

Per-Erik Petersson

2617

Betongs saltfrostbeständighet - Fältförsök



Per-Erik Petersson

Betongs saltfrostbeständighet - Fältförsök

Abstract

Scaling Resistance of Concrete - Field Exposure Tests

This report presents results from field exposure tests to investigate scaling resistance. Concrete specimens were exposed to the marine environment in Träslövsläge on the Swedish west coast and to the environment close to the highway between Borås and Gothenburg. Large amounts of deicing agents are used on the highway every winter.

34 different concrete qualities were used in the investigation, ranging from very poor (water/binder ratio=0,90, no entrained air) to very good scaling resistance (water/binder ratio=0,37, air content=6%). Three different Portland cement qualities were used and silica fume, or pulverised fly ash, was added to some of the concrete mixes.

The scaling resistance at 28 days was determined using Swedish standard SS 13 72 44 for all the concrete qualities. After two to four years of field exposure the specimens were inspected visually and then tested again in the laboratory. The results for the aged specimens were compared with the results for the 28 days old specimens.

The following conclusions can be drawn from the test results:

- SS 13 72 44 is useful for classifying concrete intended for use in environments aggressive to concrete structures.
- The scaling resistance of concrete in a marine environment or in the environment close to a highway normally improves with ageing.
- The highway environment is much more aggressive than the marine environment, at least as far as scaling resistance is concerned.

Key words: *concrete, scaling resistance, field exposure testing.*

**Sveriges Provnings- och
Forskningsinstitut**
SP Rapport 1995:73
ISBN 91-7848-602-5
ISSN 0284-5172
Borås 1995

**Swedish National Testing and
Research Institute**
SP Report 1995:73

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

	Abstract	2
	Innehållsförteckning	3
	Förord	4
	Sammanfattning	5
1	Inledning	6
2	Fältexponering i marin miljö	10
2.1	Fältexponeringsstationen i Träslövsläge	10
2.2	Betongkvaliteter	14
2.3	Tillverkning och härdning av provkroppar	16
2.3.1	Betongtillverkning	16
2.3.2	Provkroppar för normaltidsprov	16
2.3.3	Provkroppar för fältprovning	16
2.4	Frysprovning	18
2.5	Resultat normaltidsprov	19
2.6	Resultat fältprovning	23
2.6.1	Provkroppar åldrade uppe på pontonerna	23
2.6.2	Provpaneler åldrade på pontonernas sidor	33
3	Fältexponering i vägmiljö	36
3.1	Fältexponeringsstation vid riksväg 40	36
3.2	Betongkvaliteter	37
3.3	Tillverkning och härdning av provkroppar	38
3.4	Frysprovning	38
3.5	Resultat normaltidsprov	39
3.6	Resultat fältprovning	40
4	Slutsatser	44
5	Referenser	46
	Bilagor	
	Bilaga 1	47
	Bilaga 2	48
	Bilaga 3	53
	Bilaga 4	57
	Bilaga 5	59
	Bilaga 6	62

Förord

Detta arbete har utförts vid SP under tiden 1990-1995. Den största delen har ingått i paraplyprojektet BMB (Beständighet hos Marina Betongkonstruktioner) där, förutom frostbeständighet, också kloridinträngning och armeringskorrosion studerats. BMB har varit ett samarbetsprojekt med deltagare från CTH (BML), LTH (BML), CBI, Cementa och SP från Sverige samt bl a AEC från Danmark.

Tillverkning, utplacering och upptagning av provkroppar har samordnats med de övriga aktiviteterna inom BMB och huvudsakligen finansierats genom Cementa/Euroc.

Provning och utvärdering har ingått i projektet "Förbättrad utvärderingsmetod för provning av betongs frostbeständighet". Detta projekt finansieras till lika delar av SP och en grupp bestående av Cementa, Vägverket, BR, BFR och SBUF.

Arbetet med tillverkning av provkroppar och provning har gjorts av Gert-Olof Johansson, Sten Johansson och Sten Hjelm på enheten för Byggnadsteknik på SP.

Borås i december 1995

Per-Erik Petersson

Sammanfattning

Kunskaperna om betongs saltfrostbeständighet baseras i mycket stor utsträckning på erfarenhet. I Sverige har vi t ex använt portlandcement som bindemedel i mer än hundra år och vi har haft tillgång till luftporbildande tillsatsmedel i mer än fyrtio år. Detta har gjort det möjligt att bygga upp erfarenhet om hur "vanlig" betong fungerar under normala förhållanden i svensk miljö. Om man däremot använder andra bindemedel än portlandcement, andra tillsatsmedel än rena luftporbildare, mycket låga vattencementtal etc, så har vi inte tillräcklig erfarenhet och kunskap om hur frostbeständig betong bör vara sammansatt och inte heller hur den bör provas. Ny kunskap och erfarenhet måste byggas upp, t ex med hjälp av fältexponeringsförsök.

I denna rapport redovisas resultat från fältundersökningar där betong åldrats dels i marin miljö i Träslövsläge på den svenska västkusten och dels i vägmiljö längs riksväg 40 mellan Borås och Göteborg. 34 betongkvaliteter exponerades i Träslövsläge och 15 kvaliteter vid riksväg 40. Betongkvaliteterna varierade från förväntat mycket dålig frostbeständighet ($v_{bt}=0,90$, ingen luftinblandning) till mycket god frostbeständighet ($v_{bt}=0,37$, luft=6%).

För samtliga betongkvaliteter bestämdes frostbeständigheten vid 28 dygns ålder enligt SS 13 72 44. Resultaten visar att SS 13 72 44, förfarande IA, klassar betongens saltfrostbeständighet korrekt, dvs så som man kan förvänta sig av de erfarenheter som finns.

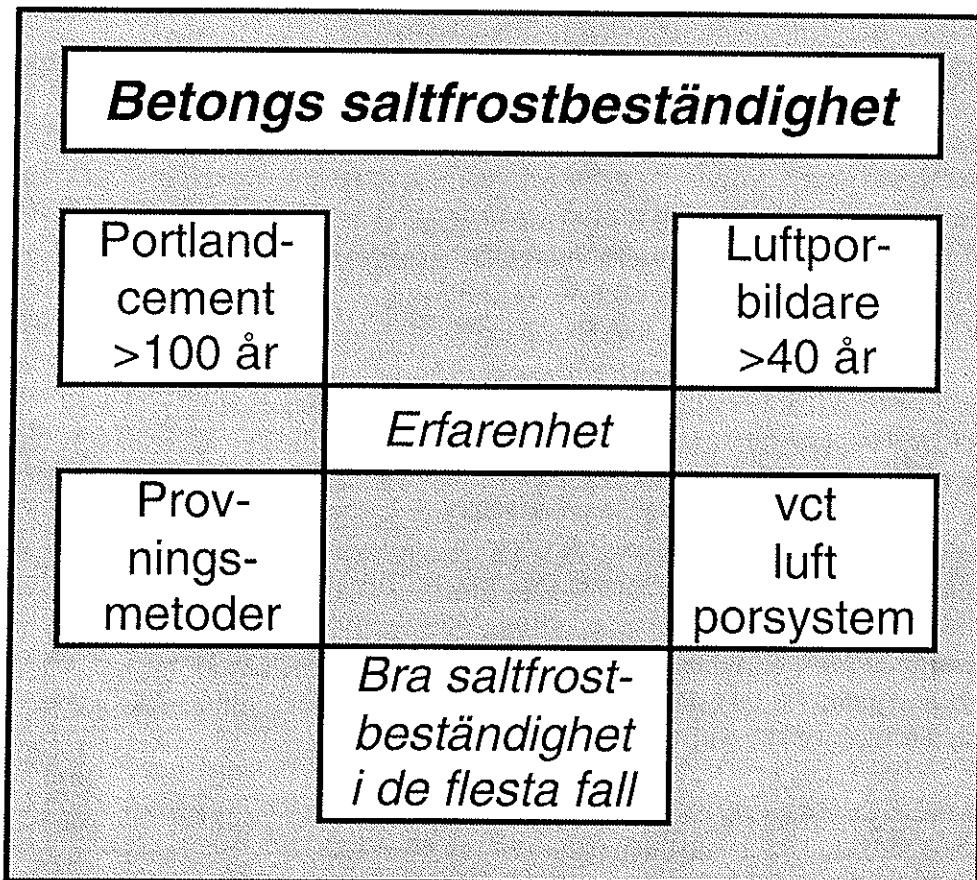
Efter tre års exponering i marin miljö togs proverna på nytt in till laboratoriet för förnyad frysprovning. Samtidigt gjordes en okulär besiktning. Inga synliga skador kunde observeras utom för betongkvaliteter med ett v_{bt} på 0,75. För dessa provkroppar var ytorna svagt etsade och kanterna hade frysskador.

För lufttillsatt betong visade resultaten för åldrade provkroppar att gränsen för acceptabel frostbeständighet, 1 kg/m^2 efter 56 fryscyklar enligt SS 13 72 44, är tillämplig för marin miljö i Sverige. För betong med lägre avskalningar ger metoden resultat på den säkra sidan, dvs avskalningarna vid normaltidsprovning är högre än motsvarande resultat för åldrade provkroppar. Resultaten visar vidare att SS 13 72 44 underskattar frostbeständigheten för icke lufttillsatt betong och att det möjligtvis skulle kunna gå att tillverka betong som är frostbeständig i marin miljö utan användning av luftporbildande medel. Det är emellertid motiverat att ha en hög säkerhetsmarginal för icke lufttillsatt betong så länge nedbrytningsmekanismer och åldringseffekter vid saltfrostangrepp inte är helt klarlagda.

Många av de provkroppar som exponerades för vägmiljön var kraftigt skadade efter fyra säsonger. Detta visar att vägmiljön är betydligt mer betongaggressiv än den marina miljön, åtminstone vad avser frostbeständighet. Först för lufttillsatt betong med vattencementtal 0,45 och lägre var skadorna obetydliga för betong längs riksväg 40. Icke lufttillsatta betongen med ett v_{ct} på 0,37 klarade också vägmiljön bra vilket antyder att det eventuellt skulle vara möjligt att utveckla en betong utan luftporbildare som är frostbeständig i aggressiv vägmiljö.

1 Inledning

Kunskaperna om betongs saltfrostbeständighet baseras i mycket stor utsträckning på erfarenhet vilket illustreras i figur 1. I Sverige har vi använt portlandcement som bindemedel sedan mer än hundra år och vi har haft tillgång till luftporbildande tillsatsmedel i mer än 40 år. Detta har gjort det möjligt att bygga upp erfarenhet om hur "vanlig" betong fungerar under normala förhållanden i svensk miljö. Man vet att om man använder betong med ett tillräckligt lågt vattencementtal, en tillräckligt hög lufthalt och en bra luftporstruktur så får vi en betong med bra saltfrostbeständighet för de flesta användningsområden. Det har också utvecklats provningsmetoder, t ex SS 13 72 44, med vars hjälp vi kan bedöma betongens kvalitet. Man måste dock vara medveten om att kunskaperna baseras på erfarenhet. Om man använder andra bindemedel än portlandcement, andra tillsatsmedel än rena luftporbildare, mycket låga vattencementtal etc, så har vi ofta inte tillräcklig erfarenhet av och kunskap om hur en frostbeständig betong bör vara sammansatt och inte heller hur den bör provas. Ny kunskap och erfarenhet måste byggas upp!

