

Kent Malmström

2017

# Betongkonstruktioners frostbeständighet - Fältinventering





Kent Malmström

# Betongkonstruktioners frostbeständighet - Fältinventering

## **Abstract**

### **Scaling Resistance of Concrete Structures Studies in the Field**

Results are presented from laboratory tests on scaling resistance of concrete from several different types of structures. The test specimens were, among others, precast paving blocks and cores drilled from parking structures, roads and road barriers, bridges and retaining walls. The oldest concrete was from a bridge built in 1946 and the youngest from an outdoor staircase from 1991.

In addition to scaling resistance the investigation also included tests of compressive strength, depth of carbonation, chloride penetration, capillary absorption and analysis of air pore structure.

The scaling resistance was determined by using the Swedish standard SS 13 72 44. The test results were then compared with results from visual assessment of the external damages to the various concrete structures. According to these comparisons the following conclusions can be made:

- The standard can reliably grade concrete according to its frost resistance in environments aggressive to concrete structures.
- The ageing of concrete has a positive effect on surface scaling resistance as results from exposed surfaces generally were much better than from sawn surfaces.

Keywords: concrete, scaling resistance, durability.

**SP**  
SP RAPPORT 1996-04  
ISBN 91-7848-608-4  
ISSN 0284-5172  
Borås 1996

**Swedish National Testing and  
Research Institute**  
SP REPORT 1996-04

Postal address:  
Box 857, S-501 15 BORÅS,  
Sweden  
Telephone +46 33 16 50 00  
Telex 36252 Testing S  
Telefax +46 33 13 55 02

# Innehållsförteckning

|                                                              | Sida      |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Abstract</b>                                              | <b>2</b>  |
| <b>Förord</b>                                                | <b>4</b>  |
| <b>Sammanfattning</b>                                        | <b>5</b>  |
| <b>1 Bakgrund och syfte</b>                                  | <b>7</b>  |
| <b>2 Program</b>                                             | <b>8</b>  |
| <b>3 Provningsmetoder</b>                                    | <b>9</b>  |
| 3.1 Tryckhållfasthet                                         | 9         |
| 3.2 Frostbeständighet                                        | 9         |
| 3.3 Karbonatiseringsdjup                                     | 9         |
| 3.4 Kloridpenetration                                        | 9         |
| 3.5 Lufthalt, luftporstruktur                                | 10        |
| 3.6 Kapillärsugning                                          | 10        |
| <b>4 Provobjekt</b>                                          | <b>11</b> |
| 4.1 Markbetong                                               | 11        |
| 4.2 Parkeringsdäck                                           | 11        |
| 4.3 Fasadelement                                             | 12        |
| 4.4 Övriga förtillverkade betongelement                      | 12        |
| 4.5 Motorvägsbarriär                                         | 12        |
| 4.6 Broar och stödmurar                                      | 13        |
| <b>5 Kommentarer till provningsresultaten</b>                | <b>16</b> |
| 5.1 Markbetong                                               | 16        |
| 5.2 Parkeringsdäck                                           | 19        |
| 5.3 Fasadelement                                             | 21        |
| 5.4 Övriga förtillverkade betongelement                      | 22        |
| 5.5 Motorvägsbarriär                                         | 23        |
| 5.6 Broar och stödmurar                                      | 24        |
| <b>6 Diskussion av provade parametrar</b>                    | <b>37</b> |
| 6.1 Tryckhållfasthet                                         | 37        |
| 6.2 Frostbeständighet                                        | 37        |
| 6.3 Karbonatiseringsdjup                                     | 38        |
| 6.4 Kloridpenetration                                        | 39        |
| 6.5 Luftporstruktur                                          | 39        |
| 6.6 Kapillärsugning                                          | 40        |
| <b>7 Sammanfattande slutsatser rörande frostbeständighet</b> | <b>43</b> |
| <b>8 Referenser</b>                                          | <b>45</b> |
| <b>Bilagor</b>                                               |           |

## Förord

Föreliggande arbete har utförts inom enheten för Byggnadsteknik på SP under tiden 1993-1995. Det huvudsakliga syftet har varit att söka fastställa om en bedömning av betongs frostresistens baserad på ett väl etablerat laboratorieförfarande är relevant för beständigheten hos betongkonstruktioner i aggressiv miljö. Såväl äldre som nyare objekt ingår i undersökningen.

Projektet har finansierats till lika delar av SP och en grupp bestående av Cementa, Vägverket, Betongelementföreningen, BFR och SBUF.

Till alla som på olika sätt medverkat i projektet riktas härmed ett stort tack.

Borås i januari 1996.

Kent Malmström

## Sammanfattning

Betongs frostbeständighet provas i Sverige enligt svensk standard SS 13 72 44. I standarden finns en tabell enligt vilken betongens förväntade frostbeständighet kan graderas, baserad på resultaten från laboratorieprovningar. Om de krav som formuleras i standarden är relevanta och tillräckligt nyanserade för en säker beständighetsbedömning är emellertid inte bekant, inte heller om säkerhetsmarginalerna är onödigt stora.

I denna rapport redovisas resultat från laboratorieanalyser av betong som borrats ur ett antal olika konstruktioner. Åldern på konstruktionerna är högst varierande och den miljö de befinner sig i kan klassas alltifrån något betongaggressiv till mycket betongaggressiv. De konstruktionstyper som är representerade är markbetong, parkeringsdäck, olika exempel på prefabelement, motorvägsbarriär samt broar och stödmurar.

I den utsträckning det varit möjligt att få fram uppgifter redovisas materialdata för den betong som använts i de olika objekten.

För samtliga konstruktioner har analyserna, förutom frostbeständighet med olika kombinationer av frysmedium och frysyta, också innefattat tryckhållfasthet. För flertalet objekttyper har även genomförts analyser av tunnslip för att karakterisera ett eventuellt luftpor-system. För de konstruktioner som befinner sig i mycket betongaggressiv miljö, dvs huvudsakligen broar och stödmurar men även parkeringsdäcken, har dessutom gjorts bestämning av kloridprofil och karbonatiseringsdjup. Kapillärsugningsförsök har därtill utförts på betong från samtliga broar och stödmurar och på ytterligare några konstruktioner av andra typer, t ex en motorvägsbarriär vars miljöbetingelser är identiska.

Frostbeständigheten för markstenarna är överlag mycket god, vilket är helt i överensstämmelse med de okulärobservationer som gjorts. Parkeringsdäcken uppvisar dålig beständighet, vilket säkerligen beror på att beständighetsproblematiken inte beaktats vid dimensioneringen. Äldre P-däck kan betraktas som husbyggnadskonstruktioner som befinner sig i en mycket betongaggressiv miljö med åtföljande ofta svåra betongskador som resultat.

De övriga exemplen på förtillverkade produkter, dvs med undantag av markstenarna, visar i regel dålig frostbeständighet. Kopplingen mellan okulärobservationer och laboratorieresultat är tydlig. Betong från objekt som visuellt uppvisar frostsador fryser också sönder vid laboratieförfarandet.

Sak samma gäller i stort sett även de valda broobjekten. Äldre broar gjutna med en betong som var representativ för dåtida teknik, dvs vct 0,60-0,70 och cementhalter 250-350 kg/m<sup>3</sup> och utan tillsats av luftporbildande medel, klarar inte frystestet där sågad yta utgör frysytta. Frysning med salt på överytan ger med få undantag väsentligt bättre resultat. Även om den potentiella frostbeständigheten är dålig så har åldringen haft en positiv effekt på ytans beständighet.

Ytor gjutna mot form, exempelvis stödmurar, visar mycket dålig beständighet både vad det gäller gjutyta och sågsnitt.



# 1 Bakgrund och syfte

I Sverige provas betongs frostbeständighet enligt svensk standard SS 13 72 44, populärt benämnd Boråsmetoden. Metoden har fått spridning även utanför landets gränser, framför allt i de nordiska länderna. Förutom beskrivning av hur provkroppstillverkning och provning går till innehåller standarden en tabell efter vilken betongens frostbeständighet kan bedömas. Tabellen är försedd med kommentaren att den främst är tillämplig för ordinar portlandcementbetong och att andra betongtyper kan kräva annorlunda bedömningsförfaranden.

Boråsmetoden anses ofta vara "sträng", dvs ge resultat på säkra sidan. Hur stora marginalerna är är emellertid inte bekant, då några systematiska försök att korrelera metoden till verkliga förhållanden inte gjorts. Onödigt stora säkerhetsmarginaler innebär att betongkonstruktioner fördyras och betongen riskerar att tappa en del av sin konkurrenskraft gentemot andra konstruktionsmaterial.

Att fastställa relevanta och nyanserade krav för betong testad med Boråsmetoden är därför en synnerligen angelägen uppgift med syfte att leda till en säkrare beständighetsdimensionering av betongkonstruktioner och därmed ökad konkurrenskraft för betong som byggnadsmaterial.

## 2 Program

För att studera frostbeständigheten hos betong i såväl gamla som nya konstruktioner har ett antal, inbördes mycket olika, objekt valts ut. Särskild uppmärksamhet har ägnats åt att finna äldre konstruktioner som uppvisat god beständighet i betongaggressiv miljö. Betongkvaliteter såväl med som utan lufttillsats ingår i undersökningen.

Ur de utvalda objekten har borrats ett antal kärnor och följande parametrar har bestämts:

- Tryckhållfasthet
- Frostbeständighet
- Karbonatiseringsdjup
- Kloridpenetration
- Lufthalt
- Luftporstruktur
- Kapillärsugning

Följande konstruktionstyper är representerade i undersökningen:

- |                                                       |     |
|-------------------------------------------------------|-----|
| • Markbetong (marksten, betongväg)                    | 4.1 |
| • Parkeringsdäck                                      | 4.2 |
| • Fasadelement                                        | 4.3 |
| • Övriga prefabelement (trappa, fundament för stolpe) | 4.4 |
| • Motorvägsbarriär                                    | 4.5 |
| • Broar och stödmurar                                 | 4.6 |

## 3 Provningsmetoder

### 3.1 Tryckhållfasthet

Tryckhållfasthet har bestämts enligt SS 13 72 30 [1]. Från de utborrade kärnorna sågades provkroppar med höjden lika med resp borrhäarnas diameter. Provningsstandarden anger att minsta tvärmått (för gjutna provkroppar) ska vara tre gånger större än betongens maximala stenstorlek. Borrhäarnas diameter varierade mellan 94 och 104 mm, varför betong med 32 mm sten ungefärligen uppfyller standardens krav. Betong från äldre konstruktioner innehåller ofta större stenar men någon hänsyn har inte kunnat tas till detta.

Efter sågning planslipades cylindrarna och lagrades därefter i laboratorieklimat. Innan provningen vägdes provkropparna och densiteten bestämdes utan hänsyn till eventuellt förekommande armering. För varje objekt hållfasthetsprovades 3 provkroppar.

### 3.2 Frostbeständighet

Frostbeständigheten har provats enligt SS 13 72 44 [1]. Standarden innehåller ett antal kombinationer mellan provad yta och frysmiljö. Följande kombinationer har använts:

- IIIA sågad yta med 3,0-procentig NaCl-lösning (4 provkroppar)
- IIIB sågad yta med vatten (2 provkroppar)
- IVA överyta/formyta med 3,0-procentig NaCl-lösning (3 provkroppar)
- IVB överyta/formyta med vatten

Ambitionen har varit att uppnå det antal provkroppar som anges inom parentes ovan. Det tillgängliga materialet i form av utborrade kärnor har för de flesta objekten varit tillräckligt.

### 3.3 Karbonatiseringsdjup

Karbonatiseringsdjupet har bestämts enligt SS 13 72 42 [1], vilket är en metod att med hjälp av en indikatorvätska mäta in färgomslag på nyspräckta betongytor vid ett visst pH-värde. Indikatorvätskan som använts är en 1,5-procentig fenolftaleinlösning, som färgas röd i basisk miljö ( $\text{pH} \geq 9,2$ ) och förblir ofärgad vid lägre pH-värde.

För varje objekt, med undantag av de undersökta markstenarna, gjordes en bestämning av karbonatiseringsdjupet.

### 3.4 Kloridpenetration

Kloridpenetrationen har bestämts genom att på 3 olika nivåer i en borrhära bestämma kloridjonhalten med RCT-mätare (Rapid Chloride Tester). De valda nivåerna är 0-0,5 cm, 1,5-2,0 cm samt 3,0-3,5 cm, där 0 betecknar formyta, alternativt överyta.

För varje objekt bestämdes kloridpenetrationen på en borrhära.

### 3.5 Lufthalt, luftporstruktur

Luftporstruktur har bestämts på tunnslip tillverkade enligt SP-metod 1083 [2]. För fluorescensmikroskoperingen har preparaten vakuumimpregnerats med fluorescensmedel. Mätningarna har utförts med bildanalys Labeye Betong 1.20.

I samband med analyser av luftporstruktur redovisas vanligen några parametrar som karakteriserar luftporsystemet. Först och främst anges lufthalten i betongen uttryckt i procent av betongvolymen. Utan tillsats av luftporbildande medel överstiger normalt inte lufthalten 1,5 - 2,0 %. Tillsats av luftporbildare ger ett fint fördelat system av små bubblor i betongen. Detta system karakteriseras dels av avståndsfaktorn, dvs halva medelavståndet mellan luftporerna, dels av den  $s_k$  specifika ytan, som är den totala mantelytan hos alla luftporer dividerad med totala porvolymen. Den kritiska avståndsfaktorn brukar anges till 0,25 mm vid frysning i vanligt vatten och till 0,18 à 0,20 vid frysning med salt. Specifika ytan för ett bra luftporsystem brukar anges till ca 30 mm<sup>-1</sup>.

### 3.6 Kapillärsugning

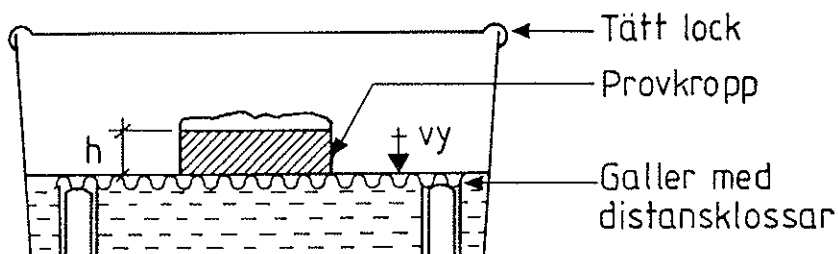
Ett enkelt samband för att karakterisera kapillärsugningen från en fri vattenyta anges av formeln

$$G = k\sqrt{t}$$

som ger sambandet mellan uppsugen vattenmängd  $G$  (kg/m<sup>2</sup>) och tid (s). Koefficienten  $k$  benämns kapillaritetskonstant och har dimensionen [kg / (m<sup>2</sup>√s)].

Kapillärsugningsförsöken har i huvudsak genomförts på betong från de broar och stödmurar som ingår i undersökningen. Både sågad yta och gjutytta/formyta har använts. Provningsen tillgick på följande sätt.

En ca 20 mm tjock skiva placerades på ett galler med underytan på skivan i kontakt med en vattenyta. Alla sidor på provkroppen utom underytan var isolerade med tejp för att förhindra avdunstning. Provuppställningen framgår av figur 3.1. Vattenytan justerades så att den befann sig ca 1 mm ovan provkroppens underyta. Med jämna mellanrum vägdes provkropparna och uppsugningen avslutades efter 24 timmar. Värdet på kapillaritetskonstanten beräknades med  $t = 24$  timmar.



Figur 3.1 Kapillärsugningsförsök

## 4 Provobjekt

### 4.1 Markbetong

Tre olika typer av marksten samt betong från Arlandavägen är de exempel på markbetong som studerats.

#### 4.1.1 SF normalsten 1

SF-stenen är tillverkad hos Skanska Prefab i Uppåkra och har varit lagd hos Skanska Prefab i Staffanstorp för användning som en lageryta för armeringsjärn. Ytan lades 1978-79. Stenarna har tillverkats genom komprimering med vibration av jordfuktig betong, varefter de härdats minst ett dygn vid rumstemperatur (ca 20 grader) och därefter transporterats till lager utomhus. Hela stenen är tillverkad av ensartad betong.

#### 4.1.2 SF normalsten 2

Denna sten är tillverkad med samma betongrecept och samma produktionsmetod som ovanstående och stenarna har lagts hos Skanska Prefab i Staffanstorp som transportväg för tung lastbils- och trucktrafik. Ytan lades 1982.

#### 4.1.3 Hexa normalsten

Hexastenen är tillverkad av Skanska Prefab i Staffanstorp. Tillverkningsproceduren överensstämmer i stort med metodiken för SF-stenen, men Hexastenen har en finsats i slit-skiktet och en grovsats i resten av stenen. Här analyserade markstenar har varit lagda i Trelleborgs hamn på en transport- och uppställningsyta för containertrailers. Denna yta lades 1986.

#### 4.1.4 Arlandavägen

Betongvägen mellan Arlanda Flygplats och E4 byggdes under augusti 1990. Förundersökningar, fortlöpande provningar och uppföljning finns dokumenterade i [3], [4] och [5]. Kravet på betongen var att den skulle uppfylla hållfasthetsklass K80 resp T4,5. Betongreceptet innehåller silikastoft.

### 4.2 Parkeringsdäck

Två stycken parkeringsdäck av TT-element ingår i undersökningen. Båda är belägna i Stockholmsområdet. En omfattande inventering av parkeringshusbeståndet i Göteborg redovisas i [6]. Inventeringen är i huvudsak inriktad på skadetyper och reparationsbehov och några materialanalyser har inte gjorts.

#### 4.2.1 Parkeringsdäck Ametisten, V. Orminge, Nacka

Däcket utgörs av TT-element och är inte försett med beläggning. Elementen är tillverkade av Strängbetong, Kungsör. Härdning har skett med fri ånga under plasttäckning. Montaget skedde i december 1968 och däcket togs i bruk i april följande år.

## **4.2.2 Parkeringsdäck Smaragden, V. Orminge, Nacka**

Däcket utgörs av obelagda TT-element. Tillverkning och härdning har skett enligt föregående. Montaget ägde rum i maj 1968 och däckets togs i bruk två månader senare.

## **4.3 Fasadelement**

Endast ett exempel på denna konstruktionstyp är representerat i undersökningen, nämligen ett element från Märsta. Den yta som exponerats är belagd med akrylatlatex. Byggnadsåret är 1969.

Enligt uppgift var temperaturen i gjuthallen 18-20 °C. Elementen har inte fukthärdats utan ställts ut på lagergården dagen efter gjutning. Där har elementen stått oskyddade för nederbörd men såpass tätt att exponering för vind och sol varit ringa.

## **4.4 Övriga förtillverkade betongelement**

Förutom förtillverkade P-däck och fasader har undersökningen utökats med två exempel på element, som okulärt uppvisat mycket dålig beständighet trots att miljön inte kan anses vara speciellt betongaggressiv.

### **4.4.1 Trappa på SP**

Trappan kom på plats 1991 och i vinterväghållningen användes av misstag kemisk halkbekämpning. Miljön försämrades på så sätt avsevärt och efter två vintrar var betongen tydligt skadad och trappan införlivades därför bland konstruktionerna i denna undersökning. Efter påpekande används inte längre salt i väghållningen vintertid.

### **4.4.2 Fundament för trafikmärke**

Objektet utgörs av en oarmerad betongklump, som tjänar som fot för ett fritt placerat trafikdelarmärke inom SP's område. Fundamentet har ungefär triangulär tvärsektion. Det är inte bekant hur länge fundamentet varit på plats, men frostskadorna är svåra.

## **4.5 Motorvägsbarriär**

På väg E4 genom Jönköping norrut producerades 1983 en stränggjuten mittbarriär i betong. Delen närmast centrum, ungefär vid f d A6, valdes för provuttag. Urborrningen har skett vertikalt ovanifrån.

Denna typ av platsgjuten konstruktion som mittbarriär har numera i huvudsak ersatts av förtillverkade element av typ Tric Bloc.

## 4.6 Broar och stödmurar

Vägar med kemisk halkbekämpning utgör en mycket betongaggressiv miljö. För att fånga upp eventuella variationer i väghållningsinsatser och olikheter i klimatbetingelser har broobjekt från flera regioner valts ut för analys. I huvudsak har provuttagen gjorts ur kantbalkar, den konstruktionsdel på en bro som blir mest påverkad vid tösaltningen. För att även studera hur vertikala ytor angrips, i huvudsak av stänk av saltbemängd snö och smältvatten, ingår två stödmurar i undersökningen.

Uppgifter om byggnadsår, betongrecept m m har i de flesta fall hämtats från de data om broarna (stödmurarna) som förvaras vid Vägverkets broarkiv i Borlänge. Materialuppgifterna är betydligt fylligare redovisade för de nyare konstruktionerna.

### 4.6.1 Bro B 1337 över Huvudstaleden, SJ:s spårområde m m vid trafikplats Karlberg i Solna å väg E4, Stockholms län

Bron är en drygt 240 m lång förspänd betongbro med lådsektion, byggd 1975. Den är belägen i horisontalkurva och har ensidig lutning i tvärled (mot söder). Provuttaget utgörs av 7 st borrkärnor Ø 100 mm, samtliga tagna ur den södra kantbalken. Bron utgör påfart till Essingeleden, varför såväl trafik som halkbekämpning varit intensiv.

### 4.6.2 Bro F 633 på väg E4 över Röttleravinen, Jönköpings län

Bron är belägen på en sträcka av E4 som har motorvägssektion och bron är i själva verket en dubbelbro. Provuttaget har gjorts från den inre (vänstra) kantbalken på den södergående bron. Betongen i denna konstruktionsdel härstammar från en reparation som genomfördes under oktober-november 1970, efter det att de ursprungliga kantbalkarna fått svåra frostsador. Reparationsbetongen har enligt broförvaltaren uppvisat mycket goda beständighetsegenskaper.

### 4.6.3 Bro F 18 över Huskvarnanån vid Sanna, Jönköpings län

Bron är byggd 1946 och utgör påfart till väg E4 norrut. Provuttagen har gjorts ur den ena kantbalken. Okulärt bedöms bron vara i gott skick.

### 4.6.4 Bro F 34 över Hoksån på väg 30 söder Hok, Jönköpings län

Bron byggdes ursprungligen 1928 men 1955 genomfördes en omfattande ombyggnad. Provuttagen har gjorts ur östra kantbalken (från 1955). Enligt underhållsansvariga har bron klarat sig bra och befinner sig i gott skick. Vissa skador kan dock iakttas på kantbalkarna. I Vägverkets arkiv fanns inga materialuppgifter tillgängliga.

#### **4.6.5 Bro O 569 på väg E6 över Örekilsälven m m, Munkedalsviadukten, Göteborgs- och Bohus län**

Bron är byggd 1963 och ligger inom det av Vägverkets arbetsområden i västra regionen som använder mest salt. Bron ligger i horisontalkurva och har ensidig skevning. Bron saknar ytavlopp, vilket innebär att allt ytvatten dräneras över kantbalkarna. Dessa båda faktorer tillsammans medför att den lägst belägna kantbalken (den västra) tar emot merparten av brons dräneringsvatten, vilket skulle kunna innebära att analysresultaten visar på skillnader mellan brons västra och östra kantbalk.

#### **4.6.6 Bro O 40 på väg E6 över SJ i Svarteberg, Göteborgs- och Bohus län**

Bron är av äldre datum, byggd 1949, och hårt belastad av både tung trafik och kemisk halkbekämpning. Det provuttag som kunde göras ur kantbalkarna blev begränsat.

Bron hade för en del år sedan vattenbilats och försetts med en pågjutning av betong på brobanepattan. Kantbalkarna åtgärdades däremot inte i detta sammanhang. Vägverket önskade utanför denna undersökning även prova vidhäftningen mellan pågjutningen och den gamla betongen. Detta sidouppdrag gav en del extra material för test av frostbeständigheten hos såväl den äldre som den nygjutna betongen.

#### **4.6.7 Bro O 352 på gamla Rv 40 i Härryda, Göteborgs- och Bohus län**

Bron är byggd 1954 och har visuellt klarat sig bra, trots hård saltning. Provuttaget gjordes ur kantbalkarna.

#### **4.6.8 O 550, Stödmur vid Kålleröd, Göteborgs- och Bohus län**

Muren är byggd 1960 och inte saltad men utsatt för stänk från den närliggande motorvägen (E6). Provuttagen kommer från vertikala stödmurssektioner.

