

**P-13-07**

## **Studier av frysningsegenskaper hos betong från 1 BMA**

Per-Erik Thorsell

Vattenfall Research and Development AB, Civil Engineering

Maj 2013

**Svensk Kärnbränslehantering AB**

Swedish Nuclear Fuel  
and Waste Management Co

Box 250, SE-101 24 Stockholm  
Phone +46 8 459 84 00



ISSN 1651-4416

SKB P-13-07

ID 1293499

# **Studier av frysningsegenskaper hos betong från 1 BMA**

Per-Erik Thorsell

Vattenfall Research and Development AB, Civil Engineering

Maj 2013

*Nyckelord:* Intern frysning, 1 BMA, SFR 1, Betong.

Denna rapport har gjorts på uppdrag av SKB. Slutsatser och framförda åsikter i rapporten är författarens egna. SKB kan dra andra slutsatser, baserade på flera litteraturkällor och/eller expertsynpunkter.

En pdf-version av rapporten kan laddas ner från [www.skb.se](http://www.skb.se).

## Sammanfattning

I denna rapport redovisas resultaten från en experimentell undersökning av frysegenskaperna hos en betong från Bergrum för Medelaktivt Avfall, 1 BMA, i Slutförvaret för kortlivat låg- och medelaktivt avfall, SFR 1.

Undersökningens syfte var att fastställa vid vilken temperatur som vattenmättad betong fryser sönder genom inre nedbrytning. Provkropparnas nedbrytning bestämdes genom att mäta egenfrekvensen med ultraljud samt genom en okulär kontroll. Provkroppen bedömdes som helt sönderfrusen då egenfrekvensen markant sjönk eller då provkroppen okulärt föll sönder.

Enligt denna studie kommer betongen i 1 BMA att frysa sönder vid  $-5 \pm 2$  °C grader.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	7
<b>2</b>	<b>Material och metod</b>	9
2.1	Beredning av provkroppar	9
2.2	Frysning	9
	2.2.1 Metod A	10
	2.2.2 Metod B	10
2.3	Mätning av egenfrekvens	10
<b>3</b>	<b>Resultat</b>	13
3.1	Metod A	13
3.2	Metod B	14
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	15
<b>5</b>	<b>Slutsatser</b>	17
	<b>Referenser</b>	19
<b>Bilaga 1</b>	Torkning av provkroppar	21
<b>Bilaga 2</b>	Frysning och upptining av provkroppar	23

# 1 Inledning

I denna rapport redovisas resultaten från en experimentell undersökning av frysegenskaperna hos en betong från Bergrum för Medelaktivt Avfall, 1 BMA, i Slutförvaret för kortlivat låg- och medelaktivt avfall, SFR 1.

Undersökningens syfte var att fastställa vid vilken temperatur som vattenmättad betong fryser sönder genom inre frostsprängning. Provkropparnas nedbrytning bestämdes genom att mäta egenfrekvensen med ultraljud samt genom en okulär granskning. Provkroppen bedömdes som helt sönderfrusen då egenfrekvensen markant sjönk eller okulärt föll sönder.

## 2 Material och metod

Provkropparna som ingått i denna undersökning är utborrade ur väggar i 1 BMA under september 2009 av Vattenfall Research and Development, VRD i Älvkarleby. Placeringen av provkropparna X0 till och med X6 i 1 BMA framgår av figur 2-1. Provkropparna märkta X7 och X8 är uttagna från en skiljevägg vid torget, det vill säga utanför 1 BMA. Provkropp märkt REV kommer från en förrådsbyggnad vid inlastningszonen i 1 BMA. Totalt användes 21 stycken betongkärnor med diameter 95 mm. Längden på kärnorna varierade mellan 70 och 150 mm. Provkropparna är sågade i längdled och är således halvmåneformade, figur 2-2. Den andra halvan av kärnorna användes i tidigare försök för att bestämma kloridinträngning och cementhalt. Resultat från denna undersökning presenteras i en separat rapport.