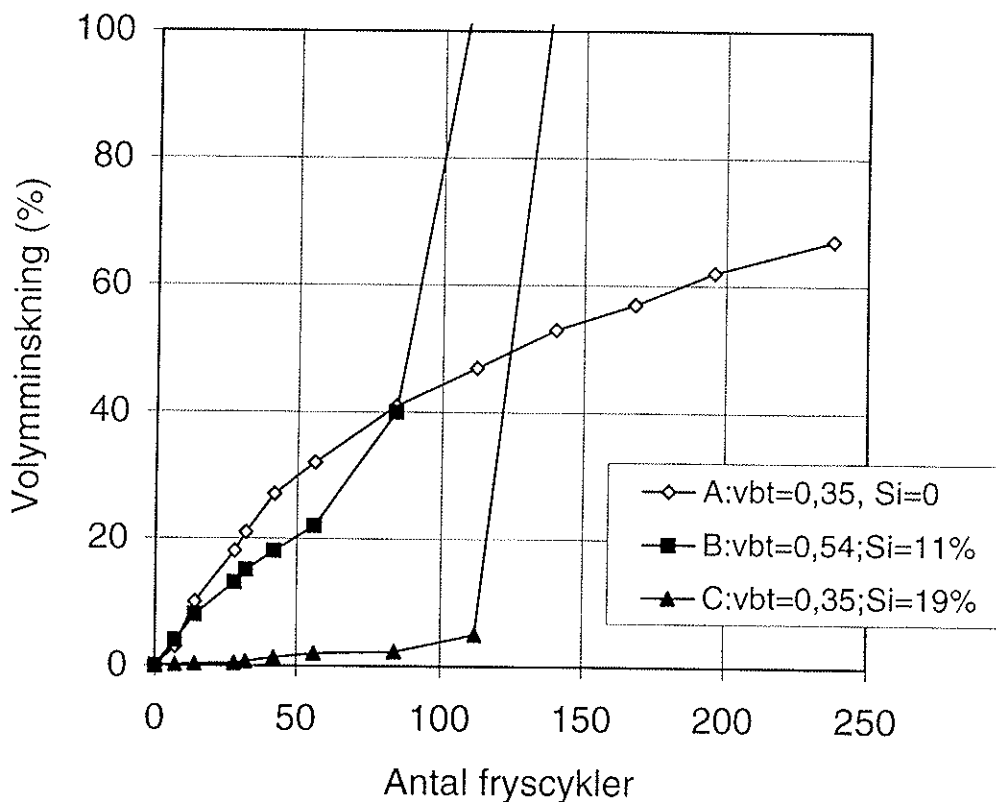


FIGUR 1 Kunskaperna om betongs saltfrostbeständighet bygger till stor del på erfarenhet och mindre på teoretiska kunskaper.

I figur 2 redovisas resultat från ett projekt som genomförts på SP /1/. Saltfrostbeständigheten bestämdes på olika betongkvaliteter genom att de utsattes för upprepade nedfrysning och upptining. Resultatet registrerades som procentuell volymminskning som funktion av antalet fryscykler.

Tre kvaliteter studerades, alla utan luftinblandning. I kvalitet A bestod bindemedlet av ren portlandcement, i kvalitet C ersattes 19 % av cementet med kiselstoft, för övrigt var blandningarna identiska med det låga vattenbindemedelstalet 0,35. I kvalitet B ersattes 11 % av cementet med kiselstoft och dessutom var vattenbindemedelstalet högre.

Som framgår av resultaten i figuren uppför sig de olika betongkvaliteterna på helt olika sätt. Portlandcementbetongen visar, precis som förväntat, kontinuerligt ökande avskalningar med ökande antal fryscykler. För betongkvaliteten med 19 % kiselstoft blir däremot förloppet ett helt annat. Under de första 100 cyklerna händer i stort sett ingenting men sedan förstörs betongen snabbt under några få cykler. Det går emellertid inte med hjälp av resultaten att avgöra vilken av betongkvaliteterna som har bäst saltfrostbeständighet i en verklig konstruktion. För att kunna göra detta måste vi skaffa oss mer kunskap och erfarenhet, bl a genom fältexponeringsförsök.

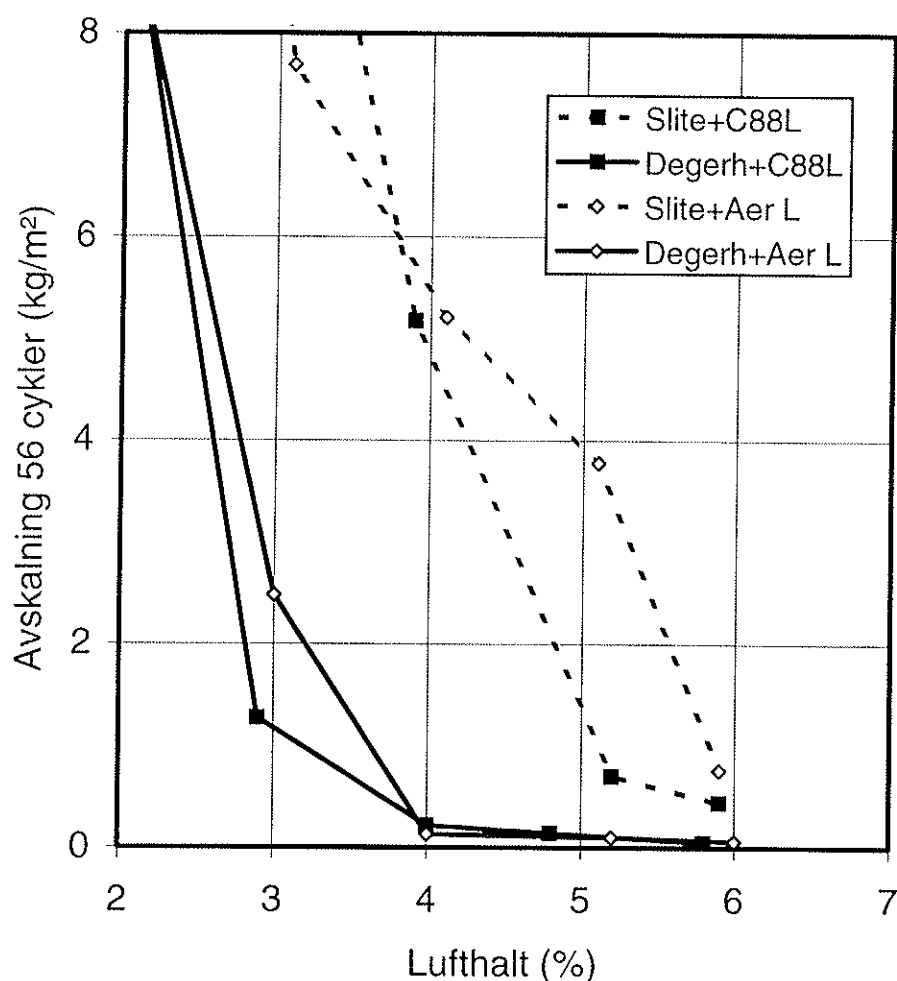


FIGUR 2 Frysprovning i 3 % NaCl-lösning av icke lufttillsatta betongkvaliteter med och utan kiselstoft /1/.

I figur 3 visas resultat från frysprovning i form av avskalningar efter 56 fryscyklar som funktion av lufthalten /2/. Två olika luftporbildare och två olika typer av portlandcement användes, för övrigt var betongblandningarna identiska vid varje lufthalt.

Som framgår av figuren är inverkan av typ av tillsatsmedel i detta fall liten medan inverkan av cementtyp är markant. Vid en given lufthalt ger Degerhamn anläggning betydligt bättre frostbeständighet än Slite std. För det aktuella vattencementtalet, 0,45, krävs det en lufthalt på över 6 % för Slite std för att uppnå kravet för god frostbeständighet (0,5 kg/m² efter 56 cykler) medan motsvarande lufthalt endast är ca 3-4 % för anläggningscementet.

Dessa resultat gäller vid provning i laboratorium och det finns ännu inte någon definitiv förklaring till skillnaden. Effekten av olika bindemedel i verkliga konstruktioner kan vara annorlunda. Fältexponeringsförsök kan bidra till att öka kunskaperna.



FIGUR 3 Avskalningar som funktion av lufthalten för betongkvaliteter tillverkade med olika typer av portlandcement och olika luftporbildande medel /2/.

Utvecklingen inom betongområdet går snabbt. Högpresterande betong med låga vattenbindemedelstal och mycket höga hållfastheter utvecklas. Det är möjligt att framställa betong med extremt goda gjutegenskaper. Ytbehandling och impregnering påverkar betongens egenskaper, stål-, polymer- och kolfibrer ger seg betong etc. För att fullt ut kunna använda dessa produkter i verkliga konstruktioner krävs erfarenhet från exponering under verkliga förhållanden som ett komplement till de omfattande laboratorieförsök som genomförts.

I Sverige har vi av tradition nästan uteslutande använt portlandcement som bindemedel i betong. I andra länder används flygaska, slagg, kiselstoft och andra tillsatsmaterial i stor utsträckning som ett komplement till portlandcement. Utomlands används också ytbehandlingsprodukter i mycket högre utsträckning än i Sverige. Dessa för Sverige nya material och tillämpningar kan troligen ibland bidra till billigare och kanske också bättre konstruktioner och eventuellt också till ett mer miljöanpassat byggande. Det är därför angeläget att det byggs upp kunskap om och erfarenhet av hur dessa produkter fungerar under svenska miljöförhållanden och byggtiditioner, t ex genom fältexponeringsförsök.

Syftet med det arbete som presenteras i denna rapport var att öka erfarenheterna rörande betongs saltfrostbeständighet under realistisk exponering samt att kalibrera resultat från fältexponering med laboratorieresultat uppnådda med hjälp av den svenska standardiserade frysprovningssmetoden SS 13 72 44. I rapporten redovisas resultat dels från ett omfattande fältexponeringsförsök i marin miljö som har genomförts i Träslövsläge söder om Varberg och dels från ett mindre försök som genomförts i vägmiljö vid riksväg 40 mellan Borås och Göteborg.

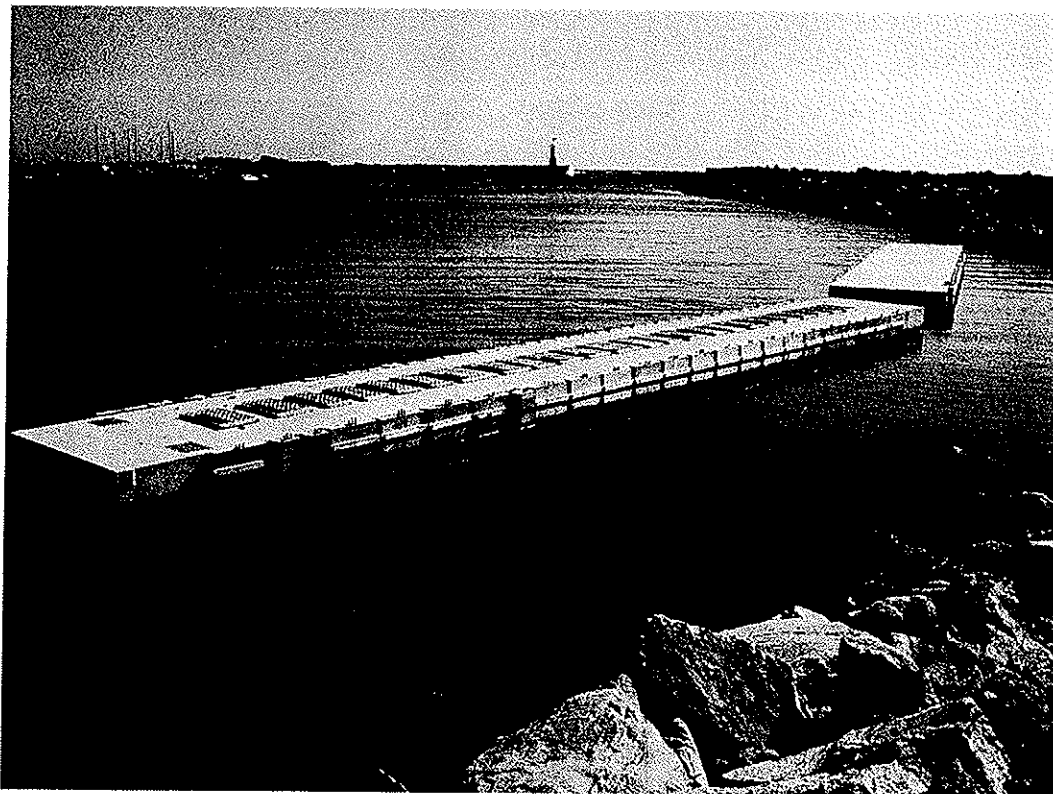
2 Fältexponering i marin miljö

2.1 Fältexponeringsstationen i Träslövsläge

Fältexponeringsstationen består av tre ca tjugo meter långa och tre och en halv meter breda flytpontoner av betong, se figur 4, som finns i den yttre hamnbassängen i Träslövsläges hamn ca sju km söder om Varberg. I den yttre hamnbassängen ligger pontonerna skyddade från direkta vågkrafter men de blir samtidigt utsatta för saltsprut när vågorna slår mot den skyddande piren som skiljer den yttre hamnbassängen från havet. Piren ligger endast några få meter utanför pontonerna.