#### **4.6.9 P 818, Stödmur vid Galgbacken i Borås, Älvsborgs län**

Denna mur uppfördes 1968 och är inte saltad men utsatt för stänk från den intilliggande Rv 40. Provuttagen skedde på olika nivåer, varierande från 0,2 till 1,5 m ovan väg, i avsikt att utröna om eventuella skillnader i beständighet går att relatera till nivån ovan vägbanan.

Uppgifter om betongen samt analysresultat och kommentarer till dessa redovisas i följande kapitel och bilagor. För de äldre objekt som ingår i undersökningen anges i provningsprotokoll m m betongens tryckhållfasthet i  $\text{kp/cm}^2$ . I resultatbilagorna till föreliggande rapport har dock denna enhet "moderniserats" och tryckhållfastheten anges därför genomgående i MPa.

Ett resultat som överraskat är den ofta påfallande goda frostbeständigheten hos kantbalkar, även för äldre broar utan lufttillsatt betong. För att studera om detta är ett resultat av Vägverkets numera föreskrivna rutinmässiga ytimpregnering av vissa utsatta brodetaljer, eller om det är en positiv effekt av betongens åldring har ytterligare två broobjekt lagts till undersökningen. Dessa båda broar har enligt uppgift aldrig ytbehandlats och kan därför tänkas visa i vilken omfattning de förebyggande underhållsåtgärderna haft effekt.

#### **4.6.10 Bro P 299 vid Bolstads kyrka, Älvsborgs län**

Bron är en mindre plattram byggd våren 1951. Provuttagen har gjorts ur brons södra kantbalk. Betongen är platsblandad.

#### **4.6.11 Bro P 317 över Storån vid Åsmule, Älvsborgs län**

Bron är en balkrambro byggd 1950. Betongen är tillverkad på platsen. Samtliga borrhäknor är tagna ur kantbalken på brons uppströmssida.

## **5            Kommentarer till provningsresultaten**

### **5.1        Markbetong**

#### **5.1.1     SF normalsten 1**

Frostbeständigheten har endast testats på stenarnas överytor. Frysmediet har varit både 3,0-procentig NaCl-lösning och vatten, dvs kombinationerna IVA och IVB med standardens beteckningar. Tre provkroppar har ingått i varje serie. Frostbeständigheten bedöms som mycket god efter 56 frys-tö-cykler, dvs avflagningsarna understiger  $0,1 \text{ kg/m}^2$ . Förlängd provning till 112 cykler medför inget accelererat avflagningsförlopp.

Analys av luftporsystemet ger vid handen att lufthalten är hög, upp till 14 %, och att luften huvudsakligen utgörs av stora blåsor, dvs värdet på specifik yta är lågt. Den stora mängden luft innebär däremot att blåsorna ligger tätt, vilket indikeras av en fullt acceptabel avståndsfaktor. Resultaten är sammanställda i bilaga 1.1.

#### **5.1.2     SF normalsten 2**

Frostbeständigheten har testats på stenarnas överytor med såväl saltlösning som vatten som frysmedium. Varje serie innehöll tre provkroppar. Frostbeständigheten är mycket god, vilket framgår av resultatsammanställningen i bilaga 1.2. Luftporsystemet har inte analyserats.

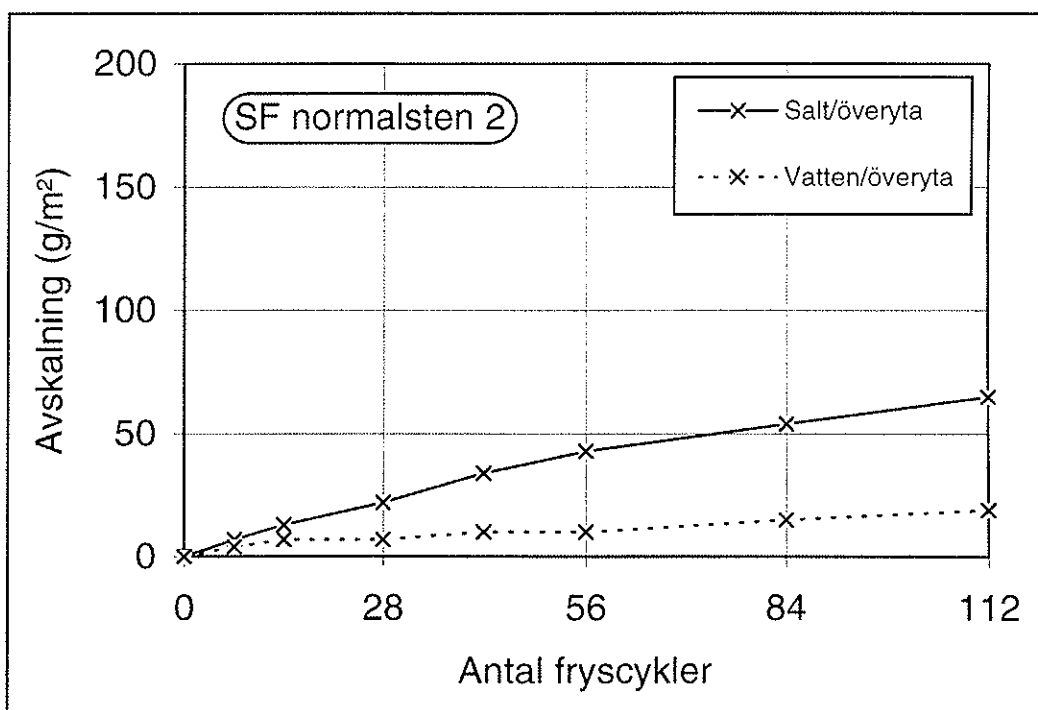
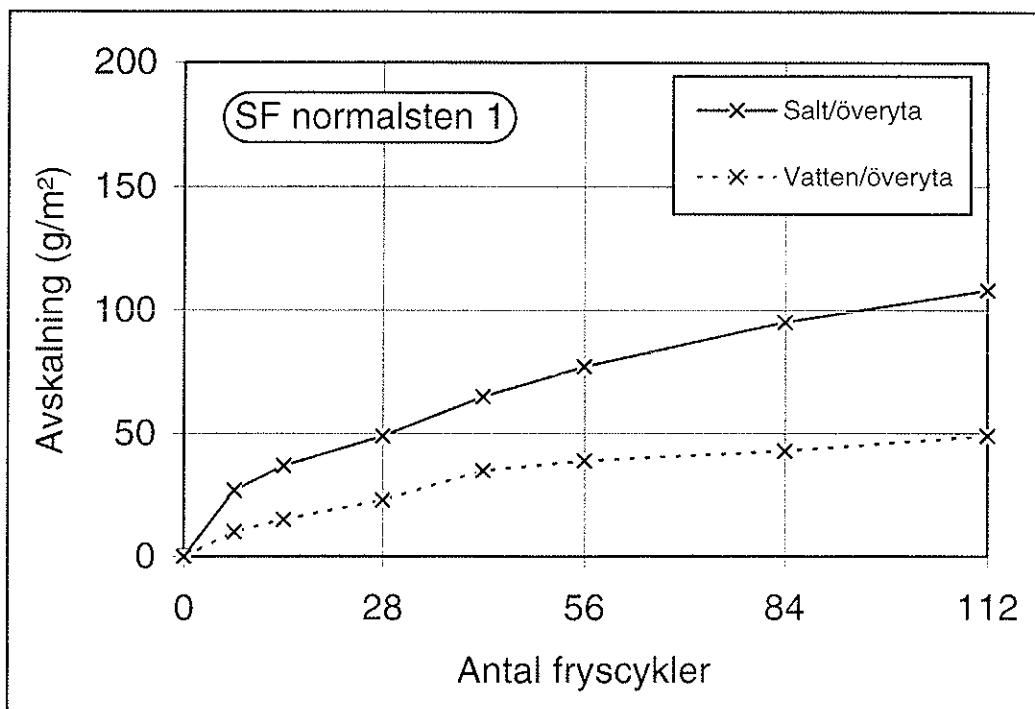
#### **5.1.3     Hexa normalsten**

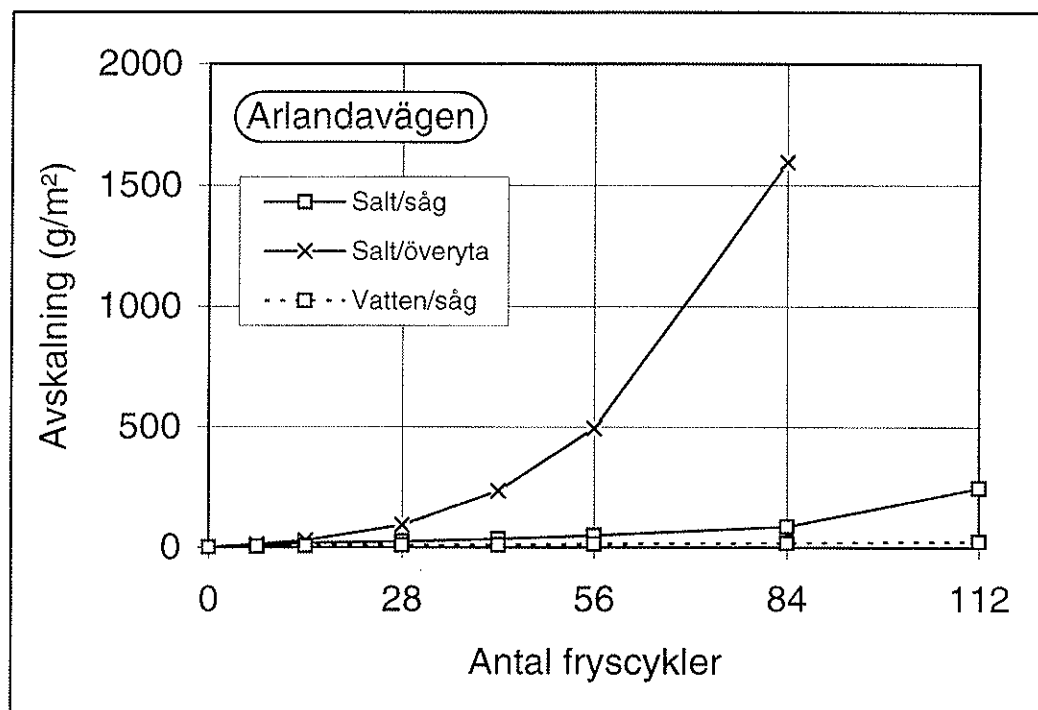
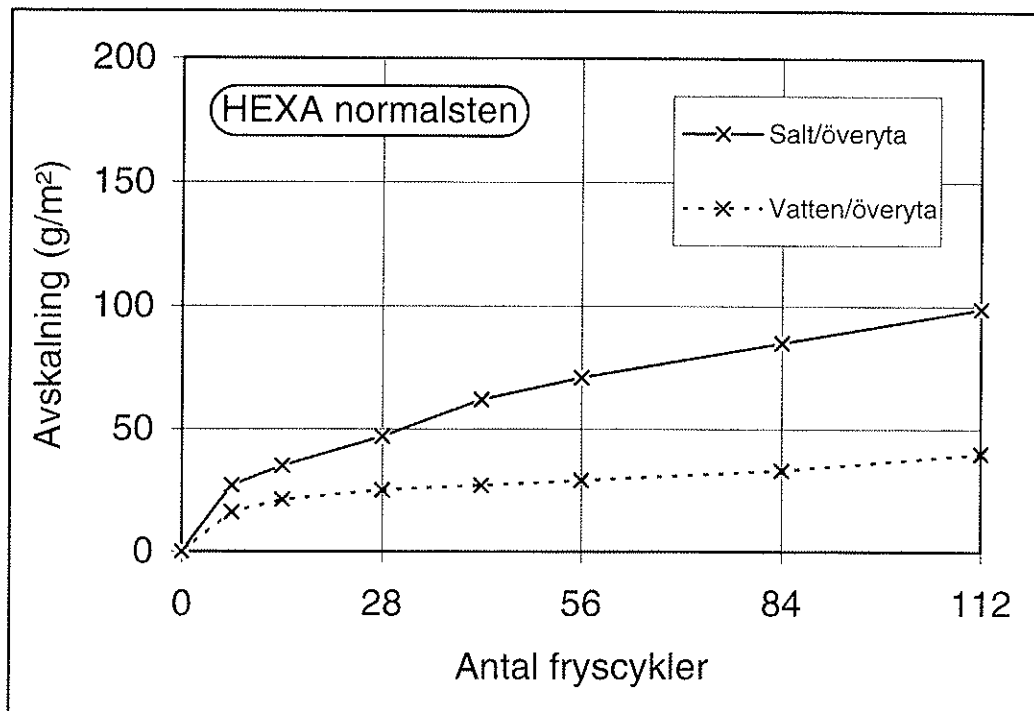
Frostbeständigheten har testats på stenarnas överytor, dvs för denna typ av sten är det finssatsen i ytan som utsatts för frysmediet. Frostbeständigheten bedöms som mycket god. Resultaten återfinns i bilaga 1.3. Någon analys av luftporsystemet har inte genomförts.

#### **5.1.4     Arlandavägen**

I samband med efterkontrollen av betongen till Arlandavägen tillverkades tunn- och planslip. Resultaten av analyserna av dessa slip finns avrapporterade i [3]. Luftporernas fördelning var jämn men deras form och deras läge i cementpastan varierade. Flera av de parametrar som används för att karakterisera ett luftporsystem (luftmängd i pasta, specifik yta och avståndsfaktor) uppvisade värden som erfarenhetsmässigt inte utmärker ett fullgott luftporsystem.

Vid efterkontrollen genomfördes test av frostbeständigheten på 10 st provkroppar. Avflagningsarnas medelvärde efter 56 cykler var  $0,38 \text{ kg/m}^2$  och ingen provkropp uppvisade avflagningsarna överstigande  $1,0 \text{ kg/m}^2$ . Däremot accelererade avflagningsförloppet i samtliga fall, varför en bedömning enligt standardens kriterier blir att betongen inte är frostbeständig.





Betongreceptet innehåller kiselstoft. I standarden för test av frostresistens påpekas att bedömningskriterierna främst är tillämpliga för ordinär portlandcementbetong. För andra betongtyper kan andra bedömningsförfaranden vara befogade, t ex efter ett utökat antal fryscykler. I objektet Arlandavägen har frystestet förlängts till att omfatta 224 fryscykler med avläsning också efter 112 cykler. Efter 224 cykler är medelvärdet på avflagningsarna  $4,5 \text{ kg/m}^2$  och endast en av 10 provkroppar hade lägre avflagningar än  $1,0 \text{ kg/m}^2$ . För de flesta provkropparna kvarstår tendensen till accelererat förlopp för avflagningsarna. Avrapportering i [3].

Ny provning av frostbeständigheten på utborrade cylindrar påbörjades vid SP sommaren 1993, dvs knappt tre år efter den förra. Provningen förlängdes till 112 cykler med en avläsning även efter 84 cykler. Resultaten härifrån redovisas i bilaga 1.4. Provning med salt på sågad yta (förfarande IIIA) visar på en klar förbättring jämfört med resultaten från 1990, även om två av de fyra testade provkropparna uppvisar ett accelererande förlopp för avflagningsarna. Denna tendens förstärks vid förlängt test där  $m_{112}/m_{56} = 4,9$ . Frysning med salt på överytan (förfarande IVA) leder till total sönderfrysning efter 112 cykler för de tre provkropparna. Efter 56 cykler låg medelvärdet strax under  $0,50 \text{ kg/m}^2$ , dvs god frostbeständighet enligt standardens bedömningskriterier. Där frysmediet i stället utgjordes av vatten blev mängden avflagt material försumbart liten.

Analys av tunnslip visade på låga lufthalter, som mest 3,6 %, och med avståndsfaktorn 0,21 - 0,27 mm och specifika ytan 20 - 31  $\text{mm}^{-1}$ , dvs värden som inte karakteriserar ett gott luftporsystem. Karbonatiseringsdjupet uppgick som mest till 1 mm och vbt skattades till 0,30 genom jämförelse med referenspreparat.

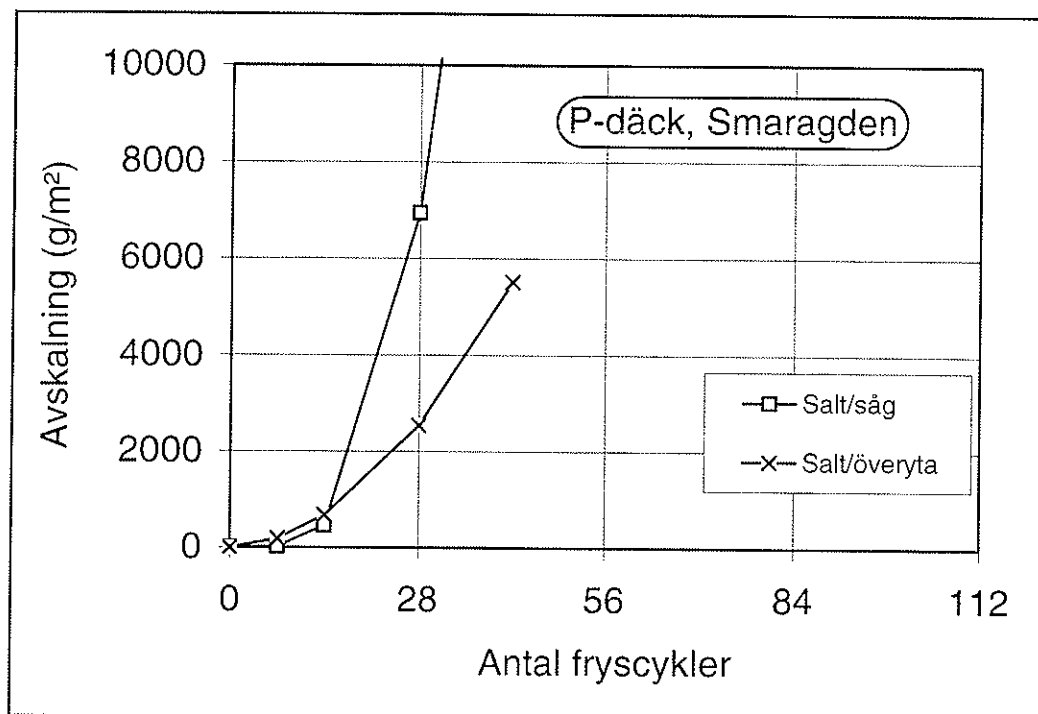
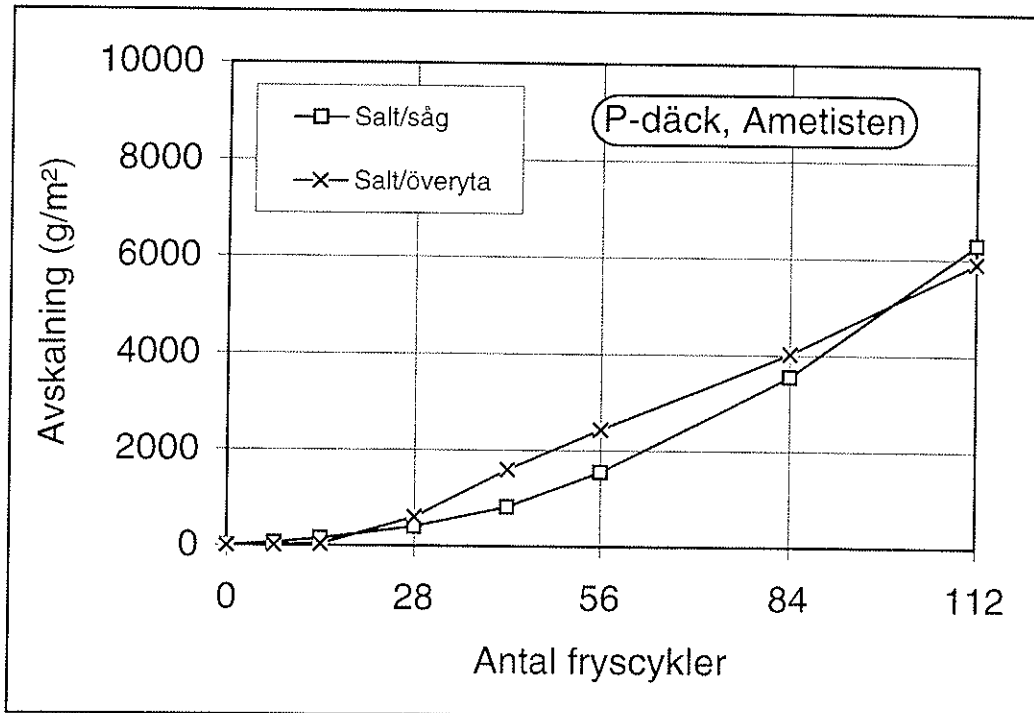
## 5.2 Parkeringsdäck

### 5.2.1 P-däck Ametisten, Orminge

Frostbeständigheten har provats med saltlösning på såväl sågad yta som gjutyta. Ingetdera förfaringsättet påvisade acceptabel frostbeständighet, då kriterierna både för mängd avflagt material och acceleration överskreds. Kombinationen låg lufthalt och Slitecement är av erfarenhet olämplig då frostbeständig betong eftersträvas, se t ex [7]. Med tanke på att byggnadsåret är 1968 och att konstruktionstypen närmast är att betrakta som husbyggnad, är det ingalunda förvånande att betongen inte försetts med luftporbildande tillsatsmedel. Att miljön dock varit och fortfarande är betongaggressiv visar de höga kloridjonhalterna i betongytan, som i ett fall uppgår till 1,3 % av cementets vikt i en mycket cementrik betong. Någon omedelbar fara för kloridinitierad armeringskorrosion föreligger knappast förutsatt att de täckande betongskikten blivit de avsedda. Karbonatiseringsdjupet är uppmätt till 5 mm. Resultaten redovisas i bilaga 2.1.

### 5.2.2 P-däck Smaragden, Orminge

Provningssfattningen för detta objekt var densamma som för P-däck Ametisten ovan. Resultaten av frystesten blev dock ännu sämre i detta fall, trots en något högre lufthalt. Ca 3 % luft är dock långt ifrån tillräckligt för att ge en frostbeständig betong med Slitecement. Något förvånande uppmättes väsentligt lägre kloridhalter i detta parkeringsdäck jämfört med P-däck Ametisten. Karbonatiseringsdjupet uppmättes även här till 5 mm. Resultatredovisning i bilaga 2.2.



### 5.3 Fasadelement

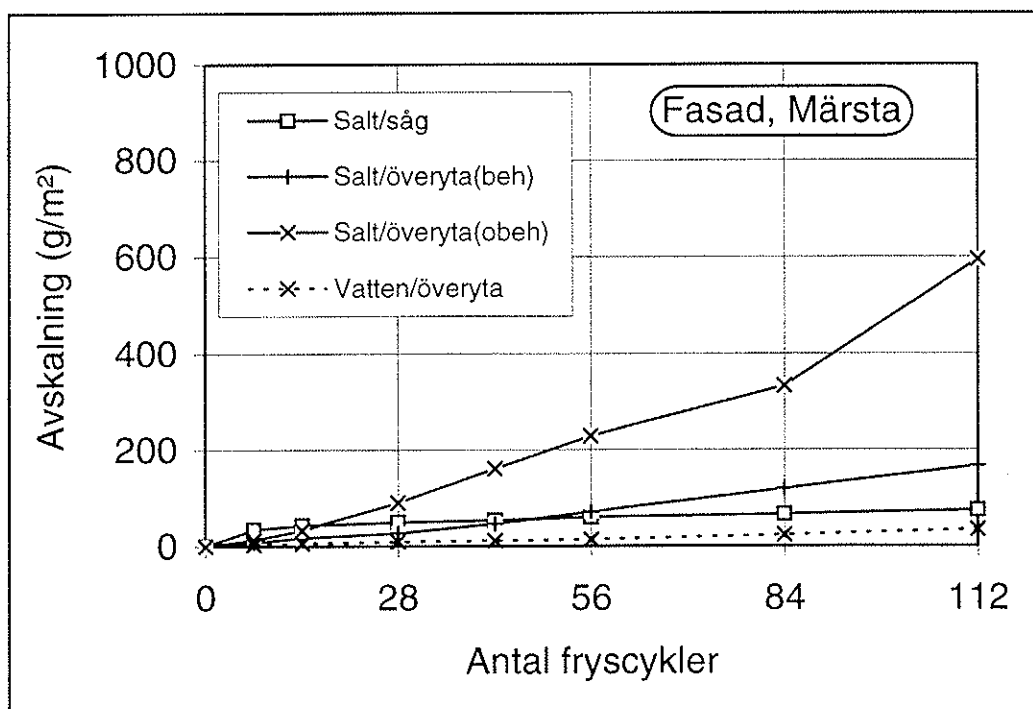
Denna objektkategori representeras enbart av ett fasadelement, där den yta som exponerats varit behandlad med akrylatlatex medan baksidan varit obehandlad. Tre provkroppar från vardera typen av yta har testats med saltlösning (förfarande IVA), vartill kommer test av sågad yta med saltlösning (IIIA) och formyta med vatten som frysmedium (IVB).