### 2.1 Beredning av provkroppar

Innan provningen inleddes vattenmättades provkropparna med grundvatten från SFR 1. Kloridhalten i detta vatten uppmättes till 0,28 vikt-%. För att uppnå så hög vattenmättnadsgrad som möjligt så torkades provkropparna vid +105 °C till konstant vikt under 7 dygn, bilaga 1. Efter torkning fick provkropparna ligga i vakuum i en tunna under 48 timmar varefter tunnan fylldes med vatten i vilket provkropparna fick ligga under 48 timmar. Proverna har under hela provningsförfarandet förvarats i vatten från SFR 1.

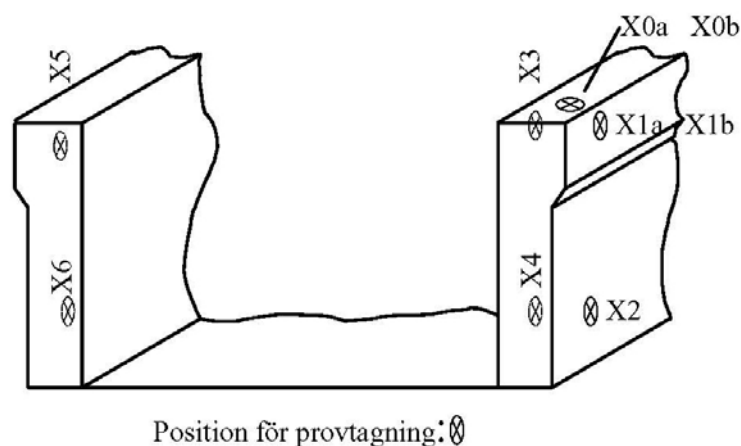
### 2.2 Frysning

Egenfrekvensen för samtliga 21 provkroppar mättes med ultraljud och ett utgångsvärde (referens) fastställdes för respektive provkropp.

Samtliga provkroppar förvarades i 3-liters plastbägare med vatten från SFR 1 som sedan placerades i en frysbox med temperaturövervakning.

Provningen startade med en temperatur på 0 °C i frysboxen. Temperaturen sänktes därefter i steg om en grad Celsius i taget. För att fastställa att frostcyklerna var tillräckligt långa placerades ett termoelement i ett par provkroppar som inte ingick i provningsserien. Mätdata från denna undersökning redovisas i bilaga 2. I diagrammet kan man även se början på upptiningen som går snabbt. Tiden för upptining valdes till 1 dygn.

Provningen utfördes enligt två olika förfarande, metod A respektive metod B.



Figur 2-1. Provtagningspositioner.

### 2.2.1 Metod A

1. 10 stycken provkroppar kyldes till 0 °C under 48 timmar.
2. Samtliga provkroppar låg kvar i vattnet och tinades till +20 °C under 24 timmar.
3. Relativa egenfrekvensen mättes i luft vid +20 °C. Provningsmetoden tog maximalt 1 minut.
4. Proverna lades tillbaka i bägarna med vatten och placerades i frysboxen vid -1 °C.
5. Efter 48 timmar tinades provkropparna i +20 °C. Tiningen pågick under 24 timmar och egenfrekvensen mättes på nytt.
6. Temperaturen sänktes sedan till -2 °C, -3 °C osv.

### 2.2.2 Metod B

1. 11 stycken provkroppar kyldes till 0 °C.
2. En av provkropparna låg kvar i vattnet och tinades till +20 °C.
3. Relativa egenfrekvensen mättes i luft vid +20 °C. Provningsmetoden tog maximalt 1 minut. Efter mätningen kasserades provkroppen.
4. Övriga provkroppar låg kvar i frysboxen och temperaturen sänktes till -1 °C.
5. Efter 48 timmar tinades ytterligare en av provkropparna i +20 °C. Tiningen pågick under 24 timmar och egenfrekvensen mättes på nytt. Efter mätning kasserades provkroppen.
6. De 9 stycken kärnor som återstod låg kvar i frysboxen och temperaturen sänktes till -2 °C osv.