Längs pontonernas sidor fästs provpaneler av betong med dimensionerna 100x800x1000mm så att halva höjden (500 mm) kommer under och halva höjden över vattenlinjen. Den sida av panelen som gjutits mot form vändes utåt och användes normalt som provyta. Eftersom pontonerna flyter kommer vattenlinjen alltid att befinna sig på panelernas halva höjd. Panelerna monterades så att det relativt enkelt gick att demontera dem när de skulle provas efter en viss tids exponering.

Uppe på pontonerna placerades dessutom provkroppar med dimensionerna 50x150x150 mm med de sågade provytorna (150x150 mm) vända uppåt. Efter olika tids åldring togs provkropparna in för provning i laboratorium.



FIGUR 4 Två av de tre pontonerna vid fältexponeringsstationen i Träslövsläge.

Klimatdata för provplatsen har samlats in systematiskt alltsedan 1992. I figurerna 5 - 8 visas klimatdata för perioden januari-mars 1995. Vintern 1994/95 kan betraktas som relativt normal om än något mild och kan anses vara representativ för den period som fältexponeringarna pågått.

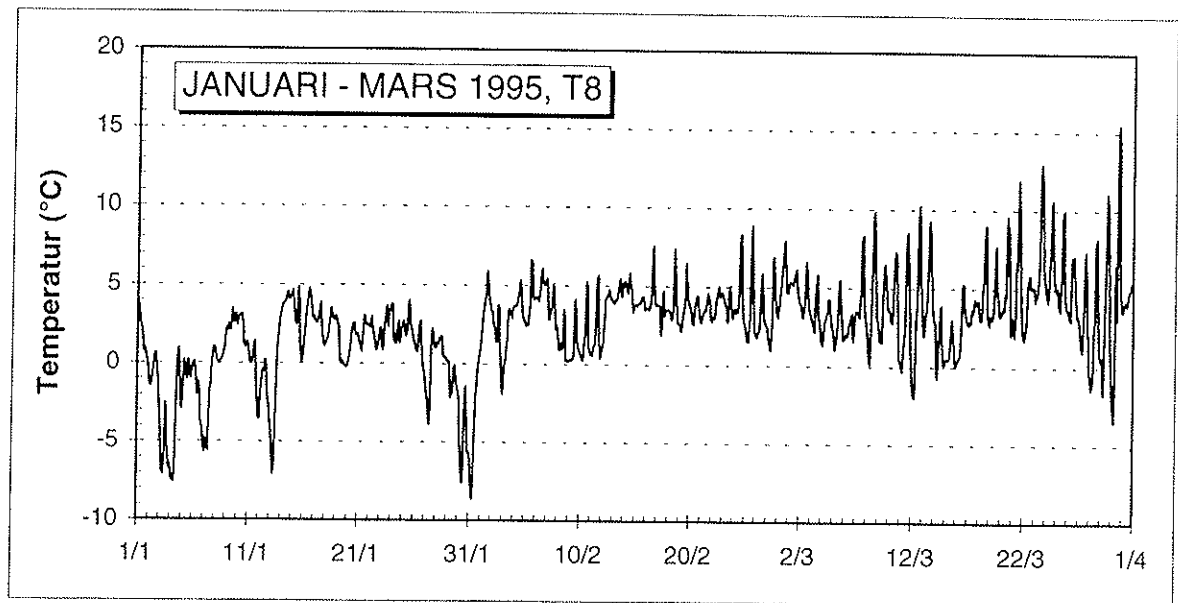
I figur 5 visas lufttemperaturen under perioden januari-mars 1995 mätt vid pontonerna en halv meter över vattenytan. Antalet nollpunktspassager var ca 20 under tremånadersperioden varav dock temperaturen vid flertalet av fryscyklerna inte understeg någon eller några minusgrader. Lägsta temperaturen under mätperioden var -8°C . Under hela perioden 1992-1995 har temperaturen i luften inte vid något tillfälle understigit -12°C .

I figur 6 visas hur snabbt lufttemperaturen ändras. Temperaturmätningar görs varannan timme och temperaturändringshastigheten utgörs av halva skillnaden mellan två på varandra följande mätningar. Vid minusgrader i luften överstiger temperatursänkingshastigheten sällan 2°C per timme. Värden på upptill 4°C per timme som uppmättes i slutet på mars är mycket ovanliga och det ska observeras att lufttemperaturen under den perioden var relativt hög, den pendlade mellan -3 och $+15^{\circ}\text{C}$. I SS 13 72 44 är temperatursänkingshastigheten vald till ca 2°C per timme vilket tycks stämma väl med förhållandena i marin miljö på den svenska västkusten.

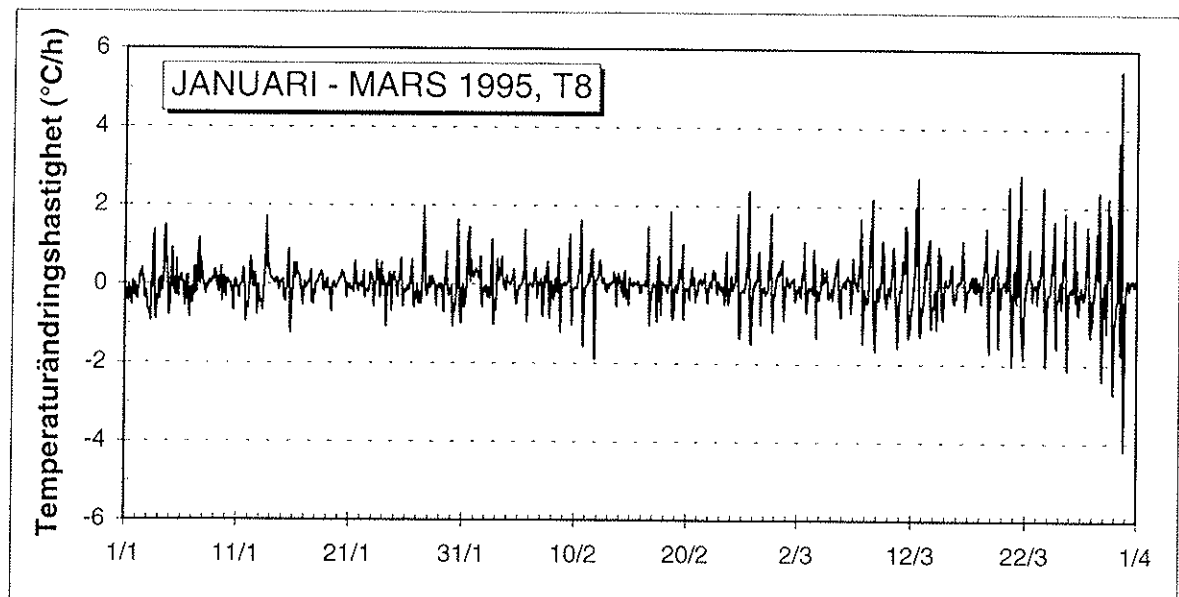
I figur 7 visas temperaturen 300 mm över vattenytan, mätt 5 mm in i betongen. Temperaturen följer lufttemperaturen väl men temperaturvariationerna är mindre.

I figur 8 visas temperaturen 75 mm under vattenytan, mätt 5 mm in i betongen. Här styrs temperaturen av vattentemperaturen. Temperaturvariationerna är små och inte vid något tillfälle faller temperaturen under 0°C under mätperioden.

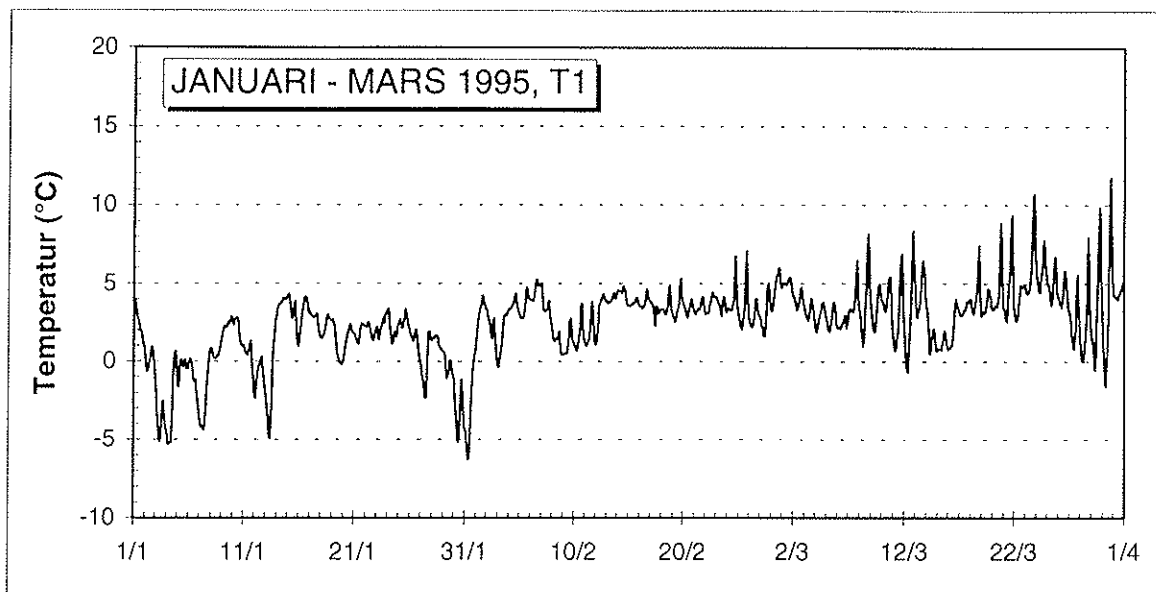
Klimatet utgör i många avseenden en mycket aggressiv miljö för betongkonstruktioner, bl a är fukt och saltbelastningen hög. Då det gäller temperaturen tycks dock klimatet vara relativt mild eftersom temperaturen sällan faller under -10°C . Detta är troligen av stor betydelse för betongens frostbeständighet.