Att testa betong i denna typ av konstruktion med saltlösning är knappast relevant för den miljö konstruktionen befinner sig i, som med BBK 94's indelning i miljöklasser kan definieras som något betongaggressiv (B2). De krav som BBK då ställer är att vct högst får vara 0,60 och att frostbeständighet krävs vid frysning med vatten.

Båda dessa krav är uppfyllda. Vid frysning av formyta med vatten uppgår avflagningarna efter 112 cykler till i medeltal 34 g/m<sup>2</sup>. Sågad yta med saltlösning klarar sig också den mycket bra och någon tendens till accelererat avflagningsförlopp föreligger inte.

Frysning av ytorna med saltlösning ger inte oväntat större mängder avflagt material, dock ingalunda några anmärkningsvärda kvantiteter. Ytbehandlingen med akrylatlatex har haft god effekt, då mängden avflagt material från dessa provkroppar endast är ca 30 % av mängden från de obehandlade ytorna. I båda fallen accelererar däremot avflagningsförloppen och såväl  $m_{56}/m_{28}$  som  $m_{112}/m_{56} > 2$ .

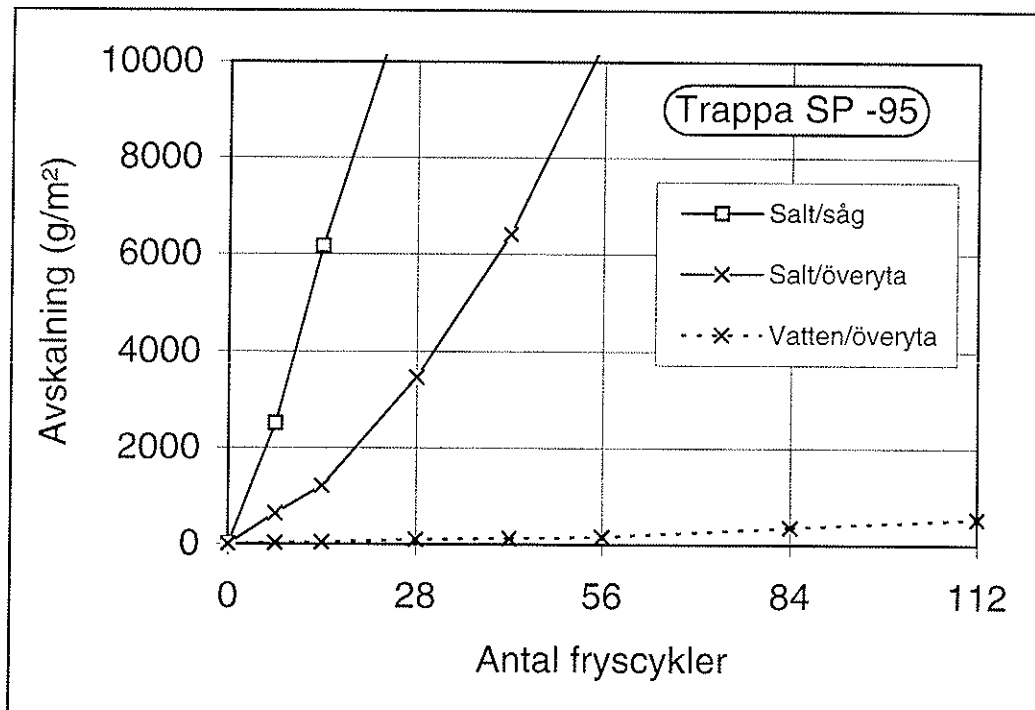
Det saknas uppgift om betongen är försedd med luftporbildande tillsatsmedel. Analys av två tunnslip ger dock såpass höga lufthalter som 6,0 resp 7,9 % med avståndsfaktorer 0,14 - 0,16 och fullt godtagbara värden även för specifik yta. Sammantaget pekar detta mot en luftporstruktur väl ägnad att ge en frostbeständig betong. Det finns därför all anledning att förmoda att betongen med avsikt fått lufttillsats. Provningsresultaten återfinns i bilaga 3.1.



## 5.4 Övriga förtillverkade betongelement

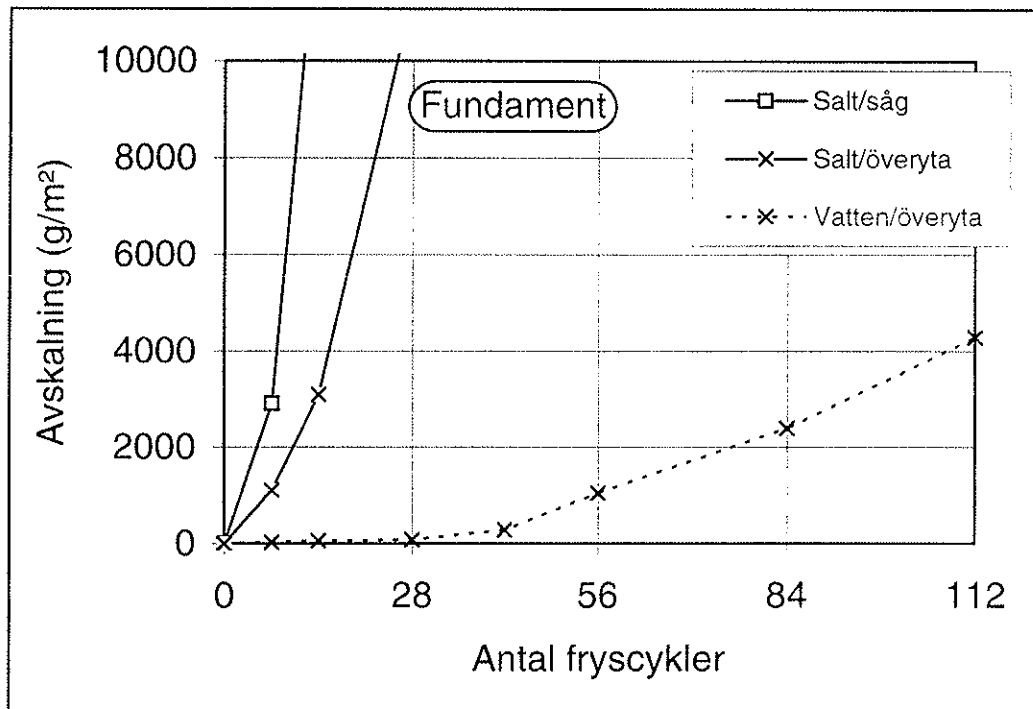
### 5.4.1 Trappa på SP

Provuttagen ur detta objekt har gjorts vid två tillfällen, 1993 och 1995, dvs efter 2 resp 3½ års ålder hos trappan. Analyserna har omfattat tryckhållfasthet och test av frostbeständighet enligt tre olika förfaranden. Samtliga provningsresultat visade på en positiv effekt av betongens åldring, hållfastheten t ex ökade med ca 20 %. Avflagingarna minskade generellt men uppvisade fortfarande mycket höga värden där frysmidiet utgjordes av saltlösning. Vid frysning med vatten kunde proceduren förlängas till 112 cykler, men avflagingar överstigande 0,5 kg/m<sup>2</sup> med vatten som frysmedium är erfarenhetsmässigt mycket sällsynta. Tendensen till acceleration är dessutom kraftig med höga värden på kvoten  $m_{112}/m_{56}$ . Inga tunnslip har analyserats. Den tösaltning som genomfördes av mistag har inte lämnat några spår i form av höga kloridjonhalter. Resultaten redovisas i bilaga 4.1.



### 5.4.2 Fundament för trafikmärke

Okulärt är detta det objekt som befinner sig i sämst skick av samtliga. Ingenting i de erhållna provningsresultaten motsäger heller detta. Med saltlösning fryser samtliga provkroppar sönder långt innan föreskriven provningslängd och inte ens frysning i vatten ger acceptabel frostbeständighet ( $\leq 1,0 \text{ kg/m}^2$ ) efter 56 cykler. De testresultat som är goda avser egenskaper som i detta objekt inte efterfrågas. På hållfastheten behöver inte ställas några krav då fundamentet inte bär någon last. Ett lågt värde på karbonatiseringsdjupet är heller inte av primärt intresse då fundamentet saknar armering. Testresultaten återfinns i bilaga 4.2.



## 5.5 Motorvägsbarriär

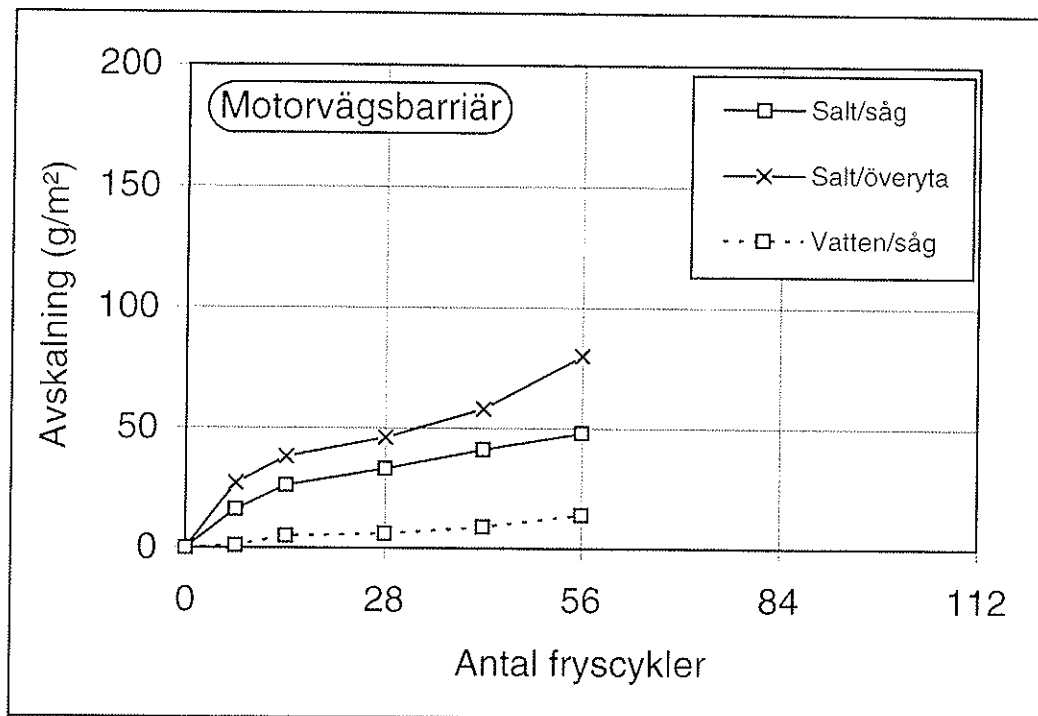
Provuttagen gjordes ur barriärens överyta, då sidorna inte var enkelt åtkomliga för borrning. Överytan är plan i tvärläng och belägen ca 0,8 m ovan vägbansnivå. Sidorna på barriären är vertikala eller nästan vertikala och mer utsatta för sprut och stänk av saltbetsmängd snö men har betydligt bättre avrinningsförhållanden och erbjuder inga möjligheter till skadliga ansamlingar av kloridjoner. I ytan på de utborrade kärnorna, 0 - 0,5 cm djupt, är halten kloridjoner 0,9 % av cementvikten, dvs en relativt hög koncentration, men redan på nivån 1,5 - 2,0 cm har halten sjunkit till < 0,1 %.

Karbonatiseringsdjupet uppgår som mest till 4 mm.

Hållfasthetsutvecklingen är god, från 48 MPa till 89 MPa under 11 år. Hållfasthet är emellertid en egenskap som inte i sig är intressant, då inga krav ställs på konstruktionens bärförmåga. Med tanke på produktionsmetoden, som kan karakteriseras som kontinuerlig stränggjutning med avformning redan efter några minuter, är spridningen i hållfasthetsvärden påfallande låg och ytfinishen av hög klass.

Frostbeständighet har testats med såväl vatten som salt på sågad yta samt med saltlösning på gjutyta. I samtliga fall är beständigheten mycket god, dvs mängden avfläsat material överstiger inte 100 g/m² efter 56 cykler. Tunnslipsanalysen ger också vid handen att luftsporsystemet är av god kvalitet, den uppmätta lufthalten är något låg men övriga parametrar uppvisar goda värden.

Kapillarsugningsförsök har genomförts och uppsugen mängd vatten efter 1, 4 resp 24 timmar samt beräknad kapillaritetskonstant efter 24 timmar återfinns tillsammans med övriga resultat i bilaga 5.1.



## 5.6 Broar och stödmurar

### 5.6.1 Bro B 1337 över Huvudstaleden, SJ:s spårområde m m vid trafikplats Karlberg i Solna å väg E4, Stockholms län

Provuttagen är samtliga gjorda ur den lägst belägna kantbalken (den södra). Då bron leder över korsande vägar och järnvägsspår i trafikplatsen, kan inte ytvattnet på bron dräneras över kantbalken utan samlas istället upp på vägbanan och avleds genom brons ytavlopp. Någon extra överspolning av kantbalken med saltbemängt ytvatten från hela bron har alltså inte förekommit. Halten kloridjoner i ytan på de analyserade betongkärnorna är 0,8 % men i nivå med armeringen är halten < 0,1 %.

Uppgift om uppmätt betonghållfasthet vid gjutningen av bron saknas, men att minst den angivna hållfasthetsklassen K40 uppnåtts torde vara säkert. Hållfasthetstillväxten under de närmast följande åren visar nästan på en fördubbling.

Karbonatiseringsdjupet uppgår inte i någon av mätpunkterna till mer än 5 mm.

Frostbeständigheten har testats med saltlösning på såväl sågad yta som överyta samt med vatten på sågad yta. Beständigheten efter 56 frys-töcykler är genomgående mycket god. Vid förlängd provning till 112 cykler uppgår avflagningsarna från gjutyten med saltlösning som frysmedium till 130 g/m², dvs fortfarande god frostbeständighet, men här kan en viss tendens till accelererat avflagningsförlopp noteras.

Tunnslipsanalysen av luftporssystemet ger en lufthalt på 3,7 %, mycket goda värden på avståndsfaktorn, något stor spridning mellan värdena på specifik yta, men ingenting som motsäger att luftporssystemet är av god kvalitet. Detta har ju också bekräftats av frystesten.

Uppgift om vct saknas bland uppgifterna från produktionen av broobjektet men från tunnslipsanalysen anges ett vct på 0,35 - 0,40.

Inga kapillärsugningsförsök har genomförts. Sammanställning av inhämtade uppgifter och erhållna resultat finns i bilaga 6.1.

### **5.6.2 Bro F 633 på väg E4 över Röttleravinen, Jönköpings län**

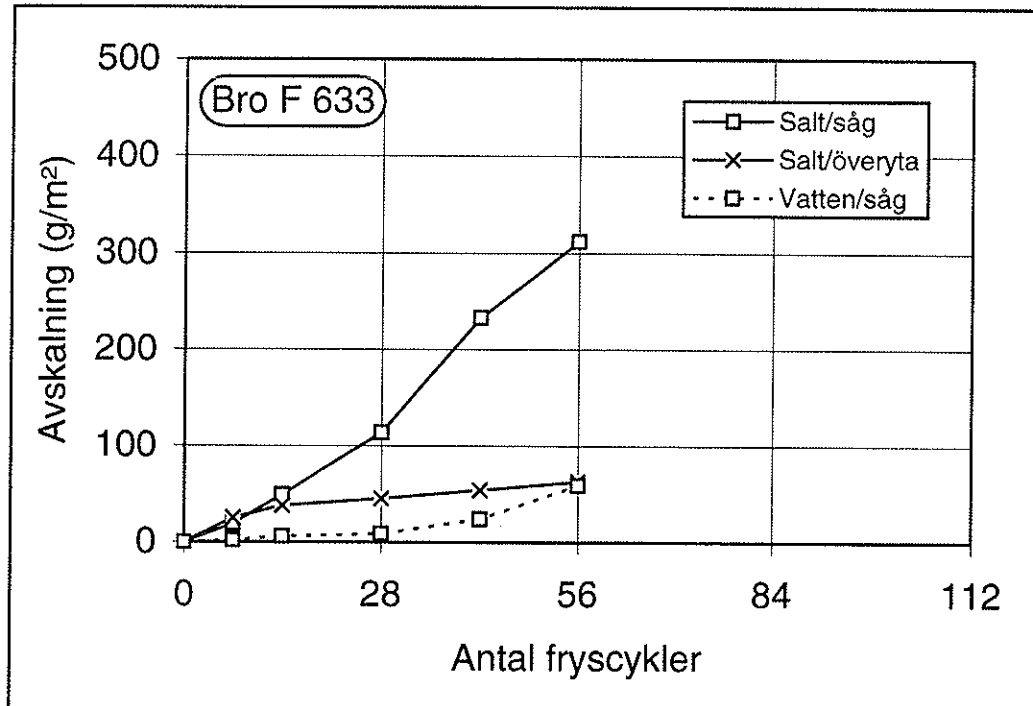
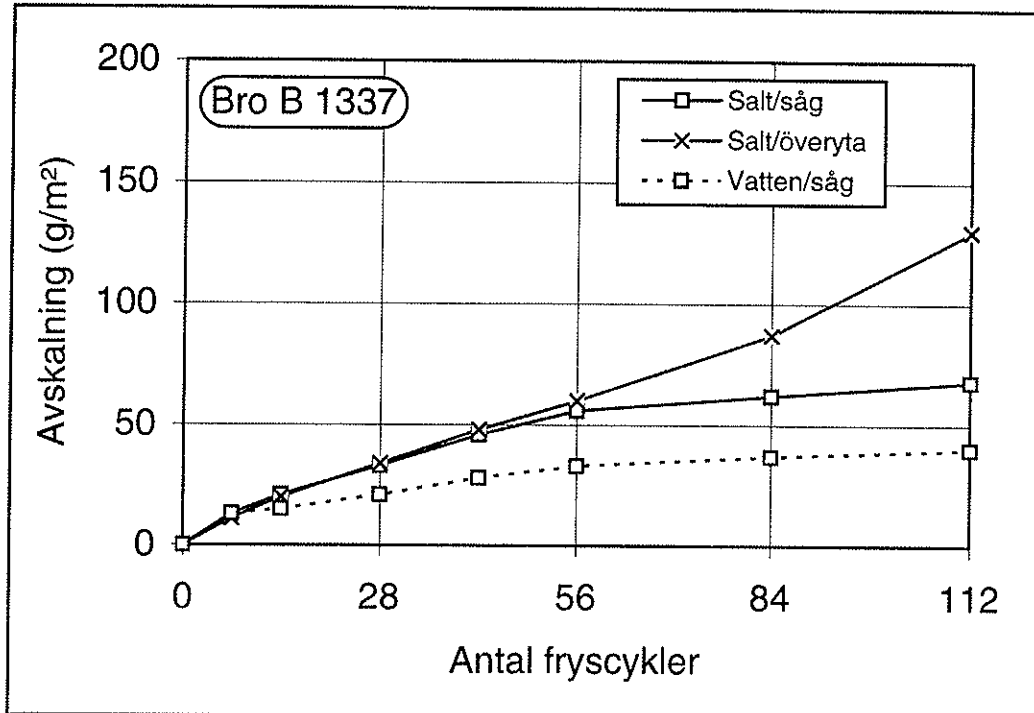
Provuttagen kommer från den kantbalk som utgör del av mittskiljeremsan till bron, dvs befinner sig närmast det körfält som huvudsakligen används för omkörningar. Stänket av smältvatten är sannolikt mindre där än på motstående sida av bron. De uppmätta kloridjonhalterna är dock relativt höga och på överkantsarmeringens nivå, dvs 3,0 - 3,5 cm under överytan, uppmättes en kloridjonhalt på 0,3 %, vilket är den mängd som Vägverket högst kan acceptera i betong med ospänd armering [8]. En okulärgranskning av de borrkärnor som innehåller armering ger dock vid handen att armeringen inte uppvisar några tecken på rostangrepp, dvs några kloridinitierade korrosionsprocesser har ännu inte startat.

Karbonatiseringsdjupet varierar från 5 till 20 mm och mikrosprickor förekommer i stor utsträckning. Provuttagen har, som redan nämnts, gjorts från en kantbalk som reparerats, dvs det rör sig om mycket små gjutningar i varje etapp, vilket kan ha medfört svårigheter att bearbeta den nygjutna betongen på ett fullgott sätt med resultatet att överytan av allt att döma blivit något otät. Möjligen kan trafiklasten ha släppts på bron i tidigt skede innan reparationsbetongen uppnått fordrad hållfasthet och att då vibrationer från trafiken bidragit till sprickförekomsten.

Frostbeständigheten har testats på sågad yta både med NaCl-lösning och vatten och med saltlösning även på överytan. Med metod IIIA, dvs saltlösning på sågad yta, överstiger avflagningsarna 300 g/m<sup>2</sup>, vilket innebär en frostbeständighet som bedöms som god om inte hänsyn tas till att förloppet accelererar. Medelvärdena för avflagningsarna vid frysning med salt på överytan (IVA) resp vatten på sågad yta (IIIB) är nästan identiska, dock är tendensen för avflagningsarna helt olika. Vid förfarande IVA lossnar en relativt stor mängd under de första 7 cyklerna och därefter är utvecklingen lugn, medan accelerationen är kraftig vid frysning med vatten på sågad yta.

De parametrar som erhållits vid analysen av tunnslipen pekar alla på att luftporssystemet är av god kvalitet.

Kapillärsugningsförsök är genomförda och den uppsugna mängden vatten efter 1, 4 resp 24 timmar och den beräknade kapillärsugningskonstanten efter 24 timmar för både sågad yta som överyta återfinns tillsammans med övriga analysresultat i bilaga 6.2.



### 5.6.3 Bro F 18 över Huskvarnaån vid Sanna, Jönköpings län

Bron härstammar från mitten av 1940-talet och är representativ för dåtida krav och betongkunnande. Kravet på betongen är hållfasthetsklass K30 och därtill vattentäthet. Nutida regelverk, BBK 94 Band 2 [9], anger att för vattentät betong bör betongens sammansättning uppfylla villkoren:

- Vct högst 0,60
- Vikten av vatten i betongmassan får högst vara 0,5 gånger den sammanlagda vikten av cement och ballast med kornstorlek mindre än 0,25 mm.

Det första villkoret är uppfyllt, då vct är angivet till 0,56. För att uppfylla det andra villkoret krävs, då cementhalten är angiven till  $300 \text{ kg/m}^3$ , en finmaterialhalt  $\geq 36 \text{ kg/m}^3$ , vilket endast motsvarar ca 2 % av ballastinnehållet, dvs med största sannolikhet är även detta villkor uppfyllt.

Hållfastheten har ökat med drygt 40 %, kloridhalterna är låga och karbonatiseringsdjupet uppgår högst till 1 mm. Frostbeständigheten vid frysning med salt är däremot mycket dålig med avflagningar överstigande  $25 \text{ kg/m}^2$  från sågad yta och mer än  $1 \text{ kg/m}^2$  från överytan. Resultatsammanställning återfinns i bilaga 6.3.