## 2.3 Mätning av egenfrekvens

Ultraljudshastigheten påverkas i första hand av ett materials elastiska egenskaper samt materialets densitet. Vid en nedbrytning i betong på grund av exempelvis frost minskar ljudhastigheten markant. Metoden kan därför med fördel användas för att detektera en nedbrytning av betongen genom frost. Provningsmetoden är dessutom oförstörande.

För varje provtillfälle och provkropp mättes egenfrekvensen. På varje provkropp gjordes 2 stycken markeringar med tuschpenna för att sändare och mottagare skulle hållas på samma ställe vid varje mätning av egenfrekvens, figur 2-2.



*Figur 2-2. Halvmåneformad provkropp liggande på mjukt underlag. Ett lätt slag görs med sändaren till höger i bild och mottagaren hålls still vid markerad punkt till vänster.*



*Figur 2-3. Mätutrustningen Grand Sonic för ultraljud.*



### 3 Resultat

Resultaten från ultraljudsmätningarna redovisas i tabell 3-1 och 3-2. De redovisade värdena har beräknats genom att uppmätt egenfrekvens efter frysning dividerats med ursprungsfrekvensen (referensen). Ett markant lägre värde indikerar på nedbruten betong och markeras med röda värden i fet stil.

#### 3.1 Metod A

Exempel på sönderfrysens provkropp ses i figur 3-1.

**Tabell 3-1. Redovisade värden är uppmätt egenfrekvens efter frysning dividerat med egenfrekvensen före frysning. En stjärna (\*) betyder att provkroppen är okulärt sönderfallen. Värden i röd fet stil betyder att provkroppen är konstaterat nedbruten genom ultraljudsmätning.**

Märkning	Temperatur [°C]										
	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
X0A-1	1,02	1,03	0,97	1,02	1,06	0,97	1,01	*			
X1A-1	1,02	1,04	1,04	0,99	1,02	<b>0,79</b>	<b>0,13</b>				
X2-2	1,00	1,01	1,02	1,02	1,02	1,00	<b>0,19</b>				
X3-2	1,04	1,03	1,04	1,04	1,02	1,01	<b>0,16</b>				
X4-2	1,01	1,04	1,03	1,03	1,02	1,03	<b>0,15</b>				
X5-1	1,00	1,02	0,98	1,00	1,09	*					
X6-1	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	*				
X8-1	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	<b>0,16</b>				
X8-2	1,01	1,01	1,00	1,01	1,00	1,01	<b>0,15</b>				
REV-2	1,02	1,03	1,02	1,02	1,02	1,02	<b>0,21</b>				



*Figur 3-1. Exempel på sönderfrysens provkropp liggande i plastbägare.*

## 3.2 Metod B

Tabell 3-2. Redovisade värden är uppmätt egenfrekvens efter frysning dividerat med ursprungsvärdet. En stjärna (\*) betyder att provkroppen är okulärt sönderfallen. Värdet i röd fet stil betyder att provkroppen är konstaterat nedbruten genom ultraljudsmätning.

Märkning	Temperatur [°C]										
	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
X0A-2									*		
X1A-2						*					
X2-1										*	
X3-1								*			
X4-1	1,01										
X5-2				0,44*							
X5-3			0,95								
X6-2							*				
X7-1					0,98						
X7-2		1,01									
REV-1											*

## 4 Diskussion

Temperaturen vid vilken provkropparna frös sönder stämde relativt väl överens mellan de båda provmetoderna, A respektive B. Något förvånade frös dock några av provkropparna sönder tidigare när metod B användes jämfört med metod A. Det förväntade resultatet var att proverna som testats med metod B skulle vara något mindre vattenmättade och därmed frysa sönder vid en lägre temperatur än proverna som utsattes för metod A på grund av den ”pumpverkan” som sker när betong fryser och tinar cykliskt. Denna effekt kan enklast beskrivas som att när vatten som finns i betongen fryser så expanderar det in i eventuella icke vattenfyllda utrymmen. Vid tining och efterföljande frysning fortsätter vattnet att expandera in i porigheter. Denna process kan liknas med att vatten ”pumpas” in i betongen vid temperaturcyklning. Om betongen är helt vattenmättad redan från början kan inget ytterligare vatten ”pumpas” in i betongen. Svårigheten med att vattenmätta betong ökar om provkroppen är stor. I detta försök är provkropparna små och därmed relativt enkla att vattenmätta vilket framgår av de erhållna resultaten.

