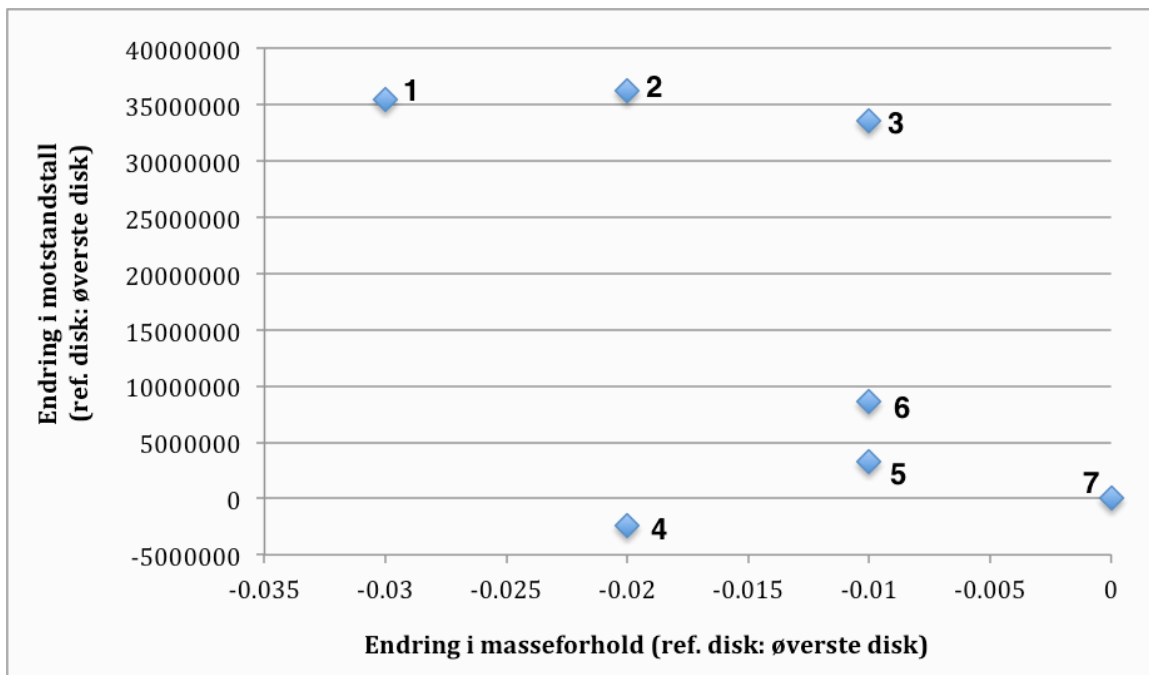


**Figur 61** Figurene viser kapillaritetstall på disker mot avstand fra bunn til topp på kjerneprøven som diskene er kuttet fra. Til venstre: Disker fra 1-7 som er kuttet fra kjerneprøver som har gjennomgått 25 fryse/tine-sykler i egenutviklet apparatur. Til høyre: Disker fra 1-7 som er kuttet fra kjerneprøver som har gjennomgått 50 fryse/tine-sykler i egenutviklet apparatur.

I Figur 62 og Figur 63 er endring i masseforhold plottet mot endring i motstandstill. Punktene er beregnet ut ifra middelverdiene til diskene som hørte til kjernene som hadde gjennomgått like mange fryse/tine-sykler i egenutviklet apparatur.



**Figur 62** Endring i masseforhold mot endring i motstandstill. Referanse disk er den øverste disken, altså disk 7. Middelerdi av diskene fra 4 kjerneprøver som alle har gjennomgått 25 fryse/tine-sykler i egenutviklet apparatur.



**Figur 63** Endring i masseforhold mot endring i motstandstill. Referanse disk er den øverste disken, altså disk 7. Middelerdi av diskene fra 4 kjerneprøver som alle har gjennomgått 50 fryse/tine-sykler i egenutviklet apparatur.



### **6.6.1 Kommentar til resultatene i kapillærabsorpsjonsmetoden:**

Åpen makroporøsitet utover ca. 1% betyr dårlig komprimering i sprøyteprosessen, ingen av resultatene viser åpen makroporøsitet utover 1%. De ligger rundt 0.5%, med laveste 0.37 og høyeste verdi 0.65.

Grafene over kapillaritetstall mot avstand fra fryseside viser at etter 25 sykler er det ingen spesiell trend. Det er størst usikkerhet i øverste del av kjernene og mindre i nedre halvdel. Grafen fra 50 fryse/tine-sykler viser en svak helning, med lavest kapillaritetstall i bunnen og høyest i toppen.

Motstandstallet har en direkte sammenheng med finheten i kapillærporesystemet. Et høyt motstandstall betyr som regel redusert permeabilitet og større frostbestandighet. Redusert masseforhold gir normalt økt motstandstall. For diskene som hører til kjernen som har gjennomgått 25 fryse/tine-sykler så har generelt alle diskene, foruten den nærmest frostsiden, høyere motstandstall enn referansedisken lengst unna frostsiden. De to diskene lengst unna frostsiden etter referansedisken har et høyere masseforhold enn referansedisken. De tre siste diskene har alle høyere motstandstall og lavere masseforhold. Når det kommer til diskene som kommer fra kjernen som har gjennomgått 50 fryse/tine-sykler har samtlige lavere masseforhold enn referansedisken og alle bortsett fra den 4 disken, telt fra frostsiden, har et lavere motstandstall. De 3 diskene som ligger nærmest frostsiden har betydelig større endring i motstandstall enn de andre, og de har en minkende endring i masseforholdet, fra frostsiden og oppover.

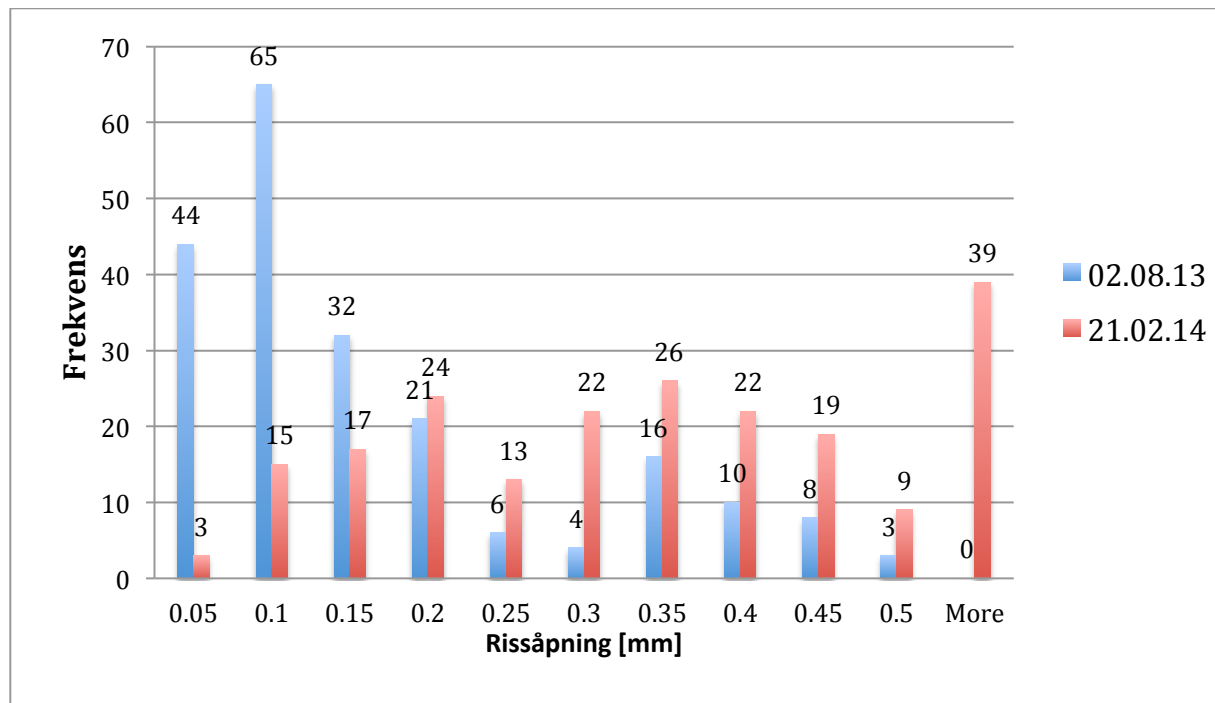
Kapillærabsorpsjonsforsøkene viser gode resultater. I rapporten ”Dykket rørbru- Betongteknologi” fra 1990 står det at de har generelt høye motstandstall, resultatene til sprøytebetongen som vi har testet har høyere verdier enn konstruksjonsbetongen de testet. Mens kapillaritetstallene er litt høyere enn i rapporten. Dette tyder på lav permeabilitet mtp. motstandstall, men allikevel litt høyere absorpsjonshastigheter enn i rapporten for ”Dykket rørbru- Betongteknologi”.

## 6.7 Risskartlegging Gevingåstunnelen (Vedlegg 8A-E)

Risskartleggingen er foretatt på nattetid 02.08.13 ved 12°C i tunnelen og 21.02.14 ved 4°C i tunnelen.

### 6.7.1 Resultater fra risskartlegging i Gevingåstunnelen

Statistikk over antall riss delt inn i grupper etter størrelse er vist i Figur 64.



**Figur 64** Statistikk over bredden på riss i betongen i Gevingåstunnelen. Delt inn i grupper som strekker seg 0.05mm. Målingene er foretatt på nattetid 02.08.13 og 21.02.14.

### 6.7.2 Kommentar til risskartlegging i Gevingåstunnelen

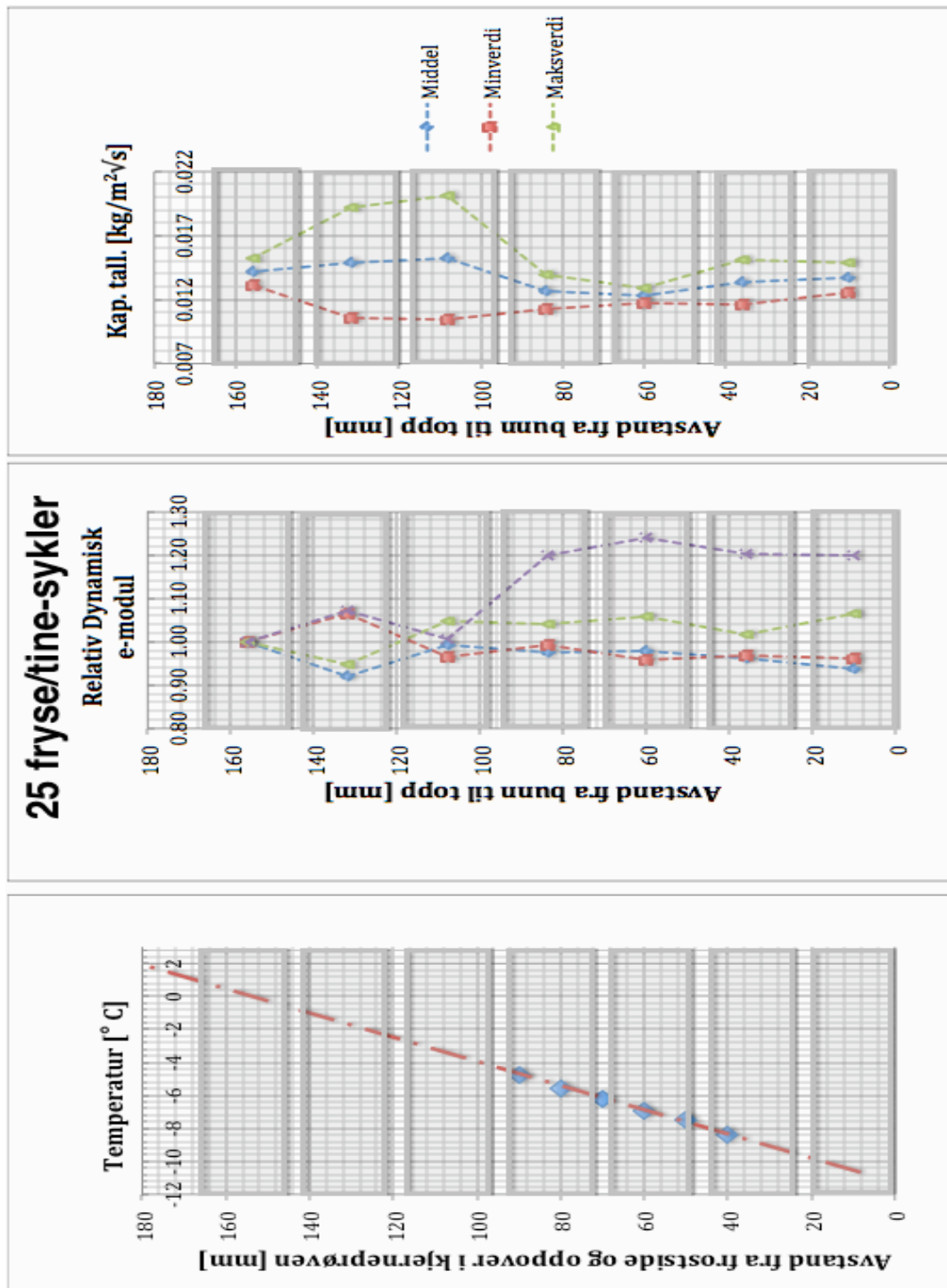
I august ved 12°C er det de fleste rissene mindre enn 0.2mm, i februar ved 4°C er rissene mer spredd i størrelse, men det er få riss som er under 0.1mm. I motsetning til i august hvor det var ingen riss over 0.5mm er det i februar en betydelig andel riss større enn 0.5mm.

## **7 Diskusjon med grafisk sammenheng i forbindelse med den egenutviklede frostapparaturen**

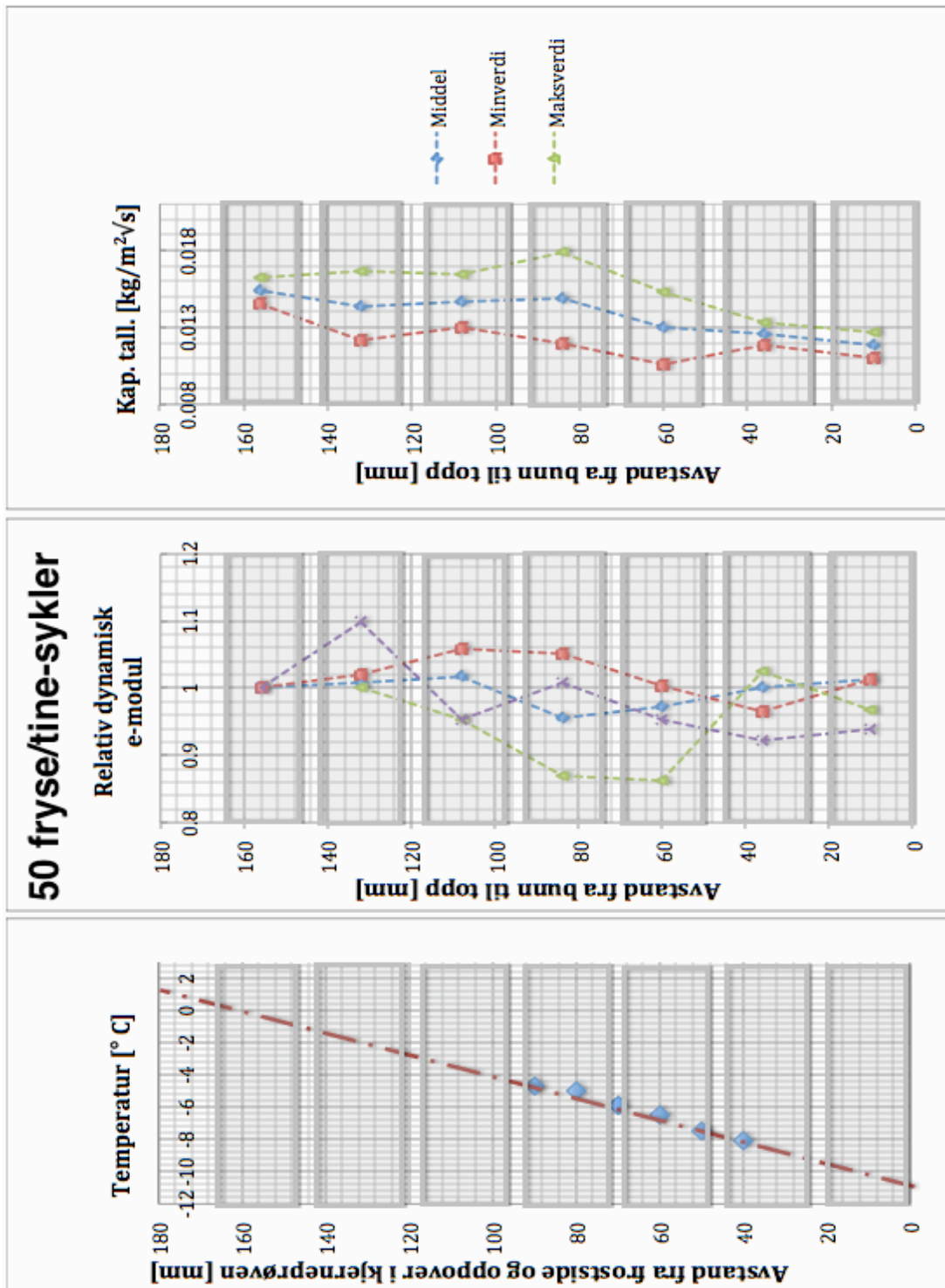
Resultatene fra ASTM C666 viser en nedgang i frostbestandighet først etter 59 fryse/tine-sykler i vann. Dette er mye lengre enn forventet, ut ifra hvor hard påkjenning dette er og at sprøytebetongen i utgangspunktet ikke frostbestandig. Når prøvestykker fra samme tunnel ble utsatt for saltangrep fra 3% saltsyre under CEN/TS 12390-9 visste resultatene at sprøytebetongen var langt over kravet på maksimum  $1\text{kg/m}^2$ . Når kun utsatt for rent vann derimot var verdiene etter 56 fryse/tine-sykler på under  $0.4\text{kg/m}^2$ , Altså dersom kun utsatt for rent vann så er mengden akkumulert avskalling godt innenfor kravet på  $1\text{kg/m}^2$ .