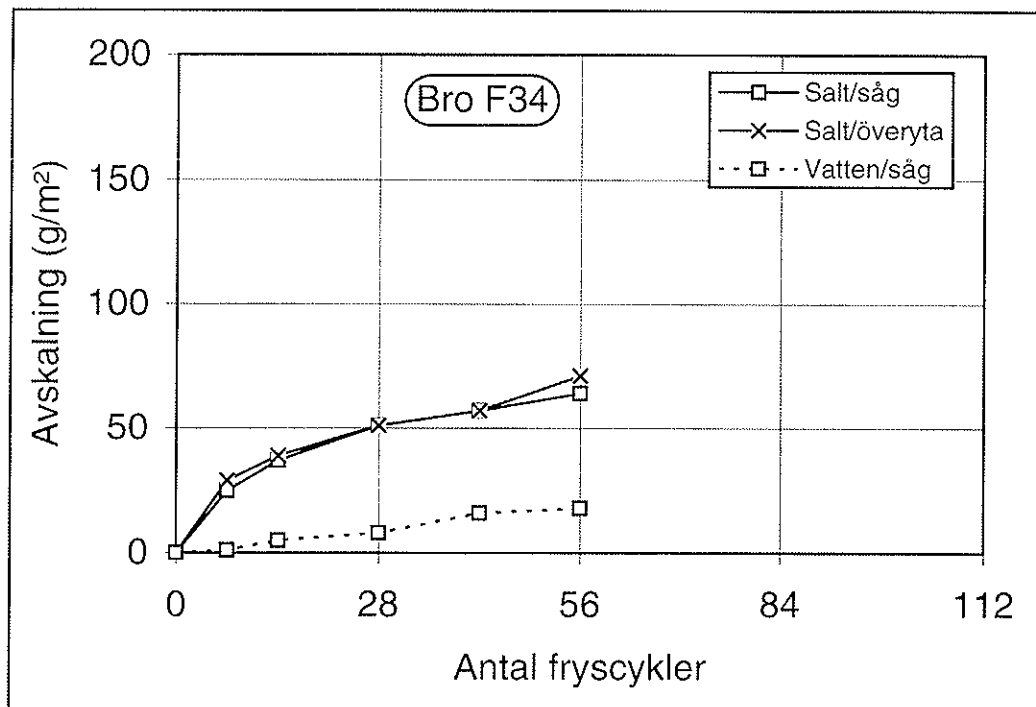
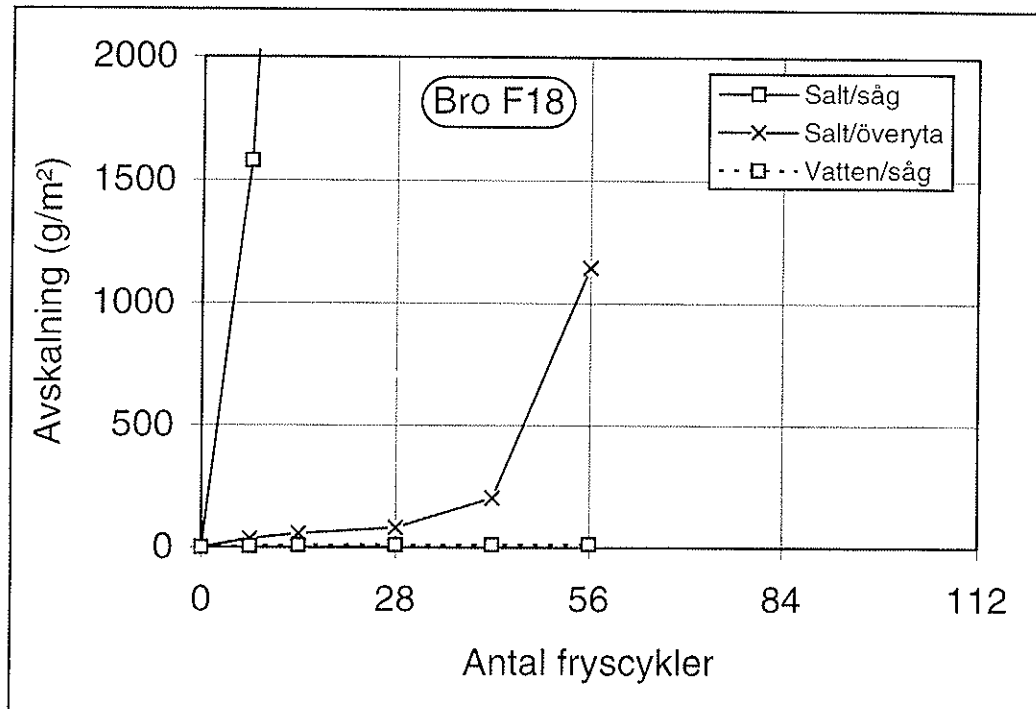
### 5.6.4 Bro F 34 över Hoksån på väg 30 söder Hok, Jönköpings län

Ursprungsbron härstammar från 1920-talet men överbyggnaden byttes ut 1955. Från denna omfattande reparation saknas all dokumentation rörande betongen i Vägverkets arkiv. Med tanke på reparationsbetongens ålder är det mindre troligt att luftporbildare är tillsatt. Tunnslipsanalysen uppvisar dock mycket goda värden på de parametrar som kännetecknar luftporsystemet.

Frysprovningarna ger för test av gjutytan med salt avflagningar på i medeltal  $71 \text{ g/m}^2$  för tre provkroppar och för de provkroppar som testats med vatten är avflagningarna  $18 \text{ g/m}^2$  efter 56 cykler. För de fyra provkroppar som testats med salt på sågad yta uppgår avflagningarna till 41, 75 och  $75 \text{ g/m}^2$ , dvs lika goda värden som för gjutytan, medan den fjärde har avflagningar på  $3,9 \text{ kg/m}^2$ . Beräknas medelvärde för alla fyra provkropparna ligger det över gränsvärdet för acceptabel frostbeständighet  $1,0 \text{ kg/m}^2$ , vilket i detta fall inte ger en rättvis bild av betongens frostresistens.

Kloridjonhalten är i ytan 0,7 % av cementets vikt och sjunker sedan snabbt för att i nivå med överkantsarmeringen vara  $< 0,1 \%$ . Karbonatiseringsdjupet överstiger inte 5 mm i den analyserade provkroppen, varför någon armeringskorrosion inte borde förekomma. En okulärbesiktning av de provkroppar som innehåller armeringsjärn visar inte på några som helst rostangrepp.

Resultatsammanställning återfinns i bilaga 6.4.



### 5.6.5 Bro O 569 på väg E6 över Örekilsälven mm, Munkedalsviadukten, Göteborgs- och Bohus län

Provuttaget utgörs av 4 cylindrar Ø 95 mm från vardera kantbalken. På grund av brons geometri har övervägande delen av ytvattnet runnit över den lägst belägna (västra) kantbalken, vilket kan betyda skillnader i resultat vid test av beständigheten. Bron är byggd i början av 1960-talet och luftporbildande tillsatsmedel har använts. Betongen är tillverkad i fabrik ca 25 km från broläget.

Hållfasthetsutvecklingen under 30 år har inneburit en fördubbling av det värde som uppmättes vid produktionen. Ingen nämnvärd skillnad kan konstateras mellan värdena från västra resp östra kantbalken. Karbonatiseringsdjupet är också lika, dvs det överstiger inte 1 mm på någondera sidan.

Skillnader uppträder däremot när det gäller kloridjonhalten i ytan på de analyserade provkropparna. Halterna får betraktas som höga på bägge sidorna, där kanske något överraskande den östra sidan uppvisar en kloridjonhalt på 1,5 %, medan värdet på västra sidan är 1,0 % av cementinnehållet. Trots att betydligt mer saltbemängt vatten rinner över västra kantbalken så betyder tydligen urtvättningen av ytan mer vad det gäller nivån på halten kloridjoner. Djupare in i betongstrukturen utjämnas skillnaderna för att i höjd med överkantsarmeringen ge samma värde på kloridjonhalten. Korrosion på armeringen kan ännu inte konstateras. Frostbeständigheten är däremot undantagsvis sämre i västra kantbalken än i den östra. Störst är skillnaden vid frysning med salt på sågad yta (metod IIIA), där avflagningsarna i västra kantbalken överstiger 2,0 kg/m<sup>2</sup>, mer än 5 gånger värdet i östra kantbalken.

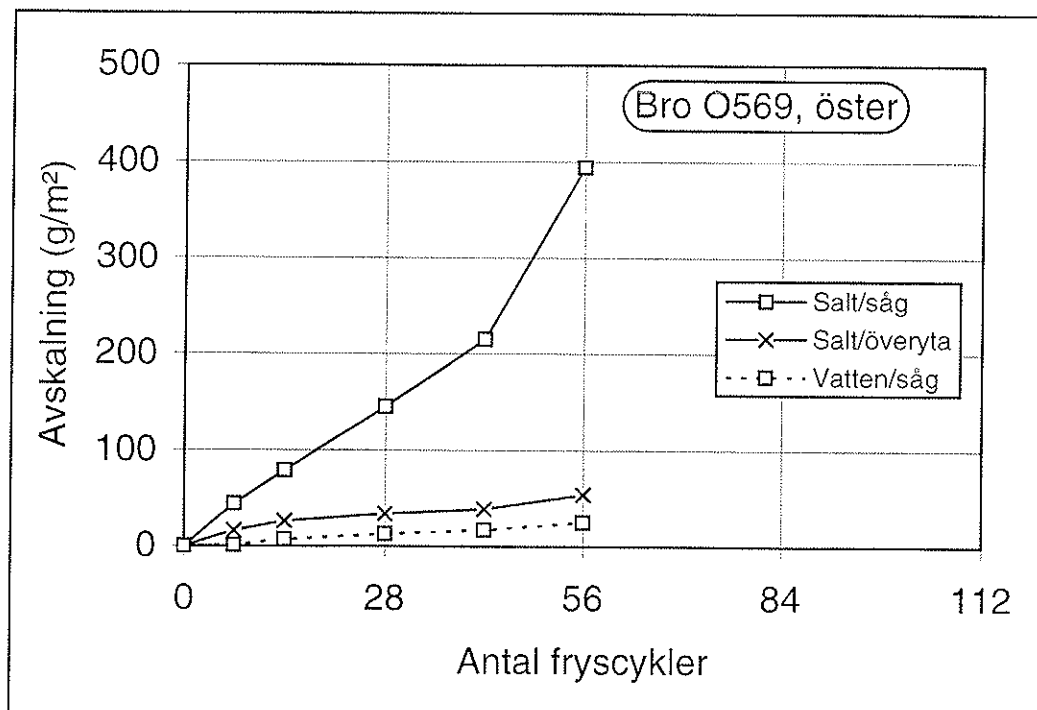
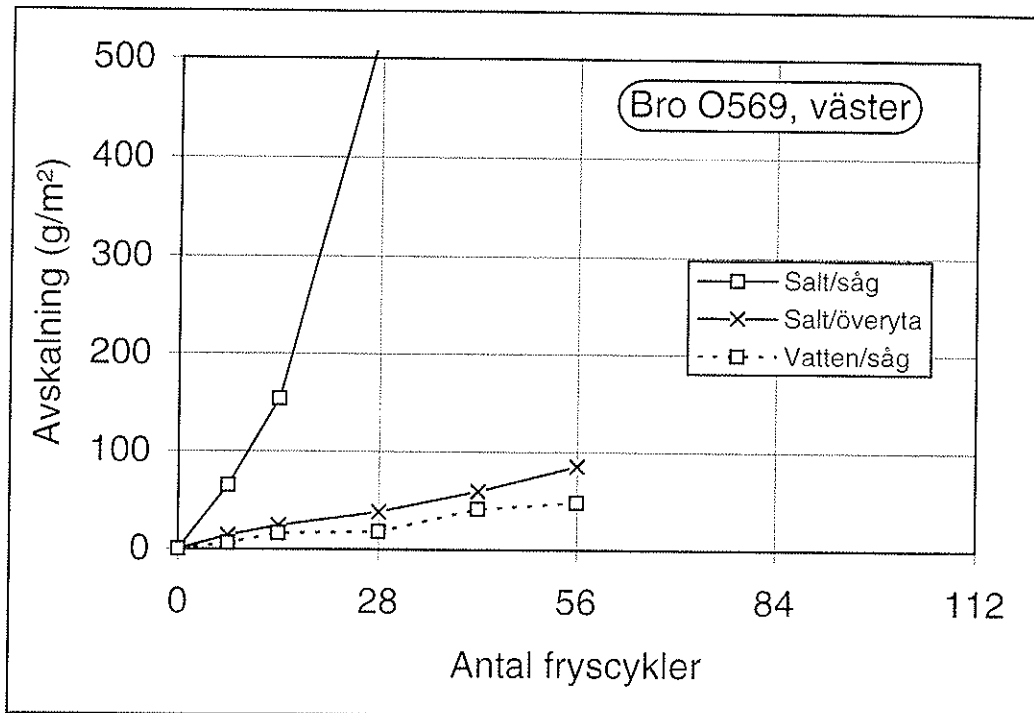
Tunnslipsanalys har genomförts på två slip, ett från ytan och ett från ett sågat snitt ca 35 mm djupt ner i betongkärnan. Hur representativt ett enda analyserat slip är för luftporsystemets kvalitet kan diskuteras, men visst belägg går att få för att de stora skillnaderna i frostbeständighet yta / sågsnitt även yttrar sig i karakteristiken av luftporsystemet. Ytan uppvisar en lufthalt av 3,9 % att jämföra med sågsnittets 2,7 %. Avståndsfaktorn är 0,12 resp 0,30 mm, medan däremot värdena på specifik yta är ungefär desamma. Dessa och övriga resultat återfinns i bilaga 6.5.

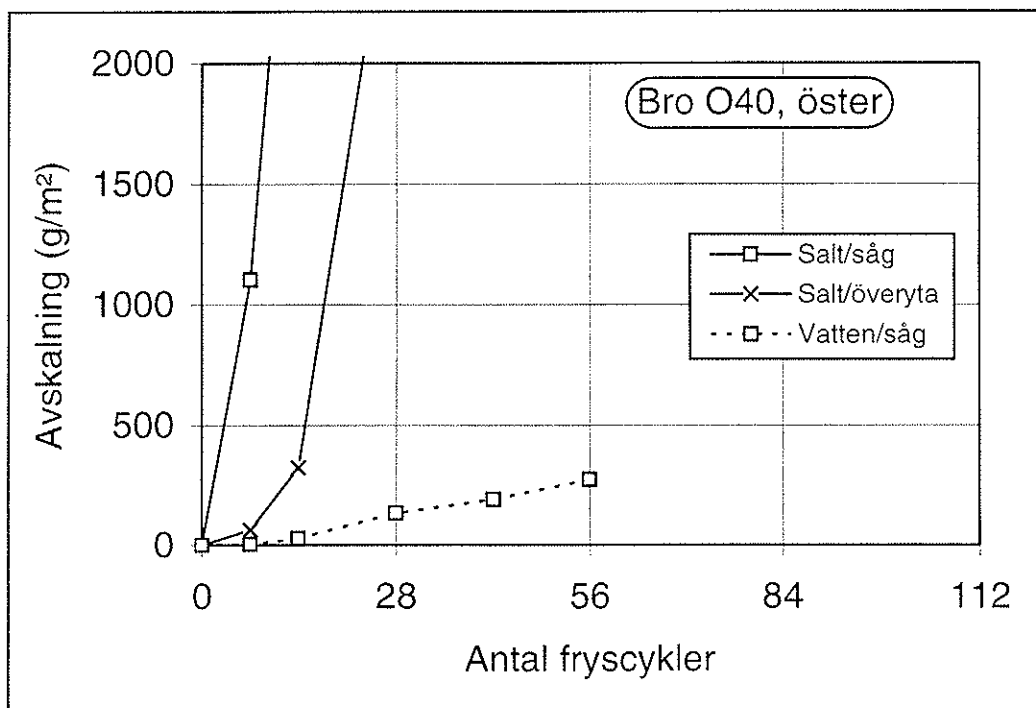
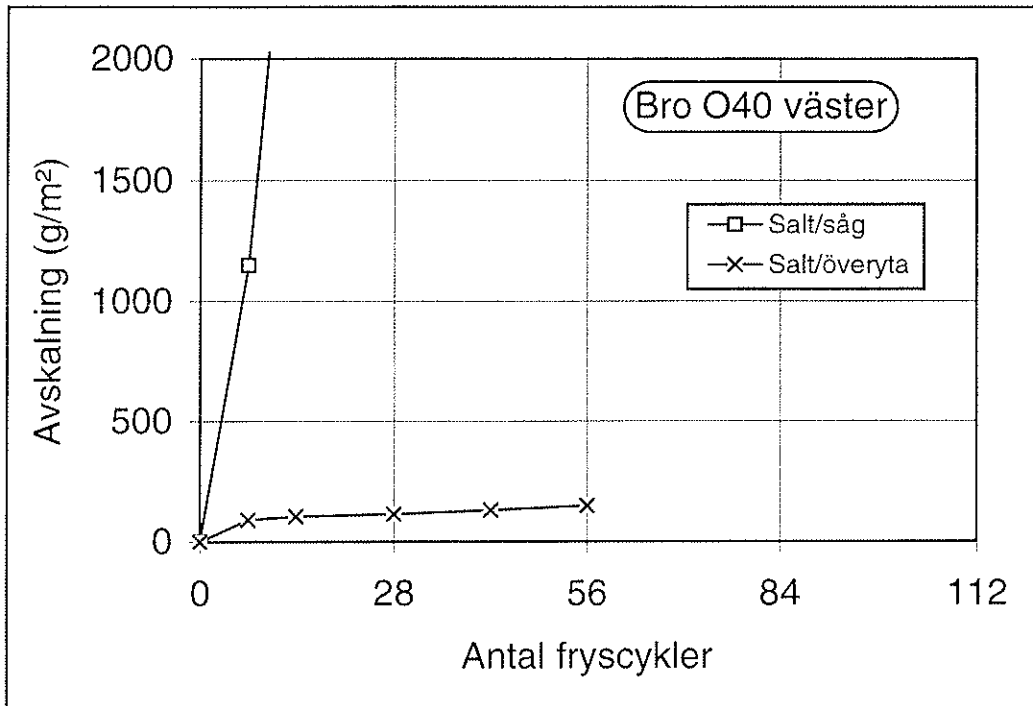
### 5.6.6 Bro O 40 på väg E6 över SJ i Svarteberg

Provuttagen är från brons kantbalkar som aldrig reparerats utan härstammar från den ursprungliga bron från 1949. Betongen är blandad på platsen. Uppgift om hållfasthetsklass saknas. Vct är angivet till 0,70 och cementinnehållet i betongen är endast 250 kg/m<sup>3</sup> och självfallet är inte betongen lufttillsatt, vilket sammantaget inte kan förväntas ge en frostbeständig betong. Frystesten ger också belägg för detta, då endast en av de fyra provkroppar, där frysmidiet utgjordes av NaCl-lösning, klarade alla 56 cyklerna utan att frysa sönder. Resultatet för denna enda provkropp blev dock överraskande gott med avflagningsarna på endast 0,15 kg/m<sup>2</sup> efter 56 cykler. Detta bör dock betraktas som en ren slump, då en platsblandad betong ingalunda är en ensartad produkt. Tunnslipsanalysen bekräftar också att ett luftporsystem "saknas". Lufthalten är 1,5 % och utgörs av s k blandningsluft med en avståndsfaktor på 0,31 mm.

Kloridjonhalterna är höga, 1,9 % i ytan och 0,6 % på överkantsarmeringens nivå. Ingen av de utborrade kärnorna innehöll armering, varför det inte gick att konstatera om armeringskorrosion pågick. Karbonatiseringsdjupet var även för detta objekt överraskande lågt med maximalt uppmätt värde = 1 mm. Resultaten är sammanställda i bilaga 6.6.

De extra provkroppar som togs ur den gamla plattan var helt sönderfrusna efter 28 cykler.





### 5.6.7 Bro O 352 på gamla Rv 40 i Härryda

Denna bro är byggd 1954 och skiljer sig från föregående, då betongen i detta objekt innehåller 30 % mer cement och vct här är angivet till 0,50. Uppgift saknas om tillsats av luftporbildare men tunnslipsanalysen karakteriserar ett luftporsystem med goda värden på väsentliga parametrar. Frysning av sågad yta med salt ger dock mycket stora avflagningar och de två provkropparna klarar inte de 56 cyklerna som standarden anger. Från en av de två provkropparna noterades att en stor sten frusit loss efter 7 cykler, varför frostbeständigheten redan tidigt i förloppet kunde bedömas som icke acceptabel. Att inte räkna med denna sten i avflagningarna ändrar inte bedömningen. Med salt på överytan resp med vatten på sågad yta var avflagningarna små.

Kloridjonhalterna var rätt höga, dock inte fullt jämförbara med föregående två objekt. Enligt uppgift från väghållningsansvariga brukas inte fullt så hård saltning här som på väg E6 genom Bohuslän.

Karbonatiseringsdjupet var endast 0 - 1 mm. Analysresultat återfinns i bilaga 6.7. Till skillnad från övriga objekt där kapillärsugningsförsök genomförts har i detta fall bägge försöken gjorts på sågad yta från borrhärdar tagna ur norra resp södra kantbalken.

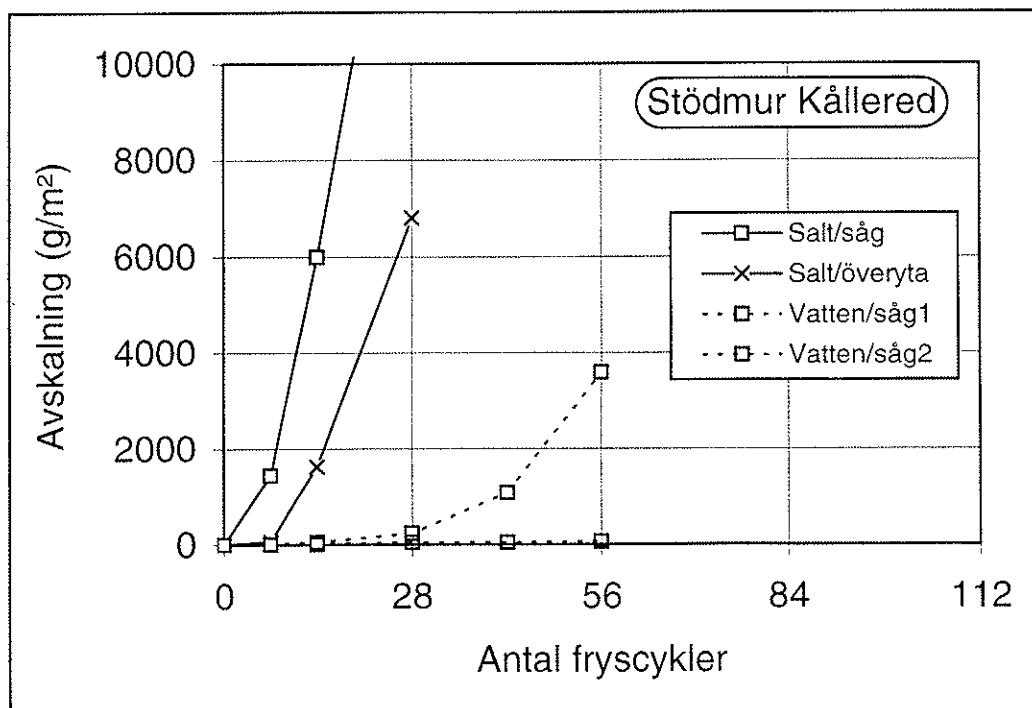
Resultaten från frystesten på sågad yta avviker markant från alla övriga testade objekt, då avflagningarna är stora under de första 14 cyklerna, för att därefter ha ett lugnare förlopp under perioden 14-42 cykler. Därefter fryser provkropparna sönder. Beteendet är mycket otypiskt, varför någon figur inte ritats.

### 5.6.8 O 550, Stödmur vid Källered, Göteborgs- och Bohus län

Provuttagen från detta objekt har gjorts ur vertikala stödmurssektioner och utgörs av borrkärnor  $\varnothing$  94 mm från 5 olika gjutetapper. Det saknas uppgift om ifall luftporbildande tillsatsmedel använts i betongen, men tunnslipsanalysen visar dock klart på att så är fallet. När det gäller betongens frostbeständighet har detta dessvärre inte hjälpt. Såväl gjutyta som sågad yta fryser sönder i närvaro av salt innan 42 cykler avverkats. De två provkroppar som fryses med vatten uppvisar mycket stor spridning, varför ett medelvärde inte är relevant. Enligt den underhållsansvarige vid Vägverket varierar kvaliteten avsevärt mellan de olika sektionerna i muren, där läckage observerats i vissa partier, dvs betongen är inte vattentät i hela muren. Detta kan vara en förklaring till att frostbeständigheten i rent vatten kan uppvisa ett så dåligt resultat som här är fallet. Vid uppmärksningen av provkropparna i samband med utbörningen har inte någon notering gjorts om vilka kärnor som kommer från murpartier som okulärt bedömts som dåliga.