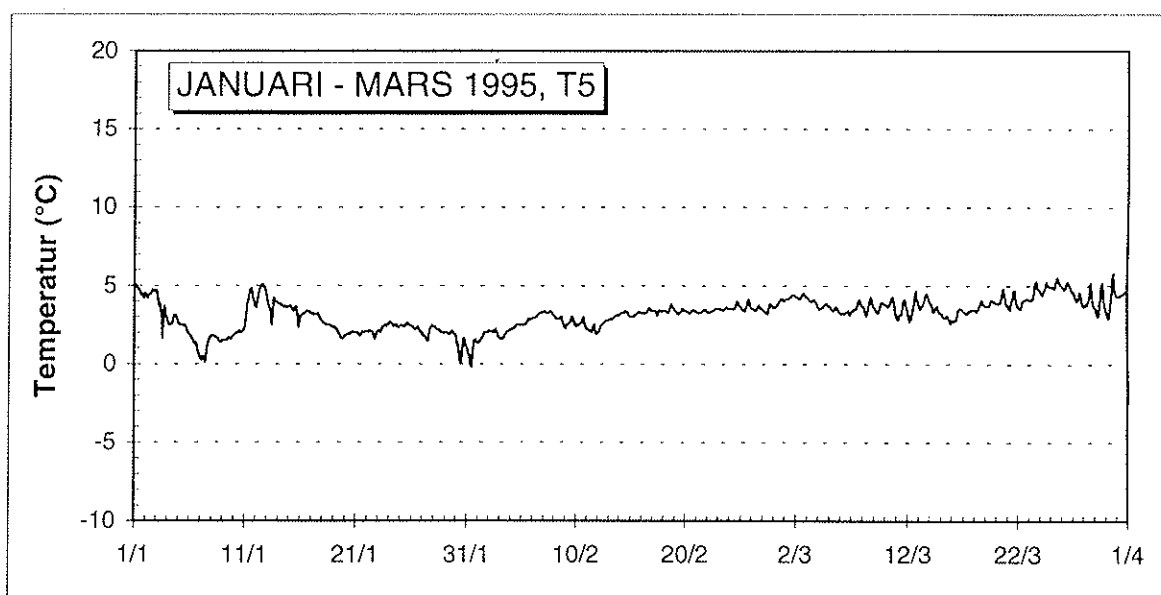
FIGUR 5 Lufttemperaturen en halv meter över vattenytan i Träslövsläge under perioden januari-mars 1995.



FIGUR 6 Temperaturändringshastigheten i luften i Träslövsläge under perioden januari-mars 1995.



FIGUR 7 Temperaturen 5 mm in i betongen 300 mm över vattenytan i Träslövsläge under perioden januari-mars 1995.



FIGUR 8 Temperaturen 5 mm in i betongen 75 mm under vattenytan i Träslövsläge under perioden januari-mars 1995.

2.2 Betongkvaliteter

I undersökningen ingick 34 betongblandningar enligt tabell 1. Blandningarna spänner från betong med förväntat mycket dålig saltfrostbeständighet ($vbt=0,75$, ingen luftinblandning) till mycket god beständighet ($vbt=0,35$, 6% luftinblandning).

Tre olika typer av portlandcement har använts; Slite std, Degerhamn anläggning och Degerhamn 400 med nominella egenskaper enligt bilaga 1. Jämfört med Slite std är Degerhamn anläggning ett lågalkaliskt cement med en ekvivalent alkalihalt understigande 0,6%. Vidare är C_3A -halten låg vilket gör att cementet kan betraktas som sulfatresistent. Därtill har anläggningscementet låg värmeutveckling, vilket allt sammantaget gör att denna cementsort anses lämplig att använda till grova konstruktioner i betongaggressiv miljö. Degerhamn 400 är en mer finmald variant av anläggningscementet.

Flygaskan tillsattes i form av torrt pulver tillsammans med cementet. Kiselstoftet som användes var i form av slurry vilket ger en bra dispergering av kiselstoftspartiklarna. Slurryn tillsattes med det första blandningsvattnet.

Ballasten som användes var av frostbeständigt naturmaterial, huvudsakligen gnejs, med en största stenstorlek på 16 mm. Luftporbildaren var Cementa L14 (tallolja) utom för de blandningar som innehöll kiselstoft då istället Cementa 88L (Vinsol resin) användes. Som flyttillsatsmedel användes genomgående Cementa 92M (melamin). Tillsatsmedlen tillsattes med blandningsvattnet.

Som framgår av tabell 1 kan man dela in betongblandningarna i två grupper; "normal" betong (1-35 till 8-75) och högpresterande betong H1 till H9. Den normala betongen har hållfastheter mellan 21 och 91 MPa och sättmått mellan 45 och 140 mm. För de högpresterande betongerna är hållfastheten högre (utom för H4) och konsistensen är genomgående mycket lättflytande. Luftporbildande tillsatsmedel har använts endast till en av de nio högpresterande betongkvaliteterna. Trots detta är lufthalterna ofta relativt höga. En förklaring till detta kan vara att den använda flyttillsatsen använts i höga doseringar för de högpresterande betongkvaliteterna och detta kan ha resulterat i förhöjda lufthalter.

TABELL 1 Betongkvaliteter vid fältförsök i Träslövsläge.

Be- teckn	Cem- typ	Binde- medelsh	Si	FA	vbt	Till- satsm	Luft- halt	Sätt- mått	Tryck- hållf
		kg/m ³	%	%				mm	MPa
1-35	Anl	450			0,35	L+FI ¹⁾	6,0	105	68
1-40	Anl	420			0,40	L+FI	6,2	125	57
1-50	Anl	370			0,50	L	6,4	105	41
1-75	Anl	240			0,75	L	6,1	100	21
2-35	Slite	450			0,35	L+FI	5,7	135	60
2-40	Slite	420			0,40	L+FI	6,2	125	55
2-50	Slite	390			0,50	L	5,8	95	42
2-60	Slite	310			0,60	L	6,3	100	35
2-75	Slite	250			0,75	L	5,8	115	26
3-35	Anl	450	5 ²⁾		0,35	L+FI	5,8	60	71
3-40	Anl	420	5		0,40	L+FI	6,1	75	60
3-50	Anl	370	5		0,50	L	6,0	80	45
3-75	Anl	245	5		0,75	L	5,9	140	21
4-40	Anl	420	10		0,40	L+FI	6,6	60	65
5-40	Anl	420	5		0,40	L+FI	2,9	90	81
6-35	Anl	450	5		0,35	L+FI	2,1	45	93
6-40	Anl	420	5		0,40	L+FI	1,7	70	87
7-35	Anl	450			0,35	FI	2,4	55	91
7-40	Anl	420			0,40	FI	2,1	50	79
7-75	Anl	265			0,75	-	1,1	45	32
8-35	Slite	470			0,35	FI	2,1	85	73
8-40	Slite	440			0,40	FI	2,1	80	67
8-50	Slite	410			0,50	-	1,4	95	56
8-60	Slite	330			0,60	-	1,6	70	45
8-75	Slite	270			0,75	-	1,4	70	37
H1	Anl	500	5		0,30	FI	0,8	>265	112
H2	Anl	500	10		0,30	FI	1,1	145	117
H3	Anl	492			0,30	FI	3,6	>265	90
H4	Anl	420	5		0,40	L+FI	5,9	180	56
H5	Anl	551	5		0,25	FI	1,3	>265	116
H6	Anl	518		5	0,30	FI	2,8	>265	90
H7	De400	500	5		0,30	FI	1,3	>265	114
H8	Anl	616		20	0,30	FI	3,0	>270	90
H9	De400	500			0,30	FI	2,9	210	99

1) L=luftporbildare (Cementa 88L eller Cementa L14), FI=flytmedel (Cementa 92M))

2) viktprocent av total bindemedelsmängd

2.3 Tillverkning och härdning av provkroppar

2.3.1 Betongtillverkning

Alla blandningar gjordes i en 350 liters tvångsblandare. Betongen blandades i tre minuter. Efter blandningen togs prov på konsistens och lufthalt.

2.3.2 Provkroppar för normaltidsprov

För provning av betongens frostbeständighet tillverkades 150 mm kuber enligt förfarande IA i SS 13 72 44, utgåva 2 /3/. Direkt efter gjutning täcktes formarna med plastfolie för att förhindra uttorkning. Efter 24 timmar avformades provkropparna och placerades i vatten ($20\pm 2^{\circ}\text{C}$) där de lagrades under 6 dygn. Därefter placerades de i ett klimatrum med temperaturen $20\pm 2^{\circ}\text{C}$, relativa luftfuktigheten $50\pm 5\%$ och lufthastigheten $< 0,1\text{ m/s}$.

Efter 21 dygn sågades 50 mm tjocka provkroppar från kuberna så att sågsnittet hamnade mitt i kuben och vinkelrätt mot kubens överyta enligt figur 9. Direkt efter sågningen spolades provkroppen av i kranvatten, överskottsvattnet torkades av med en fuktig svamp varefter provkroppen omedelbart åter placerades i klimatkammaren där den sedan förvarades under ytterligare 7 dygn.

När provkroppen var 26 dygn gammal limmades en gummiduk på provkroppens alla sidor utom provytan. Gummiduken nådde $20\pm 1\text{ mm}$ över provytan enligt provuppställningen i figur 10.

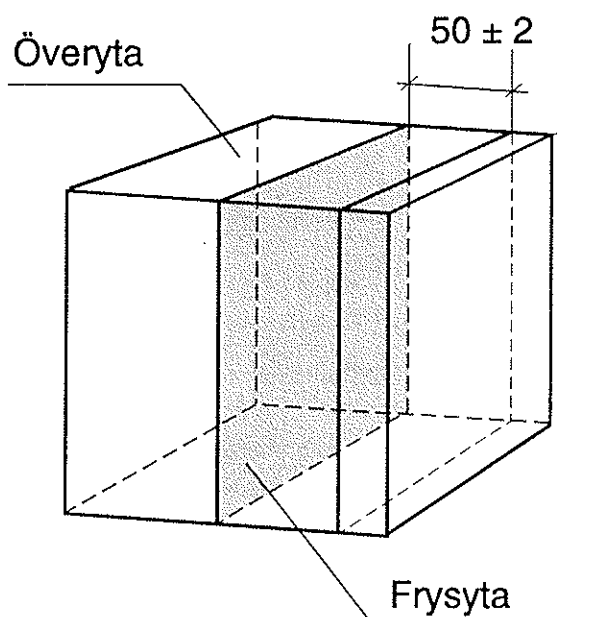
När betongen var 28 dygn hälldes vatten på provytan. Denna återuppfuktning pågick i tre dygn varefter vattnet ersattes med 3 % NaCl-lösning och frysprovningen började.

2.3.3 Provkroppar för fältprovning

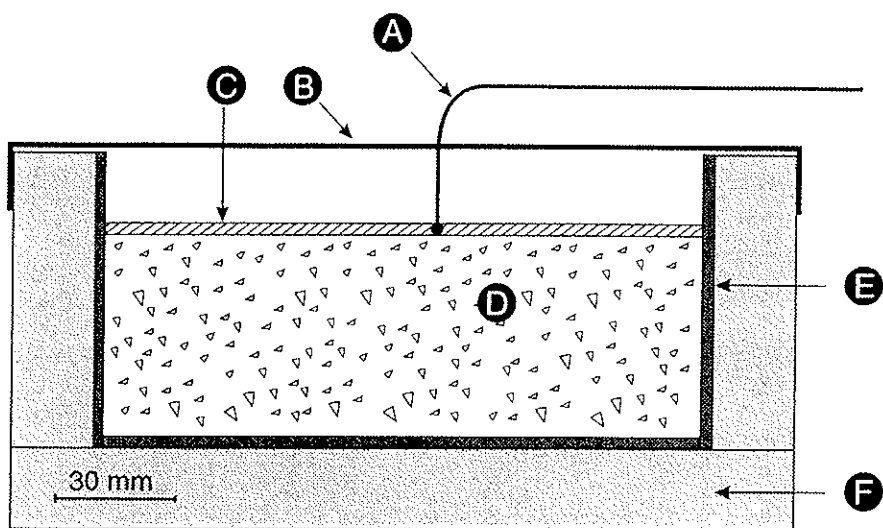
Provkroppar med dimensionen 50x150x150 mm tillverkades och härdades fram till 28 dygn på exakt samma sätt som normaltidsproverna så när som på att ingen gummiduk limmades på. Därefter placerades proverna ut på fältexponeringsstationen uppe på pontonerna med den sågade provytan vänd uppåt.