Når en ser på den egenutviklede metoden så var kjerneprøvene igjennom langt færre fryse/tine-sykler enn antall fryse/tine-sykler før svekkelse i frostbestandighet i ASTM C666. Prøvestykkene var igjennom hhv. 25 og 50 fryse/tine-sykler i den egenutviklede apparaturen, spesielt laget for å likne på situasjonen i en uisolert tunnelkledning. Dette er mye mer skånsomme fryse/tine-sykler enn de i ASTM C666, og når prøvene der ikke ble skadet før etter 59 fryse/tine-sykler, så er det forholdsvis utenkelig å tro at prøvene i den egenutviklede apparaturen vil ha tatt noe videre skade etter 50 fryse/tine sykler.

Vurdering av resultatene fra prøvene som har vært igjennom fryse/tine-sykler i den egenutviklede frostapparaturen bør allikevel vurderes i sammenheng. I Figur 65 og Figur 66 er temperatur, relativ dynamisk e-modul og kap. tall vist som funksjon av avstand fra frostsida. Dette er vist for både 25 og 50 fryse/tine-sykler i egenutviklet frostapparat. I alle grafene er det gitt diskplasseringer.



Figur 65 Sammenheng mellom resultatene fra fryse/tine-syklusene i egenutviklet apparatur etter 25 fryse/tine-sykler: temperaturforløp, relativ dynamisk e-modul og kap. tall. Diskenes omtrentlige plassering er vist som grå rektangler, diskene går fra 1-7, fra nederst og oppover.



Figur 66 Sammenheng mellom resultatene fra fryse/tine-syklusene i egenutviklet apparatur etter 50 fryse/tine-syklus: temperaturforløp, relativ dynamisk e-modul og kap. tall. Diskenes omtrentlige plassering er vist som grå rektangler, diskene går fra 1-7, fra nederst og oppover.

Temperaturen oppover i prøven øker lineært med  $0.75^{\circ}\text{C}/\text{cm}$  for begge prøvene utstyrt med sensorer. Egenfrekvensmålingene ser det ikke ut til at viser noen spesiell trend til svekkelse i frostbestandighet oppover kjernep prøvene. Det er noe variasjon i resultatene, men ikke nok til å konkludere med noe annet enn at prøvene tåler minst 50 fryse/tine-sykler i denne apparaturen og sannsynligvis så vil også sprøytebetong i en tunnelkledning tåle minst dette under samme temperaturer. Usikkerheten skyldes antakeligvis inhomogeniteter i sprøytebetongen i og med at sprøytebetong er et lite homogent materiale. Noen av diskene har sannsynligvis blitt skadet slik som også skjedde i ASTM C666. Kompakteringen har mye å si, i tillegg til hvor godt blandet sprøytebetongen er før påføring.

Når det kommer til kapillaritetstallet til diskene, fra kjernene som har vært igjennom 25 fryse/tine-sykler, så er det stor usikkerhet i de fra øverste halvdel, dette kan tyde på at noen av diskene her har fått økt sugkapasitet og blitt litt svekket og andre ikke, eller det kan bare skyldes inhomogeniteter i sprøytebetongen. Diskene fra kjernene som har vært igjennom 50 fryse/tine-sykler viser en svak trend mot høyere kapillaritetstall fra frostsiden og oppover, dette kan tyde på en svekkelse i betongen. Dette kan skyldes kombinasjonen med mye vann og frost i dette området, men tendensen er antakeligvis for liten til å trekke en klar slutning. Og igjen med tanke på påkjenningen i ASTM C666 så tyder det på at frysesyklusene i den egenutviklede frostapparaturen har vart for kort tid. Men diskene i kapillærabsorpsjon kan også ha blitt skadet fra tørkingen under  $105^{\circ}\text{C}$ , som ansees å være tøffe forhold for betongen.

Prøvestykker fra kjernene testet med PF metoden tyder på en ikke frostbestandig betong grunnet generelt PF under 0.20. Når det gjelder makroporøsitetene så ligger nesten alle over 4%. Så sprøytebetongen ligger rett ved kravet til frostbestandig betong selv om det ikke har blitt stilt noen krav til luftporeinnhold. Den åpne makroporøsiteten ligger på rundt 0.5%, noe som tyder på helt ok kompaktering.

## 8 Konklusjon

Det har blitt kjørt for få fryse/tine-sykler i den egenutviklede frostapparaturen til å gi noe utslag i svekkelse av frostbestandighet. Tester som bygger opp om denne konklusjonen er ASTM C666, Borås testmetode og de utførte testene på sprøytebetongen som har vært igjennom hhv. 25 og 50 fryse/tine-sykler i denne apparaturen. Resultatene fra ASTM C666 viser til at sprøytebetongen fra Harangstunnelen tåler minst 59 fryse/tine-sykler når frosset og tint i vann. Borås testmetode viser at sprøytebetongen ligger godt under maksimumkravet til akkumulert avskalling etter 56 fryse/tine-sykler dersom væsken som er blitt brukt er rent vann. Sprøytebetongen som er testet er nært kravet til frostbestandig betong, men når ikke helt opp med PF målingene på under 0.20 som er kravet til betong utsatt for kun vann, kravet for makroporøsitet ser ut til å tilfredsstilles med verdier over 4%. Kapillærabsorpsjonsmetoden viser en åpen makroporøsitet på omtrent 0.5%.

## 9 Kilder

- ASTM C 215 (2003) Standard Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Resonant Frequencies of Concrete Specimens
- ASTM C666/C66M (2008) Standard Test Method For Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing
- CEN/TS 12390-9 (2006) Prøving av herdet betong, Del 9 fryse/tine-motstand Avskalling
- Dilek U (2008) Assessment of Gradients Using Dynamic Modulus of Thin Disks, Publication in ACI Materials Journal September/October 2008
- Holter KG (Okt. 2013) Loads on Sprayed Waterproofing Tunnel Linings in Jointed Hard Rock: A Study Based on Norwegian Cases
- Holter KG, Smeplass S og Tandberg MK (Jan. 2014) Assesment of freezing and thawing damage in waterproof sprayed concrete tunnel linings
- Holter KG, Nilsen B, Langås C og Tandberg MK (WTC 2014) Testing of sprayed waterproofing membranes for single shell sprayed concrete tunnel linings in hard rock
- Leming ML, Nau JM og Fukada J (1998) Nondestructive Determination of the Dynamic Modulus of Concrete Disks, Publication in ACI Materials Journal/January-February 1998
- Melby T, Dimmock R og Garshol KF (2006) Sprayed Concrete for Rock Support 11th edition
- NCA norwegian concrete association ( Aug. 2011) Publication no. 7 Sprayed Concrete for Rock Support
- SINTEF FCB, Smeplass S (05.04.1988) Kapillærabsorpsjon som kvalitetskriterium
- SINTEF FCB, Smeplass S og Havdahl J (19.01.1990) Dykket rørbru- Betongteknologi Laboratorieforsøk Permeabilitet og armeringskorrosjon
- SINTEF byggforsk, Skjølvold O (30.04.2012) Prøvingsrapport: Bestemmelse av fuktinnhold og porøsitet for borkjerner fra Gevingåsen
- SINTEF byggforsk, Skjølvold O (29.04.2013) Prøvingsrapport: Bestemmelse av fuktinnhold og porøsitet for borkjerner fra Gevingåsen
- Smeplass S (2014) "Grunnleggende betongteknologi", Kapittel: Betongens struktur og egenskaper, Byggenæringens forlag, Planlagt utgitt 2014



**TKT 4215 Concrete Technology 1:**

Prof. II Magne Maage (2008)	Chapter 1- Practice
Prof. II Knut O. Kjellsen (2008)	Chapter 5- Cement
Prof. Erik J. Sellevold (2008)	Chapter 6- Hydration
Prof. Erik J. Sellevold (2008)	Chapter 8- Porosity, pore structure
Øyvind Bjøntegaard (2009)	Chapter 13- Shrinkage, Cracking
Prof. II Erik J. Sellevold og Stefan Jacobsen (2009)	Chapter 15-Frost deterioration

**Internett sider:**

<a href="http://snl.no/Geologi_og_landformer_i_Norge">http://snl.no/Geologi_og_landformer_i_Norge,</a>	11.06.14 12:37
<a href="http://snl.no/portlandsement">http://snl.no/portlandsement</a>	04.12.13 11:28
<a href="http://snl.no/luftfuktighet">http://snl.no/luftfuktighet</a>	07.12.13 14:17

**PowerPoint-presentasjoner:**

Holter KG (Okt. 2013) Vanntett permanent tunnelkledning med sprøytbar membran og sprøytebetong

Holter KG og Tandberg MK (WTC 2014) Sprayed concrete for permanent waterproof tunnel linings – Some findings and reflections from ongoing investigations

## **Vedlegg**

Vedlegg 1 **Betongresepter**

Vedlegg 2 **ASTM C666**

Vedlegg 3 **CEN/TS 12390-9**

Vedlegg 4 **Egenutviklet metode, fryse/tine-sykler**

Vedlegg 5 **Egenutviklet metode, egenfrekvensmålinger på disker**

Vedlegg 6 **PF-metoden**

Vedlegg 7 **Kapillærabsorpsjon**

Vedlegg 8 **Risskartlegging i Gevingåstunnelen**

Vedlegg 9 **Risikovurdering**

# Betongresepter

Vedlegg 1A

Unicon AS

## Betonblanket

v. 1.13

Side 1 d. 30-06-2009 kl. 10:32:42

Recept .....: 57130A

Fabrikk.: 332

Version 11

Bestandighetsklasse : Bestandighetsklasse M40  
 Betongtype .....: B35 M40  
 Kontrollklasse .....:  
 Største sten .....: 8 mm  
 Tilstrøbt konsistens : 200  
 Certifikatbeton .....: Nei  
 Forprøving, attestnr :

Sammensætning	Navn	Densitet kg/m <sup>3</sup>	Mængde kg/m <sup>3</sup>	Volumen l/m <sup>3</sup>
Pumpeforbedrer	Meyco TCC 735 (40% tørrstoff)	950	2,5	2,6
Sement	Norcem Std-FA Kjøpsvik	2.950	513	174
Silika	Silikastøv k=2	2.200	21	9,7
Sand	0-4 mm Vassfjell	3.040	343	113
Sand	Hembre 0-10mm	2.756	1.245	452
SP-stoff	Glenium 151	1.030	6,9	6,7
Luftinnførende stoff	Micro air 100 (1:7) BASF	1.000	1,03	1,03
kaldt vann	Kaldt vann	1.000	202	202
Tilstrøbt luftindhold i betong, volumens %:				4,0
Min. luftindhold i betong, volumens % :				6,5
			Sum	2.334
				1.000

Kontrollpunkt	Værdi	Beregning
Microsilica .....	4 %	$100 * 21 / (513+21+0)$
Flyveaske+microsilica .....	4 %	$100 * (21+0) / (513+21+0)$
Ækv. cementindhold .....	556 kg/m <sup>3</sup>	$513 + 2,0*21$
Effektivt vandindhold .....	210 kg/m <sup>3</sup>	$1,5 + 5,9 + 1,0 + 201,6$
Ækv. V/C-forhold .....	0,38	$210,0 / 555,6$
Fillerindhold i betong .....	814 kg/m <sup>3</sup>	$513 + 21 + 280 (<0,25 \text{ mm})$
Mørtelindhold .....	901 l/m <sup>3</sup>	$1000 - 99 (>4 \text{ mm})$
Fillerindhold i mørtel .....	904 kg/m <sup>3</sup>	$1000 * 814 / 901$
Kitmasseindhold .....	436 l/m <sup>3</sup>	$3 + 174 + 10 + 7 + 1 + 202 + 40$
Luftindhold i kitmasse .....	9,2 %	$100 * 4,0 / 436$
Ækv. alkaliindhold .....	5,2 kg/m <sup>3</sup>	$(7,83 * 1000 * 60/100) / 901$
Max. chloridindhold .....	0,08 %	$100 * 0,42 / (513+21+0)$

Delmateriale	Ækv. alkali			Chlorid			Referanse
	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>		
Pumpeforbedrer	2,5	0,000	0,00	0,100	0,003		
Sement	513	1,500	7,69	0,070	0,359		
Silika	21	0,000	0,00	0,000	0,000		
Sand	343	0,000	0,00	0,000	0,000		
Sand	1.245	0,000	0,00	0,005	0,062		
SP-stoff	6,9	2,000	0,14	0,010	0,001		
Luftinnførende stoff	1,03	0,225	0,00	0,013	0,000		
kaldt vann	202	0,000	0,00	0,000	0,000		
Sum	2.334		7,83		0,425		

### Kornkurve, gjennomfald i %

Sigte, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11	16	22	32
Sammensat (Vægt %)	5	8	18	31	46	63	83	95	99	100	100	100
0-4 vassfjell	15	17	23	30	42	66	100	100	100	100	100	100
0-10 hembre	2	6	16	31	47	62	78	93	99	100	100	100

Producent / dato

Modtager / dato

Sveinar Myklebust / 30-06-2009

Unicon AS

**Betonblanket**

v. 1.13

Side 2 d. 30-06-2009 kl. 10:32:42

---

 Recept .....: 57130A                      Fabrikk.: 332    Version  11
 

---

**Materialeegenskaber:**

Sand	0-4 mm Vassfjell	Humus .....:	Kemisk sv. : -
		Reakt. korn : 1,00	Absorption : 0,50
		Mørtelprism.: -	Acc. mørtel. : -
Sand	Hembre 0-10mm	Humus .....:	Kemisk sv. : -
		Reakt. korn : 48,40	Absorption : 0,90
		Mørtelprism.: -	Acc. mørtel. : -

---

**Konsistensvarianter:**

	Min.	Max.	Basis
Konsistens	120	260	200
V/C-forhold	0,38	0,38	0,38
Effektivt vandindhold	186	224	210
Ækvivalent cement	493	592	556
Sand	1.712	1.516	1.568
Sten	0	0	0
Luftindblandingsmiddel	0,9	1,1	1,0
Tilsætningsmiddel	8,6	9,9	9,4
Kitmasseindhold (l/m <sup>3</sup> )	391	461	436
Luftindhold i kitmasse	10	9	9
Min. Luftindhold (%)	5,9	6,9	6,5
Chlorid indhold	0,08	0,08	0,08
Ækv. alkalindhold	4,7	5,5	5,2