Karbonatiseringsdjupet har analyserats på två borrkärnor och uppgår som mest till 10 à 12 mm. Detta är, med vissa undantag, betydligt mer än de värden som i allmänhet erhållits i ovan redovisade analyser. Dessa har i regel gjorts på betong ur broars kantbalkar, dvs från i huvudsak horisontala ytor. Kloridjonhalterna uppvisar i ett fall ett överraskande högt värde på 0,8 % av cementvikten med tanke på att muren inte saltats och att avrinningsförhållandena varit goda. Den exponerade ytan är riktad mot öster.

Analysresultaten finns i bilaga 6.8.



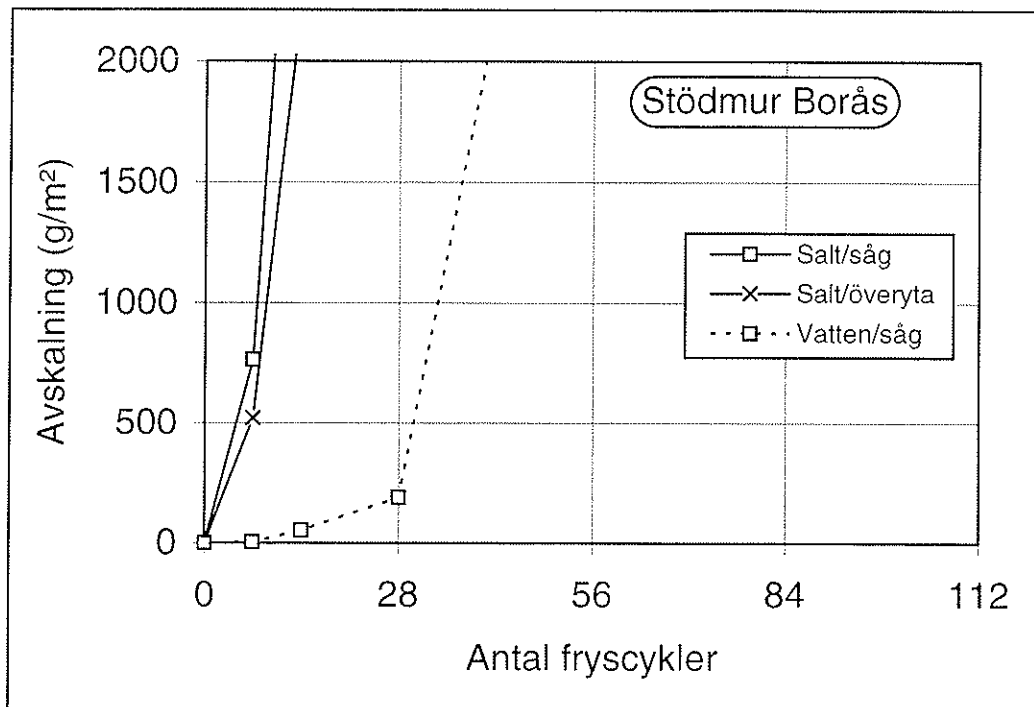
### 5.6.9 P 818, Stödmur vid Galgbacken i Borås, Brodalsmotet, Älvsborgs län

Stödmuren är belägen omedelbart intill Rv 40. På sträckningen genom Borås är vägen hårt saltad, vilket innebär att stänk och smältvatten utan svårighet når muren. Provuttaget omfattar 8 st borrhärlor utborrade från tre olika nivåer ovan vägbanan mellan +0,2 och +1,5 m.

Luftporbildare är inte tillsatt och den mikroskopiska analysen bekräftar detta. Frostbeständigheten är överlag mycket dålig och samtliga provkroppar som testats med saltlösning fryser sönder innan 56 cykler. Även provkroppar som frusits med vatten visar mycket stora avflagningar. Hur höjden över vägbanan inverkat på resultaten kan endast vara av betydelse i de fall ytan mot gjutformen exponerats (metod IVA). Det utborrade materialet medgav inte mer än en provkropp per nivå, vilket är helt otillräckligt för en bedömning.

Kloridjonhalterna har analyserats i borrhärlor utborrade på tre olika nivåer ovan vägbanan. I den provkropp som borrats ut närmast marken var kloridjonhalterna lägst medan provkropparna från nivåerna +1,0 och +1,5 ovan vägbanan har jämförbara värden och en konstant koncentration från ytan och 20 mm in i betongstrukturen.

Karbonatiseringsdjupet uppgår som mest till 3 mm. Den exponerade ytan är vänd mot söder. Resultatsammanställningen återfinns i bilagor 6.9a och 6.9b.



### 5.6.10 Bro P 299 vid Bolstads kyrka

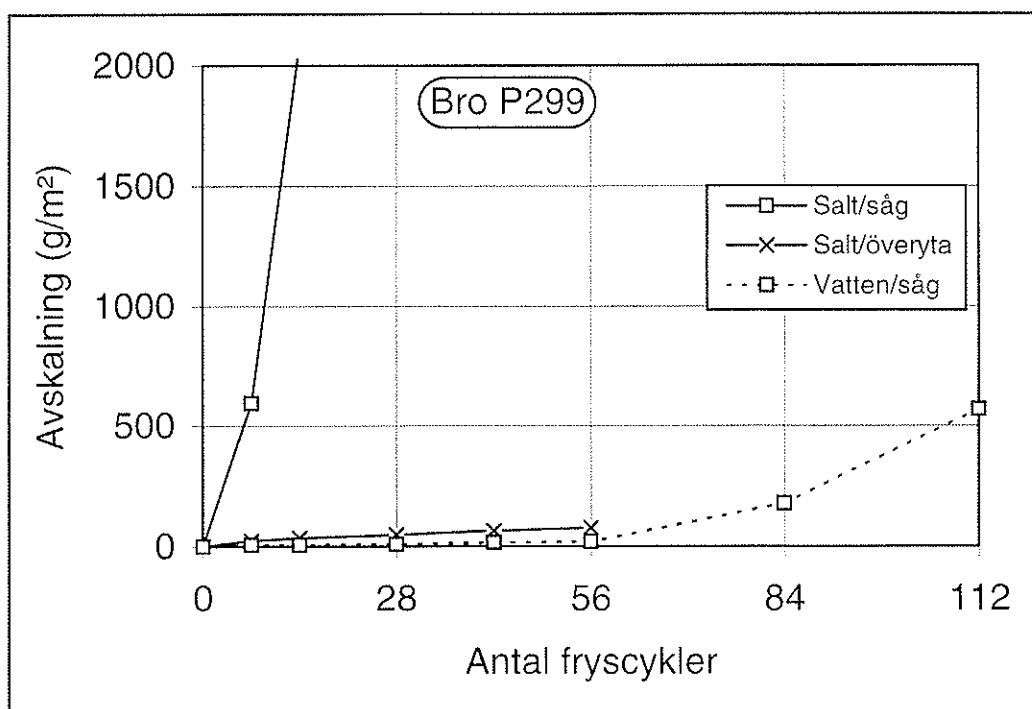
Provuttaget utgörs av 5 st kärnor  $\varnothing$  100 mm ur brons södra kantbalk. Betongen har tillverkats på platsen. Bron ligger på en mindre väg, som inte saltats vid väghållningen. Av den anledningen har brons kantbalkar aldrig impregnerats, något som annars är en rutinåtgärd som genomförs i det förebyggande underhållet.

Frostbeständigheten med NaCl-lösning på sågad yta är mycket dålig, vilket knappast är överraskande. Redan efter 7 cykler är avflagningsarna i medeltal  $0,6 \text{ kg/m}^2$ . Spridningen mellan de 3 provkropparna var dock avsevärd, men avflagningsarna även på den minst dåliga provkroppen översteg  $1,4 \text{ kg/m}^2$  efter 56 cykler. Däremot klarade sig överytan mycket bra och spridningen mellan provkropparna var liten. Ingen provkropp uppvisade avflagningsarna överstigande  $0,10 \text{ kg/m}^2$  efter 56 cykler.

Frostbeständigheten testades även med vatten på sågad yta. Avflagningsarna var i medeltal endast  $20 \text{ g/m}^2$  efter 56 cykler men bägge provkropparna uppvisade en tendens till accelererat förlopp. Av denna anledning förlängdes provningen till att omfatta 112 cykler. Tendensen till accelererat förlopp i avflagningsarna förvärrades och medelvärde efter 112 cykler var  $570 \text{ g/m}^2$ , dvs  $m_{112} / m_{56} = 28,5$ .

Analysen av tunnslipen bekräftar att den luft som förekommer i betongen enbart utgörs av blandningsluft med stora variationer i lufthalt, vilket inte är överraskande med tanke på att betongen blandats på platsen.

Det uppmätta karbonatiseringsdjupet är 1-5 mm och några kloridjoner kunde inte spåras, vilket får anses bekräfta uppgiften att vägen inte saltats. Resultaten är sammanställda i bilaga 6.10.



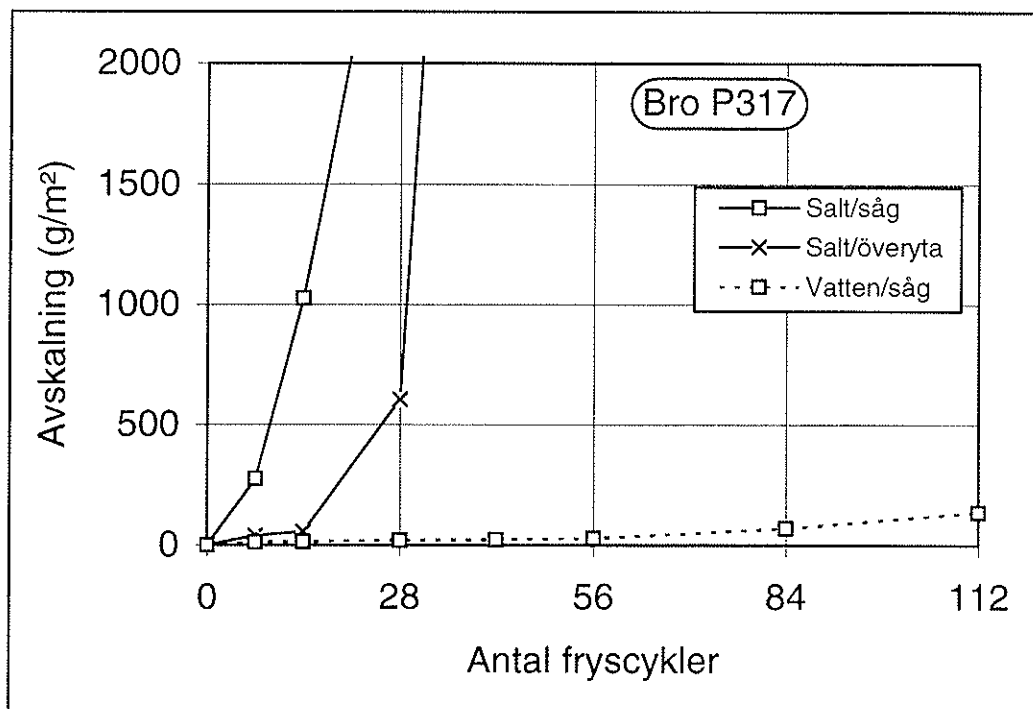
### 5.6.11 Bro P 317 över Storån vid Åsmule

Provuttaget utgörs av 6 st kärnor  $\varnothing$  102 mm ur kantbalken på bronns uppströmssida. Likheterna mellan detta och föregående objekt är flera: ungefär samma hållfasthet, cementinnehåll, vct och konsistens. I bägge fallen är betongen blandad på platsen. Speciellt intressant är att kantbalkarna även här är obehandlade. Analysresultaten borde följaktligen vara ganska likartade.

Frostbeständigheten med salt på sågad yta är mycket dålig för tre av de fyra testade provkropparna medan den fjärde uppvisar god frostbeständighet. Mängden avflagt material uppgår för denna provkropp till  $237 \text{ g/m}^2$  efter 56 cykler, knappt 1 % av mängden för den sämsta, dvs en synnerligen stor spridning. Till skillnad från föregående objekt ger även frysning med salt på överytan mycket dålig beständighet, där en provkropp fryser sönder innan 56 cykler och även här är spridningen stor. Frysning med vatten på sågad yta ger små mängder avflagt material och inget accelererat förlopp. Testet förlängdes emellertid till 112 cykler och avflagningsarna började accelerera. Medelvärde efter 112 cykler var  $137 \text{ g/m}^2$  och  $m_{112} / m_{56} = 6,0$ .

Den kvantitativa analysen av luftporsystemet ger dock överraskande goda värden. Lufthalten är dock låg på djupet 50 mm i betongen (3,0 %) men dubbelt så hög i ytan. Specifika ytan är 36 resp 25  $\text{mm}^{-1}$  och avståndsfaktorn 0,15 mm på båda nivåerna.

Kloridjonhalten är 0,5 % i ytan vilket är förvånande med tanke på uppgiften om att vägen inte saltats. Omedelbart innanför ytan sjunker dock kloridnivåerna snabbt. Karbonatiseringsdjupet uppgår som mest till 1 mm. Resultatsammanställningen finns i bilaga 6.11.



## 6 Diskussion av provade parametrar

### 6.1 Tryckhållfasthet

För de objekt där tryckhållfastheten provats och redovisats i samband med produktionen gjordes en jämförelse med resultaten från provning av de utborrade kärnorna. Hållfastheten hade i samtliga fall ökat, men tillväxttakten var högst variabel. Lägsta tillväxten fanns hos P-däck Smaragden (5.2.2) och uppgick till 0,2 MPa/år, medan betongbarriärens (5.5) hållfasthetstillväxt var 3,7 MPa/år. I medeltal för de provade objekten ( $n=13$ ) uppgick tillväxten till 1,2 MPa/år men som antytts var spridningen stor.

### 6.2 Frostbeständighet

#### 6.2.1 Provning med saltlösning på sågad yta, förfarande IIIA

Detta test har genomförts på samtliga utvalda objekt med undantag av markstenarna (5.1.1 - 5.1.3), som ligger på ytor som inte saltats. Parkeringsdäcken klarar inte detta test. Även om det är stor skillnad mellan P-däcken inbördes visar inte resultaten på acceptabel frostbeständighet för någotdera. En tänkbar förklaring är att dessa konstruktioner, från slutet av 1960-talet, är att betrakta som ren husbyggnad och att erfarenheterna från den kemiska halkbekämpningens negativa effekter på betongbroar då ännu inte trängt fram till husbyggnadsprojektörerna. I Boverkets handbok om betongkonstruktioner, BBK 94 Band 2 [9], klassas numera både broöverytor och parkeringsdäck i miljöklass B4, dvs mycket betongaggressiv miljö, med krav på lufthalt och högsta tillåtna vct.

Två objekt i kategorin förtillverkade betongelement (5.4.1 och 5.4.2) uppvisar obefintlig frostbeständighet. Att testa dessa enligt förfarande IIIA är kanske inte fullt relevant men enligt klassificeringen i BBK är miljön i dessa fall att betrakta som måttligt, eller något, betongaggressiv. Frystest av betongen krävs inte i något betongaggressiv miljö under förutsättning att vct inte överstiger 0,60. I tveksamma fall kan frysprovning genomföras enligt metod B, dvs med vatten som frysmedium. Uppgifter om vct saknas för de här två objekten.

För de objekt som befinner sig i vägmiljö, dvs Arlandavägen (5.1.4), betongbarriären (5.5) och samtliga objekt i kategori 5.6, uppvisar resultaten stor spridning. Spridningen går dock i stor utsträckning att relatera till konstruktionernas ålder, så att resultaten från de nyare objekten är betydligt bättre än för de äldre. Konstruktioner byggda före 1970 klarar inte detta frystest även om Munkedalsviadukten från 1963 uppvisar god beständighet avseende östra kantbalken. Den västra är betydligt sämre.

De båda stödmurarna från 1960 resp 1968 visade sig vara mycket dåliga och efter halva frysförloppet = 28 cykler var provkropparna sönderfrysta. (Även frystest efter de båda andra valda alternativen gav dåliga resultat). Stödmurarna skiljer sig från alla övriga objekt i undersökningen, då de gjutits mot vertikal form. I vad utsträckning detta bidragit till eller orsakat de genomgående dåliga resultaten motiverar ett mer ingående studium. Vibreringsinsatser, urlakning, betongmassans stighastighet vid gjutning, höga störlhöjder som orsak till separation kan t ex förtjäna att undersökas.

### 6.2.2 Provning med vatten på sågad yta, förfarande IIIB

Detta test har endast genomförts på konstruktioner i vägmiljö. Tillämpas frysstandards bedömningskriterier för detta mindre aggressiva frysmedium så uppvisar majoriteten av objekten mycket god frostbeständighet med avflagningar understigande  $100 \text{ g/m}^2$  efter 56 cykler. Enda undantaget utgörs av den näst äldsta bron i undersökningen, (Svarteborg från 1949 med mängden avflagat material  $= 274 \text{ g/m}^2$ ), och de två stödmurarna, som båda uppvisar avflagningar överstigande  $3,5 \text{ kg/m}^2$  i närvaro av vatten.

För de båda broar som sist lades till undersökningen förlängdes testet till att omfatta 112 cykler. I bägge fallen konstaterades då ett accelererat avflagningsförlopp, som för bro P 299 var mycket starkt accentuerat.

### 6.2.3 Provning med salt på gjutyta/överyta, förfarande IVA

Detta test genomfördes på provkroppar från samtliga objekt. De konstruktioner som varit utsatta för vägsalt uppvisar med få undantag bättre resultat vid test av överytan än vid test av sågad yta. Undantagen är betongbarriären (5.5), där avflagningarna dock fortfarande är ringa, och bron i trafikplats Karlberg (5.6.1), som trots fördubblad mängd avflagat material har god beständighet efter 112 cykler. Ett annat undantag är Arlandavägen (5.1.4), som inte klarar ett förlängt frystest längre än till 84 cykler utan fryser sönder. Provuttagen från broarna härrör från kantbalkar men för Arlandavägen från själva vägbanan eller dess omedelbara närhet, dvs från en yta som kan ha blivit utsatt för hjulöverfarter med åtföljande slitage. Dräneringsförhållandena är betydligt bättre för en kantbalk med fri luftväxling runt om än för en betongplatta på mark. Även om detta underlag i sin tur är väl dränerat så har denna betong sämre möjligheter att torka ut, och sönderfrysningen beror möjligen i viss utsträckning på att betongen innehåller en stor mängd fukt innan frystestet påbörjas.

### 6.2.4 Provning med vatten på gjutyta/överyta, förfarande IVB

Detta provningsförfarande har genomförts på de objekt där man inte avsett att tösalta. I samtliga fall har antalet fryscykler fördubblats till att omfatta 112 stycken. Markstenarna uppvisar överlag små avflagningar, men för prefabtrappan översteg avflagningarna  $0,5 \text{ kg/m}^2$  och för skyltfundamentet (5.4.2) var även detta test för krävande. Avflagningar överstigande  $4,0 \text{ kg/m}^2$  vid frysning i vatten hör dessbättre till de mycket sällsynta undantagen.

Frysprovningresultaten är sammanställda i tabell 1.

## 6.3 Karbonatiseringsdjup

De uppmätta karbonatiseringsdjupen är överlag små. Som mest uppmättes 20 mm i bron över Röttleravinen (5.6.2). Tunnslipsanalysen har visat på en stor mängd mikrosprickor och det är i dessa sprickor de stora karbonatiseringsdjupen har mätts. Under förutsättning att de täckande betongskikten blivit de avsedda bör inte i något av objekten karboniseringsfronten ha nått fram till armeringen. Okulära studier av samtliga utborrade kärnor ger vid handen att i endast ett objekt pågår armeringskorrosion. Detta torde dock ha andra orsaker (se nedan under 6.4).

Några av de analyserade broarna är byggda 1946-1954 och uppvisar karbonatiseringsdjup som maximalt uppgår till 1 mm. Miljön är likartad, en fuktig utomhusmiljö där betongen inte är skyddad för regn. En del uppgifter om betongrecepturerna finns tillgängliga. Generellt är cementhalterna låga, ca 300-350 kg/m<sup>3</sup> och i ett fall endast 250 kg/m<sup>3</sup>. Jämfört med nutida krav är vattencementtalen höga med maximalt uppgivet värde = 0,70. Uppgifter om betongens efterbehandling saknas men detta arbetsmoment torde ha ägnats stor omsorg med tanke på de uppmätta karbonatiseringsdjupen på betong, som vad beträffar cementhalt och vet kan förväntas uppvisa betydligt sämre resultat.

## 6.4 Kloridpenetration

Med undantag för markstenarna och fasadelementet har samtliga objekt testats med avseende på halten kloridjoner. Denna halt uttrycks i % av cementinnehållet i betongen. I den mån mängden cement inte är känd har den antagits utgöra 15 viktprocent. I BRO 94 [8] anger Vägverket att kloridhalten, uttryckt som den fria kloridjonhalten, ska vara mindre än 0,30 % i nivå med armeringen i betong med ospänd armering. Värdet för spännarmerad betong anges till 0,10 %. Ingen av de provade konstruktionsdelarna är spännarmerad, varför det större värdet gäller vid jämförelserna.

Analyserna har i de flesta fall genomförts på 3 nivåer. Från ytan räknat är det 0 - 5 mm, 15 - 20 mm och 30 - 35 mm, där den sista nivån ungefär motsvarar armeringens läge räknat från ytan.

De flesta objekten uppvisar kloridjonhalter lägre än 0,10 %. Undantag finns, t ex bron över Röttleravinen, Munkedalsviaduktens båda kantbalkar, broarna i Svarteborg och Härryda samt, något överraskande, stödmuren i Källered. Kloridjonhalter 0,5 - 0,3 % 30 - 35 mm in i en borrkärna som borrats horisontellt är svårförklarliga. Denna stödmur är det enda objekt där vid okulärgranskningen av borrkärnorna korrosionsskadad armering påträffats.

## 6.5 Luftporstruktur

Analyser av tunnslip är ofta svåra att dra några säkra slutsatser från vad gäller frostbeständighet. Äldre objekt i undersökningen är tillverkade av betong utan lufttillsats men klarar i flera fall frystestet bra ändå, i varje fall då ytan frystestats. Stora variationer i luftporsystemets kvalitet kan också konstateras i två slip från ett och samma objekt, se t ex Arlandavägen (5.1.4). Detta är inte speciellt förvånande med tanke på den stora yta som slipen representerar.

Uppgift saknas om de båda ingående P-däcken är tillverkade av lufttillsatt betong. Att så kan vara fallet syns tunnslipsanalysen peka på, men lufthalterna är för låga för att ge frostbeständig betong, vilket förmodligen inte heller varit den primära ambitionen. Fasad-elementet (5.3) klarar frystestet med goda resultat och har också ett luftporsystem som avseende de flesta parametrarna har god kvalitet.

Motorvägsbarriären uppvisar ett bra luftporsystem, vilket också stämmer väl med resultaten från frystesten. Sak samma gäller bron i trafikplats Karlberg (5.6.1) och i huvudsak även den reparerade kantbalken till bron över Röttleravinen.

När luftporbildande tillsatsmedel systematiskt började användas till Vägverkets broar är osäkert. Studium av föregångarna till BRO 94 ger vid handen att i Kungl. Väg- och Vattenbyggnadsstyrelsens "Föreskrifter och anvisningar för brobyggnad" av år 1961 begreppet luftporbildande tillsatsmedel är omnämnt. Där luftporbildare föreskrivs ska kontrolleras att lufthalten ligger inom gränserna 4 - 6 volymprocent. Detta är i stort sett allt som står att läsa, men i vilket sammanhang och av vad orsak medlet föreskrivs framgår inte av denna bronorm. Med tanke på ordalydelsen och vetskapen att en bronorm i största möjliga utsträckning baseras på gjorda erfarenheter är det fullt möjligt att luftporbildare kommit till användning i Vägverkets broar redan under 1950-talet.

Tunnslipet från bro F 94 söder om Hok (5.6.4) från 1955 tyder på detta. Lufthalten är låg men såväl avståndsfaktor som specifik yta uppvisar värden som erfarenhetsmässigt kännetecknar ett gott luftforsystem. Resultaten från frystesten motsäger inte heller detta. Med undantag för en katastrofalt dålig borrkärna förtjänar alla de 8 övriga testade kärnorna betyget "Mycket god frostbeständighet". Att välja ut ett objekt liknande bron i Hok för att pröva ny teknik och nya material stämmer väl med Vägverkets utvecklingspolicy. Bron är liten och vägen inte särskilt hårt trafikerad, varför konsekvenserna av ett eventuellt misslyckande inte skulle bli alltför besvärande.