När proverna efter viss tids exponering åter togs in för provning förvarades de i ett klimatrum (20°C , 50% RF) under en vecka. Under denna tid limmades gummiduk på provkroppens sidor. Därefter följde tre dagars återuppfuktning varefter frysprovningen började.

Provpaneler med dimensionerna 100x1000x800 mm tillverkades också för exponering vid provplatsen. Panelerna göts liggande uppe på ett vibratorbord som också användes för kompakteringen. Direkt efter gjutningen täcktes provkropparna med plastfolie. Efter ett dygn avformades panelerna varefter de ånyo täck-



FIGUR 9 Provkroppar sågades vinkelrätt mot kubens överyta så att provytan hamnade 50 mm från en av kubens sidor (mått i mm).



FIGUR 10 Provuppställning enligt SS 13 72 44. A=temperaturgivare, B=polyetenfolie, C=saltlösning, D=provkropp, E=gummiduk, F=värmeisolering.

tes med plastfolie fram till 7 dygns ålder. Därefter förvarades panelerna i laboratoriet fram tills dess att de placerades ut på fältexponeringsstationen vid ca 28 dygns ålder.

Efter viss tids exponering togs panelerna åter in till laboratoriet och provkroppar med dimensionerna 50x100x100 mm sågades ut. Därefter behandlades provkropparna på samma sätt som normaltidsproven efter sågning vid 21 dygns ålder.

2.4 Frysprovning

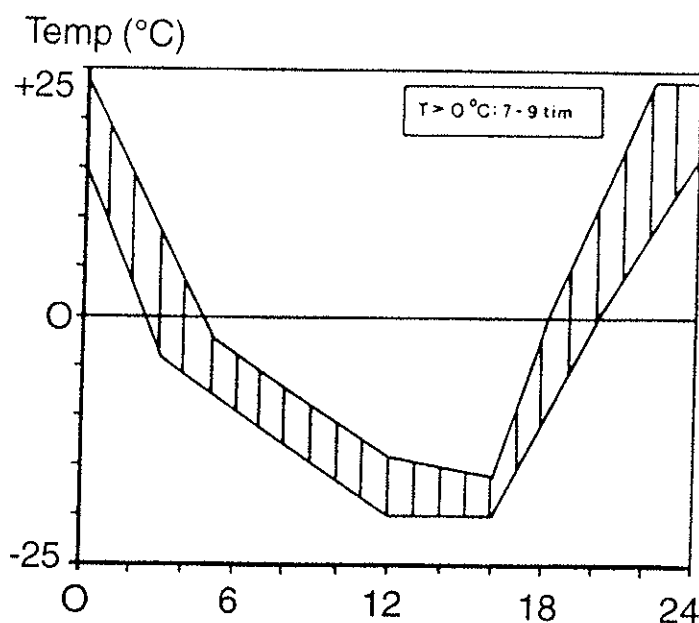
Frysprovningarna gjordes enligt SS 13 72 44, utgåva 2, förfarande IA.

Innan frysprovningen började isolerades alla provkroppens ytor utom frysytan med ett 20 ± 1 mm tjockt lager av polystyrencellplast enligt figur 10. Ett 3 mm tjockt skikt av 3 % NaCl-lösning hälldes på frysytan. För att hindra avdunstning under provningen spändes en polyetenfolie över saltlösningen.

Därefter utsattes provkropparna för upprepad nedfrysning och upptining. Temperaturen mättes kontinuerligt i saltlösningen för en provkropp i varje frysskåp. Den använda temperaturcykeln visas i figur 11.

Efter 7, 14, 28, 42 och 56 cykler samlades avskalat material upp, torkades vid 105°C och vägdes. Resultatet anges som mängd avskalat material per ytenhet som funktion av antal fryscyklar.

För varje betongkvalitet testades 3 eller 4 provkroppar.



FIGUR 11 Temperaturcykel enligt SS 13 72 44.

Spridningarna i resultaten inom varje provserie är ibland relativt stora. Sedan provningarna som presenteras i denna rapport avslutades har provningsmetoden reviderats och det finns nu en utgåva 3 av SS 13 72 44 /4/. Avsikten med revideringen var att öka metodens precision, dvs repeterbarhet och reproducerbarhet. Efter revideringen har metodens repeterbarhet, dvs spridning inom laboratorier, visat sig vara tillfredsställande /5/. Det återstår att visa att metoden också har en tillfredsställande låg reproducerbarhet, dvs spridning mellan laboratorier.

2.5 Resultat normaltidsprov

Resultaten från normaltidsproven redovisas dels i tabell 2, där medelvärden presenteras, och dels i bilaga 2 där resultatet för varje enskild provkropp anges.

I tabell 2 görs en bedömning av de olika betongkvaliteternas frostbeständighet enligt kommentarerna i SS 13 72 44. Bedömningskriterierna framgår av tabell 3.

Som framgår av tabell 2 uppfylls kraven för god eller mycket god frostbeständighet för alla betongkvaliteter som dels har ett vbt som är mindre eller lika med 0,5 och dels har tillsatt luft. Luftinnehållet för de lufttillsatta betongkvaliteterna är normalt ca 6 % men för någon är det så lågt som 3 %. Av de sju blandningarna med luft som har ett vbt som är högre än 0,5 är det däremot inte någon som uppfyller kravet för acceptabel frostbeständighet. Av de arton blandningar som inte har någon inblandad luft är det fjorton som inte klarar kravet för acceptabel frostbeständighet. De fyra icke lufttillsatta betongerna med godkänd frostbeständighet har alla ett vbt på 0,30 eller lägre. Dessutom har tre av dessa fyra kvaliteter en hög naturlig lufthalt på ca 3 %. Endast en kvalitet med låg lufthalt, 1,3 %, klarar kravet för god frostbeständighet. Denna kvalitet, H5, har emellertid ett så lågt vbt som 0,25, det lägsta av alla blandningarna.

Provningsmetoden har således till 100 % klassat betongkvaliteterna så som man kunde förvänta sig. Man kan också konstatera att betongernas frostbeständighet blivit bedömd antingen som mycket god/god eller som icke acceptabel medan ingen kvalitet hamnat i mellanskiktet acceptabel. Detta tyder på att en betong ofta

TABELL 3 Betongs frostbeständighet kan enligt SS 13 72 44 bedömas enligt nedanstående tabell /3/.

Frostbeständighet	Beteckn	Krav
Mycket god	MG	Ingen provkropp har större avskalningar än 0,1 kg/m ² vid 56 cykler
God	G	Avskalningarnas medelvärde vid 56 cykler (m_{56}) är mindre än 0,5 kg/m ² samtidigt som m_{56}/m_{28} är mindre än 2
Acceptabel	A	Avskalningarnas medelvärde vid 56 cykler (m_{56}) är mindre än 1,0 kg/m ² samtidigt som m_{56}/m_{28} är mindre än 2
Icke acceptabel	IA	Om inte kraven för acceptabel frostbeständighet uppfylls

TABELL 2 Frysprovningresultat (medelvärden) vid normaltidsprovning.
Kursiva siffror innebär osäkra värden, t ex på grund av läckage.

Be- teckn	Cem- typ	Si	FA	vbt	Luft- halt	Avskalning (g/m ²)					Be- dömn ¹
		%	%			7c	14c	28c	42c	56c	
1-35	Anl			0,35	6,0	56	74	85	95	106	G
1-40	Anl			0,40	6,2	71	91	97	101	105	G
1-50	Anl			0,50	6,4	80	97	111	124	131	G
1-75	Anl			0,75	6,1	400	620	920	1080	1160	IA
2-35	Slite			0,35	5,7	20	27	40	50	56	MG
2-40	Slite			0,40	6,2	57	76	91	104	109	G
2-50	Slite			0,50	5,8	133	203	264	280	290	G
2-60	Slite			0,60	6,3	310	560	940	1160	1290	IA
2-75	Slite			0,75	5,8	700	1280	2090	2650	3090	IA
3-35	Anl	5		0,35	5,8	17	21	28	39	57	MG
3-40	Anl	5		0,40	6,1	9	14	16	19	21	MG
3-50	Anl	5		0,50	6,0	27	32	38	40	43	MG
3-75	Anl	5		0,75	5,9	420	603	880	995	1050	IA
4-40	Anl	10		0,40	6,6	18	22	27	31	38	MG
5-40	Anl	5		0,40	2,9	56	75	92	113	135	G
6-35	Anl	5		0,35	2,1	140	420	1240	2410	4520	IA
6-40	Anl	5		0,40	1,7	350	1020	2540	4510	7550	IA
7-35	Anl			0,35	2,4	210	600	1280	1870	2410	IA
7-40	Anl			0,40	2,1	850	2250	4710	6700	9450	IA
7-75	Anl			0,75	1,1	1910	4810	12000	SF ²	SF	IA
8-35	Slite			0,35	2,1	320	880	1830	2660	3520	IA
8-40	Slite			0,40	2,1	1030	2360	4540	6840	9120	IA
8-50	Slite			0,50	1,4	2180	5070	11000	SF	SF	IA
8-60	Slite			0,60	1,6	2460	6790	16610	33000	SF	IA
8-75	Slite			0,75	1,4	2510	7130	23000	SF	SF	IA
H1	Anl	5		0,30	0,8	29	84	209	352	545	IA ³
H2	Anl	10		0,30	1,1	43	83	405	923	1958	IA
H3	Anl			0,30	3,6	15	21	33	45	60	MG
H4	Anl	5		0,40	5,9	25	35	48	53	59	MG
H5	Anl	5		0,25	1,3	18	41	78	104	151	G
H6	Anl		5	0,30	2,8	18	29	41	60	77	MG
H7	De400	5		0,30	1,3	12	31	86	306	593	IA ³
H8	Anl		20	0,30	3,0	25	38	55	88	152	IA ³
H9	De400			0,30	2,9	14	20	28	42	69	MG

1) Bedömning av frostbeständighet enligt SS 13 72 44;

MG=mycket god, G=god, A=acceptabel, IA= icke acceptabel

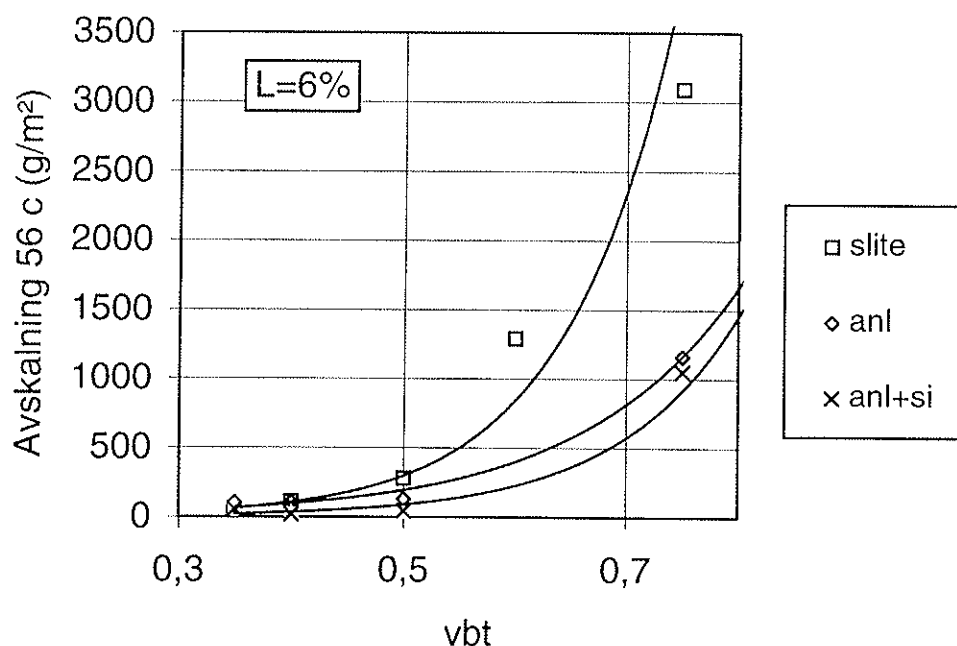
2) SF innebär att provkropparna är helt sönderfrusna 3) Accelererar

blir antingen bra eller riktigt dålig ur frostbeständighetssynpunkt och sällan hamnar i något gränsområde. En fungerande provningsmetod ska således i första hand kunna skilja på riktigt bra och riktigt dåliga kvaliteter och dessa försök visar att den använda metoden klarar detta. För att metoden ska vara användbar krävs det emellertid också att de förväntade resultaten stämmer överens med de resultat som uppnås i verkliga konstruktioner. För att få svar på detta måste fältförsök genomföras.