Producent / dato

Modtager / dato

Sveinar Myklebust / 30-06-2009

## Norbetong Orkanger

Prøve registrering

Tel.:  
Faks:  
02 1 2 1**NORBETONG**  
HEIDELBERGCEMENT Group

## Prøve stamopplysninger

Prøve nr. : 477	Figdri Nr. : 115555	Leveret : 22-02-2013 00:03:01
Prøvetype : Fullprøve med v/c	Kunde nr. : 1000486 Entreprenørservice AS	Bestandighetskl: M45
Prøve uttaket : 22-02-2013 00:32:03	Plass nr. : 163494 E39 HARANGSTUNNELEN	Fasthetsklasse : B35
Utstøbninger : 4	Underplass nr. :	Kontrollklasse : Ingen valgt
Godkjent/Rettet : ork	Resept nr. : 351840 B35 M45 D8 Sprøytebet. FA/sil	Betongtype : C45MA Sprøytebeton
Godk./Ret dato : 22-02-2013 02:05:41	Sats nr. : 2	Underprosjekt :
Prosjekt :	Delprosjekt :	
Bemerkning : Prøve NTNU, KG Holter		
: uten fiber		

## Utbyttekontroll

Ønsket m<sup>3</sup>: 2,00      Oppnået m<sup>3</sup>: 1,98      Antall satse: 1      Satsstr: 2,00

Less	Densitet kg/m <sup>3</sup>			Ønsket kg		Afvikelse %
	Densitet kg/m <sup>3</sup>	Prop. kg/m <sup>3</sup>	M/fukt kg/m <sup>3</sup>	Ønsket kg	Oppnådd kg	
Ramlo søberg 0-8	2710,0	1496,8	1593,0	3186,0	3175,8	-0,32
Norcem Standard FA	3010,0	502,4	502,4	1004,8	1003,7	-0,11
Silica	2200,0	25,0	25,0	50,0	50,1	0,28
Kaldt vann	1000,0					
Slamvann	1045,0	36,1	36,1	72,3	71,8	-0,63
Varmt vann	1000,0	195,6	99,4	198,8	198,4	-0,19
Rescon Dynamon SR-N	1050,000	5,063	5,063	10,125	10,122	-0,03
Rescon Dynamon SX-N	1060,000	2,439	2,439	4,878	4,884	0,12
<b>Total Kg</b>				<b>4526,8</b>	<b>4514,8</b>	

Utfinerede Kg	Tilslag	Pulver	Vand	Kemi
Jalt	6,11	10,84	0,85	-0,09

Sats data	Ønsket	
Blandetid		515,00
Wattmeter		19,00

## Betongkontroll

	Initiale	Målt	Ønsket	Oppnådd		Initiale	Målt	Ønsket	Oppnådd
Densitet :	ork	2280,2	2263,4	2280,2	Kg/m <sup>3</sup>	Luft :		2,50	%
VC-Forhold :	ork	0,430	0,425	0,424		Luft i kitmasse :		5,58	%
Mengde :		1,98	2,00	1,98	M <sup>3</sup>	Betongtemperatur : ork	21,00	31,00	20,88 °C
Synkmål :	ork	230	215		Mm	Utetemperatur : ork	1,00		°C

## V/C-forhold beregning

V/C-forhold beregning				Uttørring av vådbetong	
Våd betong :	2280,2	2280,2	g	Total vann (midlet) :	256,2 Kg
Tør betong :	2024,0	2024,0	g	Absorberet vann :	16,5 Kg
Total betong :	256,2	256,2	g	Frit vann :	239,7 Kg
Beregnet V/C-Forhold :	0,430			Ekvivalent sementmengde :	557,5 Kg

## Fasthetskontroll

Nr	Sylinder	Prøvet	Alder	Kg/m <sup>3</sup>	Divisor	Tryk 1000 kg	Fasthet MPa	Trykket af
1		22-03-2013 00:32:03	28		1,000			
2		22-03-2013 00:32:03	28		1,000			
3		22-03-2013 00:32:03	28		1,000			
4		22-03-2013 00:32:03	28		1,000			
<b>Middelverdier:</b>					<b>Fasthetsutvikling</b>			
Dage		Kg/m <sup>3</sup>	Fasthet MPa		2-28 dages fasthetsutvikling kan ikke beregnes			
28					7-28 dages fasthetsutvikling kan ikke beregnes			

## Tilslagsdata

Sikt/Rambo Søber	Sam. Kurve	Ref. Kurve	Afvikelse	Toleranse
%	%	%	%	%

Norbetong Orkanger

Prøve registrering

Tel:  
 Fax:  
 Web:

**NORBETONG**  
 HEIDELBERGCEMENT Group

## Prøve stamopplysninger

Prøve nr. : 477	Figsd1 Nr. : 115555	Leveret : 22-02-2013 00:03:01
Prøvetype : Fullprøve med v/c	Kunde nr. : 1000486 Entreprenørservice AS	Bestandighetskl: M45
Prøve uttaket : 22-02-2013 00:32:03	Plass nr. : 163494 E39 HARANGSTUNNELEN	Fasthetsklasse : B35
Utstøpninger : 4	Underplass nr. :	Kontrollklasse : Ingen valgt
Godkjent/Rettet : ork	Resept nr. : 351840 B35 M45 D8 Sprøytebet. FA/sil	Betongtype : C45MA Sprøytebeton
Godk./Ret dato : 22-02-2013 02:05:41	Sats nr. : 2	
Prosjekt :	Delprosjekt :	Underprosjekt :
Bemerkning : Prøve NTNU, KG Holter		
: uten fiber		

## Lessvekt kontroll

Vekt (Egne) , M0	4515 Kg	<b>Utefineret</b>	<b>Kg</b>
Uttaket prøve, m	Kg	Tilslag	6,1
Vekt, M1=M0-m	4515 Kg	Pulver	10,8
		Vand	0,9
Vekt (Vejesd1), M2	Kg	Kemi	-0,1
Diff., D=M2-M1	-4515 Kg		
Diff., D%=D/M2*100	%		

Norbetong Orkanger

Blandelog

Tel.:  
Fax.:  
Nett: 01**NORBETONG**  
HEIDELBERGCEMENT Group

## Følgeseddel opplysninger

Flgdsd: **115555** Dato: **22.02.2013 00:32:03** Bl.mester:  
 Resept: **351840 B35 M45 D8 Sprøytebet. FA/sil** Synkmål: **215 mm**  
 K/P: **1000486 - Entreprenerservice AS / 163494 - E39 HARANGSTUNNELEN** Standard: **NS-EN 206-1**  
 Type: **Almindelig resept** Satse: **3** Satsstr: **1,98**  
 Flg m<sup>3</sup>: **6,00/(5,956)** Prod m<sup>3</sup>: **5,95**

## Vekt sats opplysninger

Materiale <small>Material name</small> <small>1. name for reception</small>	Silo	Sats 1					Vanninnhold	Sats 2					Vanninnhold
		Ønsket	Sats korr.	Oppnådd	Afv.kg	FUKT %		Ønsket	Sats korr.	Oppnådd	Afv.kg	FUKT %	
Ramlo søberg 0-8	6	3186		3182	-4	6,50	192,22	3190	4	3176	-14	6,50	191,85
Tilslag total		3186		3182	-0,13			3190		3176	-0,45		
Norcem Standard FA	1	1004,8		1005,7	0,9	0,00		1003,8	-0,9	1003,7	-0,2		0,00
Silica	6	50,0		49,5	-0,4	0,00		50,4	0,4	50,1	-0,3		0,00
Kaldt vann	1	0,00		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
Slamvann	2	72,25		72,16	-0,09	66,03		72,34	0,09	71,79	-0,55		65,69
Varmt vann	3	198,80		199,51	0,71	199,51		198,09	-0,71	198,41	0,33		198,41
Vann total		271,05		271,67	0,23			270,43		270,21	-0,08		
Rescon Dynamon SR-N	4	10,125		10,098	-0,027	8,13		10,152	0,027	10,122	-0,030		8,15
Rescon Dynamon SX-N	8	4,878		4,884	0,006	3,98		4,872	-0,006	4,884	0,012		3,98
Skyllvann													
Ekstra vann				0,0		0,00				0,0			0,00
<b>Total Kg</b>		<b>4527</b>		<b>4524</b>		<b>469,87</b>		<b>4530</b>		<b>4515</b>			<b>468,08</b>

Materiale <small>Material name</small> <small>1. name for reception</small>	Silo	Sats 3					Vanninnhold	Less		
		Ønsket	Sats korr.	Oppnådd	Afv.kg	FUKT %		Ønsket	Oppnådd	Afv.kg
Ramlo søberg 0-8	6	3200	14	3188	-12	6,50	192,59	9558	9546	-12
Tilslag total		3200		3188	-0,39			9558	9546	-0,13
Norcem Standard FA	1	1004,9	0,2	1005,4	0,5	0,00		3014,3	3014,8	0,5
Silica	6	50,3	0,3	48,9	-1,3	0,00		149,9	148,6	-1,3
Kaldt vann	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
Slamvann	2	72,80	0,55	72,65	-0,15	66,47		216,75	216,61	-0,15
Varmt vann	3	196,97	-0,33	197,07	0,10	197,07		594,90	594,99	0,10
Vann total		269,77		269,72	-0,02			811,65	811,60	-0,01
Rescon Dynamon SR-N	4	10,155	0,030	10,147	-0,009	8,17		30,375	30,366	-0,009
Rescon Dynamon SX-N	8	4,866	-0,012	4,872	0,005	3,97		14,634	14,640	0,005
Skyllvann		1,5		1,5		1,50		1,5	1,5	
Ekstra vann				2,0		2,00			2,0	
<b>Total Kg</b>		<b>4542</b>		<b>4531</b>		<b>471,77</b>		<b>13581</b>	<b>13569</b>	

Satsnr.	Utefinerede Kg			
	Tilslag	Pulver	Vand	Kemi
1	-13,43	7,91	0,37	-0,05
2	6,11	10,84	0,85	-0,09
3	-18,32	-4,98	1,22	0,07
Ialt	-25,64	13,77	2,44	-0,06

## Øvrige sats opplysninger

Satsnr.	Blander			
	Efter	Wattmeter	Blander	Temperatur
Ønsket	90,0			31,0
1	355,0	22,0	Blander 2	18,8
2	515,0	19,0	Blander 2	20,9
3	91,0	4,8	21,0 Blander 2	21,0

# ASTM C666

Kjerneprøver, dimensjoner:

L=198mm

D=74mm

Før frysing						
	Vekt [g]	TID [ $\mu$ s] 10 bølger				
H1	1879.97	2140	2140	2140	2140	2140
H2	1891.06	2130	2130	2130	2130	2130
H3	1882.96	2130	2120	2130	2120	2130
H4	1845.13	2070	2060	2060	2060	2060
H5	1886.04	2180	2180	2190	2190	2190

Etter 42 sykler						
	Vekt [g]	TID [ $\mu$ s]			Kommentar	
H1	1901.36	-	-	-	Umulig å få noen tellbare svingninger. Sprekk. Veldig fuktig i forhold til H2-H4. Flere porer også.	
H2	1891.75	2150	2150	2150	10 bølger	
H3	1883.74	2150	2150	2150	10 bølger	
H4	1847.88	2100	2100	2100	10 bølger	
H5	1901.57	1530	1530	1530	5 bølger, ikke flere som var tellbare. Mer porøs denne også og holder seg lengre fuktig.	

Etter 59 sykler						
	Vekt [g]	TID [ $\mu$ s]				Kommentar
H1	-	-	-	-	-	Delt i to
H2	1897.66	2190	2190	2190		10 bølger
H3	1884.51	2140	2140	2140		10 bølger
H4	1849.91	2090	2090	2090		10 bølger
H5	1905.73	1400	1400	1380	1400	3 bølger, ikke flere gode bølger

Etter 100 sykler						
	Vekt [g]	TI D [ $\mu$ s]			Kommentar	
H1	-	-	-	-	Ble tatt ut pga. delt i to forrige gang	
H2	1915.85	1440	1440	1460	3 bølger, oppløsning i bunn	
H3	1897.11	1020	1020	1020	3 bølger, ser hel ut	
H4	1871.04	1680	1680	1760	2 bølger, vanskelig å få noen god respons, oppløsning i bunnen	
H5	1913.33	-	-	-	Ingen gode bølger, tydelig sprekk, tatt ut av prøvesamlingen	



## CEN/TS 12390-9



**Region Øst**  
**Sentrallaboratoriet**

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

### Protokoll for Fryse/tine skap

Oppdragsnr. 6140001-1/2

Pr.nr.	Syklus	Start dato/kl.	Ut dato/kl.	Signatur
1A,1B,1C,1D	1-7døgn	14.02.14 / 09:30	21.02.14 / 08:30	BMG
-----*	7-14døgn	21.02.14 / 09:05	28.02.14 / 08:35	BMG
-----*	14-28døgn	28.02.14 / 08:50	14.03.14 / 08:40	BMG
-----*	28-42døgn	14.03.14 / 09:30	28.03.14 / 08:15	BMG
-----*	42-56døgn	28.03.14 / 09:15	11.04.14 / 08:45	BMG
2A,2B,2C,2D	1-7døgn	14.02.14 / 09:30	21.02.14 / 08:30	BMG
-----*	7-14døgn	21.02.14 / 09:05	28.02.14 / 08:35	BMG
-----*	14-28døgn	28.02.14 / 08:50	14.03.14 / 08:40	BMG
-----*	28-42døgn	14.03.14 / 09:30	28.03.14 / 08:15	BMG
-----*	42-56døgn	28.03.14 / 09:15	11.04.14 / 08:45	BMG

**14.656 Frostbestandighet av herdet betong**

Oppdragsnr. 6140001-1

Utført dato 04.02-15.04.2014

Signatur: BMG

Prøve: Merket H1-1,2,3,4

Resept: Sprøytebetong

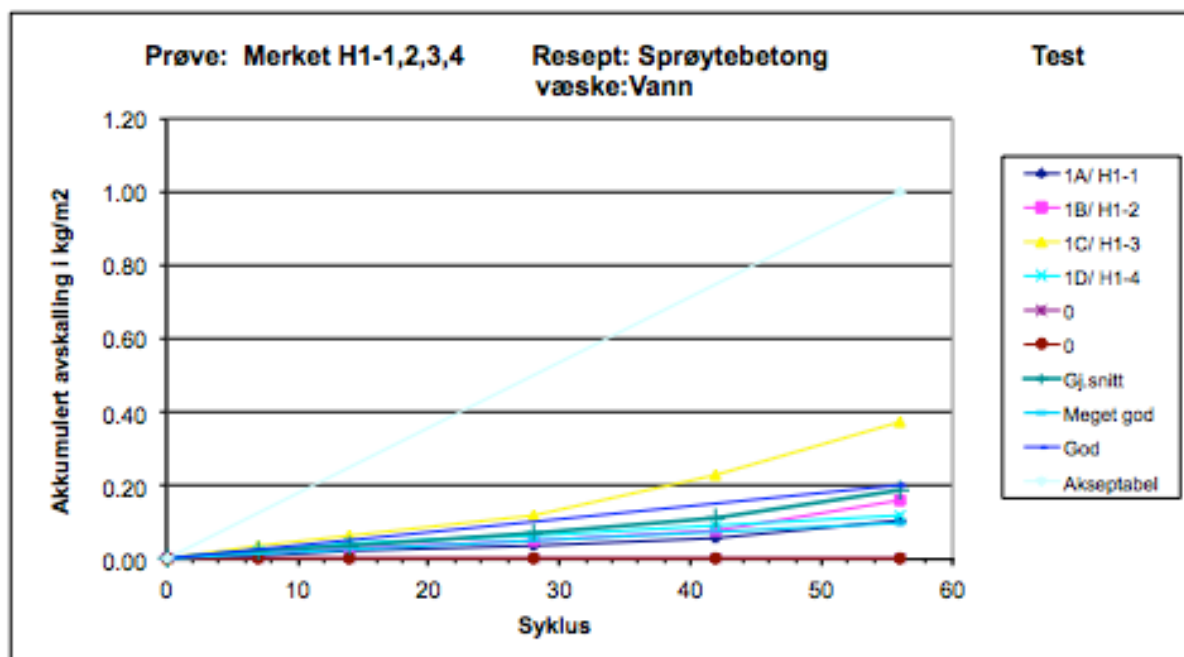
Test væske:Vann

Måleresultater i gram og cm<sup>2</sup>

LAB PR.NR.	1A/ H1-1	1B/ H1-2	1C/ H1-3	1D/ H1-4	0	0	Totalt
AREAL cm <sup>2</sup>	82.5	82.5	82.5	82.5			329.8963
7d.avskalling	0.10	0.12	0.28	0.20			0.7000
14d.avskalling	0.10	0.11	0.23	0.16			0.6000
28d.avskalling	0.13	0.17	0.48	0.19			0.9700
42d.avskalling	0.13	0.25	0.90	0.21			1.4900
56d.avskalling	0.40	0.68	1.19	0.20			2.4700