## 6.6 Kapillärsugning

För de flesta objekt som befinner sig i vägmiljö har betongens kapillärsugande förmåga testats. Dessa försök har därtill genomförts på trappan och fundamentet för trafikmärke inom SP's område. Med undantag för bron i Härryda (5.6.7) har både gjutyta och sågad yta testats. Det som benämns gjutyta är för stödmurarna, trappan och fundamentet för trafikmärke en yta som varit mot gjutformen vid produktionen. För alla övriga objekt har den yta som betecknas som överyta utgjort en mer eller mindre horisontal övre avslutning på gjutningen och inte krävt någon form. Den slutliga avjämningen och bearbetningen av dessa ytor har skett för hand.

Kapillaritetskonstanten har beräknats för samtliga testade ytor. En tät betong suger mindre vatten och får ett lägre värde på kapillaritetskonstanten. En jämförelse mellan de beräknade konstanterna för gjutyta/överyta och de för sågad yta visar lägre värde för den yta som varit exponerad för den yttre miljön. Ett enda undantag finns, nämligen stödmuren i Källered, som har det högsta värdet på ytans kapillaritetskonstant. De övriga ytor som gjutits mot form har de tre närmast högsta värdena på konstanten. Gjutning mot form kan alltså resultera i en betong som får en mindre tät yta. En annan förklaring till skillnaden är dock fullt tänkbar. De kärnor där ytan suger minst vatten har borrats ur broars kantbalkar, dvs det rör sig om ytor som varit vända uppåt och fått en helt annan exponering för regn och sol. I huvudsak har dessa ytor varit horisontala och haft sämre dräneringsförhållanden, vilket inte nödvändigtvis behöver vara en nackdel, men däremot fullt solbelysta och åtkomliga för vind. Exponering i vägmiljö syns i flertalet fall i stor utsträckning ha "förlåtit" de brister i beständighet som tidigare betongteknologi inneburit.

Effekterna av Vägverkets förebyggande underhåll med ytimpregnering främst av kantbalkar är svårt att dra några entydiga slutsatser av. Bron i Bolstad (5.6.10), som aldrig saltats eller impregnerats, har samma värde på kapillaritetskonstanten som den jämgamla och hårt saltade bron i Svarteborg (5.6.6). Båda broarna klarade frystestet (förfarande IVA) med godkänt resultat. Detta var däremot inte fallet med bron i Åsmule (5.6.11). Inte heller här hade vägen saltats och kantbalkarna var inte impregnerade. Efter 42 cykler var provkropparna sönderfrysta och testet avbröts.

En jämförelse mellan resultat från frystest av ytan och tillhörande kapillaritetskonstant ger vid handen, att med gränsen mellan acceptabel och icke acceptabel frostbeständighet satt vid  $1,0 \text{ kg/m}^2$  klarar objekt med  $k \leq 3,0 \times 10^{-3}$  denna gräns med ett undantag. Bron i Åsmule har kapillaritetskonstanten  $= 2,15 \times 10^{-3}$  och avflagningar överstigande  $6,0 \text{ kg/m}^2$  efter 42 cykler. Bron vid Sanna (5.6.3) har konstanten  $2,90 \times 10^{-3}$  och avflagningar betydligt överstigande  $1,0 \text{ kg/m}^2$ . Sambandet syns dock såpass intressant att det förtjänar ett mer ingående studium. För frystest av sågad yta och motsvarande kapillaritetskonstant är sambandet mindre tydligt men 5 av 7 objekt med  $k \leq 5,0 \times 10^{-3}$  klarar frystestet medan inget av de 7 där  $k > 5,0 \times 10^{-3}$  klarar sig.

Tabell 1 Sammanställning av resultat från frystest

| Objekt-kategori | Objekt             | Bygg-nadsår | Avflagat material g/m <sup>2</sup> vid frysörförandet |                     |                     |             |
|-----------------|--------------------|-------------|-------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|-------------|
|                 |                    |             | IIIA                                                  | IIIB                | IVA                 | IVB         |
| 1               | SF normalsten 1    | 1978        |                                                       |                     | 108 (112)           | 49 (112)    |
|                 | SF normalsten 2    | 1982        |                                                       |                     | 65 (112)            | 19 (112)    |
|                 | Hexa normalsten    | 1986        |                                                       |                     | 99 (112)            | 40 (112)    |
|                 | Arlandavägen       | 1990        | 247 (112)*                                            | 25 (112)            | 1595 (84)*          |             |
| 2               | P-däck Ametisten   | 1968        | 6299(112);1543(56)*                                   |                     | 5910(112);2430(56)* |             |
|                 | P-däck Smaragden   | 1968        | 21735 (42)                                            |                     | 5513 (42)           |             |
| 3               | Fasadelement       | 1969        | 74 (112)                                              |                     | 167 (112)/595 (112) | 34 (112)    |
| 4               | Prefabtrappa       | 1991        | 32409 (56)*                                           |                     | 10478 (56)*         | 542 (112)*  |
|                 | Skyllfundament     | -           | 13735 (14)                                            |                     | 11411 (28)          | 4287 (112)* |
| 5               | Barriär            | 1983        | 48 (56)                                               | 14 (56)             | 80 (56)             |             |
| 6               | Tpl Karlberg       | 1975        | 68 (112)                                              | 40 (112)            | 130 (112)           |             |
|                 | Röttleravinen      | 1970        | 312 (56)*                                             | 59 (56)*            | 63 (56)             |             |
|                 | F18, Sanna         | 1946        | 25660 (56)*                                           | 14 (56)             | 1145 (56)*          |             |
|                 | F34, Hok           | 1955        | 64 (56)                                               | 18 (56)             | 71 (56)             |             |
|                 | Munkedalsviadukten | 1963        | Väst 2074 (56)*<br>Öst 394 (56)*                      | 48 (56)*<br>25 (56) | 85 (56)*<br>54 (56) |             |
|                 | Svarteborg         | 1949        | 17392 (42)                                            | 274 (56)            | 149 (56)            |             |
|                 | Härryda            | 1954        | 12201 (42)                                            | 38 (56)             | 143 (56)            |             |
|                 | Stödmur Kålleröd   | 1960        | 16436 (28)                                            | 3597 (56)*          | 6804 (28)           |             |
|                 | Stödmur Borås      | 1968        | 3857 (14)                                             | 5626 (56)*          | 2615 (28)           |             |
|                 | P299 Bolstad       | 1951        | 18330 (56)*                                           | 570 (112)*          | 78 (56)             |             |
|                 | P317 Åsmule        | 1950        | 10610 (56)*                                           | 137 (112)*          | 6846 (42)*          |             |

\* Avflagningarna accelererar

Inom ( ) anges antalet fryscyklar

## 7 Sammanfattande slutsatser rörande frostbeständighet

I tabell 2 har resultaten av frystesten med NaCl-lösning som frysmedium ställts samman. Objekten är ordnade efter objektkategori och inom varje kategori har konstruktionerna placerats i kronologisk ordning efter byggnadsår. För de objekt som besökts av SP i samband med provvuttagen eller vid annat tillfälle har skadorna bedömts okulärt och graderats i en skala 0-5, där 0 anger att konstruktionen för ögat är oskadad och 5 att betongen är sönderfrusen.

För de enskilda objektkategorierna kan följande noteras:

- Markstenarna klarar frystesten med saltlösning på överytan med mycket gott resultat. Okulärt bedöms de testade stenarna som helt oskadade.
- Prefabkonstruktionerna har i allmänhet dålig beständighet. P-däcken uppvisar stora mängder avskalat material både vad gäller sågad yta och överyta. Även om P-däcken inbördes skiljer sig åt är dock inget resultat godtagbart. Anledningen är säkerligen att finna i att dessa konstruktioner helt har dimensionerats efter husbyggnadstekniska principer och att ingen hänsyn tagits till att de är belägna i en betongaggressiv miljö. Låga vattencementtal har inte varit tillräckligt. Okulärbesiktningen ger dock vid handen att huvudproblemet med de två P-däcken inte är dåligt frostbeständighet utan allvarlig armeringskorrosion.

Fasadelementet har klarat sig mycket bra och denna betong har av tunnslipen att döma förmodligen fått en tillsats av luftporbildande medel.

Betongen i trappan på SP och i fundamentet för trafikmärke fryser totalt sönder. Inte heller i dessa objekt finns det anledning att tro att betongen proportionerats och efterbehandlats med några tankar på beständighet. Laboratorieresultaten stämmer väl med de okulära observationerna.

- Motorvägen och motorvägsbarriären klarar testen bra även om frystestet på vägbetongens överyta visar en tydlig tendens till att avflagningsförloppen accelererar.
- För broarna kan generellt sägas att ju äldre de är ju sämre klarar de sig, framför allt gäller detta vid frystest på sågad yta. Överlag klarar sig överytorna bättre, vilket innebär att åldringen inverkat positivt. Vissa ytliga frostsador kan iakttas vid okulärbesiktningen och den uppskattade skadegraden stämmer någorlunda väl med resultaten från frystesten på ytorna.

Broar byggda efter 1960 visar upp oskadade överytor, vilket också står i god överensstämmelse med resultaten från frystesten på motsvarande ytor.

Betongen i stödmurarna fryser sönder och resultaten är mycket dåliga både för gjutytta och sågad yta. Överhuvudtaget blir resultaten för ytor som gjutits mot form mycket sämre än för ytor som inte krävt form vid gjutningen, t ex kantbalkars ovansidor. Förutom stödmurarna är det trappan och fundamentet för trafikmärke där ytor mot form testats, samtliga med synnerligen dåliga resultat.

Den betong som utvecklats för konstruktioner i en betongaggressiv miljö, dvs betong med lufttillsats och med lågt vatten/cementtal, uppvisar god beständighet mot de påfrestningar miljön innebär.

De kravnivåer som frysstandarden SS 13 72 44 anger för att klassificera betongs frostbeständighet efter provning står i god överensstämmelse med betongens kondition efter ett antal års exponering under svåra förhållanden, då i första hand aggressiv vägmiljö.

Tabell 2 Resultat av frystest med NaCl-lösning som frysvätska

| Objekt-kategori | Objekt                | Byggår | Vct  | L-medel | Avskalning 56 cykler (g/m <sup>2</sup> ) |         | Skadegrad |
|-----------------|-----------------------|--------|------|---------|------------------------------------------|---------|-----------|
|                 |                       |        |      |         | Sågad                                    | Överyta |           |
| Marksten        | SF1                   | 1978   | 0,30 | Nej     |                                          | 77      | 0         |
|                 | SF2                   | 1982   | 0,30 | Nej     |                                          | 43      | 0         |
|                 | Hexa                  | 1986   | 0,30 | Nej     |                                          | 71      | 0         |
| Prefab          | P-däck Ametisten      | 1968   | 0,38 | Nej     | 1543                                     | 2430    | 2         |
|                 | P-däck Smaragden      | 1968   | 0,37 | Nej     | SF                                       | SF      | 2         |
|                 | Fasad Märsta obeh     | 1969   | 0,60 | Ja?     | 60                                       | 228     | -         |
|                 | Trappa på SP (1993)   | 1991   | ?    | Nej     | SF                                       | SF      | 3         |
|                 | Trappa på SP (1995)   | 1991   | ?    | Nej     | 32000                                    | 10500   | 3         |
|                 | Fundam för trafikm    | ?      | ?    | ?       | SF                                       | SF      | 5         |
| Motorväg        | Motorvägsbarriär      | 1983   | 0,41 | Ja?     | 48                                       | 80      | 0         |
|                 | Arlandavägen          | 1990   | 0,34 | Ja      | 50                                       | 494     | 0         |
| Kantbalkar      | Bro F18               | 1946   | 0,56 | Nej     | 25660                                    | 1145    | 2         |
|                 | Bro O40, västra kantb | 1949   | 0,70 | Nej     | SF                                       | 149     | 3         |
|                 | Bro O40, östra kantb  | 1949   | 0,70 | Nej     | SF                                       | SF      | 3         |
|                 | Bro P317              | 1950   | 0,53 | Nej     | 10610                                    | 7242    | -         |
|                 | Bro P299              | 1951   | 0,58 | Nej     | 18330                                    | 78      | 1         |
|                 | Bro O352              | 1954   | 0,50 | ?       | SF                                       | 143     | 1         |
|                 | Bro F34               | 1955   | ?    | Ja?     | 64                                       | 71      | 1         |
|                 | Bro O569, väster      | 1963   | 0,54 | Ja      | 2074                                     | 85      | 0         |
|                 | Bro O569, öster       | 1963   | 0,54 | Ja      | 394                                      | 54      | 0         |
|                 | Bro F633              | 1970   | 0,42 | Ja      | 312                                      | 63      | -         |
|                 | Bro B1337             | 1975   | 0,40 | Ja      | 56                                       | 60      | 0         |
| Stödmurar       | Stödmur i Kålleröd    | 1960   | 0,60 | ?       | SF                                       | SF      | 4         |
|                 | Stödmur i Borås       | 1968   | 0,60 | Nej     | SF                                       | SF      | 4         |

SF= Söndefrusen

? = Uppgift saknas

Skadegraden har angivits i en skala 0-5, där 0 = inga synliga skador och 5 = total kollaps. Ett "streck" i denna kolumn innebär att någon okulärbesiktning har inte gjorts.

## 8 Referenser

- |                                                   |                                                                                                                                            |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [1] BST Byggstandardiseringen                     | Betongprovning med svensk standard. Utgåva 6, november 1991.                                                                               |
| [2] SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut | SP-metod 1083. Tillverkning av tunnslip. Borås 1990.                                                                                       |
| [3] Örjan Petersson, Arne Johansson, Sven Sundbom | Provväg av cementbetong vid Arlanda, 1990. Betongmaterial. CBI rapport 4:91. Stockholm 1991.                                               |
| [4] Bengt-Åke Hultqvist, Bo Carlsson              | Provväg av cementbetong vid Arlanda, 1990. Byggnadsrapport. VTI meddelande 653. Linköping 1991.                                            |
| [5] Örjan Petersson, Sven Sundbom                 | Uppföljning av betongväg E4.65 vid Arlanda efter 3 år. Betongmaterial. CBI rapport 94010. Stockholm 1994.                                  |
| [6] Lars-Olof Nilsson                             | Inventering av P-husbeståndet i Göteborg. Chalmers Tekniska Högskola. Avdelningen för Byggnadsmaterial. Publikation P-91:3. Göteborg 1990. |
| [7] Kent Malmström                                | Cementsortens inverkan på betongs frostbeständighet. SP-Rapport 1990:07. Borås 1990.                                                       |
| [8] Vägverket                                     | Allmän teknisk beskrivning för broar. BRO 94. VV Publikation 1994:7. Borlänge 1994.                                                        |
| [9] Boverket                                      | BBK 94. Boverkets handbok om betongkonstruktioner. Band 2. Oktober 1994.                                                                   |



|                     |                                   |
|---------------------|-----------------------------------|
| <b>OBJEKT</b>       | <b>SF normalsten 1</b>            |
| <b>Byggnadsår</b>   | 1978-79                           |
| <b>Objektdel</b>    | -                                 |
| <b>Anmärkningar</b> | Stenen har legat på en upplagsyta |

**Uppgifter om betongen:**

|                      |                       |         |
|----------------------|-----------------------|---------|
| Hållfasthet, angiven |                       | uppmätt |
| Cementhalt           | 340 kg/m <sup>3</sup> |         |
| Cementkvalitet       | Std P                 |         |
| V <sub>ct</sub>      | ca 0,30               |         |
| Luftporsbildare      | -                     |         |
| Lufthalt             | -                     |         |

**Provuttag, läge för utborrade kärnor****Uppmätta egenskaper:**

|                      |                        |            |            |
|----------------------|------------------------|------------|------------|
| Hållfasthet          | 76 MPa                 |            |            |
| Densitet             |                        |            |            |
| Luftporssystem       |                        |            |            |
| Karakteristik        | Dålig kvalitet         |            |            |
| Lufthalt             | 10,7-14 %              |            |            |
| Avståndsfaktor       | 0,12-0,20 mm           |            |            |
| Specifik yta         | 12-16 mm <sup>-1</sup> |            |            |
| Karbonatiseringsdjup |                        |            |            |
| Kloridjonhalt        | 0-0,5 cm               | 1,5-2,0 cm | 3,0-3,5 cm |

**Frostbeständighet, avflagningar (g/m<sup>2</sup>)**

|            | Antal frostcykler |    |    |    |    |    |     | Antal provkroppar |
|------------|-------------------|----|----|----|----|----|-----|-------------------|
|            | 7                 | 14 | 28 | 42 | 56 | 84 | 112 |                   |
| Metod IIIA | -                 | -  | -  | -  | -  | -  | -   | 3                 |
| Metod IVA  | 27                | 37 | 49 | 65 | 77 | 95 | 108 |                   |
| Metod IIIB | -                 | -  | -  | -  | -  | -  | -   |                   |
| Metod IVB  | 10                | 15 | 23 | 35 | 39 | 43 | 49  | 3                 |

**Övrigt**

Då stenarna legat på en upplagsyta i 15 år innan testet består avflagningarna efter 7 cykler till stor del av smuts, då ytorna inte borstades rena innan testet startades.

|                     |                                       |
|---------------------|---------------------------------------|
| <b>OBJEKT</b>       | <b>SF normalsten 2</b>                |
| <b>Byggnadsår</b>   | 1982                                  |
| <b>Objektdel</b>    | -                                     |
| <b>Anmärkningar</b> | Stenen har legat på en trafikerad yta |

**Uppgifter om betongen:**

|                      |                       |         |
|----------------------|-----------------------|---------|
| Hållfasthet, angiven |                       | uppmätt |
| Cementhalt           | 340 kg/m <sup>3</sup> |         |
| Cementkvalitet       | Std P                 |         |
| Vct                  | ca 0,30               |         |
| Luftporbildare       | -                     |         |
| Lufthalt             | -                     |         |

**Provuttag, läge för utborrade kärnor****Uppmätta egenskaper:**

|                      |          |            |            |
|----------------------|----------|------------|------------|
| Hållfasthet          | 92 MPa   |            |            |
| Densitet             |          |            |            |
| Luftporsystem        |          |            |            |
| Karakteristik        |          |            |            |
| Lufthalt             |          |            |            |
| Avståndsfaktor       |          |            |            |
| Specifik yta         |          |            |            |
| Karbonatiseringsdjup |          |            |            |
| Kloridjonhalt        | 0-0,5 cm | 1,5-2,0 cm | 3,0-3,5 cm |

**Frostbeständighet, avflagningar (g/m<sup>2</sup>)**

|            | Antal frostcykler |    |    |    |    |    |     | Antal provkroppar |
|------------|-------------------|----|----|----|----|----|-----|-------------------|
|            | 7                 | 14 | 28 | 42 | 56 | 84 | 112 |                   |
| Metod IIIA | -                 | -  | -  | -  | -  | -  | -   | 3                 |
| Metod IVA  | 7                 | 13 | 22 | 34 | 43 | 54 | 65  |                   |
| Metod IIIB | -                 | -  | -  | -  | -  | -  | -   |                   |
| Metod IVB  | 4                 | 7  | 7  | 10 | 10 | 15 | 19  | 3                 |

**Övrigt**

|                     |                                       |
|---------------------|---------------------------------------|
| <b>OBJEKT</b>       | <b>Hexa normalsten</b>                |
| <b>Byggnadsår</b>   | 1986                                  |
| <b>Objektdel</b>    | -                                     |
| <b>Anmärkningar</b> | Stenen har legat på en trafikerad yta |

**Uppgifter om betongen:**

|                      |                                        |
|----------------------|----------------------------------------|
| Hållfasthet, angiven | uppmätt                                |
| Cementhalt           | 195 kg/m <sup>3</sup> (finsats i ytan) |
| Cementkvalitet       | Std P                                  |
| Vct                  | ca 0,30                                |
| Luftporbildare       | -                                      |
| Lufthalt             | -                                      |

**Provuttag, läge för utborrade kärnor****Uppmätta egenskaper:**

|                      |          |            |            |
|----------------------|----------|------------|------------|
| Hållfasthet          | 77 MPa   |            |            |
| Densitet             |          |            |            |
| Luftporsystem        |          |            |            |
| Karakteristik        |          |            |            |
| Lufthalt             |          |            |            |
| Avståndsfaktor       |          |            |            |
| Specifik yta         |          |            |            |
| Karbonatiseringsdjup |          |            |            |
| Kloridjonhalt        | 0-0,5 cm | 1,5-2,0 cm | 3,0-3,5 cm |

**Frostbeständighet, avflagningar (g/m<sup>2</sup>)**

|            | Antal frostcykler |    |    |    |    |    |     | Antal provkroppar |
|------------|-------------------|----|----|----|----|----|-----|-------------------|
|            | 7                 | 14 | 28 | 42 | 56 | 84 | 112 |                   |
| Metod IIIA | -                 | -  | -  | -  | -  | -  | -   | 3                 |
| Metod IVA  | 27                | 35 | 47 | 62 | 71 | 85 | 99  |                   |
| Metod IIIB | -                 | -  | -  | -  | -  | -  | -   |                   |
| Metod IVB  | 16                | 21 | 25 | 27 | 29 | 33 | 40  | 3                 |

**Övrigt**

**OBJEKT** Arlandavägen

**Byggnadsår** 1990 (augusti)

**Objektdel** -

### Anmärkningar

#### Uppgifter om betongen:

|                      |                                                           |         |                                             |
|----------------------|-----------------------------------------------------------|---------|---------------------------------------------|
| Hållfasthet, angiven | 80 MPa                                                    | uppmätt | 92,9 MPa på utborrade cylindrar vid 28 dygn |
| Cementhalt           | 460 kg/m <sup>3</sup> + kiselstoft<br>3 % av cementvikten |         |                                             |
| Cementkvalitet       | Std P Degerhamn                                           |         |                                             |
| Vbt                  | 0,33-0,34                                                 |         |                                             |
| Luftporbildare       | Tillsatt                                                  |         |                                             |
| Lufthalt             | 2,4-4,5 %                                                 |         |                                             |
| Specifik yta         | 15-23 mm <sup>-1</sup>                                    |         |                                             |
| Avståndsfaktor       | 0,17-0,25 mm enligt [3]                                   |         |                                             |

#### Provuttag, läge för utborrade kärnor

##### Uppmätta egenskaper:

|                       |                                                        |            |            |                  |
|-----------------------|--------------------------------------------------------|------------|------------|------------------|
| Hållfasthet           | 101 MPa                                                |            |            |                  |
| Densitet              | 2430 kg/m <sup>3</sup>                                 | vbt = 0,30 |            |                  |
| Luftporsystem         |                                                        |            |            |                  |
| Karakteristik         | Luftporsystemets kvalitet karakteriseras som "tveksam" |            |            |                  |
| Lufthalt              | 2,1-3,6 %                                              |            |            |                  |
| Avståndsfaktor        | 0,21-0,27 mm                                           |            |            |                  |
| Specifik yta          | 20-31 mm <sup>-1</sup>                                 |            |            |                  |
| Karbonatiseringsdjup  | 0-1 mm                                                 |            |            |                  |
| Kloridjonhalt         | 0-0,5 cm                                               | 1,5-2,0 cm | 3,0-3,5 cm | två kärnor redo- |
| i % av cementets vikt | 1,1-1,8                                                | 0,2        | < 0,1      | visade i [5]     |

#### Frostbeständighet, avflagningar (g/m<sup>2</sup>)

|            | Antal frostcykler |    |    |     |     |      |     | Antal provkroppar |
|------------|-------------------|----|----|-----|-----|------|-----|-------------------|
|            | 7                 | 14 | 28 | 42  | 56  | 84   | 112 |                   |
| Metod IIIA | 8                 | 18 | 25 | 36  | 50  | 87   | 247 | 4                 |
| Metod IVA  | 13                | 29 | 94 | 235 | 494 | 1595 | SF  | 3                 |
| Metod IIIB | 4                 | 6  | 9  | 11  | 14  | 19   | 25  | 2                 |

#### Övrigt

**OBJEKT** P-däck Ametisten, Orminge

**Byggnadsår** 1968

**Objektdel** TT-element

**Anmärkningar**

**Uppgifter om betongen:**

|                      |                       |         |                      |
|----------------------|-----------------------|---------|----------------------|
| Hållfasthet, angiven | K60                   | uppmätt | 72 MPa (vid 28 dygn) |
| Cementhalt           | 550 kg/m <sup>3</sup> |         |                      |
| Cementkvalitet       | Slite Std P           |         |                      |
| Vet                  | ca 0,38               |         |                      |
| Luftporbildare       | -                     |         |                      |
| Lufthalt             | -                     |         |                      |