Resultaten från normaltidspövena ger viss information om hur bindemedlen påverkar betongs frostbeständighet. I figur 12 visas hur frostbeständigheten varierar med vbt för tre olika bindemedel, Slite std, Degerhamn anläggning respektive Degerhamn anläggning + 5 % silika.

Av figuren framgår det att Slite std ger större avskalningar än de andra två bindemedlen vid i övrigt lika förhållanden. Detta är särskilt tydligt vid högre vbt men det bör också innebära att säkerheten mot sönderfrysning är lägre även vid låga vbt. Skillnaderna mellan anläggningscement med respektive utan kiselstoft tycks vara liten, åtminstone vid en lufthalt på 6 %.

Enligt resultaten verkar Degerhamn anläggning och Degerhamn 400 vara likvärdiga för användning till frostbeständig betong. Kvaliteterna H1 respektive H2 är identiska med H7 respektive H9 med den skillnaden att Degerhamn anläggning använts till de två första kvaliteterna men Degerhamn 400 till de två senare. Som framgår av tabell 4 är resultaten helt likvärdiga.



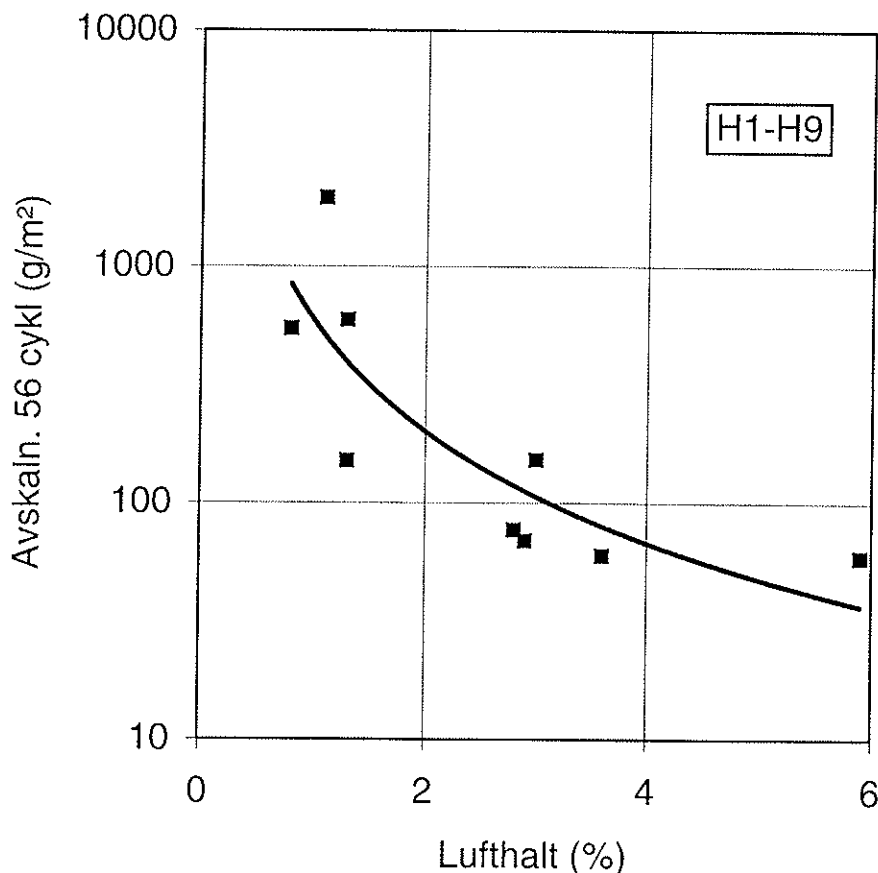
FIGUR 12 Avskalning efter 56 fryscyklar som funktion av vbt för betongkvaliteter med olika bindemedel och en lufthalt på 6 %.

TABELL 4 Jämförelse mellan frysprovsningsresultat efter 56 cykler för betong som tillverkats med Degerhamn anläggning respektive Degerhamn 400. Resultaten gäller för icke lufttillsatt betong med vattenbindemedelstalet 0,30.

Kvaliteter	Cement	
	Deg anl	Deg 400
H1 resp H7	545 g/m ²	593 g/m ²
H3 resp H9	60 g/m ²	69 g/m ²

I figur 13 visas avskalningarna efter 56 cykler för de högpresterande betongerna (H1-H9) som funktion av lufthalten. Luftporbildare har endast använts till kvalitet H4 men många av de övriga kvaliteterna har en hög naturlig lufthalt.

Av resultaten framgår det att frostbeständigheten i hög grad tycks styras av lufthalten. En naturlig lufthalt på ca 3% resulterar i låga avskalningar vid låga vattenbindemedelstal. Vid lägre lufthalter riskeras höga avskalningar och även att avskalningarna accelererar, jämför tabell 2.



FIGUR 13 Avskalningar vid 56 cykler som funktion av lufthalten för betongkvaliteterna H1-H9. Luftporbildare har endast använts till en av kvaliteterna och vbt är 0,3 eller lägre för alla utom en kvalitet.

2.6 Resultat fältprovning

2.6.1 Provkroppar åldrade uppe på pontonerna

För samtliga kvaliteter tillverkades frysprovkroppar (50x150x150 mm) enligt det förfarande som beskrivs i avsnitt 2.3.3. Provkropparna behandlades som provkroppar för normaltidsprovning fram till 28 dygns ålder. Därefter placerades de under perioden december -91--februari -92 ut på pontonerna med den sågade provytan vänd uppåt. Efter tre års exponering togs prover in till laboratoriet under perioden december -94--mars -95 för frysprovning. Avsikten var att jämföra resultaten med normaltidsproverna för att därigenom kunna påvisa eventuella åldrings-effekter. Samtliga "normala" betongkvaliteter, dvs 1-35 till 8-75, har analyserats på detta sätt.

Inga synliga frysskador kunde observeras för några provkroppar utom för de med ett vbt på 0,75. För dessa provkroppar var ytorna svagt etsade och kanterna hade frysskador. Provkropparna vägdes i luft och i vatten och volymen bestämdes och jämfördes med motsvarande värde före åldring vid 28 dygns ålder. Inte för någon provkropp översteg volymminskningen 1,5 %, dvs skadorna var relativt begränsade också vid höga värden på vbt.

För alla betongkvaliteter utan tillsatsmaterial bestämdes ultraljudshastigheten före och efter åldring. Hastigheten ökade för samtliga kvaliteter med mellan 0 och 15 %. Detta tyder på att ingen inre nedbrytning skett för dessa betongkvaliteter.

Frysprovningensresultaten för de åldrade provkropparna redovisas i tabell 5 (medelvärden) medan resultaten för varje enskild provkropp presenteras i bilaga 3. Vid provningarna visade det sig att provkropparna gjorda av betong med vbt=0,75 ofta läckte redan vid relativt låga avskalningar. Detta förklarar luckorna i tabell 5. Värden för provkroppar som läckt är inte representativa och har självfallet inte beaktats vid analyserna.

Resultaten för de åldrade provkropparna visar ännu tydligare än normaltidsproven att det finns en rågång mellan bra och dåliga betongkvaliteter. Samtliga kvaliteter utom en har klassats att ha mycket god frostbeständighet eller icke acceptabel frostbeständighet. En enda kvalitet har god frostbeständighet medan ingen kvalitet har klassats till att ha acceptabel frostbeständighet. Det kan återigen påpekas att en bra frysprovningssmetod i första hand måste kunna skilja på mycket bra och mycket dålig betong eftersom det tycks vara sällan som betongkvaliteter riskerar att hamna i ett gränsområde mellan mycket bra och mycket dålig frostbeständighet.

Vid en jämförelse mellan resultaten i tabellerna 2 och 5 visar det sig att åldrade provkroppar i stort sett genomgående har bättre frostbeständighet än de som provats vid 28 dygn! Betongen tycks i denna marina miljö på den svenska västkusten utsättas för en positiv åldring.

I figurerna 14 och 15 jämförs avskalningarna för åldrade provkroppar med resultaten för normaltidsproven. De olika figurerna representerar 14 respektive 56 frys-cykler.

TABELL 5 Frysprovningresultat (medelvärden) för provkroppar som åldrats ca fyra år uppe på pontonerna vid fältexponeringsstationen i Träslövsläge. Kursiva siffror innebär osäkra värden, t ex på grund av läckage.

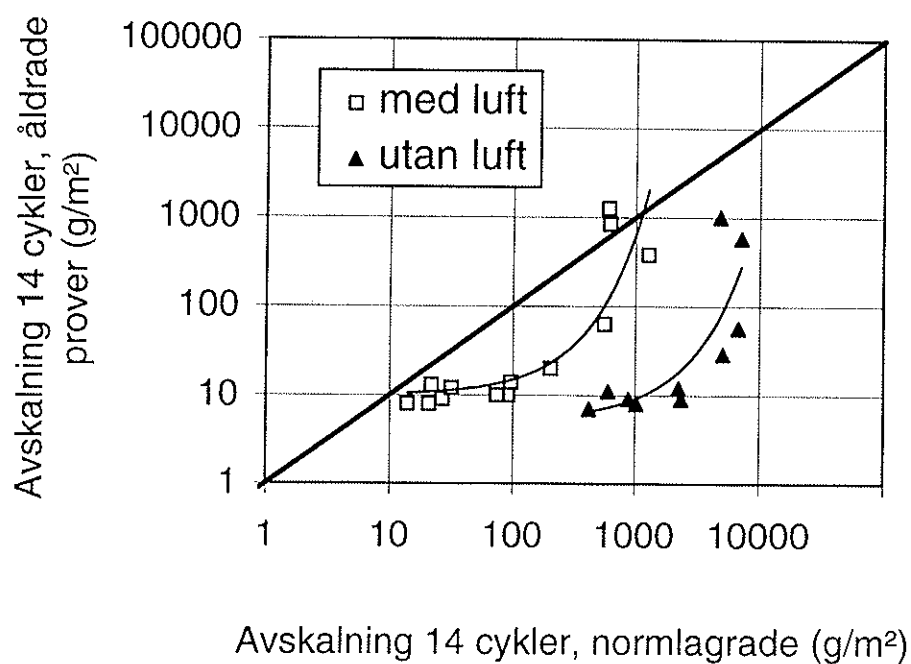
Be- teckn	Cem- typ	Si	FA	vbt	Luft- halt	Avskalning (g/m ²)					Be- dömn ¹
		%	%			7c	14c	28c	42c	56c	
1-35	Anl			0,35	6,0	6	10	12	14	18	MG
1-40	Anl			0,40	6,2	7	10	12	13	15	MG
1-50	Anl			0,50	6,4	10	14	18	20	23	MG
1-75	Anl			0,75	6,1	617	840	1052			IA
2-35	Slite			0,35	5,7	7	9	11	14	18	MG
2-40	Slite			0,40	6,2	7	10	13	15	17	MG
2-50	Slite			0,50	5,8	13	20	26	34	36	MG
2-60	Slite			0,60	6,3	37	63	140	183	214	G
2-75	Slite			0,75	5,8	268	378				?
3-35	Anl	5		0,35	5,8	4	8	12	14	16	MG
3-40	Anl	5		0,40	6,1	4	8	11	14	16	MG
3-50	Anl	5		0,50	6,0	7	12	16	19	23	MG
3-75	Anl	5		0,75	5,9	1030	1260	1580	1740	1880	IA
4-40	Anl	10		0,40	6,6	8	13	17	22	25	MG
5-40	Anl	5		0,40	2,9	6	10	14	18	27	MG
6-35	Anl	5		0,35	2,1	4	7	11	116	2050	IA
6-40	Anl	5		0,40	1,7	4	8	18	2730	SF ²	IA
7-35	Anl			0,35	2,4	8	11	13	15	18	MG
7-40	Anl			0,40	2,1	8	12	15	18	23	MG
7-75	Anl			0,75	1,1	801	1010				IA
8-35	Slite			0,35	2,1	7	9	12	16	19	MG
8-40	Slite			0,40	2,1	6	9	14	17	20	MG
8-50	Slite			0,50	1,4	18	29	51	143	683	IA ³
8-60	Slite			0,60	1,6	40	57	192	1944	8694	IA
8-75	Slite			0,75	1,4	418	576				?