Akkumulert avskalling i kg/m<sup>2</sup>

Syklus	1A/ H1-1	1B/ H1-2	1C/ H1-3	1D/ H1-4	0	0	Gj.snitt
m <sub>7</sub>	0.012	0.015	0.034	0.024			0.021
m <sub>14</sub>	0.024	0.028	0.062	0.044			0.039
m <sub>28</sub>	0.040	0.049	0.120	0.067			0.069
m <sub>42</sub>	0.056	0.079	0.229	0.092			0.114
m <sub>56</sub>	0.104	0.161	0.373	0.116			0.189



**Måling av høyde og diameter på kjerner, mm**

Oppdragsnr. 6140001-1      Utført dato 04.02.2014      Signatur: BMG,KBK

Prøveopplysninger:      Prøve: Merket H1-1,2,3,4      Resept: Sprøytebetong      Test væske: Vann

LAB.PR.NR.	HØYDE 1	HØYDE 2	HØYDE 3	HØYDE 4	M HØYDE	DIA 1	DIA 2	M DIA	AREAL cm <sup>2</sup>
1A/ H1-1	50.0	50.4	50.0	50.4	50.2	102.5	102.5	102.5	82.47
1B/ H1-2	51.3	51.7	51.2	52.1	51.6	102.5	102.5	102.5	82.47
1C/ H1-3	51.0	50.9	51.1	50.5	50.9	102.5	102.5	102.5	82.47
1D/ H1-4	47.6	48.5	48.1	47.9	48.0	102.5	102.5	102.5	82.47
									82.47

Volum: Areal\*h = 82,47\*0,3 = 24,7ml tilsettes i pr.

**14.656 Frostbestandighet av herdet betong**

Oppdragsnr. 6140001-1      Utført dato: 19.02,21.02,26.02.2014      Signatur BMG

Syklus 1-7

Pr.nr.	Vekt, filterpapir (tørr)	Vekt, filterpapir e / filtrering (tørr)	Vekt av avskalling	Kommentar
1A	2.04	2.14	0.10	
1B	2.05	2.17	0.12	
1C	2.06	2.34	0.28	
1D	2.04	2.24	0.20	

**14.656 Frostbestandighet av herdet betong**

Oppdragsnr. 6140001-1      Utført dato: 19.02,28.02,03.03.2014      Signatur BMG

Syklus 7-14

Pr.nr.	Vekt, filterpapir (tørr)	Vekt, filterpapir e / filtrering (tørr)	Vekt av avskalling	Kommentar
1A	2.05	2.15	0.10	
1B	2.05	2.16	0.11	
1C	2.03	2.26	0.23	
1D	2.02	2.18	0.16	



Statens vegvesen

Region Øst  
Sentrallaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

**14.656 Frostbestandighet av herdet betong**

Oppdragsnr. 6140001-1

Utført dato 19.02,14.03,19.03.2014

Signatur BMG

Syklus 14-28

Pr.nr.	Vekt, filterpapir (tørr)	Vekt, filterpapir e / filtrering (tørr)	Vekt av avskalling	Kommentar
1A	2.04	2.17	0.13	
1B	2.04	2.21	0.17	
1C	2.01	2.49	0.48	
1D	2.00	2.19	0.19	



Statens vegvesen

Region Øst  
Sentrallaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

**14.656 Frostbestandighet av herdet betong**

Oppdragsnr. 6140001-1

Utført dato 19.02,28.03,02.04.2014

Signatur BMG

Syklus 28-42

Pr.nr.	Vekt, filterpapir (tørr)	Vekt, filterpapir e / filtrering (tørr)	Vekt av avskalling	Kommentar
1A	2.08	2.21	0.13	
1B	2.04	2.29	0.25	
1C	2.05	2.95	0.90	
1D	2.02	2.23	0.21	



Statens vegvesen

Region Øst  
Sentrallaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

**14.656 Frostbestandighet av herdet betong**

Oppdragsnr. 6140001-1

Utført dato 19.02,11.04,15.04.2014

Signatur BMG

Syklus 42-56

Pr.nr.	Vekt, filterpapir (tørr)	Vekt, filterpapir e / filtrering (tørr)	Vekt av avskalling	Kommentar
1A	2.03	2.43	0.40	
1B	2.05	2.73	0.68	
1C	2.03	3.22	1.19	Fuktig, ingen løsning igjen
1D	2.04	2.24	0.20	



Statens vegvesen

Region Øst  
Sentrallaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

**14.656 Frostbestandighet av herdet betong**

Oppdragsnr. 6140001-2

Utført dato 04.02-15.04.2014

Signatur: BMG

Prøve: Merket H2-1,2,3,4

Resept: Sprøytebetong

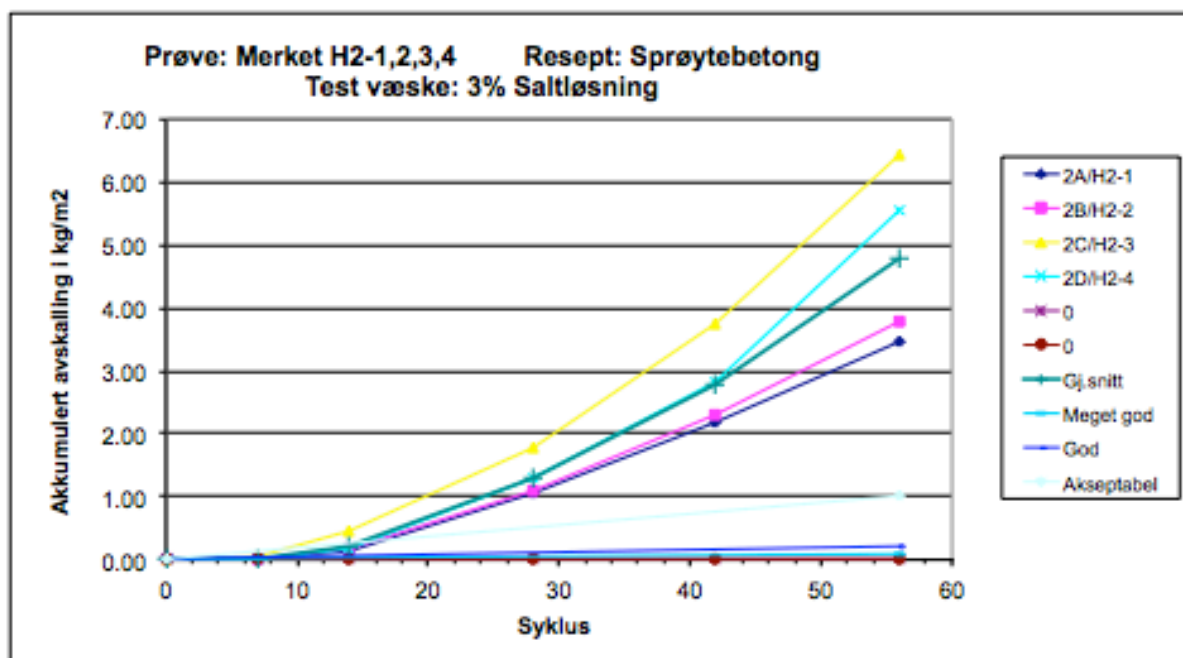
Test væske: 3% Saltløsning

Måleresultater i gram og cm<sup>2</sup>

LAB.PR.NR.	2A/H2-1	2B/H2-2	2C/H2-3	2D/H2-4	0	0	Totalt
AREAL cm <sup>2</sup>	82.5	82.5	82.5	82.5			329.8963
7d.avskalling	0.10	0.11	0.52	0.15			0.8800
14d.avskalling	1.03	1.18	3.16	1.44			6.8100
28d.avskalling	7.71	7.65	11.05	8.97			35.3800
42d.avskalling	9.22	9.97	16.32	12.83			48.3400
56d.avskalling	10.51	12.17	22.00	22.38			67.0600

Akkumulert avskalling i kg/m<sup>2</sup>

Syklus	2A/H2-1	2B/H2-2	2C/H2-3	2D/H2-4	0	0	Gj.snitt
m <sub>0</sub>	0.012	0.013	0.063	0.018			0.027
m <sub>14</sub>	0.137	0.156	0.446	0.193			0.233
m <sub>28</sub>	1.072	1.084	1.786	1.280			1.306
m <sub>42</sub>	2.190	2.293	3.765	2.836			2.771
m <sub>56</sub>	3.464	3.768	6.432	5.550			4.804



**Måling av høyde og diameter på kjerner, mm**

Oppdragsnr. 6140001-2      Utført dato 04.02.2014      Signatur: BMG,KBK

Prøveopplysninger:      Prøve: Merket H2-1,2,3,4      Resept: Sprøytebetong      Test væske: 3% Saltløsning

LAB.PR.NR.	HØYDE 1	HØYDE 2	HØYDE 3	HØYDE 4	M HØYDE	DIA 1	DIA 2	M DIA	AREAL cm <sup>2</sup>
2A/H2-1	50.7	50.3	50.5	50.5	50.5	102.5	102.5	102.5	82.47
2B/H2-2	50.3	50.3	50.3	50.4	50.3	102.5	102.5	102.5	82.47
2C/H2-3	50.4	50.8	50.3	50.9	50.6	102.5	102.5	102.5	82.47
2D/H2-4	50.7	51.2	50.5	51.2	50.9	102.5	102.5	102.5	82.47
									82.47

Volum: Areal\*h = 82,47\*0,3 = 24,7ml tilsettes pr.

**14.656 Frostbestandighet av herdet betong**

Oppdragsnr. 6140001-2      Utført dato 19.02,21.02,26.02.2014      Signatur BMG

Syklus 1-7

Pr.nr.	Vekt, filterpapir (tørr)	Vekt, filterpapir e / filtrering (tørr)	Vekt av avskalling	Kommentar
2A	2.02	2.12	0.10	
2B	1.99	2.10	0.11	
2C	2.02	2.54	0.52	
2D	2.03	2.18	0.15	

**14.656 Frostbestandighet av herdet betong**

Oppdragsnr. 6140001-2      Utført dato 19.02,28.02,03.03.2014      Signatur BMG

Syklus 7-14

Pr.nr.	Vekt, filterpapir (tørr)	Vekt, filterpapir e / filtrering (tørr)	Vekt av avskalling	Kommentar
2A	2.05	3.08	1.03	
2B	2.02	3.20	1.18	
2C	1.99	5.15	3.16	
2D	2.01	3.45	1.44	



Statens vegvesen

Region Øst  
Sentrallaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

**14.656 Frostbestandighet av herdet betong**

Oppdragsnr. 6140001-2

Utført dato 19.02,14.03,19.03.2014

Signatur BMG

Syklus 14-28

Pr.nr.	Vekt, filterpapir (tørr)	Vekt, filterpapir e / filtrering (tørr)	Vekt av avskalling	Kommentar
2A	2.03	9.74	7.71	
2B	2.05	9.70	7.65	
2C	2.03	13.08	11.05	
2D	2.01	10.98	8.97	



Statens vegvesen

Region Øst  
Sentrallaboratoriet

Arbeidsskjema for laboratorieanalyser

**14.656 Frostbestandighet av herdet betong**

Oppdragsnr. 6140001-2

Utført dato 19.02,28.03,02.04.2014

Signatur BMG

Syklus 28-42

Pr.nr.	Vekt, filterpapir (tørr)	Vekt, filterpapir e / filtrering (tørr)	Vekt av avskalling	Kommentar
2A	2.04	11.26	9.22	
2B	2.04	12.01	9.97	
2C	1.99	18.31	16.32	
2D	2.01	14.84	12.83	

**14.656 Frostbestandighet av herdet betong**

Oppdragsnr. 6140001-2

Utført dato 19.02,11.04,15.04.2014

Signatur BMG

Syklus 42-56

Pr.nr.	Vekt, filterpapir (tørr)	Vekt, filterpapir e / filtrering (tørr)	Vekt av avskalling	Kommentar
2A	2.05	12.56	10.51	
2B	2.04	14.21	12.17	
2C	2.01	24.01	22.00	Fuktig, litt løsning igjen
2D	2.00	24.38	22.38	

## Egenutviklet metode, fryse/tine-sykler

### FRYSE/TINE-SYKLER FROST APPARATUR I BORÅSSKAP, SKAP NR. 1, SERIE 1 (H1, H2, H3, H4)

Angi klokkeslett, åpning av skap: bryter slås av, lukking: bryter slås på

Dato	Tining (åpning av skap)	Frysing (lukking av skap)	Merknad, (temp. intervall på term. sensorer)
19.01.14		13:00	Filnavn: Clamp 01-4-75
20.01.14	08:13	21:05	
21.01.14	12:15	18:22	
22.01.14	09:45	15:00	- 8.1 oC kaldeste
23.01.14	08:40	12:50	- 8.0 oC
24.01.14	09:00	17:40	- 8.4 oC
25.01.14	09:15	14:40	- 7.2 oC
26.01.14	10:00	15:50	- 8.1 oC
27.01.14	13:00	17:25	- 8.1 oC
28.01.14	10:30	15:40	- 8.1 oC
29.01.14	10:15	16:45	- 8.4 oC
30.01.14	11:05	16:55	- 7.7 oC
31.01.14	12:04	17:08	- 8.1 oC
01.02.14	12:35	17:30	-8.2 oC
02.02.14	11:38	16:45	-8.2 oC
03.02.14	08:40	14:30	- 7.8 oC (var nede i - 8.4 oC)
04.02.14	10:00	14:00	- 8.0 oC
05.02.14	09:41	14:00	- 8.1 oC
06.02.14	10:05	14:10	-8.3 oC
07.02.14	10:36	16:00	
08.02.14	10:31	15:15	- 7.9 oC
09.02.14	10:05	15:20	- 7.9 oC
10.02.14	11:04	15:15	- 7.8 oC
11.02.14	11:30	15:15	- 8.2 oC
12.02.14	11:05	14:50	- 8.1 oC



## Vedlegg 4B

Dato	Tining (åpning av skap)	Frysing (lukking av skap)	Merknad, (temp. intervall på term. sensorer)
13.02.14	11:07	16:00	- 7.9 oC
14.02.14	10:00	13:30	- 7.8 oC
15.02.14	09:44	15:00	
16.02.14	11:15	16:15	- 8.0 oC
17.02.14	10:50	15:55	-8.2 oC
18.02.14	11:00	16:00	-8.2 oC
19.02.14	10:15	14:30	-8.2 oC
20.02.14	09:00	14:05	-8.2 oC
21.02.14	10:55	14:25	-8.2 oC
22.02.14	10:15	15:45	- 8.7 oC
23.02.14	11:50	16:30	- 7.8 oC
24.02.14	12:15	17:25	- 7.2 oC
25.02.14	11:25	15:45	-8.2 oC
26.02.14	10:35	15:30	-8.2 oC
27.02.14	10:50	14:50	- 8.1 oC
28.02.14	11:25	15:00	- 7.8 oC (- 8.1 Kaldest)
01.03.14	09:25	14:25	- 7.9 oC til - 4.2 oC
02.03.14	09:25	17:00	- 8.0 oC til - 4.3 oC
03.03.14	09:30	14:10	-8.6 oC til - 5.1 oC
04.03.14	09:10	14:45	- 8.0 oC til - 4.7 oC
05.03.14	09:25	14:00	- 8.0 oC til - 4.7 oC
06.03.14	07:10		- 8.0 oC til - 4.7 oC