**Provuttag, läge för utborrade kärnor**

**Uppmätta egenskaper:**

|                       |                        |            |            |
|-----------------------|------------------------|------------|------------|
| Hållfasthet           | 110 MPa                |            |            |
| Densitet              | 2400 kg/m <sup>3</sup> |            |            |
| Luftporsystem         |                        |            |            |
| Karakteristik         | Dålig kvalitet         |            |            |
| Lufthalt              | 1,4 %                  |            |            |
| Avståndsfaktor        | 0,21 mm                |            |            |
| Specifik yta          | 40 mm <sup>-1</sup>    |            |            |
| Karbonatiseringsdjup  | 5 mm                   |            |            |
| Kloridjonhalt         | 0-0,5 cm               | 1,5-2,0 cm | 3,0-3,5 cm |
| i % av cementets vikt | 1,3                    | 0,2        |            |
|                       | 0,7                    | 0,3        | < 0,1      |

**Frostbeständighet, avflagningar (g/m<sup>2</sup>)**

|            | Antal frostcykler |     |     |      |      |      |      | Antal provkroppar |
|------------|-------------------|-----|-----|------|------|------|------|-------------------|
|            | 7                 | 14  | 28  | 42   | 56   | 84   | 112  |                   |
| Metod IIIA | 61                | 150 | 401 | 813  | 1543 | 3549 | 6299 | 3                 |
| Metod IVA  | 9                 | 33  | 597 | 1590 | 2430 | 4022 | 5910 | 3                 |

**Övrigt**

**OBJEKT**                      **P-däck Smaragden, Orminge****Byggnadsår**                      1968**Objektdel**                      TT-element**Anmärkningar**                      -**Uppgifter om betongen:**

|                      |                       |         |                      |
|----------------------|-----------------------|---------|----------------------|
| Hållfasthet, angiven | K60                   | uppmätt | 77 MPa (vid 28 dygn) |
| Cementhalt           | 550 kg/m <sup>3</sup> |         |                      |
| Cementkvalitet       | Slite Std P           |         |                      |
| Vct                  | ca 0,37               |         |                      |
| Luftporbildare       | -                     |         |                      |
| Lufthalt             | -                     |         |                      |

---

**Provuttag, läge för utborrade kärnor****Uppmätta egenskaper:**

|                       |                        |            |            |
|-----------------------|------------------------|------------|------------|
| Hållfasthet           | 82 MPa                 |            |            |
| Densitet              | 2400 kg/m <sup>3</sup> |            |            |
| Luftporsystem         |                        |            |            |
| Karakteristik         | Tveksam kvalitet       |            |            |
| Lufthalt              | 2,6-3,3 %              |            |            |
| Avståndsfaktor        | 0,17-0,33 mm           |            |            |
| Specifik yta          | 17-31 mm <sup>-1</sup> |            |            |
| Karbonatiseringsdjup  | 5 mm                   |            |            |
| Kloridjonhalt         | 0-0,5 cm               | 1,5-2,0 cm | 3,0-3,5 cm |
| i % av cementets vikt | < 0,1                  | < 0,1      |            |

**Frostbeständighet, avflagningar (g/m<sup>2</sup>)**

|            | Antal frostcykler |     |      |       |    | Antal provkroppar |
|------------|-------------------|-----|------|-------|----|-------------------|
|            | 7                 | 14  | 28   | 42    | 56 |                   |
| Metod IIIA | 23                | 458 | 6946 | 21735 | -  | 3                 |
| Metod IVA  | 181               | 678 | 2536 | 5513  | -  | 3                 |

**Övrigt**

**OBJEKT** Fasadelement Märsta**Byggnadsår** 1969**Objektdel** -**Anmärkningar** Elementets yta är behandlad med akrylatlatex**Uppgifter om betongen:**

|                      |                          |         |
|----------------------|--------------------------|---------|
| Hållfasthet, angiven | K30                      | uppmätt |
| Cementhalt           | ca 330 kg/m <sup>3</sup> |         |
| Cementkvalitet       | Slite Std P              |         |
| Vet                  | ca 0,60                  |         |
| Luftporbildare       | -                        |         |
| Lufthalt             | -                        |         |

**Provuttag, läge för utborrade kärnor****Uppmätta egenskaper:**

|                      |                        |            |            |
|----------------------|------------------------|------------|------------|
| Hållfasthet          |                        |            |            |
| Densitet             | 2400 kg/m <sup>3</sup> |            |            |
| Luftporsystem        |                        |            |            |
| Karakteristik        |                        |            |            |
| Lufthalt             | 6,0-7,9 %              |            |            |
| Avståndsfaktor       | 0,14-0,16 mm           |            |            |
| Specifik yta         | 23-28 mm <sup>-1</sup> |            |            |
| Karbonatiseringsdjup | 5 mm                   |            |            |
| Kloridjonhalt        | 0-0,5 cm               | 1,5-2,0 cm | 3,0-3,5 cm |

**Frostbeständighet, avflagningar (g/m<sup>2</sup>)**

|                      | Antal frostcykler |    |    |     |     |     |     |
|----------------------|-------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|
|                      | 7                 | 14 | 28 | 42  | 56  | 84  | 112 |
| Metod IIIA           | 35                | 43 | 49 | 53  | 60  | 66  | 74  |
| Metod IVA behandlad  | 8                 | 17 | 27 | 46  | 71  | 119 | 167 |
| Metod IVA obehandlad | 13                | 33 | 90 | 161 | 228 | 333 | 595 |
| Metod IVB            | 3                 | 6  | 9  | 11  | 14  | 23  | 34  |

**Övrigt**

**OBJEKT**                      **Trappa på SP****Byggnadsår**                      1991**Objektdel**                      -**Anmärkningar**                      Trappan har av misstag utsatts för kemisk halkbekämpning**Uppgifter om betongen:**

|                      |               |         |
|----------------------|---------------|---------|
| Hållfasthet, angiven | -             | uppmätt |
| Cementhalt           | -             |         |
| Cementkvalitet       | -             |         |
| V <sub>ct</sub>      | -             |         |
| Luftporbildare       | Inte tillsatt |         |
| Lufthalt             | -             |         |

**Provuttag, läge för utborrade kärnor**                      Samtliga provuttag har gjorts ur plansteg**Uppmätta egenskaper:**

|                       |                              |            |            |
|-----------------------|------------------------------|------------|------------|
| Hållfasthet           | 68 MPa (1993); 82 MPa (1995) |            |            |
| Densitet              | 2280 kg/m <sup>3</sup>       |            |            |
| Luftporsystem         |                              |            |            |
| Karakteristik         | -                            |            |            |
| Lufthalt              | -                            |            |            |
| Avståndsfaktor        | -                            |            |            |
| Specifik yta          | -                            |            |            |
| Karbonatiseringsdjup  | -                            |            |            |
| Kloridjonhalt         | 0-0,5 cm                     | 1,5-2,0 cm | 3,0-3,5 cm |
| i % av cementets vikt | < 0,1                        | < 0,1      |            |

**Frostbeständighet, avflagningar (g/m<sup>2</sup>)**

| 1993       | Antal frostcykler |      |       |    |    |     |     | Antal provkroppar |
|------------|-------------------|------|-------|----|----|-----|-----|-------------------|
|            | 7                 | 14   | 28    | 42 | 56 | 84  | 112 |                   |
| Metod IIIA | 2010              | 9750 | -     | -  | -  | -   | -   | 3                 |
| Metod IVA  | 3125              | 7265 | 22460 | -  | -  | -   | -   | 3                 |
| Metod IVB  | 31                | 48   | 61    | 68 | 83 | 147 | 732 | 3                 |

| 1995       | Antal frostcykler |      |       |       |       |     |     | Antal provkroppar |
|------------|-------------------|------|-------|-------|-------|-----|-----|-------------------|
|            | 7                 | 14   | 28    | 42    | 56    | 84  | 112 |                   |
| Metod IIIA | 2512              | 6167 | 12317 | 22488 | 32409 | -   | -   | 3                 |
| Metod IVA  | 636               | 1211 | 3465  | 6412  | 10478 | -   | -   | 3                 |
| Metod IVB  | 27                | 40   | 97    | 124   | 155   | 360 | 542 | 2                 |

**Kapillärsugning, uppsugen mängd (g/m<sup>2</sup>) efter 1, 4 resp 24 timmar**

|                   | Överyta | Sågad yta |
|-------------------|---------|-----------|
| 1 h               | 202     | 786       |
| 4 h               | 340     | 1353      |
| 24 h              | 995     | 1924      |
| k·10 <sup>3</sup> | 3,39    | 6,55      |

**OBJEKT**                      **Fundament för trafikmärke****Byggnadsår**                      Inte bekant**Objektdel**                      -**Anmärkningar**                      -**Uppgifter om betongen:**      Inga uppgifter om betongen

Hållfasthet, angiven                      -                      uppmätt

Cementhalt                      -

Cementkvalitet                      -

Vct                      -

Luftporbildare                      -

Lufthalt                      -

**Provuttag, läge för utborrade kärnor****Uppmätta egenskaper:**

Hållfasthet                      48 MPa

Densitet                      2210 kg/m<sup>3</sup>

Luftporsystem                      -

Karakteristik                      -

Lufthalt                      -

Avståndsfaktor                      -

Specifik yta                      -

Karbonatiseringsdjup                      1-2 mm

Kloridjonhalt                      0-0,5 cm                      1,5-2,0 cm                      3,0-3,5 cm

i % av cementets vikt                      &lt; 0,1                      &lt; 0,1                      &lt; 0,1

**Frostbeständighet, avflagningar (g/m<sup>2</sup>)**

|            | Antal frostcykler |       |       |     |      |      |      | Antal provkroppar |
|------------|-------------------|-------|-------|-----|------|------|------|-------------------|
|            | 7                 | 14    | 28    | 42  | 56   | 84   | 112  |                   |
| Metod IIIA | 2906              | 13735 | -     | -   | -    | -    | -    | 4                 |
| Metod IVA  | 1104              | 3089  | 11411 | -   | -    | -    | -    | 3                 |
| Metod IVB  | 26                | 60    | 79    | 282 | 1044 | 2395 | 4287 | 2                 |

**Kapillärsugning, uppsugen mängd (g/m<sup>2</sup>) efter 1, 4 resp 24 timmar**

|                   | Överyta | Sågad yta |
|-------------------|---------|-----------|
| 1 h               | 500     | 1134      |
| 4 h               | 659     | 1990      |
| 24 h              | 1150    | 2618      |
| k·10 <sup>3</sup> | 3,91    | 8,91      |

|                     |                                                    |
|---------------------|----------------------------------------------------|
| <b>OBJEKT</b>       | <b>Motorvägsbarriär på E4 i Jönköping</b>          |
| <b>Byggnadsår</b>   | September 1983                                     |
| <b>Objektdel</b>    | Delen av barriären närmast centrum, f d A6 (äldst) |
| <b>Anmärkningar</b> | -                                                  |

**Uppgifter om betongen:**

|                      |                       |         |        |
|----------------------|-----------------------|---------|--------|
| Hållfasthet, angiven | K40                   | uppmätt | 48 MPa |
| Cementhalt           | 360 kg/m <sup>3</sup> |         |        |
| Cementkvalitet       | Skövde Std            |         |        |
| Vct                  | 0,41                  |         |        |
| Luftporbildare       | -                     |         |        |
| Lufthalt             | 5,3 %                 |         |        |

**Provuttag, läge för utborrade kärnor** 5 st Ø 104 mm ur överyta

**Uppmätta egenskaper:**

|                       |                         |            |            |
|-----------------------|-------------------------|------------|------------|
| Hållfasthet           | 89 MPa ( $s = 2,1$ MPa) |            |            |
| Densitet              | 2350 kg/m <sup>3</sup>  |            |            |
| Luftporsystem         | -                       |            |            |
| Karakteristik         | -                       |            |            |
| Lufthalt              | 3,5-3,9 %               |            |            |
| Avståndsfaktor        | 0,12-0,14 mm            |            |            |
| Specifik yta          | 44-46 mm <sup>-1</sup>  |            |            |
| Karbonatiseringsdjup  | 2-4 mm                  |            |            |
| Kloridjonhalt         | 0-0,5 cm                | 1,5-2,0 cm | 3,0-3,5 cm |
| i % av cementets vikt | 0,9                     | < 0,1      | < 0,1      |

**Frostbeständighet, avflagningar (g/m<sup>2</sup>)**

|            | Antal frostcykler |    |    |    |    | Antal provkroppar |
|------------|-------------------|----|----|----|----|-------------------|
|            | 7                 | 14 | 28 | 42 | 56 |                   |
| Metod IIIA | 16                | 26 | 33 | 41 | 48 | 4                 |
| Metod IVA  | 27                | 38 | 46 | 58 | 80 | 3                 |
| Metod IIIB | 1                 | 5  | 6  | 9  | 14 | 2                 |

**Kapillärsugning, uppsugen mängd (g/m<sup>2</sup>) efter 1, 4 resp 24 timmar**

|                   | Överyta | Sågad yta |
|-------------------|---------|-----------|
| 1 h               | 108     | 509       |
| 4 h               | 193     | 800       |
| 24 h              | 397     | 1261      |
| k·10 <sup>3</sup> | 1,35    | 4,29      |

**OBJEKT**                      **Bro B 1337 över Huvudstaleden, SJ:s spårområde  
m m vid trafikplats Karlberg i Solna å väg E4,  
Stockholms län**

**Byggnadsår**                      1975

**Objektdel**                      Provuttag ur södra kantbalken

**Anmärkningar**                      Bron utgör påfart till Essingeleden och har utsatts för  
intensiv halkbekämpning

**Uppgifter om betongen:**

|                      |                          |         |   |
|----------------------|--------------------------|---------|---|
| Hållfasthet, angiven | K40                      | uppmätt | - |
| Cementhalt           | -                        |         |   |
| Cementkvalitet       | -                        |         |   |
| Vet                  | 0,35-0,40 (ur tunnslip)  |         |   |
| Luftporbildare       | Betongen är lufttillsatt |         |   |
| Lufthalt             | 3,4-3,6 %                |         |   |

**Provuttag, läge för utborrade kärnor**

**Uppmätta egenskaper:**

|                       |                         |            |            |
|-----------------------|-------------------------|------------|------------|
| Hållfasthet           | 79 MPa ( $s = 5,6$ MPa) |            |            |
| Densitet              | 2370 kg/m <sup>3</sup>  |            |            |
| Luftporsystem         | -                       |            |            |
| Karakteristik         | God kvalitet            |            |            |
| Lufthalt              | 3,7 %                   |            |            |
| Avståndsfaktor        | 0,15-0,16 mm            |            |            |
| Specifik yta          | 26-39 mm <sup>-1</sup>  |            |            |
| Karbonatiseringsdjup  | 1-2 mm                  |            |            |
| Kloridjonhalt         | 0-0,5 cm                | 1,5-2,0 cm | 3,0-3,5 cm |
| i % av cementets vikt | 0,8                     | 0,3        | < 0,1      |

**Frostbeständighet, avflagningar (g/m<sup>2</sup>)**

|            | Antal frostcykler |    |    |    |    |    |     | Antal<br>provkroppar |
|------------|-------------------|----|----|----|----|----|-----|----------------------|
|            | 7                 | 14 | 28 | 42 | 56 | 84 | 112 |                      |
| Metod IIIA | 13                | 21 | 33 | 46 | 56 | 62 | 68  | 3                    |
| Metod IVA  | 11                | 20 | 34 | 48 | 60 | 87 | 130 | 3                    |
| Metod IIIB | 13                | 15 | 21 | 28 | 33 | 37 | 40  | 2                    |

**OBJEKT**                      **Bro F 633 på väg E4 över Röttleravinen****Byggnadsår**                      1970 (reparation oktober/november 1970)**Objektdel**                      Södergående bro, mittremsa**Anmärkningar**                      -**Uppgifter om betongen:**

|                      |                                               |         |        |
|----------------------|-----------------------------------------------|---------|--------|
| Hållfasthet, angiven | K50                                           | uppmätt | 56 MPa |
| Cementhalt           | 415 kg/m <sup>3</sup>                         |         |        |
| Cementkvalitet       | Standard Portlandcement                       |         |        |
| Vct                  | 0,42                                          |         |        |
| Luftporbildare       | "Godkänd" luftporbildare har tillsatts        |         |        |
| Lufthalt             | 5,4 % (medelvärde av 13 mätningar, s = 0,6 %) |         |        |

|                                             |                                                     |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| <b>Provuttag, läge för utborrade kärnor</b> | 7 kärnor Ø 108 mm ur mittremsa till södergående bro |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------|

**Uppmätta egenskaper:**

|                       |                                                         |            |            |
|-----------------------|---------------------------------------------------------|------------|------------|
| Hållfasthet           | 79 MPa (s = 9,5 MPa)                                    |            |            |
| Densitet              | 2320 kg/m <sup>3</sup> (medelvärde från 13 gjutetapper) |            |            |
| Luftporsystem         |                                                         |            |            |
| Karakteristik         | God kvalitet                                            |            |            |
| Lufthalt              | 5,8 % (medelvärde, lufthalten högre i ytan)             |            |            |
| Avståndsfaktor        | 0,16 mm                                                 |            |            |
| Specifik yta          | 33 mm <sup>-1</sup>                                     |            |            |
| Karbonatiseringsdjup  | 5-20 mm                                                 |            |            |
| Kloridjonhalt         | 0-0,5 cm                                                | 1,5-2,0 cm | 3,0-3,5 cm |
| i % av cementets vikt | 1,0                                                     | 0,6        | 0,3        |

**Frostbeständighet, avflagningar (g/m<sup>2</sup>)**

|            | Antal frostcykler |    |     |     |     | Antal provkroppar |             |
|------------|-------------------|----|-----|-----|-----|-------------------|-------------|
|            | 7                 | 14 | 28  | 42  | 56  |                   |             |
| Metod IIIA | 19                | 49 | 114 | 233 | 312 | 4                 | Accelererar |
| Metod IVA  | 25                | 38 | 45  | 54  | 63  | 3                 |             |
| Metod IIIB | 2                 | 6  | 9   | 24  | 59  | 2                 | Accelererar |

**Kapillärsugning, uppsugen mängd (g/m<sup>2</sup>) efter 1, 4 resp 24 timmar**

|                   | Överyta | Sågad yta |
|-------------------|---------|-----------|
| 1 h               | 118     | 476       |
| 4 h               | 203     | 828       |
| 24 h              | 434     | 1304      |
| k·10 <sup>3</sup> | 1,48    | 4,44      |

**Övrigt**

Tunnslipsanalysen påvisade en stor mängd mikrosprickor.

**OBJEKT**                      **Bro F 18 över Huskvarnaån vid Sanna****Byggnadsår**                      1946**Objektdel**                      Kantbalkar**Anmärkningar**                      -**Uppgifter om betongen:**

|                      |                       |         |        |
|----------------------|-----------------------|---------|--------|
| Hållfasthet, angiven | K30                   | uppmätt | 39 MPa |
| Cementhalt           | 300 kg/m <sup>3</sup> |         |        |
| Cementkvalitet       | Gullhögens A          |         |        |
| Vct                  | 0,56                  |         |        |
| Luftporbildare       | -                     |         |        |
| Lufthalt             | -                     |         |        |

**Provuttag, läge för utborrade kärnor**                      5 st Ø 104 mm varav 3 st ur västra kantbalken och 2 st ur den östra

**Uppmätta egenskaper:**

|                       |                                |            |            |
|-----------------------|--------------------------------|------------|------------|
| Hållfasthet           | 56 MPa (s = 7,2 MPa)           |            |            |
| Densitet              | 2335 kg/m <sup>3</sup>         |            |            |
| Luftporsystem         |                                |            |            |
| Karakteristik         | -                              |            |            |
| Lufthalt              | 6,8 % (yta), 5,5 % (sågad yta) |            |            |
| Avståndsfaktor        | 0,19 mm                        |            |            |
| Specifik yta          | 25 mm <sup>-1</sup>            |            |            |
| Karbonatiseringsdjup  | 0-1 mm                         |            |            |
| Kloridjonhalt         | 0-0,5 cm                       | 1,5-2,0 cm | 3,0-3,5 cm |
| i % av cementets vikt | 0,5                            | 0,2        | 0,1        |

**Frostbeständighet, avflagningar (g/m<sup>2</sup>)**

|            | Antal frostcykler |      |       |       |       | Antal provkroppar |
|------------|-------------------|------|-------|-------|-------|-------------------|
|            | 7                 | 14   | 28    | 42    | 56    |                   |
| Metod IIIA | 1580              | 5190 | 11340 | 19370 | 25660 | 4                 |
| Metod IVA  | 36                | 57   | 81    | 203   | 1145  | 3                 |
| Metod IIIB | 5                 | 9    | 10    | 12    | 14    | 2                 |

**Kapillärsugning, uppsugen mängd (g/m<sup>2</sup>) efter 1, 4 resp 24 timmar**

|                     | Överyta | Sågad yta |
|---------------------|---------|-----------|
| 1 h                 | 156     | 721       |
| 4 h                 | 312     | 1297      |
| 24 h                | 852     | 1879      |
| k · 10 <sup>3</sup> | 2,90    | 6,39      |

|                     |                                                                              |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| <b>OBJEKT</b>       | <b>Bro F34 över Hoksån på väg 30 söder Hok</b>                               |
| <b>Byggnadsår</b>   | 1928, ombyggd 1955                                                           |
| <b>Objektdel</b>    | Kantbalkar                                                                   |
| <b>Anmärkningar</b> | Enligt uppgift från broförvaltaren har denna bro klarat sig bra trots åldern |

**Uppgifter om betongen:**

|                      |                                                           |
|----------------------|-----------------------------------------------------------|
| Hållfasthet, angiven | I Vägverkets arkiv refererar slutrapporten till ett antal |
| Cementhalt           | bilagor för betongparametrarna. Tyvärr saknades bilagorna |
| Cementkvalitet       | i den arkiverade rapporten.                               |
| V <sub>ct</sub>      |                                                           |
| Luftporbildare       | Luftporbildare är förmodligen tillsatt                    |
| Lufthalt             |                                                           |

**Provuttag, läge för utborrade kärnor** 5 st Ø 104 mm ur östra kantbalken

**Uppmätta egenskaper:**

|                       |                        |            |            |
|-----------------------|------------------------|------------|------------|
| Hållfasthet           | 63 MPa (s = 1,4 MPa)   |            |            |
| Densitet              | 2320 kg/m <sup>3</sup> |            |            |
| Luftporsystem         |                        |            |            |
| Karakteristik         | -                      |            |            |
| Lufthalt              | 4,0 %                  |            |            |
| Avståndsfaktor        | 0,10 mm                |            |            |
| Specifik yta          | 36 mm <sup>-1</sup>    |            |            |
| Karbonatiseringsdjup  | 1-5 mm                 |            |            |
| Kloridjonhalt         | 0-0,5 cm               | 1,5-2,0 cm | 3,0-3,5 cm |
| i % av cementets vikt | 0,7                    | 0,1        | < 0,1      |

**Frostbeständighet, avflagningar (g/m<sup>2</sup>)**

|            | Antal frostcykler |    |     |     |        | Antal provkroppar |
|------------|-------------------|----|-----|-----|--------|-------------------|
|            | 7                 | 14 | 28  | 42  | 56     |                   |
| Metod IIIA | 27                | 48 | 171 | 463 | 1014 * | 4                 |
| Metod IIIA | 25                | 37 | 51  | 57  | 64     | 3                 |
| Metod IVA  | 29                | 39 | 51  | 57  | 71     | 3                 |
| Metod IIIB | 1                 | 5  | 8   | 16  | 18     | 2                 |

\* Endast en av de fyra provkropparna uppvisar dålig beständighet med avflagningar = 3,9 kg/m<sup>2</sup> vid 56 cykler. Det undre värdet i redovisningen av resultaten från metod IIIA anger medelvärdet då denna provkropp inte tagits med.