1) Bedömning av frostbeständighet enligt SS 13 72 44;

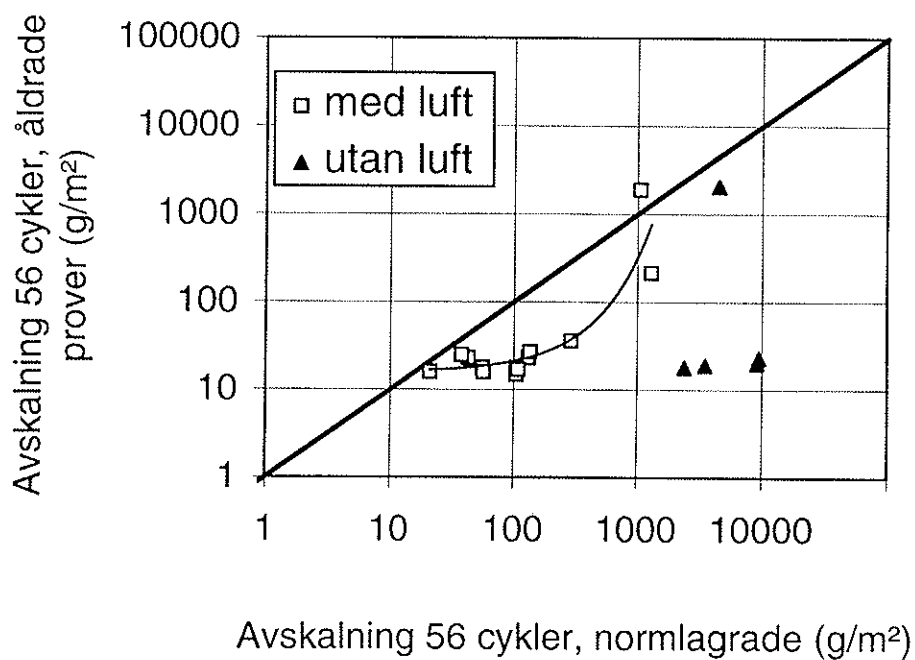
MG=mycket god, G=god, A=acceptabel, IA= icke acceptabel

2) SF innebär att provkropparna är helt sönderfrusna

3) Accelererar



FIGUR 14 Samband mellan resultaten för åldrade och normlagrade provkroppar efter 14 fryscyklar.



FIGUR 15 Samband mellan resultaten för åldrade och normlagrade provkroppar efter 56 fryscyklar.

Resultaten ligger genomgående till höger om den heldragna diagonala linjen vilket innebär att avskalningarna är lägre för åldrade än för icke åldrade provkroppar. Skillnaderna är särskilt markanta i ett område mellan mycket små och stora avskalningar.

Som framgår av figurerna går det att dela in betongkvaliteterna i två tydligt identifierbara grupper; betong med respektive utan inblandad luft. Resultaten visar att åldringseffekten är speciellt markant för de icke lufttillsatta betongerna! Det framgår också att några icke lufttillsatta, åldrade betongkvaliteter har låga avskalningar också efter 56 fryscyklar. Detta behandlas mer utförligt längre fram.

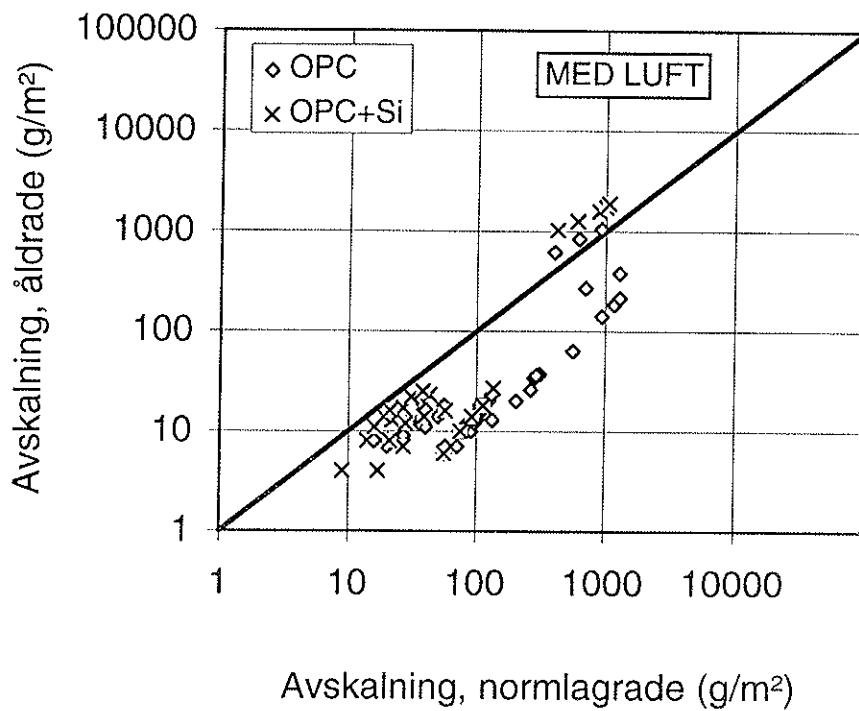
För de lufttillsatta betongkvaliteterna är avskalningarna ofta en tiopotens lägre för åldrade än för icke åldrade provkroppar. Skillnaderna minskar med ökande avskalningar och vid värden på ca 1 kg/m² efter 56 cykler tycks det inte längre finnas någon skillnad. Detta är viktigt eftersom detta värde utgör gränsen mellan acceptabel och icke acceptabel frostbeständighet. För lufttillsatt betong tycks således den nuvarande acceptansgränsen för frostbeständig betong enligt SS 13 72 44 vara tillämplig för marin miljö i Sverige. För betong med lägre avskalningar ger metoden resultat på den säkra sidan, dvs avskalningarna vid normaltidsprovning är högre än motsvarande resultat för åldrade provkroppar.

För icke lufttillsatt betong är ofta avskalningarna för åldrade provkroppar ända upp till två tiopotenser lägre än normaltidsvärdena och skillnaden tycks inte försvinna förrän avskalningarna efter 56 fryscyklar överstiger ca 10 kg/m². Enligt dessa resultat verkar det som om SS 13 72 44 underskattar frostbeständigheten för icke lufttillsatt betong i den aktuella marina miljön. Det är emellertid motiverat att ha en hög säkerhetsmarginal för icke lufttillsatt betong tills dess nedbrytningsmekanismer och åldringseffekter vid saltfrostangrepp är helt klarlagda.

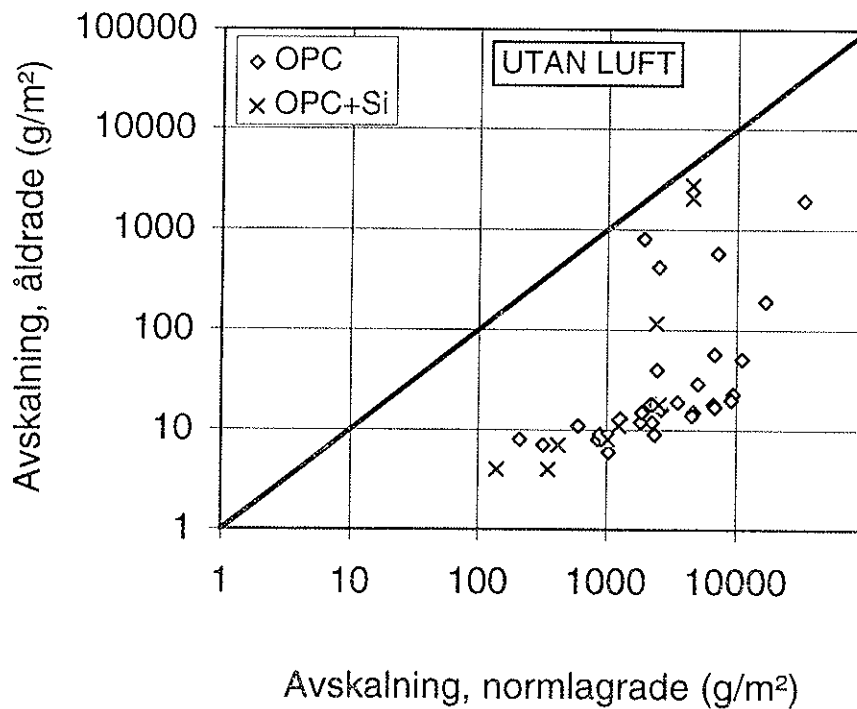
I figurerna 16 och 17 visas sambandet mellan resultaten för normlagrade respektive åldrade provkroppar. Resultaten från samtliga mättillfällen mellan 7 och 56 cykler har tagits med. I figurerna skiljs mellan betong med enbart portlandcement respektive portlandcement+kiselstoft som bindemedel. Det framkommer emellertid inget som tyder på att kiselstoftet generellt skulle ha någon avgörande inverkan på åldringseffekten.

I figur 18 visas avskalningen som funktion av vct efter olika antal fryscyklar för de åldrade betongkvaliteterna 8-35--8-75, dvs icke lufttillsatt betong med Slite std som bindemedel. Av resultaten framgår det att betongen fryser sönder i ett accelererat förlopp då vct är 0,50 eller högre. Däremot är avskalningarna mycket små, också efter 56 fryscyklar, då vct är lika med eller lägre än 0,40. Det låga vattencementtalet tillsammans med den naturliga luften (ca 2 %) tycks räcka för att ge bra beständighet. Detta indikerar att det skulle kunna vara möjligt att tillverka icke lufttillsatt betong med god frostbeständighet i marin miljö, under förutsättning att vbt är tillräckligt lågt.