**FRYSE/TINE-SYKLER FROST APPARATUR I BORÅSSKAP, SKAP NR. 2, SERIE 2 (H5, H6, H7, H8)**

Angi klokkeslett, åpning av skap: bryter slås av, lukking: bryter slås på

Dato	Tining (åpning av skap)	Frysing (lukking av skap)	Merknad (temp. intervall på term. sensorer)
19.02.14		21:40	
20.02.14	09:00	14:05	- 8.2 oC
21.02.14	10:55	14:25	-9.1 oC stilt inn - 18 oC
22.02.14	10:15	15:45	-7.8 oC
23.02.14	11:50	16:30	-8.0 oC
24.02.14	12:15	17:25	-8.0 oC
25.02.14	11:25	15:45	-7.8 oC stilt inn -19 oC
26.02.14	10:35	15:30	-8.6 oC
27.02.14	10:50	14:50	-8.4 oC
28.02.14	11:25	15:00	-8.4 oC synlig fuktkant nr. 5
01.03.14	09:25	14:25	-8.5 oC til -4.8 oC
02.03.14	09:25	17:00	Stopp/error, målestans
03.03.14	09:30	14:10	-7.5 oC til -4.2 oC
04.03.14	09:10	14:45	-7.9 oC til -4.4 oC
05.03.14	09:25	14:00	-8.0 oC til -4.5 oC
06.03.14	07:10	14:00	-8.0 oC til -4.5 oC
07.03.14	10:43	16:40	-7.9 oC til -4.4 oC
08.03.14	12:20	17:55	-8.0 oC til -4.5 oC
09.03.14	11:30	15:50	-8.0 oC til -4.5 oC
10.03.14	11:30	17:10	-7.9 oC til -4.4 oC
11.03.14	11:15	15:58	-8.0 oC til -4.5 oC
12.03.14	11:00	15:54	-8.1 oC til -4.5 oC
13.03.14	12:00	17:45	-7.9 oC til -4.4 oC
14.03.14	10:59	15:13	-8.0 oC til -4.4 oC
15.03.14	08:30		-8.0 oC til -4.4 oC

**FRYSE/TINE-SYKLER FROST APPARATUR I BORÅSSKAP, SKAP NR. 1, SERIE 1 (H9, H10, H11, H12)**

Angi klokkeslett, åpning av skap: bryter slås av, lukking: bryter slås på

Dato	Tining (åpning av skap)	Frysing (lukking av skap)	Merknad, (temp. intervall på term. sensorer)
06.03.14		12:05	20mm vannstand i alle bad
07.03.14	10:42	16:35	-8.0oC til -4.7oC
08.03.14	12:20	17:55	-8.2oC til -4.9oC
09.03.14	11:30	15:50	-8.2oC til -4.9oC
10.03.14	11:30	17:10	-8.2oC til -5.0oC
11.03.14	11:13	15:57	-8.2oC til -4.9oC
12.03.14	11:00	15:54	-8.0oC til -4.9oC
13.03.14	12:00	17:45	-7.9oC til -4.7oC
14.03.14	10:58	15:13	-7.9oC til -4.7oC
15.03.14	08:30	13:50	-7.8oC til -4.8oC
16.03.14	09:30	13:30	-7.9oC til -4.6oC
17.03.14	11:17	16:24	-8.8oC til -5.4oC
18.03.14	11:54	17:33	-8.9oC til -5.2oC
19.03.14	09:26	15:30	-9.2oC til -5.5oC
20.03.14	10:56	15:38	-8.8oC til -5.2oC
21.03.14	10:30	16:23	-9.0oC til -5.3oC
22.03.14	12:19	17:04	-9.1oC til -5.4oC
23.03.14	14:05	19:21	-9.0oC til -5.3oC
24.03.14	09:10	14:10	-8.8oC til -5.1oC
25.03.14	09:49	13:30	-8.9oC til -5.2oC
26.03.14	10:06	14:51	-8.5oC til -5.1oC
27.03.14	09:52	15:30	-8.4oC til -4.8oC
28.03.14	10:15	16:15	-8.6oC til -4.9oC
29.03.14	09:25	16:24	-8.9oC til -5.1oC
30.03.14	09:45	16:56	-8.6oC til -5.2oC (sommertid) Ta ut to stk. (H11 og H12 10mm)
31.03.14	09:48	16:28	-7.6oC til -4.4oC
01.04.14	12:00	16:00	-7.4oC til -4.4oC
02.04.14	09:05	16:29	-7.8oC til -4.6oC
03.04.14	10:36	16:36	-7.7oC til -4.6oC

## Vedlegg 4E

Dato	Tining (åpning av skap)	Frysing (lukking av skap)	Merknad, (temp. intervall på term. sensorer)
04.04.14	10:57	14:15	-7.2oC til -4.4oC
05.04.14	09:55	16:03	-7.6oC til -4.4oC
06.04.14	10:17	15:39	-7.6oC til -4.4oC
07.04.14	10:02	15:00	-7.7oC til -4.4oC
08.04.14	08:50	14:23	-7.7oC til -4.4oC
09.04.14	09:30	16:30	-7.8oC til -4.5oC
10.04.14	09:30	14:18	-6.7oC til -3.7oC
11.04.14	09:10	14:00	-7.1oC til -4.0oC
12.04.14	08:10	14:10	-7.6oC til -4.3oC
13.04.14	05:55	13:22	-7.2oC til -4.1oC
14.04.14	11:05	15:50	-7.6oC til -4.4oC
15.04.14	10:30	15:45	-7.8oC til -4.5oC
16.04.14	10:15	15:30	-7.6oC til -4.5oC
17.04.14	09:35	14:30	-7.7oC til -4.6oC
18.04.14	10:10	15:55	-7.6oC til -4.3oC
19.04.14	11:10	15:55	-7.6oC til -4.3oC
20.04.14	10:40	15:20	-7.7oC til -4.4oC
21.04.14	10:45	15:45	-7.7oC til -4.4oC (H11 9mm, H12 10mm)
22.04.14	09:15	14:50	-9.6oC til -5.9oC
23.04.14	09:20	14:50	-8.2oC til -5.0oC
24.04.14	09:45	15:40	-7.8oC til -4.8oC
25.04.14	09:30	14:30	-7.7oC til -4.7oC
26.04.14			
27.04.14			
28.04.14	09:20	14:15	-8.0oC til -4.8oC
29.04.14	09:49	14:37	-7.8oC til -4.6oC
30.04.14	07:30		-7.7oC til -4.5oC

## Egenutviklet metode, egenfrekvensmålinger på disker

14.03.14:  
Etter 50 fryse/tine-syklus

5 svingninger

Ref. S	115
	115
	114
Ref. A	113
	110
	111

H1-1	316
	320
	320
H2-1	346
	344
	348
	346
H3-1	334
	338
	318
	320
	324
	324
	324
H4-1	332
	334
	324
	324
	322

H1-3	334
	334
	320
	314
	314
H2-3	336
	340
	352
	338
	322
H3-3	320
	344
	360
	350
	360
H4-3	354
	328
	328
	326

H1-2	300
	292
	316
	328
	316
	328
	316
	318
H2-2	350
	348
	350
H3-2	314
	322
	320
	320
H4-2	336
	336
	330

H1-4	328
	410
	402
	404
	398
H2-4	334
	336
	332
H3-4	346
	346
	352
H4-4	318
	318
	324

H1-5	316
	318
	320
H2-5	338
	340
	348
	342
	342
H3-5	356
	334
	330
	334
H4-5	318
	322
	316
	316

H1-7	336
	346
	322
	320
	214
H2-7	304
	336
	336
H3-7	334
	280
	286
H4-7	282
	330
	326
	328

H1-6	322
	318
	318
H2-6	318
	326
	318
	318
H3-6	326
	326
	322
H4-6	314
	310
	324
	324
	326

24.03.14:  
Etter 24 fryse/tine-sykler

5 svingninger

Ref. S
114
114
115

H5-1	338
	342
	338
H6-1	312
	336
	330
	324
H7-1	332
	320
	330
	324
H8-1	332
	306
	326
	342
	356
	318
	320
	324
312	

H5-2	336
	332
	338
H6-2	328
	330
H7-2	330
	332
	342
H8-2	336
	284
	354
	320
	318
326	

H5-3	354
	334
	320
	332
H6-3	330
	334
	346
	348
H7-3	324
	318
	316
	332
H8-3	340
	316
	332
	326
H8-3	314
	318
	318

H5-4	332
	310
	334
	332
H6-4	338
	322
	328
H7-4	326
	334
	344
	312
H8-4	348
	326
	298
	326
	424
H8-4	320
	320
	320
	326

H5-5	336
	336
	324
	328
	326
H6-5	334
	430
	430
	430
	318
	436
H7-5	358
	346
	350
	332
	310
	304
	328
	320
H8-5	352
	350
	352

H5-6	324
	350
	340
	346
	342
H6-6	316
	326
	308
	308
	312
H7-6	354
	432
	360
	346
	346
H8-6	334
	312
	312
	334
	348
	352
	346

H5-7	312
	328
	328
	330
H6-7	432
	414
	352
	324
	326
	312
	320
H7-7	330
	318
	326
	352
H8-7	344
	336
	324
	338
	436
H8-7	356
	350
	348
	356



## PF-metoden

### Gevingåstunnelen

Prøve mrk GA\_20

DATO: 28.02.2014

Prøve mrk.						
Prøvestykkets avstand fra begge sider av membran [mm]	120-180	80-120	40-80	0-40	0-40M	40-80M
	Innenfor membran			Utenfor membran		
Vekt ved start [g]	262.93	260.38	143.94	187.78	193.71	197.93
Vekt etter 7 døgn metning under vann [g]	262.96	260.76	144.18	187.95	194.94	200.24
Neddynket vekt etter 7 døgn metning under vann [g]	152.30	148.20	78.90	103.20	105.00	111.20
Vekt etter 7døgn 105oC [g]	242.41	237.69	128.38	169.33	172.20	184.00
Vekt etter 7 døgn vannmetn. etter 105oC tørk [g]	261.77	259.91	144.09	187.65	194.46	200.97
Vekt etter 3 døgn under trykk [g]	264.93	263.91	147.23	191.40	198.72	205.07
Vekt 7 døgn tørk 105oC [g]	242.75	238.05	128.62	169.55	172.59	184.41
Prøvestykkenes volum V [m <sup>3</sup> ]	0.000111	0.000113	0.000065	0.000085	0.000090	0.000089
Kapillærporøsitet %	17.50	19.74	24.07	21.62	24.75	19.06
Makroporøsitet %	2.86	3.55	4.81	4.42	4.74	4.60
Total porøsitet	20.35	23.29	28.88	26.04	29.49	23.66
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]						
Fuktinnhold ved ankomst [g]	20.52	22.69	15.56	18.45	21.51	13.93
Kapillær metningsgrad %	99.85	98.35	98.48	99.09	94.59	85.78
PF	0.14	0.15	0.17	0.17	0.16	0.19
Kontrollveieing etter tørking 7 døgn, 105oC	242.75	238.05	128.62	169.55	172.59	184.41

Gevingåstunnelen

Prøve mrk GA\_21

DATO: 28.02.2014

Prøve mrk.						
Prøvestykkets avstand fra begge sider av membran [mm]	120-150	80-120	40-80	0-40	0-40M	40-80M
	Innenfor membran				Utenfor membran	
Vekt ved start [g]	173.78	230.60	170.43	213.39	205.85	165.86
Vekt etter 7 døgn metning under vann [g]	173.93	231.18	170.87	214.10	206.85	167.86
Neddynket vekt etter 7 døgn metning under vann [g]	99.10	130.70	94.00	118.10	112.80	93.40
Vekt etter 7døgn 105oC [g]	158.03	210.37	153.29	193.28	186.26	153.27
Vekt etter 7 døgn vannmetn. etter 105oC tørk [g]	172.99	230.53	170.58	213.25	207.09	168.12
Vekt etter 3 døgn under trykk [g]	174.99	234.09	174.32	217.87	211.66	171.41
Vekt 7 døgn tørk 105oC [g]	158.23	210.61	153.45	193.38	186.62	153.56
Prøvestykkenes volum V [m <sup>3</sup> ]	0.000075	0.000100	0.000077	0.000096	0.000094	0.000074
Kapillærporøsitet %	19.99	20.06	22.49	20.80	22.15	19.94
Makroporøsitet %	2.67	3.54	4.87	4.81	4.86	4.42
Total porøsitet	22.66	23.61	27.36	25.61	27.01	24.36
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]						
Fukttinnhold ved ankomst [g]	15.75	20.23	17.14	20.11	19.59	12.59
Kapillær metningsgrad %	99.06	97.21	97.50	96.59	95.14	86.29
PF	0.12	0.15	0.18	0.19	0.18	0.18
Kontrollveieing etter tørking 7 døgn, 105oC	158.23	210.61	153.45	193.38	186.62	153.56

Gevingåstunnelen

Prøve mrk GA\_22

DATO: 28.02.2014

Prøve mrk.						
Prøvestykkets avstand fra begge sider av membran [mm]	160-190	120-160	80-120	40-80	0-40	0-50M
	Innenfor membran					Utenfor membran
Vekt ved start [g]	190.09	242.89	237.21	134.30	184.64	226.68
Vekt etter 7 døgn metning under vann [g]	190.43	243.51	237.95	134.85	185.48	228.90
Neddynket vekt etter 7 døgn metning under vann [g]	109.30	139.30	135.50	74.20	102.20	123.90
Vekt etter 7døgn 105oC [g]	175.76	224.68	218.77	120.89	168.03	206.98
Vekt etter 7 døgn vannmetn. etter 105oC tørk [g]	189.83	242.75	237.45	134.75	184.99	229.87
Vekt etter 3 døgn under trykk [g]	192.80	246.56	241.20	137.40	189.10	235.45
Vekt 7 døgn tørk 105oC [g]	175.92	224.93	219.04	121.03	168.21	207.37
Prøvestykkenes volum V [m <sup>3</sup> ]	0.000081	0.000104	0.000102	0.000061	0.000083	0.000105
Kapillærporøsitet %	17.34	17.34	18.23	22.85	20.37	21.80
Makroporøsitet %	3.66	3.66	3.66	4.37	4.94	5.31
Total porøsitet	21.00	21.00	21.89	27.22	25.30	27.11
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]						
Fuktinnhold ved ankomst [g]	14.33	18.21	18.44	13.41	16.61	19.70
Kapillær metningsgrad %	97.68	96.71	96.14	96.06	95.19	89.87
PF	0.17	0.17	0.17	0.16	0.20	0.20
Kontrollveieing etter tørking 7 døgn, 105oC	175.92	224.93	219.04	121.03	168.21	207.37

## Gevingåstunnelen

Prøve mrk  
GA\_25

DATO: 04.04.2014

Prøve mrk.								
	160-190	120-160	80-120	40-80	0-40 *(m)	0-30M	30-70M	70-100M
Prøvestykkets avstand fra begge sider av membran [mm]	Innenfor membran					Utenfor membran		
Vekt ved start [g]	110.90	180.39	177.02	132.72	169.47	111.04	188.88	122.85
Vekt etter 7 døgn metning under vann [g]	111.90	180.71	177.64	133.16	170.55	111.89	189.82	123.94
Neddynket vekt etter 7 døgn metning under vann [g]	60.70	100.10	98.30	74.50	92.20	61.10	104.90	68.80
Vekt etter 7døgn 105oC [g]	97.99	162.32	160.94	122.39	154.03	101.29	175.17	114.30
Vekt etter 7 døgn vannmetn. etter 105oC tørk [g]	110.49	179.98	176.90	133.03	170.67	112.13	190.80	124.78
Vekt etter 3 døgn under trykk [g]	112.49	183.56	180.79	135.95	175.44	114.66	195.58	127.29
Vekt 7 døgn tørk 105oC [g], kontroll	98.21	162.56	161.15	122.56	154.23	101.51	175.45	114.49
Prøvestykkenes volum V [m <sup>3</sup> ]	0.000051	0.000081	0.000079	0.000059	0.000078	0.000051	0.000085	0.000055
Kapillærporøsitet %	27.17	22.81	21.05	18.36	21.08	20.87	17.25	17.48
Makroporøsitet %	3.91	4.44	4.90	4.98	6.09	4.98	5.63	4.55
Total porøsitet	31.07	27.25	25.95	23.34	27.17	25.85	22.88	22.03
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]								
Fukttinnhold ved ankomst [g]	12.91	18.07	16.08	10.33	15.44	9.75	13.71	8.55
Kapillær metningsgrad %	92.81	98.26	96.29	95.91	93.46	91.98	93.58	88.69
PF	0.13	0.16	0.19	0.21	0.22	0.19	0.25	0.21
Kontrollveiing etter tørking 7 døgn, 105oC	98.21	162.56	161.15	122.56	154.23	101.51	175.45	114.49