**Kapillärsugning, uppsugen mängd (g/m<sup>2</sup>) efter 1, 4 resp 24 timmar**

|                   | Överyta | Sågad yta |
|-------------------|---------|-----------|
| 1 h               | 114     | 703       |
| 4 h               | 172     | 1087      |
| 24 h              | 361     | 1355      |
| k·10 <sup>3</sup> | 1,23    | 4,61      |

|                     |                                                                                                                                                                                         |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>OBJEKT</b>       | <b>Bro O 569. Munkedalsviadukten<br/>(Bro över Örekilsälven m m på väg E6)</b>                                                                                                          |
| <b>Byggnadsår</b>   | 1963                                                                                                                                                                                    |
| <b>Objektdel</b>    | Kantbalkar på båda sidor                                                                                                                                                                |
| <b>Anmärkningar</b> | Bro är belägen i det arbetsområde i Vägverkets västra region som använder mest salt i halkbekämpningen. Bron har s k "låg" kantbalk och allt dräneringsvatten rinner över kantbalkarna. |

**Uppgifter om betongen:**

|                      |                       |         |        |
|----------------------|-----------------------|---------|--------|
| Hållfasthet, angiven | Btg I, K40            | uppmätt | 40 MPa |
| Cementhalt           | 385 kg/m <sup>3</sup> |         |        |
| Cementkvalitet       | Hälle kis             |         |        |
| V <sub>ct</sub>      | 0,54                  |         |        |
| Luftporbildare       | Barra                 |         |        |
| Lufthalt             | Inte angiven          |         |        |

|                                             |                                                    |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>Provuttag, läge för utborrade kärnor</b> | 4+4 cylindrar Ø 95 mm<br>(4 ur vardera kantbalken) |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------|

**Uppmätta egenskaper:**

|                       |                                                           |            |                      |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------|------------|----------------------|
| Hållfasthet           | 83 MPa (s = 2,1 MPa)                                      |            |                      |
| Densitet              | 2370 kg/m <sup>3</sup>                                    |            |                      |
| Luftporsystem         |                                                           |            |                      |
| Karakteristik         | -                                                         |            |                      |
| Lufthalt              | 3,9 % (yta), 2,7 % (sågsnitt)                             |            |                      |
| Avståndsfaktor        | 0,12 mm (yta), 0,30 mm (sågsnitt)                         |            |                      |
| Specifik yta          | 25 mm <sup>-1</sup> (yta), 23 mm <sup>-1</sup> (sågsnitt) |            |                      |
| Karbonatiseringsdjup  | 0-1 mm                                                    |            |                      |
| Kloridjonhalt         | 0-0,5 cm                                                  | 1,5-2,0 cm | 3,0-3,5 cm           |
| i % av cementets vikt | 1,0/1,5                                                   | 0,3/0,5    | 0,3/0,3 väster/öster |

**Frostbeständighet, avflagningar (g/m<sup>2</sup>)**

|            | Antal frostcykler (väster/öster) |        |         |          |          | Antal provkroppar |
|------------|----------------------------------|--------|---------|----------|----------|-------------------|
|            | 7                                | 14     | 28      | 42       | 56       |                   |
| Metod IIIA | 65/44                            | 154/79 | 532/145 | 1086/215 | 2074/394 | 2+2               |
| Metod IVA  | 14/16                            | 24/26  | 38/34   | 59/39    | 85/54    | 2+2               |
| Metod IIIB | 6/1                              | 16/7   | 18/13   | 41/17    | 48/25    | 1+1               |

**Kapillärsugning, uppsugen mängd (g/m<sup>2</sup>) efter 1, 4 resp 24 timmar**

|                   | Överyta | Sågad yta |
|-------------------|---------|-----------|
| 1 h               | 160     | 825       |
| 4 h               | 247     | 999       |
| 24 h              | 484     | 1190      |
| k·10 <sup>3</sup> | 1,65    | 4,05      |

|                     |                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>OBJEKT</b>       | <b>Bro O 40 på väg E6 över SJ i Svarteborg</b>                                                                                                                                                                                          |
| <b>Byggnadsår</b>   | 1949                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Objektdel</b>    | Kantbalkar                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Anmärkningar</b> | Bron är mycket utsatt på grund av stor andel tung trafik och hård saltning. Många skador är åtgärdade, dock <u>inte</u> kantbalkarna, som enligt uppgift klarat sig överraskande bra. Det kunde konstateras att de fläckvis var dåliga. |

**Uppgifter om betongen:** Platsblandad betong

|                      |                       |         |
|----------------------|-----------------------|---------|
| Hållfasthet, angiven | -                     | uppmätt |
| Cementhalt           | 250 kg/m <sup>3</sup> |         |
| Cementkvalitet       | Hälle kis klass A     |         |
| Vct                  | 0,70                  |         |
| Luftporbildare       | -                     |         |
| Lufthalt             | -                     |         |

**Provuttag, läge för utborrade kärnor** Cylindrar Ø 95 mm ur vardera kantbalken

**Uppmätta egenskaper:**

|                       |                        |            |            |
|-----------------------|------------------------|------------|------------|
| Hållfasthet           | 56 MPa (s = 11,2 MPa)  |            |            |
| Densitet              | 2400 kg/m <sup>3</sup> |            |            |
| Luftporsystem         |                        |            |            |
| Karakteristik         |                        |            |            |
| Lufthalt              | 1,5 %                  |            |            |
| Avståndsfaktor        | 0,31 mm                |            |            |
| Specifik yta          | 30 mm <sup>-1</sup>    |            |            |
| Karbonatiseringsdjup  | 0-1 mm                 |            |            |
| Kloridjonhalt         | 0-0,5 cm               | 1,5-2,0 cm | 3,0-3,5 cm |
| i % av cementets vikt | 1,9                    | 1,1        | 0,6        |

**Frostbeständighet, avflagningar (g/m<sup>2</sup>)**

|               | Antal frostcykler (väster/öster) |           |            |             |       | Antal provkroppar |
|---------------|----------------------------------|-----------|------------|-------------|-------|-------------------|
|               | 7                                | 14        | 28         | 42          | 56    |                   |
| Metod IIIA    | 1149/1103                        | 3258/3468 | 10046/8720 | 17392/13568 | -/-   | 1+1               |
| Metod IVA *   | 91/65                            | 105/324   | 114/2897   | 130/-       | 149/- | 1+1               |
| Metod IIIB ** | 4                                | 28        | 134        | 191         | 274   | 1                 |

\* Cylindern från västra kantbalken klarar sig bra medan provkroppen från östra kantbalken var helt sönderfrusen efter 42 cykler.

\*\* Provkropp från östra kantbalken

**Kapillärsugning, uppsugen mängd (g/m<sup>2</sup>) efter 1, 4 resp 24 timmar**

|                   | Överyta | Sågad yta |
|-------------------|---------|-----------|
| 1 h               | 179     | 544       |
| 4 h               | 313     | 983       |
| 24 h              | 730     | 1648      |
| k·10 <sup>3</sup> | 2,48    | 5,61      |

|                     |                                                                                                    |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>OBJEKT</b>       | <b>Bro O 352 på gamla Rv 40 i Härryda</b>                                                          |
| <b>Byggnadsår</b>   | 1954                                                                                               |
| <b>Objektdel</b>    | Kantbalkar                                                                                         |
| <b>Anmärkningar</b> | Enligt uppgift har bron klarat sig bra trots hård saltning på vägen mellan Landvetter och Björred. |

**Uppgifter om betongen:**

|                      |                       |         |        |
|----------------------|-----------------------|---------|--------|
| Hållfasthet, angiven | K30                   | uppmätt | 31 MPa |
| Cementhalt           | 325 kg/m <sup>3</sup> |         |        |
| Cementkvalitet       | Standard              |         |        |
| Vct                  | 0,5                   |         |        |
| Luftporbildare       | -                     |         |        |
| Lufthalt             | -                     |         |        |

|                                             |                                          |
|---------------------------------------------|------------------------------------------|
| <b>Provuttag, läge för utborrade kärnor</b> | Cylindrar Ø 94 mm från båda kantbalkarna |
|---------------------------------------------|------------------------------------------|

**Uppmätta egenskaper:**

|                       |                                            |            |            |
|-----------------------|--------------------------------------------|------------|------------|
| Hållfasthet           | 57 MPa                                     |            |            |
| Densitet              | 2310 kg/m <sup>3</sup> (innehöll armering) |            |            |
| Luftporsystem         | -                                          |            |            |
| Karakteristik         | -                                          |            |            |
| Lufthalt              | 4,7 %                                      |            |            |
| Avståndsfaktor        | 0,16 mm                                    |            |            |
| Specifik yta          | 33 mm <sup>-1</sup>                        |            |            |
| Karbonatiseringsdjup  | 0-1 mm                                     |            |            |
| Kloridjonhalt         | 0-0,5 cm                                   | 1,5-2,0 cm | 3,0-3,5 cm |
| i % av cementets vikt | 0,9                                        | 0,7        | 0,3        |

**Frostbeständighet, avflagningar (g/m<sup>2</sup>)**

|            | Antal frostcykler |       |       |       |     | Antal provkroppar |
|------------|-------------------|-------|-------|-------|-----|-------------------|
|            | 7                 | 14    | 28    | 42    | 56  |                   |
| Metod IIIA | 11512*            | 18129 | 18794 | 19146 | -   | 2                 |
| Metod IIIA | 4567              | 11184 | 11849 | 12201 | -   | 2                 |
| Metod IVA  | 37                | 64    | 95    | 114   | 143 | 3                 |
| Metod IIIB | 3                 | 9     | 17    | 33    | 38  | 2                 |

\* En stor sten frös loss från en provkropp. Det undre värdet i redovisningen av resultaten från metod IIIA anger medelvärde för avflagningarna där bidraget från denna sten inte räknats in.

**Kapillärsugning, uppsugen mängd (g/m<sup>2</sup>) efter 1, 4 resp 24 timmar**

|                   | Sågad yta, norr | Sågad yta, söder |
|-------------------|-----------------|------------------|
| 1 h               | 1225            | 783              |
| 4 h               | 1786            | 1137             |
| 24 h              | 2183            | 1672             |
| k·10 <sup>3</sup> | 7,43            | 5,69             |

|                     |                                                                                                |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>OBJEKT</b>       | <b>Bro O 550. Stödmur vid Kållerød</b>                                                         |
| <b>Byggnadsår</b>   | 1960                                                                                           |
| <b>Objektdel</b>    | Vertikala stödmurssektioner                                                                    |
| <b>Anmärkningar</b> | Muren är inte saltad men är utsatt för mycket saltstänk från den intilliggande motorvägen (E6) |

**Uppgifter om betongen:**

|                      |      |         |        |
|----------------------|------|---------|--------|
| Hållfasthet, angiven | K30  | uppmätt | 37 MPa |
| Cementhalt           | -    |         |        |
| Cementkvalitet       | -    |         |        |
| Vet                  | 0,60 |         |        |
| Luftporsbildare      | -    |         |        |
| Lufthalt             | -    |         |        |

|                                             |                                              |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------|
| <b>Provuttag, läge för utborrade kärnor</b> | Borrkärnor Ø 94 mm från 5 olika gjut-etapper |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------|

**Uppmätta egenskaper:**

|                       |                        |            |            |
|-----------------------|------------------------|------------|------------|
| Hållfasthet           | 51 MPa (s = 0,6 MPa)   |            |            |
| Densitet              | 2360 kg/m <sup>3</sup> |            |            |
| Luftporssystem        |                        |            |            |
| Karakteristik         | -                      |            |            |
| Lufthalt              | 7,5 %                  |            |            |
| Avståndsfaktor        | 0,14 mm                |            |            |
| Specifik yta          | 27 mm <sup>-1</sup>    |            |            |
| Karbonatiseringsdjup  | 6-10 mm resp 2-12 mm   |            |            |
| Kloridjonhalt         | 0-0,5 cm *             | 1,5-2,0 cm | 3,0-3,5 cm |
| i % av cementets vikt | 0,8/0,2                | 0,6/0,4    | 0,5/0,3    |

**Frostbeständighet, avflagningar (g/m<sup>2</sup>)**

|               | Antal frostcykler |       |        |         |         | Antal provkroppar |
|---------------|-------------------|-------|--------|---------|---------|-------------------|
|               | 7                 | 14    | 28     | 42      | 56      |                   |
| Metod IIIA    | 1440              | 6000  | 16436  | -       | -       | 4                 |
| Metod IVA     | 65                | 1623  | 6804   | -       | -       | 3                 |
| Metod IIIB ** | 12/1              | 51/16 | 238/43 | 1077/48 | 3597/57 | 2                 |

\* Kloridprofil på två borrkärnor

\*\* Två provkroppar med mycket olika resultat

**Kapillärsugning, uppsugen mängd (g/m<sup>2</sup>) efter 1, 4 resp 24 timmar**

|                   | Formyta | Sågad yta |
|-------------------|---------|-----------|
| 1 h               | 1003    | 884       |
| 4 h               | 1900    | 1241      |
| 24 h              | 2420    | 1797      |
| k·10 <sup>3</sup> | 8,23    | 6,11      |

**OBJEKT** **P 818. Stödmur vid Galgbacken vid Rv 40 i Borås (Brodalsmotet)**

**Byggnadsår** 1968

**Objekttdel** Vertikal del av stödmuren i monolit T3

**Anmärkningar** Provuttag på tre olika nivåer från murens nedre del

**Uppgifter om betongen:** Btg I, Std, K30, T, vattentät

|                      |                       |                |                                 |
|----------------------|-----------------------|----------------|---------------------------------|
| Hållfasthet, angiven | 30 MPa                | uppmätt        | 45 MPa                          |
| Cementhalt           | 285 kg/m <sup>3</sup> |                |                                 |
| Cementkvalitet       | Hälle kis Std         | Sättnått 60 mm | Densitet 2400 kg/m <sup>3</sup> |
| Vct                  | 0,60                  |                |                                 |
| Luftporbildare       | -                     |                |                                 |
| Lufthalt             | -                     |                |                                 |

**Provuttag, läge för utborrade kärnor**

|                           |
|---------------------------|
| 4 st 0,2-0,3 m ovan väg   |
| 2 st 0,8-1,0 m ovan väg   |
| 2 st 1,30-1,50 m ovan väg |

**Uppmätta egenskaper:**

|                       |                        |              |                |
|-----------------------|------------------------|--------------|----------------|
| Hållfasthet           | 52 MPa (s = 5,4 MPa)   |              |                |
| Densitet              | 2360 kg/m <sup>3</sup> |              |                |
| Luftporsystem         |                        |              |                |
| Karakteristik         | -                      |              |                |
| Lufthalt              | 2,0 %                  |              |                |
| Avståndsfaktor        | 0,24 mm                |              |                |
| Specifik yta          | 28 mm <sup>-1</sup>    |              |                |
| Karbonatiseringsdjup  | 0-3 mm                 |              |                |
| Kloridjonhalt         | 0-0,5 cm               | 1,5-2,0 cm   | 3,0-3,5 cm     |
| i % av cementets vikt | 0,2/0,3/0,3            | <0,1/0,3/0,3 | <0,1/0,1/0,2 * |

\* Kloridjonhalten ha bestämts på provkroppar tagna från tre olika nivåer ovan väg + 0,20/+ 1,00/+ 1,50 m

**Frostbeständighet, avflagningar (g/m<sup>2</sup>)**

|            | Antal frostcykler                                                                                    |    |    |    |    | Antal provkroppar |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|-------------------|
|            | 7                                                                                                    | 14 | 28 | 42 | 56 |                   |
| Metod IIIA | Detaljerad redovisning av avflagningar från provkroppar uttagna på olika nivåer finns i Bilaga 6.9 b |    |    |    |    |                   |
| Metod IVA  |                                                                                                      |    |    |    |    |                   |
| Metod IIIB |                                                                                                      |    |    |    |    |                   |

**Kapillärsugning, uppsugen mängd (g/m<sup>2</sup>) efter 1, 4 resp 24 timmar**

|                   | Formyta | Sågad yta |
|-------------------|---------|-----------|
| 1 h               | 210     | 1006      |
| 4 h               | 427     | 1549      |
| 24 h              | 1064    | 1752      |
| k·10 <sup>3</sup> | 3,62    | 5,96      |

**OBJEKT**

**P 818. Stödmur vid Galgbacken vid Rv 40 i Borås  
(Brodalsmotet)**

**Frostbeständighet, avflagningar (g/m<sup>2</sup>)**

**Metod IIIA Sågad yta med 3,0 %-ig NaCl-lösning**

| Nivå ovan väg | Antal frostcykler |             |       |    |    | Antal provkroppar |
|---------------|-------------------|-------------|-------|----|----|-------------------|
|               | 7                 | 14          | 28    | 42 | 56 |                   |
| + 0,20        | 1036              | 5176        | -     | -  | -  | 1                 |
| + 0,20        | 704               | 3501        | 15627 | -  | -  | 1                 |
| + 0,80        | 403               | 2104        | -     | -  | -  | 1                 |
| + 1,30        | 911               | 4645        | -     | -  | -  | 1                 |
| <b>Mv</b>     | <b>764</b>        | <b>3857</b> | -     | -  | -  |                   |

**Metod IVA Formyta med 3,0 %-ig NaCl-lösning**

| Nivå ovan väg | Antal frostcykler |             |               |      |    | Antal provkroppar |
|---------------|-------------------|-------------|---------------|------|----|-------------------|
|               | 7                 | 14          | 28            | 42   | 56 |                   |
| + 0,20        | 40                | 282         | 3896          | -    | -  | 1                 |
| + 0,80        | 62                | 523         | 1334          | 3719 | -  | 1                 |
| + 1,30        | 1464              | 6155        | -             | -    | -  | 1                 |
| <b>Mv</b>     | <b>522</b>        | <b>2320</b> | <b>(2615)</b> | -    | -  |                   |

**Metod IIIB Sågad yta med vatten**

| Nivå ovan väg | Antal frostcykler |           |            |             |             | Antal provkroppar |
|---------------|-------------------|-----------|------------|-------------|-------------|-------------------|
|               | 7                 | 14        | 28         | 42          | 56          |                   |
| + 0,20        | 5                 | 68        | 240        | 2674        | 7404        | 1                 |
| + 1,50        | 3                 | 38        | 139        | 1796        | 3848        | 1                 |
| <b>Mv</b>     | <b>4</b>          | <b>53</b> | <b>190</b> | <b>2235</b> | <b>5626</b> |                   |

|                               |                                                   |         |                      |
|-------------------------------|---------------------------------------------------|---------|----------------------|
| <b>OBJEKT</b>                 | <b>Bro P 299 vid Bolstad Kyrka</b>                |         |                      |
| <b>Byggnadsår</b>             | 1951                                              |         |                      |
| <b>Objektdel</b>              | Södra kantbalken                                  |         |                      |
| <b>Anmärkningar</b>           | Kantbalkarna är obehandlade                       |         |                      |
| <b>Uppgifter om betongen:</b> | (Betongen är platsblandad) klass II, trögflytande |         |                      |
| Hållfasthet, angiven          | 25 MPa                                            | uppmätt | 45 MPa (s = 1,4 MPa) |
| Cementhalt                    | 307 kg/m <sup>3</sup>                             |         |                      |
| Cementkvalitet                | Hälleknis Std                                     |         |                      |
| V <sub>ct</sub>               | 0,58                                              |         |                      |
| Luftporbildare                | -                                                 |         |                      |
| Lufthalt                      | -                                                 |         |                      |

**Provuttag, läge för utborrade kärnor**                      Kärnor Ø 100 mm ur södra kantbalken

**Uppmätta egenskaper:**

|                       |                        |            |            |
|-----------------------|------------------------|------------|------------|
| Hållfasthet           | 66 MPa (s = 2,7 MPa)   |            |            |
| Densitet              | 2380 kg/m <sup>3</sup> |            |            |
| Luftporsystem         |                        |            |            |
| Karakteristik         | Endast blandningsluft  |            |            |
| Lufthalt              | 1,0-7,3 %              |            |            |
| Avståndsfaktor        | 0,18 mm                |            |            |
| Specifik yta          | 26 mm <sup>-1</sup>    |            |            |
| Karbonatiseringsdjup  | 1-5 mm                 |            |            |
| Kloridjonhalt         | 0-0,5 cm               | 1,5-2,0 cm | 3,0-3,5 cm |
| i % av cementets vikt | < 0,1                  | < 0,1      | < 0,1      |

**Frostbeständighet, avflagnings (g/m<sup>2</sup>)**

|            | Antal frostcykler |      |      |       |       |     |     | Antal provkroppar |
|------------|-------------------|------|------|-------|-------|-----|-----|-------------------|
|            | 7                 | 14   | 28   | 42    | 56    | 84  | 112 |                   |
| Metod IIIA | 594               | 2083 | 5760 | 10550 | 18330 | -   | -   | 3                 |
| Metod IVA  | 24                | 36   | 49   | 64    | 78    | -   | -   | 3                 |
| Metod IIIB | 7                 | 7    | 9    | 16    | 20    | 178 | 570 | 2                 |

**Kapillärsugning, uppsugen mängd (g/m<sup>2</sup>) efter 1, 4 resp 24 timmar**

|                   | Överyta | Sågad yta |
|-------------------|---------|-----------|
| 1 h               | 248     | 579       |
| 4 h               | 403     | 990       |
| 24 h              | 731     | 1208      |
| k·10 <sup>3</sup> | 2,49    | 4,11      |

|                               |                                                                    |         |                      |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------|----------------------|
| <b>OBJEKT</b>                 | <b>Bro P 317 över Storån vid Åsmule</b>                            |         |                      |
| <b>Byggnadsår</b>             | 1950                                                               |         |                      |
| <b>Objektdel</b>              | Kantbalk på brons uppströmssida                                    |         |                      |
| <b>Anmärkningar</b>           | Kantbalkarna är obehandlade                                        |         |                      |
| <b>Uppgifter om betongen:</b> | Betongen är blandad på platsen. Klass II, trögflytande, vattentät. |         |                      |
| Hållfasthet, angiven          | K28                                                                | uppmätt | 39 MPa (s = 1,1 MPa) |
| Cementhalt                    | 317 kg/m <sup>3</sup>                                              |         |                      |
| Cementkvalitet                | Hällekis Std, trögflytande                                         |         |                      |
| Vct                           | 0,53                                                               |         |                      |
| Luftporbildare                | -                                                                  |         |                      |
| Lufthalt                      | -                                                                  |         |                      |

**Provuttag, läge för utborrade kärnor**                      6 kärnor Ø 102 mm ur kantbalk

**Uppmätta egenskaper:**

|                       |                        |            |            |
|-----------------------|------------------------|------------|------------|
| Hållfasthet           | 84 MPa (s = 7,6 MPa)   |            |            |
| Densitet              | 2430 kg/m <sup>3</sup> |            |            |
| Luftporsystem         |                        |            |            |
| Karakteristik         | -                      |            |            |
| Lufthalt              | 3,0-6,0 %              |            |            |
| Avståndsfaktor        | 0,15 mm                |            |            |
| Specifik yta          | 36-25 mm <sup>-1</sup> |            |            |
| Karbonatiseringsdjup  | 0-1 mm                 |            |            |
| Kloridjonhalt         | 0-0,5 cm               | 1,5-2,0 cm | 3,0-3,5 cm |
| i % av cementets vikt | 0,5                    | < 0,1      | < 0,1      |

**Frostbeständighet, avflagningar (g/m<sup>2</sup>)**

|            | Antal frostcykler |      |      |      |         |    |     | Antal provkroppar |
|------------|-------------------|------|------|------|---------|----|-----|-------------------|
|            | 7                 | 14   | 28   | 42   | 56      | 84 | 112 |                   |
| Metod IIIA | 276               | 1026 | 3104 | 7470 | 10610   | -  | -   | 4                 |
| Metod IVA  | 39                | 57   | 604  | 6846 | (7242)* | -  | -   | 3                 |
| Metod IIIB | 12                | 15   | 20   | 23   | 27      | 70 | 137 | 2                 |

\* En provkropp sönderfrusen

**Kapillärsugning, uppsugen mängd (g/m<sup>2</sup>) efter 1, 4 resp 24 timmar**

|                   | Överyta | Sågad yta |
|-------------------|---------|-----------|
| 1 h               | 227     | 502       |
| 4 h               | 310     | 751       |
| 24 h              | 632     | 1075      |
| k·10 <sup>3</sup> | 2,15    | 3,66      |



SP  
Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut  
Box 857, 501 15 BORÅS  
Telefon: 033 - 16 50 00, Telefax: 033 - 13 55 02

SP RAPPORT 1996:04  
ISBN 91-7848-608-4  
ISSN 0284-5172