De något avvikande värden som erhöles med metod B kan naturligtvis även förklaras med det synnerligen begränsade statistiska underlaget med endast ett prov per temperatur. Det faktum att provernas homogenitet varierar mellan de olika provkropparna medför att man inte helt kan garantera sig från att visa mätvärden kommer att hamna utanför den förväntade ramen.

Betongens inneboende inhomogenitet vad gäller material och porstruktur kommer även att få den effekten att porvattnet i olika porer kommer att frysa vid olika temperaturer. Vatten som finns i stora betongporer fryser till is vid strax under 0 °C medan vatten i de minsta porerna däremot fryser till is vid en betydligt lägre temperatur (Emborg et al. 2007). I de allra minsta porerna kan temperaturen sjunka under -20 °C innan vattnet fryser till is. Detta är förklaringen till att den vattenmättade betongen i försöken inte fryser sönder redan vid 0 till -1 °C.

## 5 Slutsatser

Betongen i 1 BMA kommer enligt denna studie att frysa sönder vid  $-5 \pm 2$  °C grader vid full vattenmättnad. De båda metoderna gav relativt likvärdiga resultat trots provernas olika fryshistorik.

När provning utfördes enligt metod A frös proverna sönder vid  $-5$  till  $-7$  °C. Underlaget med 10 stycken provkroppar kan anses som ett ganska bra statistiskt underlag.

När provning utfördes enligt metod B frös proverna sönder vid  $-3$  till  $-5$  °C.

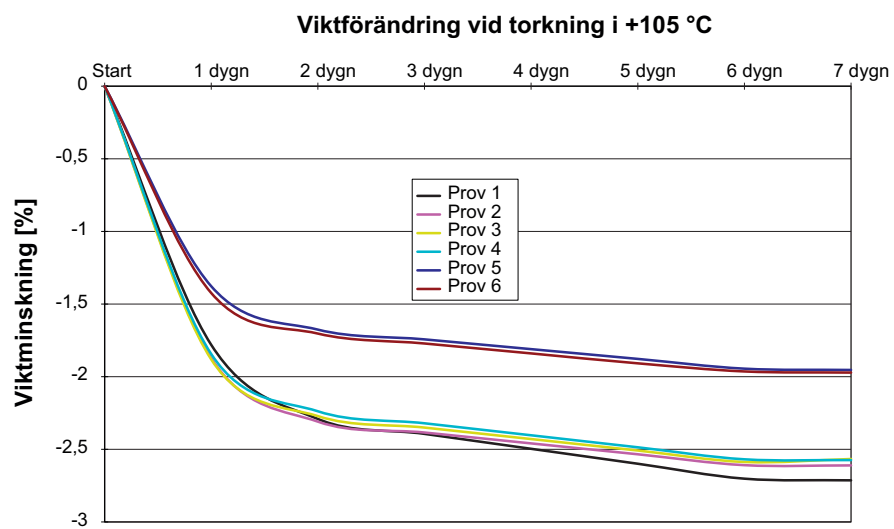
Då resultaten enligt metod A och B var likvärdiga kan slutsatsen dras att provkropparna i de båda provserierna varit fullt vattenmättade efter torkning och mättning och effekten av pumpverkan därför varit försumbar. Detta innebär att valda tider för torkning, vakuum, vattenmättning osv enligt 2.1 varit tillräckligt långa.

## Referenser

Publikationer utgivna av SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB) kan hämtas på [www.skb.se/publikationer](http://www.skb.se/publikationer).

**Emborg M, Jonasson J-E, Knutsson S, 2007.** Långtidsstabilitet till följd av frysning och tining av betong och bentonit vid förvaring av låg- och medelaktivt kärnavfall i SFR 1. SKB R-07-60, Svensk Kärnbränslehantering AB.

## Torkning av provkroppar



## Frysning och upptining av provkroppar