Gevingåstunnelen

Prøve mrk. GA\_26 DATO: 04.04.2014

Prøve mrk.							
Prøvestykkets avstand fra begge sider av membran [mm]	120-160	80-120	40-80	0-40	0-30M	30-70M	70-100M
	Innenfor membran				Utenfor membran		
Vekt ved start [g]	167.80	187.41	149.65	132.32	119.73	190.32	105.16
Vekt etter 7 døgn metning under vann [g]	168.22	187.77	150.18	133.91	121.12	191.34	106.38
Neddynket vekt etter 7 døgn metning under vann [g]	92.10	104.60	82.10	72.40	66.30	106.10	59.20
Vekt etter 7døgn 105oC [g]	148.49	169.77	134.15	120.19	109.29	177.41	98.08
Vekt etter 7 døgn vannmetn. etter 105oC tørk [g]	167.29	187.10	149.94	133.82	121.41	192.35	107.05
Vekt etter 3 døgn under trykk [g]	170.59	190.74	153.27	136.97	123.91	192.16	109.02
Vekt 7 døgn tørk 105oC [g]	148.72	169.88	134.41	120.30	109.47	177.56	98.19
Prøvestykkenes volum V [m <sup>3</sup> ]	0.000076	0.000083	0.000068	0.000062	0.000055	0.000085	0.000047
Kapillærporøsitet %	25.92	21.64	23.55	22.31	21.58	16.34	17.59
Makroporøsitet %	4.34	4.38	4.89	5.12	4.56	-0.22	4.18
Total porøsitet	30.25	26.02	28.44	27.43	26.14	16.12	21.77
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]							
Fukttinnhold ved ankomst [g]	19.31	17.64	15.50	12.13	10.44	12.91	7.08
Kapillær metningsgrad %	97.87	98.00	96.69	88.41	88.25	92.68	85.30
PF	0.14	0.17	0.17	0.19	0.17	-0.01	0.19
Kontrollveiting etter tørking 7 døgn, 105oC	148.72	169.88	134.41	120.30	109.47	177.56	98.19

Gevingåstunnelen

Prøve mrk  
GA\_27

DATO: 04.04.14

Prøve mrk.								
Prøvestykkets avstand fra begge sider av membran [mm]	160-190	120-160	100-115	40-100	0-40	0-30M	30-70M	70-100M
	Innenfor membran				Utenfor membran			
Vekt ved start [g]	113.20	204.55	Feil	242.48	152.35	121.04	171.78	118.49
Vekt etter 7 døgn metning under vann [g]	113.43	205.06		243.03	153.68	122.11	172.75	120.02
Neddynket vekt etter 7 døgn metning under vann [g]	63.20	114.00		134.10	83.10	66.20	95.90	66.90
Vekt etter 7døgn 105oC [g]	101.55	184.81		220.38	138.33	110.04	159.74	110.45
Vekt etter 7 døgn vannmetn. etter 105oC tørk [g]	112.88	204.08		242.36	153.52	122.29	173.49	120.53
Vekt etter 3 døgn under trykk [g]	114.83	208.25		248.00	157.40	125.11	177.56	122.79
Vekt 7 døgn tørk 105oC [g], kontroll	101.73	185.04		220.65	138.52	110.24	159.92	110.61
Prøvestykkenes volum V [m <sup>3</sup> ]	0.000050	0.000091		0.000109	0.000071	0.000056	0.000077	0.000053
Kapillærporøsitet %	23.65	22.24		20.79	21.75	21.59	16.93	18.98
Makroporøsitet %	3.88	4.58		5.18	5.50	5.04	5.30	4.25
Total porøsitet	27.53	26.82		25.97	27.25	26.63	22.23	23.23
Densitet[kg/m <sup>3</sup> ]								
Fuktinnhold ved ankomst [g]	11.65	19.74		22.10	14.02	11.00	12.04	8.04
Kapillær metningsgrad %	98.06	97.48		97.57	91.34	91.14	92.54	84.01
PF	0.14	0.17		0.20	0.20	0.19	0.24	0.18
Kontrollveiing etter tørking 7 døgn, 105oC	101.73	185.04		220.65	138.52	110.24	159.92	110.61

Harangstunnelen

Prøve Referanse  
H\_R1

TID i fryseskap: Ingen  
Lagret under vann 1.12.2013 - 29.3.2014

Prøve mrk.						
Prøvestykket navn (1=fryseside)	H_R1_11	H_R1_12	H_R1_2	H_R1_3	H_R1_4	H_R1_5
Vekt ved start [g]	53.67	181.47	194.89	222.62	289.82	205.22
Vekt etter 7 døgn metning under vann [g]	53.60	181.80	195.60	223.50	290.40	205.40
Neddynket vekt etter 7 døgn metning under vann [g]	30.00	101.00	109.00	123.80	158.70	113.00
Vekt etter 7døgn 105oC [g]	48.69	166.34	178.90	203.72	262.72	185.44
Vekt etter 7 døgn vannmetn. etter 105oC tørk [g]	53.60	182.49	196.34	224.23	291.92	205.81
Vekt etter 3 døgn under trykk [g]	54.60	185.87	200.15	228.66	297.91	209.84
Vekt 7 døgn tørk 105oC [g]	48.62	166.13	178.72	203.50	262.21	185.11
Prøvestykkenes volum V [m <sup>3</sup> ]	0.000024	0.000081	0.000087	0.000100	0.000132	0.000092
Kapillærporøsitet %	20.81	19.13	19.28	19.84	21.02	21.60
Makroporøsitet %	4.24	4.18	4.40	4.44	4.55	4.36
Total porøsitet	25.04	23.32	23.68	24.28	25.57	25.96
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]						
Fukttinnhold ved ankomst [g]	4.98	15.13	15.99	18.90	27.10	19.78
Kapillær metningsgrad %	101.43	97.87	95.75	95.55	97.90	99.10
PF	0.17	0.18	0.19	0.18	0.18	0.17
Kontrollveing etter tørking 7 døgn, 105oC						

Harangstunnelen

## Prøve H9

Vannlagret:  
18.2.2013- 4.3.2014

Frostbelastning: 24 fryse/tinesykler

Prøve mrk.							
Prøvestykket navn (1=fryseside)	H9 1	H9 2	H9 31	H9 4	H9 5	H9 6	H9 7
Vekt ved start [g]	190.35	249.05	65.72	373.32	160.75	204.72	371.23
Vekt etter 7 døgn metning under vann [g]	191.12	250.20	66.50	374.70	162.10	206.00	373.60
Neddynket vekt etter 7 døgn metning under vann [g]	106.00	137.00	37.30	209.90	89.10	112.90	202.50
Vekt etter 7døgn 105oC [g]	176.40	228.37	61.01	346.93	147.45	186.71	340.44
Vekt etter 7 døgn vanmetn. etter 105oC tørk [g]	192.65	251.82	66.61	376.81	162.56	206.90	376.42
Vekt etter 3 døgn under trykk [g]	197.01	257.49	67.82	384.49	166.22	219.14	385.38
Vekt 7 døgn tørk 105oC [g]	176.18	228.01	60.90	346.33	147.30	186.36	339.65
Prøvestykkenes volum V [m <sup>3</sup> ]	0.000085	0.000113	0.000029	0.000165	0.000073	0.000093	0.000171
Kapillærporøsitet %	17.29	19.28	18.80	16.85	20.07	20.72	19.38
Makroporøsitet %	5.12	5.01	4.14	4.66	5.01	13.15	5.24
Total porøsitet	22.41	24.29	22.95	21.51	25.08	33.87	24.62
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]							
Fukttinnhold ved ankomst [g]	13.95	20.68	4.71	26.39	13.30	18.01	30.79
Kapillær metningsgrad %	94.79	94.73	85.79	95.03	90.78	93.36	92.85
PF	0.23	0.21	0.18	0.22	0.20	0.39	0.21
Kontrollveieing etter tørring 7 døgn, 105oC							



Harangstunnelen

## Prøve H10

Vannlagret: Frostbelastning: 24 fryse/tinesykler  
18.2.2013- 4.3.2014

Prøve mrk.							
Prøvestykket navn (1=fryseside)	H10_1	H10_2	H10_3	H10_4	H10_5	H10_6	H10_7
Vekt ved start [g]	162.34	235.13	275.87	254.65	163.18	259.40	335.64
Vekt etter 7 døgn metning under vann [g]	163.30	236.70	277.20	255.90	164.80	261.10	337.10
Neddynket vekt etter 7 døgn metning under vann [g]	92.00	131.70	152.70	141.80	91.20	143.90	187.60
Vekt etter 7døgn 105oC [g]	151.28	218.03	255.47	235.35	150.39	238.62	311.36
Vekt etter 7 døgn vannmetn. etter 105oC tørk [g]	163.87	238.45	279.19	257.51	165.43	262.91	339.69
Vekt etter 3 døgn under trykk [g]	167.02	243.04	285.44	262.86	168.73	268.10	346.28
Vekt 7 døgn tørk 105oC [g]	151.12	217.70	255.14	234.91	150.17	238.24	310.82
Prøvestykkenes volum V [m <sup>3</sup> ]	0.000071	0.000105	0.000125	0.000114	0.000074	0.000117	0.000150
Kapillærporøsitet %	16.86	17.78	17.45	18.01	19.58	19.18	17.22
Makroporøsitet %	4.42	4.37	5.02	4.69	4.48	4.43	4.41
Total porøsitet	21.28	22.15	22.47	22.70	24.06	23.61	21.63
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]							
Fukttinnhold ved ankomst [g]	11.06	17.10	20.40	19.30	12.79	20.78	24.28
Kapillær metningsgrad %	92.01	91.59	93.88	93.92	88.76	92.44	94.33
PF	0.21	0.20	0.22	0.21	0.19	0.19	0.20
Kontrollveing etter tørking 7 døgn, 105oC							

Harangstunnelen

Prøve H11  
Lagret under vann  
18.2. - 4.3. 2014

Frosteksponering: 4.3. - 30.4.2014, syklisk  
frysing/tining , 1 komplett syklus per døgn

Prøve mrk.						
Prøvestykket navn (1=fryseside)	H11_1, 0-20mm	H11_2, 20-60mm	H11_3, 60-100mm	H11_4, 100-150	H11_5	H11_6
Vekt ved start [g]	171.76	243.79	368.07	355.80	180.34	326.12
Vekt etter 7 døgn metning under vann [g]	173.40	245.51	369.68	357.59	182.16	328.48
Neddynket vekt etter 7 døgn metning under vann [g]	96.70	135.80	203.90	197.30	98.20	179.10
Vekt etter 7døgn 105oC [g]	158.44	223.25	336.34	324.69	160.68	295.63
Vekt etter 7 døgn vannmetn. etter 105oC tørk [g]	174.48	246.64	371.72	359.19	183.37	329.82
Vekt etter 3 døgn under trykk [g]	177.77	252.02	380.31	367.09	187.48	338.14
Vekt 7 døgn tørk 105oC [g], kontroll						
Prøvestykkenes volum V [m <sup>3</sup> ]	0.000077	0.000110	0.000166	0.000160	0.000084	0.000149
Kapillærporøsitet %	19.50	20.29	20.11	20.53	25.58	21.99
Makroporøsitet %	4.29	4.90	5.18	4.93	4.90	5.57
Total porøsitet	23.79	25.19	25.29	25.45	30.48	27.56
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]						
Fukttinnhold ved ankomst [g]	13.32	20.54	31.73	31.11	19.66	30.49
Kapillær metningsgrad %	89.04	92.27	95.17	94.56	91.53	92.82
PF	0.18	0.19	0.20	0.19	0.16	0.20

## Harangstunnelen

Frosteksponering: 4.3. - 30.4.2014, syklisk  
frysing/tining , 1 komplett syklus per døgn

Prøve H12  
Lagret under vann  
18.2. - 4.3. 2014

Prøve mrk.							
Prøvestykket navn (1=fryseside)	H12_1, 0- 20mm	H12_2, 0-50mm	H12_3, 50- 75mm	H12_4, 75- 100mm	H12_5, 100- 125mm	H12_6, 125- 160mm	H12_7, 160- 180mm
Vekt ved start [g]	102.28	275.79	200.15	236.20	339.16	359.03	146.02
Vekt etter 7 døgn metning under vann [g]	103.13	277.46	201.76	237.98	341.26	361.86	147.83
Neddynket vekt etter 7 døgn metning under vann [g]	58.50	154.70	112.30	131.70	188.10	200.80	79.50
Vekt etter 7døgn 105oC [g]	95.42	256.15	185.43	216.91	311.27	332.10	131.60
Vekt etter 7 døgn vannmetn. etter 105oC tørk [g]	103.45	279.29	203.14	239.51	343.73	364.47	148.19
Vekt etter 3 døgn under trykk [g]	105.24	285.02	207.15	244.53	351.14	372.35	152.24
Vekt 7 døgn tørk 105oC [g], kontroll							
Prøvestykkenes volum V [m <sup>3</sup> ]	0.000045	0.000123	0.000089	0.000106	0.000153	0.000161	0.000068
Kapillærporøsitet %	17.28	17.36	18.25	19.82	19.58	18.48	23.75
Makroporøsitet %	4.01	4.67	4.48	4.72	4.84	4.89	5.93
Total porøsitet	21.29	22.03	22.74	24.55	24.42	23.37	29.68
Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]							
Fukttinnhold ved ankomst [g]	6.86	19.64	14.72	19.29	27.89	26.93	14.42
Kapillær metningsgrad %	88.98	92.16	90.14	91.55	93.00	90.49	88.85
PF	0.19	0.21	0.20	0.19	0.20	0.21	0.20

## Kapillærabsorpsjon

CAPILLARY ABSORPTION TEST		Sample history:		Pre-conditioning before testing:											
Recording of weight change		Batched/sprayed: 22. Februar 2013		Drying of samples start: 21. March 2014		Cured in-situ in tunnel lining: 22.feb - 03.aug 2013		Drying of samples end: 24. March 2014		Temperature during drying: 105 oC		Time START: 09:50			
Sample Series: HR3, Harangstunnelen		Core drilled: 3. August 2013		Stored: 22 oC RH 55%,		Freezing exposure: 50 cycles in small scale apparatus for unilateral moistureexposure and opposite unilateral freezing exposure									
		WEIGHT [g] AT TIME													
SPECIMEN ID	Start	10 min	30 min	1 hr	2 hr	4 hr	6 hr	1 day	2 day	3 day	4 day	7 day submerged	7 day "dry"	Trykkmåling	
H1_1	186.50	188.01	188.81	189.60	190.79	192.43	193.73	199.76	201.06	201.26	201.41	113.8	201.81	205.25	
H2_1	183.20	184.46	185.24	186.13	187.39	189.14	190.54	197.10	198.46	198.62	198.78	111.3	199.57	202.89	
H3_1	186.59	187.86	188.74	189.67	190.96	192.68	194.04	199.98	201.27	201.51	201.68	114.3	202.27	205.87	
H4_1	181.96	183.18	184.07	185.08	186.55	188.56	190.11	197.06	198.28	198.51	198.71	110.7	199.11	202.83	
H1_2	189.14	190.72	191.57	192.43	193.63	195.31	196.63	202.72	203.79	204.00	204.14	115.9	204.54	208.54	
H2_2	177.10	178.85	179.82	180.80	182.13	184.08	185.67	193.16	194.44	194.63	194.82	108.7	195.27	199.28	
H3_2	183.78	185.50	186.42	187.37	188.68	190.54	192.00	198.65	199.58	199.79	199.96	112.9	200.42	204.51	
H4_2	182.44	184.21	185.14	186.11	187.44	189.35	190.85	197.99	198.96	199.12	199.30	112.8	199.60	203.23	
H1_3	190.93	192.34	193.07	193.90	194.97	196.47	197.67	203.49	205.11	205.31	205.43	118	205.88	209.81	
H2_3	179.98	182.09	183.11	184.16	185.61	187.56	189.11	195.89	196.66	196.80	197.02	111.3	197.57	201.32	
H3_3	182.64	184.25	185.14	186.00	187.27	188.99	190.34	196.97	198.91	199.10	199.30	112.5	199.73	203.46	
H4_3	177.44	179.51	180.60	181.76	183.45	185.76	187.61	194.87	195.47	195.68	195.92	109.1	196.42	200.52	



CAPILLARY ABSORPTION TEST		Sample history:		Pre-conditioning before testing:										
Recording of weight change		Batched/sprayed	22. Februar 2013	Drying of samples start:	21. March 2014									
Sample Series:		Cured in-situ in tunnel lining	22.feb - 03.aug 2013	Drying of samples end:	24. March 2014									
HR3, Harangstunnelen		Core drilled	3. August 2013	Temperature during drying	105 oC									
		Stored:	22 oC RH 55%,	Time START: Following H4_6 immediately,										
		Freezing exposure: 50 cycles in small scale apparatus for unilateral moisture exposure and opposite unilateral freezing exposure												
		WEIGHT [g] AT TIME												
SPECIMEN ID	Start	10 min	30 min	1 hr	2 hr	4 hr	6 hr	1 day	2 day	3 day	4 day	7 day submerged	7 day "dry"	Trykkmeining
H1_7	178.87	180.97	182.15	183.18	184.68	186.62	188.06	194.33	194.90	195.07	195.19	108.7	195.78	199.63
H2_7	176.68	178.92	180.20	181.35	183.03	185.30	187.01	193.83	194.43	194.62	194.83	107.2	195.51	199.36
H3_7	177.91	179.89	181.13	182.22	183.93	186.34	188.20	195.55	196.01	196.20	196.37	108.3	197.11	201.26
H4_7	179.87	182.08	183.32	184.43	186.08	188.29	189.98	197.10	197.72	197.83	198.01	109.6	198.86	202.55

CAPILLARY ABSORPTION TEST		Sample history:		Pre-conditioning before testing:											
Recording of weight change		Batched/sprayed:		22. Februar 2013		24. March 2014		Drying of samples start:		27. March 2014		Drying of samples end:		105 oC	
Sample Series:		Cured in-situ in tunnel lining:		22.feb - 03.aug 2013		27. March 2014		Temperature during drying:		105 oC		Time START: 16:20			
HR3, Harangstunnellen		Core drilled:		3. August 2013											
		Stored:		22 oC RH 55%											
		Freezing exposure: 24 cycles in small scale apparatus for unilateral moisture exposure and opposite unilateral freezing exposure													
		WEIGHT [g] AT TIME													
SPECIMEN ID	Start	13 min	30 min	1 hr	2 hr	3hr	4 hr	6 hr	1 day	2 day	3 day	4 day	7 day submerged	7 day "dry"	Trykkmåetning
H5_1	177.73	179.80	180.74	181.77	183.07	184.01	184.76	186.04	190.79	191.23	191.44	191.60	109.0	192.10	195.36
H6_1	176.13	178.17	179.02	180.03	181.33	182.30	183.06	184.35	189.71	190.35	190.52	190.60	108.2	191.12	194.37
H7_1	175.90	178.41	179.41	180.55	182.01	183.09	183.95	185.42	190.29	190.67	190.76	190.88	107.9	191.40	194.70
H8_1	176.29	178.52	179.60	180.81	182.35	183.42	184.30	185.81	190.38	190.65	190.77	190.89	107.9	191.25	194.71
H5_2	172.63	174.50	175.35	176.27	177.69	178.70	179.56	181.03	186.50	187.00	187.15	187.20	105.2	187.72	191.32
H6_2	174.02	176.05	176.93	177.87	179.11	179.99	180.71	181.91	186.84	187.39	187.47	187.56	106.4	188.02	191.55
H7_2	167.89	170.54	171.64	172.88	174.52	175.67	176.65	178.22	183.37	183.76	183.86	184.00	102.0	184.57	188.60
H8_2	172.14	174.09	174.90	175.85	177.16	178.13	178.95	180.32	186.31	187.17	187.26	187.35	104.3	188.01	192.07
H5_3	176.51	178.38	179.32	180.29	181.59	182.55	183.31	184.65	189.62	190.11	190.17	190.23	108.3	190.71	194.13
H6_3	176.29	178.23	178.96	179.80	181.01	181.91	182.64	183.95	189.25	189.72	189.83	189.92	108.0	190.28	193.67
H7_3	169.92	172.08	172.96	173.90	175.26	176.22	177.01	178.41	184.01	184.64	184.72	184.84	104.2	185.43	189.10
H8_3	176.34	178.41	179.19	180.11	181.41	182.30	183.10	184.38	189.60	190.06	190.15	190.29	107.5	190.95	194.75

CAPILLARY ABSORPTION TEST		Sample history:										Pre-conditioning before testing:						
Recording of weight change		Batched/sprayed:		22. Februar 2013		22. februar 2013		22. februar 2013		22. februar 2013		Drying of samples start:		24. March 2014				
		Cured in-situ in tunnel lining:		22 feb - 03.aug 2013		22 feb - 03.aug 2013		22 feb - 03.aug 2013		22 feb - 03.aug 2013		Drying of samples end:		27. March 2014				
Sample Series: HR3, Harangstunnelen		Core drilled:		3. August 2013		3. August 2013		3. August 2013		3. August 2013		Temperature during drying:		105 oC				
		Stored:		22 oC RH 55%		22 oC RH 55%		22 oC RH 55%		22 oC RH 55%		Time START: 16:30						
		Freezing exposure: 24 cycles in small scale apparatus for unilateral moisture exposure and opposite unilateral freezing exposure																
		WEIGHT [g] AT TIME																
SPECIMEN ID	Start	10 min	30 min	1 hr	2 hr	3 hr	4 hr	6 hr	1 day	2 day	3 day	4 day	7 day submerged	7 day "dry"	Trykkmøtning			
H5_4	176.70	178.25	179.13	180.04	181.37	182.39	183.20	184.57	190.36	190.76	190.84	190.93	107.9	191.38	194.71			
H6_4	173.81	175.37	176.20	177.02	178.18	179.04	179.78	181.00	187.06	187.92	188.02	188.12	106.0	188.51	192.08			
H7_4	170.28	172.19	173.17	174.22	175.74	176.95	177.91	179.49	184.99	185.38	185.44	185.59	103.8	186.26	190.19			
H8_4	173.01	174.68	175.56	176.53	177.85	178.89	179.75	181.24	187.70	188.21	188.30	188.40	105.8	188.85	192.20			
H5_5	173.92	175.35	176.12	176.98	178.17	179.13	179.88	181.25	187.90	188.77	188.87	188.97	106.0	189.47	192.99			
H6_5	170.88	172.59	173.46	174.40	175.64	176.62	177.40	178.84	185.23	185.81	185.89	186.01	104.0	186.52	189.96			
H7_5	168.50	171.55	173.34	175.02	177.34	179.00	180.35	182.32	185.53	185.91	186.09	186.31	103.2	186.95	190.89			
H8_5	168.44	170.77	171.96	173.10	174.70	175.89	176.83	178.41	184.48	184.99	185.14	185.28	102.8	185.94	189.91			
H5_6	174.05	175.54	176.26	177.24	178.53	179.53	180.34	181.70	188.06	188.60	188.69	188.77	106.0	189.17	192.66			
H6_6	167.08	168.82	169.70	170.69	171.98	173.00	173.84	175.34	182.61	183.37	183.46	183.56	101.8	184.24	187.70			





## Risskartlegging i Gevingåstunnelen

### MAPPING OF FISSURES IN SPRAYED CONCRETE

Tunnel/Location: Gevingås  
R2 -> 150 Hommelvik

Date/time: 02.08.13/ 01:00

21.02.14/ 01:00

Mapped by: M. K. Tandberg, C Langås

Reg. /10mm

Air temp. outside/ in tunnel:

02.08.13: 12oC

21.02.14: 4oC

Fissure position	Fissure width [mm] 02.08.13	Fissure width [mm] 21.02.14
01.S.0	0.10	0.25
01.D.1	0.15	0.30
01.D.2	0.10	0.35
01.D.3	0.15	0.20
01.D.4	0.15	0.30
01.D.5	0.15	0.40
01.U.1	0.10	0.30
01.U.2	0.10	0.35
01.U.3	0.10	0.35
01.U.4	0.10	0.35
01.U.5	0.10	0.35
02.S.0	0.075	0.20
02.D.1	0.05	0.20
02.D.2	0.05	0.20
02.D.3	0.05	0.20
02.D.4	0.05	0.15
02.D.5	0.05	0.20
02.U.1	0.075	0.20
02.U.2	0.075	0.15

02.U.3	0.075	0.10
02.U.4	0.075	0.15
02.U.5	0.075	0.30
03.S.0	0.45	0.85
03.D.1	0.35	0.80
03.D.2	0.35	0.80
03.D.3	0.40	0.80
03.D.4	0.40	0.85
03.D.5	0.40	0.75
03.U.1	0.45	0.70
03.U.2	0.45	0.70
03.U.3	0.40	0.80
03.U.4	0.40	0.80
03.U.5	0.30	0.75
04.S.0	0.06	0.20
04.D.1	0.05	0.15
04.D.2	0.075	0.10
04.D.3	0.05	0.15
04.U.1	0.05	0.10
04.U.2	0.075	0.075
04.U.3	0.05	0.10
05.S.0	0.05	0.15
05.D.1	0.05	0.15
05.D.2	0.05	0.20
05.D.3	0.05	0.15
05.D.4	0.05	0.20
05.D.5	0.05	0.20
05.U.1	0.05	0.15
05.U.2	0.05	0.20
05.U.3	0.05	0.15
05.U.4	0.05	0.20
05.U.5	0.075	0.15

### MAPPING OF FISSURES IN SPRAYED CONCRETE

Tunnel/Location: Gevingås  
R2 -> 150 Hommelvik

Date/time: 02.08.13/ 01:00  
21.02.14/ 01:00

Mapped by: M. K. Tandberg, C Langås

Reg. /10mm

Air temp. ~~outside~~ in tunnel:

02.08.13: 12oC

21.02.14: 4oC

Fissure position	Fissure width [mm]	Fissure width [mm]
	02.08.13	21.02.14
06.S.0	0.10	0.40
06.R.1	0.15	0.35
06.R.2	0.20	0.25
06.R.3	0.15	0.35
06.R.4	0.15	0.35
06.R.5	0.15	0.40
06.L.1	0.15	0.35
06.L.2	0.20	0.35
06.L.3	0.10	0.35
06.L.4	0.10	0.30
06.L.5	0.15	0.35
07.S.0	0.075	0.20
07.R.1	0.075	0.25
07.R.2	0.05	0.25
07.R.3	0.05	0.20
07.R.4	0.075	0.20
07.R.5	0.075	0.20

07.L.1	0.05	0.30
07.L.2	0.075	0.30
07.L.3	0.05	0.30
07.L.4	0.05	0.30
07.L.5	0.05	0.30
08.S.0	0.075	0.40
08.D.1	0.10	0.40
08.D.2	0.075	0.35
08.D.3	0.10	0.40
08.D.4	0.075	0.40
08.D.5	0.10	0.40
08.D.1	0.05	0.35
08.D.2	0.075	0.25
08.D.3	0.075	0.35
08.D.4	0.10	0.35
08.D.5	0.10	0.25
09.S.0	0.10	0.50
09.D.1	0.15	0.50
09.D.2	0.15	0.45
09.D.3	0.15	0.45
09.D.4	0.15	0.40
09.D.5	0.075	0.50
09.U.1	0.10	0.50
09.U.2	0.10	0.40
09.U.3	0.05	0.40
09.U.4	0.10	0.45
09.U.5	0.10	0.45

**MAPPING OF FISSURES IN SPRAYED  
CONCRETE**

Tunnel/Location: Gevingås  
R2 -> 150 Hommelvik

Date/time: 02.08.13/ 01:00  
21.02.14/ 01:00

Mapped by: M. K. Tandberg, C Langås

Reg. /10mm

Air temp. ~~outside~~ in tunnel:

02.08.13: 12oC

21.02.14: 4oC

Fissure position	Fissure width [mm] 02.08.13	Fissure width [mm] 21.02.14
10.S.0	<0.05	0.075
10.L.1	<0.05	0.15
10.L.2	<0.05	0.05
10.L.3	<0.05	0.05
10.L.4	<0.05	0.075
10.L.5	<0.05	0.075
10.R.1	<0.05	0.075
10.R.2	<0.05	0.05
10.R.3	<0.05	0.075
10.R.4	0.05	0.10
10.R.5	0.075	0.10
11.S.0	0.15	0.35
11.D.1	0.15	0.40
11.D.2	0.10	0.30
11.D.3	0.15	0.35
11.D.4	0.15	0.35
11.D.5	0.20	0.40
11.U.1	0.15	0.40

11.U.2	0.20	0.45
11.U.3	0.15	0.30
11.U.4	0.15	0.45
11.U.5	0.10	0.40
12.S.0	0.35	0.55
12.L.1	0.35	0.60
12.L.2	0.35	0.60
12.L.3	0.35	0.40
12.L.4	0.35	0.50
12.L.5	0.35	0.50
12.R.1	0.40	0.50
12.R.2	0.40	0.55
12.R.3	0.40	0.55
12.R.4	0.40	0.55
13.S.0	0.30	0.65
13.D.1	0.25	0.65
13.D.2	0.30	0.65
13.D.3	0.35	0.65
13.D.4	0.20	0.60
13.D.5	0.30	0.60
13.U.1	0.35	0.60
13.U.2	0.35	0.55
13.U.3	0.35	0.55
13.U.4	0.35	0.55
13.U.5	0.35	0.60

### MAPPING OF FISSURES IN SPRAYED CONCRETE

Tunnel/Location: Gevingås  
R2 -> 150 Hommelvik

Date/time: 02.08.13/ 01:00  
21.02.14/ 01:00

Mapped by: M. K. Tandberg, C Langås

Reg. /10mm

Air temp. ~~outside~~ in tunnel:

02.08.13: 12oC

21.02.14: 4oC

Fissure position	Fissure width [mm] 02.08.13	Fissure width [mm] 21.02.14
14.S.0	0.05	0.075
14.R.1	0.05	0.075
14.R.2	0.10	0.15
14.R.3	0.10	0.20
14.R.4	0.10	0.15
14.L.1	0.05	0.075
14.L.2	0.15	0.15
14.L.3	0.20	0.25
14.L.4	0.20	0.20
14.L.5	0.20	0.30
15.S.0	0.075	0.25
15.D.1	0.075	0.25
15.D.2	0.075	0.25
15.D.3	0.05	0.20
15.D.4	0.075	0.15
15.D.5	0.075	0.20
15.U.1	0.075	0.20
15.U.2	0.075	0.20

15.U.3	0.075	0.25
15.U.4	0.075	0.25
16.S.0	0.10	0.30
16.R.1	0.15	0.35
16.R.2	0.20	0.40
16.R.3	0.20	0.40
16.R.4	0.20	0.40
16.R.5	0.15	0.35
16.L.1	0.10	0.15
16.L.2	0.075	0.15
17.S.0	0.25	0.30
17.R.1	0.20	0.35
17.R.2	0.10	0.45
17.R.3	0.15	0.50
17.R.4	0.25	0.50
17.R.5	0.20	0.45
17.L.1	0.15	0.45
17.L.2	0.25	0.45
17.L.3	0.20	0.45
17.L.4	0.25	0.45
17.L.5	0.15	0.45

### MAPPING OF FISSURES IN SPRAYED CONCRETE

Tunnel/Location: Gevingås  
R2 -> 150 Hommelvik

Date/time: 02.08.13/ 01:00  
21.02.14/ 01:00

Mapped by: M. K. Tandberg, C Langås

Reg. /10mm

Air temp. ~~outside~~ in tunnel:

02.08.13: 12oC

21.02.14: 4oC

Fissure position	Fissure width [mm] 02.08.13	Fissure width [mm] 21.02.14
18.S.0	0.50	0.70
18.U.1	0.35	0.70
18.U.2	0.35	0.70
18.U.3	0.45	0.75
18.U.4	0.50	0.70
18.U.5	0.45	0.75
18.D.1	0.40	0.70
18.D.2	0.45	0.70
18.D.3	0.45	0.65
18.D.4	0.50	0.65
18.D.5	0.45	0.65
19.S.0	0.10	0.45
19.U.1	0.05	0.45
19.U.2	0.10	0.45
19.U.3	0.15	0.40
19.U.4	0.20	0.30
19.U.5	0.20	0.45
19.D.1	0.20	0.45

19.D.2	0.15	0.35
19.D.3	0.15	0.35
19.D.4	0.10	0.30
19.D.5	0.10	0.35
20.S.0	0.05	0.20
20.D.1	0.20	0.40
20.D.2	0.15	0.45
20.D.3	0.25	0.30
20.D.4	0.20	0.30
20.D.5	0.20	0.40
20.U.1	0.10	0.30
20.U.2	0.15	0.30
20.U.3	0.15	0.25
20.U.4	0.10	0.30
20.U.5	0.20	0.35

# Risikovurdering

NTNU	Kartlegging av risikofylt aktivitet			Utarbeidet av	Nummer	Dato
 HIMS				HMS-avd. Godkjent av Rektor	HMSRV2801	22.03.2011 Ersätter 01.12.2006

**Enhet:** IGB (Institutt for Geologi og Bergteknikk)

**Linjeleder:** May-Britt Mørk

**Deltakere ved kartleggingen (m/ funksjon):**

Maren Kristine Tandberg, Karl Gunnar Holter, Christine Langås, Erik Johansen, Christoffer Thoresen, Gunnar Vistnes, Torgeir Jensen, Knut Kjuul  
(Ansv. veileder, student, evt. medveiledere, evt. andre m. kompetanse)

**Kort beskrivelse av hovedaktivitet/hovedprosess:**

Masteroppgave student: Maren Kristine Tandberg.

*Tittel på oppgaven:*

"Utvikling av prøvingsmetodikk, og prøving av frostbestandighet for sprøytebetong til vannrett permanent tunnelkledning i moderne veg- og jernbanetunneler"

**Er oppgaven rent teoretisk? (JA/NEI):** Nei

*risikovurdering. Dersom «JA»: Beskriv kort aktivitetene i kartleggingskjemaet under. Risikovurdering trenger ikke å fylles ut.*

«JA» betyr at veileder innesår for at oppgaven ikke inneholder noen aktiviteter som krever /

**Signaturer:** Ansvarlig veileder:

Student:



ID nr.	Aktivitet/prosess	Ansvarlig	Eksisterende dokumentasjon	Eksisterende sikringstiltak	Lov, forskrift o.l.	Kommentar
1	Saging av prøvestykker (IKT og IGB)	Meg, May Britt Mørk		Opplæring, vernebriller, vernesko, hørselsvern		
2	Bormaskin (IGB og kyst og havneteknikk)	Meg, May Britt Mørk		Opplæring, vernebriller, vernesko, hørselsvern		
3	Ut og inn med prøver i fryserom (IKT)	Meg, Karl Gunnar Holter		Vernesko, alltid en person til tilstede		
4	Risikokartlegging Gjevingsåstunnelen	Jernbane- verket, Meg, Karl Gunnar Holter		Guleklær m/refleks, hjelm, vernebriller, vernesko, en jernbaneperson		

NTNU	Kartlegging av risikofylt aktivitet				Utarbeidet av	Nummer	Dato
					HMS-avd.	HMSRV2801	22.03.2011
HMS					Godkjent av		Erstatler
					Rektor		01.12.2006



5	Betongblandingshåndtering (IKT)	Karl Gunnar Holter, Meg		Handsker, vernesko, vernebriller		
6	Sprøyting av membran	Meg, Karl Gunnar Holter		Vernesko, vernebriller, handsker		
7	Skjærboksforsøk, løfting med lift (IGB)	May Britt Mørk, Meg		Hjelm, en person med kranksurs utfører denne operasjonen		
8	Skjærboksforsøk, tokomponent lim, silikon, olje	Meg, May Britt Mørk		Handsker, vernebriller, avtrekk,	Datablad	
9	Kjøring til og fra Gjøvingåstunnelen, natt	Meg, Karl Gunnar Holter		Førerkort B, sikkerhetsbelte, gul vest, varseltrekant		Viktig med nok søvn, og at de andre i bilen passer på at ikke sjåføer sovner.
10	Kjøring inn i tunneler på Fellesprosjektet	Meg, Karl Gunnar Holter		Førerkort B, Blinkende lys, registreringsbrikke		Sagt ifra, blinkende lys
11	Holmestrandprosjektet	Jernbaneverket, Meg		Registreringsbrikke		
12	Skjærboksforsøk, løfting manuelt	Meg, May Britt Mørk		Løftekroker, vernesko		
13	Brasiltur	Meg, Karl Gunnar Holter		Vaksiner, Pass, Sikkerhetsvideo		Ikke gå alene, nok mat, nok drikke



NTNU		Kartlegging av risikofylt aktivitet					
		Utarbeidet av		Nummer	Dato		
HMS		HMS-avd.	HMSRV2801		22.03.2011		
		Godkjent av			Erstatter		
		Rektor			01.12.2006		
14	Løfting av prøver	Meg, Karl Gunnar Holter		Vernesko		Passe på riktig løfteteknikk	
15	Åpning lukking av fryseskap i helger	Meg, Karl Gunnar Holter		Mobil, en person blir med, tilgangskort		Dersom alene si ifra at du er der og når du er ute.	
16	Borås test, reising til og fra Veidirektoratet	Meg				Tog, fly	
17	Omvisning og kartlegging på Fellesprosjektet	Meg, Karl Gunnar Holter		Hjelm, vernebriller, vernesko, refleksslær, registreringsbrikke			
18	Inn og ut av tørkeskap	Meg, Karl Gunnar Holter		Hansker, vernesko			
19	Frysing/tining helg, Lerkendal (kyst og havneteknikk)	Meg, Karl Gunnar Holter				Alltid være to personer!!!	

NTNU		Risikovurdering		Ularbeidet av		Nummer		Dato	
HMS				HMS-avd.		HMSRV2801		22.03.2011	
				Godkjent av		Roktor		Erlatber	
								01.12.2008	

**Enhet:** IGB (Institutt for Geologi og Bergteknikk)

**Linjeleder:** May-Britt Mørk

**Deltakere ved kartleggingen (m/ funksjon):**

Maren Kristine Tandberg, Karl Gunnar Holter, Christine Langås, Erik Johansen, Christoffer Thoresen, Gunnar Vistnes, Torgeir Jensen, Knut Kjuul

(Ansv. veileder, student, evt. medveiledere, evt. andre m. kompetanse)

**Kort beskrivelse av hovedaktivitet/hovedprosess:**

**Masteroppgave student:** Maren Kristine Tandberg.

**Tittel på oppgaven:**

"Utvikling av prøvingsmetodikk, og prøving av frostbestandighet for sprøytebetong til vanntett permanent tunnelkleddning i moderne veg- og jernbanetunneler"

**Dato:** 19.03.14


**Er oppgaven rent teoretisk? (JA/NEI):** Nei

«JA» betyr at veileder innestår for at oppgaven ikke inneholder noen aktiviteter som krever risikovurdering. Dersom «JA»: Beskriv kort aktivitetsten i kartleggingskjemaet under. Risikovurdering trenger ikke å fylles ut.

**Signaturer:** Ansvarlig veileder:

Student:

ID nr	Aktivitet fra kartleggings-skjemaet	Mulig uønsket hendelse/ belastning	Vurdering av sannsynlighet (1-5)	Vurdering av konsekvens:			Risiko-Verdi (menneske)	Kommentarer/status Forslag til tiltak	
				Menneske (A-E)	Ytre miljø (A-E)	Øk/ materiell (A-E)			Om-damme (A-E)
1.1	Saging av prøvestykker	Kutte av seg fingeren, hånda	1	E	A	B	B	2D	Si ifra at du sager til en i nærheten og si ifra når ferdig, følge opplæringsprosedyren, være oppmerksom
1.2	Saging av prøvestykker	Sagblad som ryker	3	A	A	A	A	3A	Bare å bytte ut sagbladet
2.1	Bormaskin	Bore feil, får færre prøvestykker	4	A	A	A	A	4A	Følge opplæringsprosedyren, være oppmerksom

NTNU		Risikovurdering					Utarbeidet av		Nummer		Dato	
							HMS-avd.		HMSRV2001		22.03.2011	
HMS							Godkjent av				Ersatler	
							Faktor				01.12.2006	
2.2	Bormaskin	Rive av seg hår (henger seg fast)	3	A	A	A	A	A	A	3A	Langt hår i strikk og unna borutstyret	
3	Ut og inn med prøver i fryserom	Snuble i ledninger og fryse i hjel, miste prøver	1	E	A	C	C	C	1E	1E	Alltid en person tilstedet, derfor 1 og ikke 2	
4	Risskartlegging Gjevingåstunnelen	Falle ned fra stige	3	C	A	A	A	A	3C	3C	God belysning, hjelm, vernesko, Rutine sjekk på tunnelkledding, være oppmerksom	
5	Betongblanding-håndtering	Etse på huden eller øyne	2	B	A	A	A	A	2B	2B	Bruker handsker, vernebriller, langarmet genser og vernesko	
6	Sprøyting av membran	Få det på seg og må vaske av	3	A	A	A	A	A	3A	3A	Annen person som utfører selve sprøytingen.	
7	Skjærboksforsøk, løfting med lift	Kan miste i apparaturen hodet fordi ikke skrudd godt nok til	1	E	C	C	C	C	1E	1E	Dobbeltsjekk at skrudd godt til hver gang, bruker hjelm og vernesko	
8.1	Skjærboksforsøk, tokomponent lim, silikon, olje	Innånding	4	A	A	A	A	A	4A	4A	Avtrekk, men er ikke farlig, se datablad	
8.2	Skjærboksforsøk, tokomponent lim, silikon, olje	Lime sammen fingre	4	A	A	A	A	A	4A	4A	Bruk hansker!	
9	Kjøring til og fra Gjevingåstunnelen, natt	Kollisjon	2	A	A	A	A	B	2A	2A	Holdte seg våken, Koffein, Nok søvn på forhånd, men andre bilister er en risiko som man ikke har kontroll over.	
10	Kjøring inn i tunneler på Fellesprosjektet	Kollisjon med andre trafikanter i tunnelen	2	E	D	D	B	B	2E	2E	Blinkende lys, viktig å bli sett!	

NTNU		<b>Risikovurdering</b>		Utarbeidet av		Nummer		Dato	
 HMS				HMS-avd.		HMSRV2801		22.03.2011	
				Godkjent av		Rektor		01.12.2008	

11	Holmestrandprosjektet	Bli påkjørt	2	E	D	A	D	2E	Viktig med refleksklær og registreringsbrikke og å være på vakt
12.1	Skjærboksforsøk, løfting manuell	Skade ryggen	3	B	A	A	A	3B	Viktig med god løfteteknikk!
12.2	Skjærboksforsøk, løfting manuell	Miste på foten	2	B	B	A	A	2B	Viktig med vernesko!
13	Brasiltur	Sykdom, kidnapping, voldtekt, ran, skytedrama, knivstikking, flystyrt	2	E	A	A	A	2E	Alltid gå to sammen, pass på verdisaker, ta vaksiner, det andre har en ikke kontroll over, ikke hisse opp/forværme folk
14	Løfting av prøver	Miste på foten	3	A	A	C	A	3A	Bruk vernesko! Prøvene kan bli ødelagt, kan ta tid å få nye på samme stadie.
15	Åpning lukking av fryseskap i helger	Snuble, bli bevisstløs, ingen som vet at du ligger der	1	E	C	A	A	1E	Alltid si ifra når går inn og når går ut, helst alltid vær to.
16	Borås test, reising til og fra Veidirektoratet	At noe skal skje med fremkomstmiddelet, kollisjon, flystyrt	1	E	D	A	D	1E	Svært lite sannsynlig
17	Omvisning og kartlegging på Fellesprosjektet	Bli påkjørt	2	E	D	A	D	2E	Å ikke bli sett er en stor risiko, viktig å bruke refleksklær og å alltid være på vakt, samt bruke hjelm
18.1	Inn og ut av tørkeskap	Brannskader	3	B	A	A	A	3B	Bruk hansker!
18.2	Inn og ut av tørkeskap	Miste prøver på foten	3	A	A	C	A	3A	Husk vernesko!
19	Frysing/tining helg, Lerkendal (kyst og havneteknikk)	Snuble i jerntrappa og ingen finner meg	2	E	D	A	A	2E	Alltid være to personer!

NTNU	Risikovurdering			Utlarbeidet av	Nummer	Dato
				HMS-avd.	HMSRV2601	22.03.2011
HMS				Godkjent av		Erstatter
				Rektor		01.12.2006



### Sannsynlighet vurderes etter følgende kriterier:

Svært liten 1	Liten 2	Middels 3	Stor 4	Svært stor 5
1 gang pr 50 år eller sjeldnere	1 gang pr 10 år eller sjeldnere	1 gang pr år eller sjeldnere	1 gang pr måned eller sjeldnere	Skjer ukentlig

### Konsekvens vurderes etter følgende kriterier:


Gradering	Menneske	Ytre miljø Vann, jord og luft	Øk/materiell	Omdømme
E Svært Alvorlig	Død	Svært langvarig og ikke reversibel skade	Drifts- eller aktivitetstans > 1 år.	Troverdighet og respekt betydelig og varig svekket
D Alvorlig	Alvorlig personskade. Mulig uføret.	Langvarig skade. Lang restitusjonstid	Driftstans > 1/2 år Aktivitetstans i opp til 1 år	Troverdighet og respekt betydelig svekket
C Moderat	Alvorlig personskade.	Mindre skade og lang restitusjonstid	Drifts- eller aktivitetstans < 1 mnd	Troverdighet og respekt svekket
B Liten	Skade som krever medisinsk behandling	Mindre skade og kort restitusjonstid	Drifts- eller aktivitetstans < 1 uke	Negativ påvirkning på troverdighet og respekt
A Svært liten	Skade som krever førstehjelp	Ubetydelig skade og kort restitusjonstid	Drifts- eller aktivitetstans < 1 dag	Liten påvirkning på troverdighet og respekt

### Risikoverdi = Sannsynlighet x Konsekvens

Beregn risikoverdi for Menneske. Enheten vurderer selv om de i tillegg vil beregne risikoverdi for Ytre miljø, Økonomi/materiell og Omdømme. I så fall beregnes disse hver for seg.

### Til kolonnen "Kommentarer/status, forslag til forebyggende og korrigerende tiltak":




Tiltak kan påvirke både sannsynlighet og konsekvens. Prioriter tiltak som kan formindre at hendelsen inntreffer, dvs. sannsynlighetsreduserende tiltak foran skjerpet beredskap, dvs. konsekvensreduserende tiltak.

NTNU		Risikomatrixe		Dato	
				08.03.2010	
HMS/IKS				Erstatler	
		utarbeidet av		Nummer	
		HMS-avd.		HMSRV2804	
		godkjent av			
		Rektor		09.02.2010	

### MATRISSE FOR RISIKOVURDERINGER ved NTNU

<b>KONSEKVENSENS</b>		<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>	<b>E5</b>
		<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>	<b>D4</b>	<b>D5</b>
		<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>
		<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>B4</b>	<b>B5</b>
		<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>A5</b>
		Svært liten	Liten	Middels	Stor	Svært stor
		<b>SANNSYNLIGHET</b>				

Prinsipp over akseptkriterium. Forklaring av fargene som er brukt i risikomatrixen.

Farge	Beskrivelse
	Uakseptabel risiko. Tiltak skal gjennomføres for å redusere risikoen.
	Vurderingsområde. Tiltak skal vurderes.
	Akseptabel risiko. Tiltak kan vurderes ut fra andre hensyn.