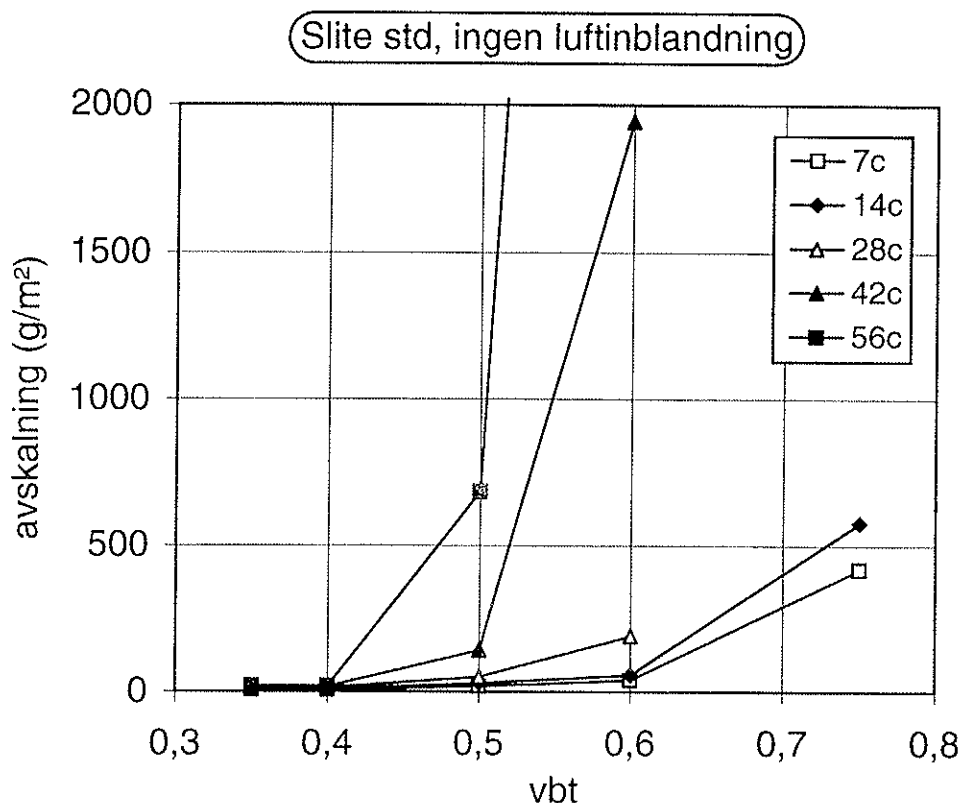
Betong med Degerhamn anläggningscement utan luftinblandning har också god frostbeständighet då vct är 0,4 eller lägre, se tabell 5. Däremot tycks betong med tillsats av 5 % kiselstoft (kvaliteterna 6-35 och 6-40) frysa sönder också vid låga



FIGUR 16 Jämförelse mellan resultaten för åldrade respektive normlagrade provkroppar med OPC respektive OPC+kiselstoft som bindemedel. Resultaten gäller för *lufttillsatt betong*.



FIGUR 17 Jämförelse mellan resultaten för åldrade respektive normlagrade provkroppar med OPC respektive OPC+kiselstoft som bindemedel. Resultaten gäller för betong *utan lufttillsats*.

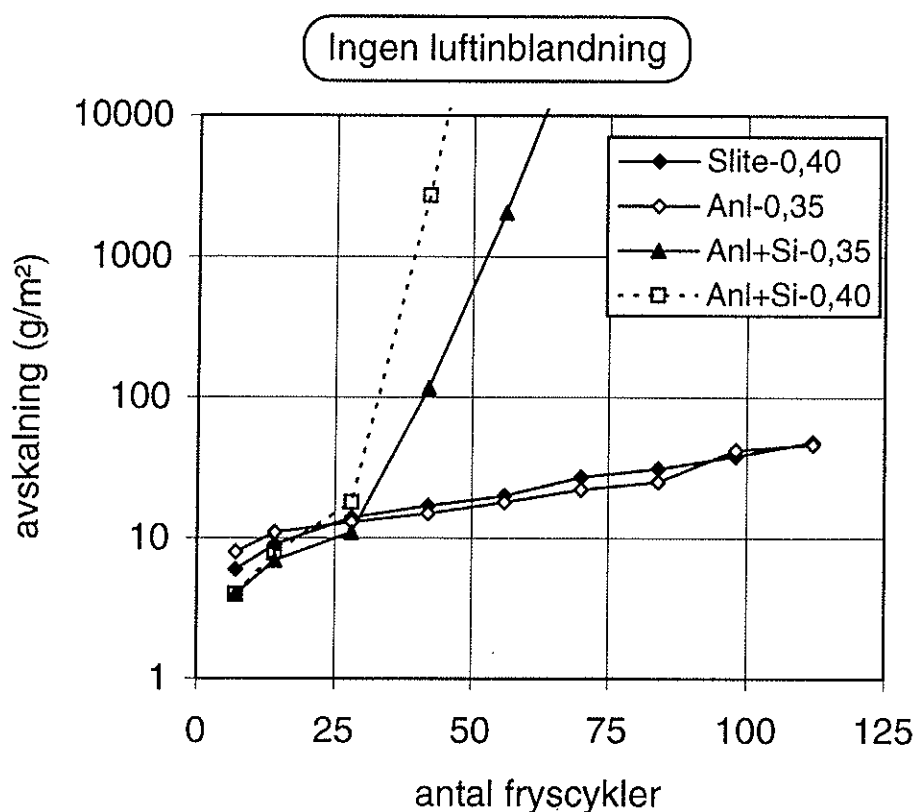


FIGUR 18 Avskalning som funktion av vbt och antal fryscykler för åldrad betong utan luftinblandning med Slite std som bindemedel.

vattenbindemedelstal. Avskalningarna för dessa kvaliteter är mycket små fram till 28 eller 42 cykler för att därefter accelerera mycket kraftigt så att betongen är helt sönderfrusen inom några få cykler. Detta är i stort sett samma förlopp som redovisas i /1/ för betong med kiselstoft. Det går dock inte att med hjälp av resultaten i denna undersökning förklara orsaken till att betongen med kiselstoft fryser sönder. I /6/ anges att orsaken skulle kunna vara alkalikiselreaktioner på grund av att kiselstoftet är otillräckligt dispergerat i betongen. Detta kan dock inte förklara förloppet här eftersom kiselstoftet tillsattes som slurry och därför blev väl dispergerat i betongen.

Avskalningarna för icke lufttillsatt betong utan kiselstoft accelererar också snabbt för högre värden på vbt vilket framgår av resultaten för 8-50 och 8-60. För att studera hur stabil frostbeständigheten är för lägre vbt fortsatte därför frysförsöken fram till 112 cykler för två kvaliteter, 7-35 (anl-0,35) och 8-40 (Slite-0,40). Resultaten anges i figur 19 tillsammans med resultaten för betong med kiselstoft med låga vbt.

Av figur 19 framgår det att avskalningarna förblir relativt små också efter 112 fryscykler för betong med Degerhamn anläggnings- eller Slite std-cement som bindemedel. Någon kraftig acceleration som för betong med kiselstoft uppstår ej



FIGUR 19 Avskalning för fyra betongkvaliteter med och utan tillsats av kiselstoft som funktion av antalet (upp till 112) fryscyklar.

och enligt dessa resultat tycks frostbeständigheten för betong med OPC som enda bindemedel vara stabil.

För att studera ytskiktets betydelse för åldringseffekterna gjordes några försök på åldrade provkroppar där ett ca 5 millimeter tjockt skikt sågades bort från provytan. Därefter behandlades provkropparna på normalt sätt, dvs de konditionerades vid +20° C och RF=65 % under sju dygn och återuppfuktades sedan under tre dygn innan frysprovningen startade. Resultaten anges i tabell 6 och i bilaga 4 där resultatet för varje enskild provkropp anges. I varje provserie ingick två provkroppar.

I figurerna 20 och 21 jämförs resultaten för provkropparna med avsågat ytskikt (tabell 6) med resultaten för de normalt åldrade provkropparna (tabell 5).

Av figur 20 framgår att det är god överensstämmelse mellan resultaten för luftinblandad betong, åtminstone vid låga avskalningar. Vid avskalningar på ca 1 kg/m² finns det en tendens att de exponerade ytskikten har en något sämre frostbeständighet än de nysågade frysytorna.

Av figur 21 framgår emellertid att för betong utan luftinblandning blir frostbeständigheten sämre för de nysågade ytorna, åtminstone vid låga avskalningar. Detta innebär att betong utan luft efter åldring skyddas av ett tunt skikt som i

TABELL 6 Frysprovningresultat (medelvärden) för provkroppar som åldrats ca fyra år uppe på pontonerna vid fältexponeringsstationen i Träslövsläge varefter ett ca 5 mm tjockt skikt sågats bort från den exponerade ytan före frysprovningen. Kursiva siffror innebär osäkra värden, t ex på grund av läckage.

Be-teckn	Cem-ty	Si	FA	vbt	Luft-halt	Avskalning (g/m ²)					Be-dömn ¹
		%	%			7c	14c	28c	42c	56c	
1-40	Anl			0,40	6,2	11	14	20	23	26	MG
1-75	Anl			0,75	6,1	100	261				?
2-40	Slite			0,40	6,2	11	13	19	26	31	MG
2-75	Slite			0,75	5,8	203	600				?
3-40	Anl	5		0,40	6,1	11	15	23	27	28	MG
3-75	Anl	5		0,75	5,9	121	225	435	670	1040	IA
4-40	Anl	10		0,40	6,6	15	21	28	36	40	MG
6-40	Anl	5		0,40	1,7	58	460	2255	6260	SF ²	IA
7-40	Anl			0,40	2,1	37	525	2595	4660	8090	IA
7-75	Anl			0,75	1,1	705	3860	SF			IA
8-40	Slite			0,40	2,1	29	60	217	520	990	IA ³
8-75	Slite			0,75	1,4	2125	4880				IA

1) Bedömning av frostbeständighet enligt SS 13 72 44;

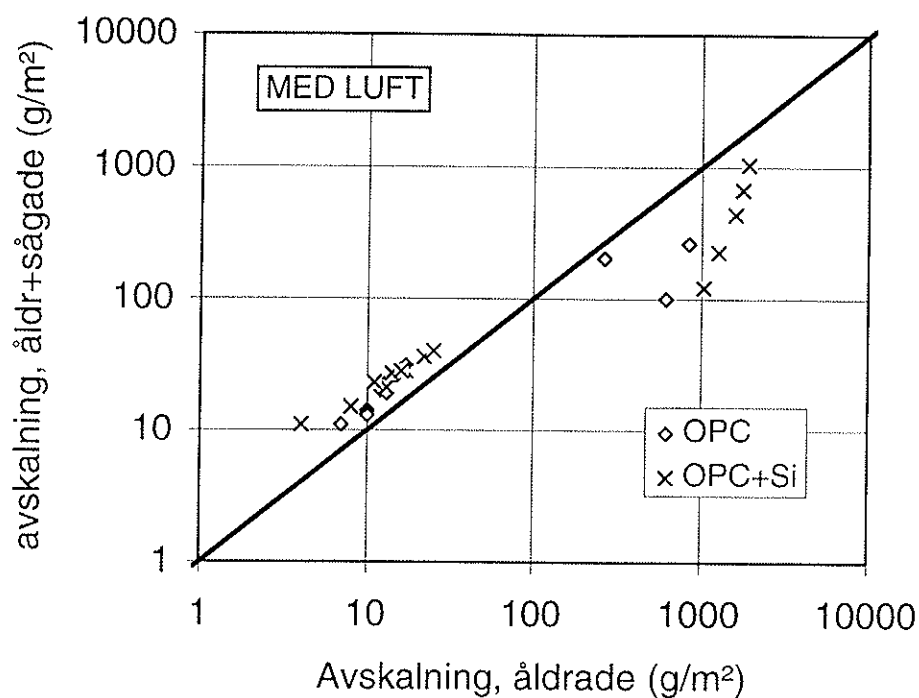
MG=mycket god, G=god, A=acceptabel, IA= icke acceptabel

2) SF innebär att provkropparna är helt sönderfrusna

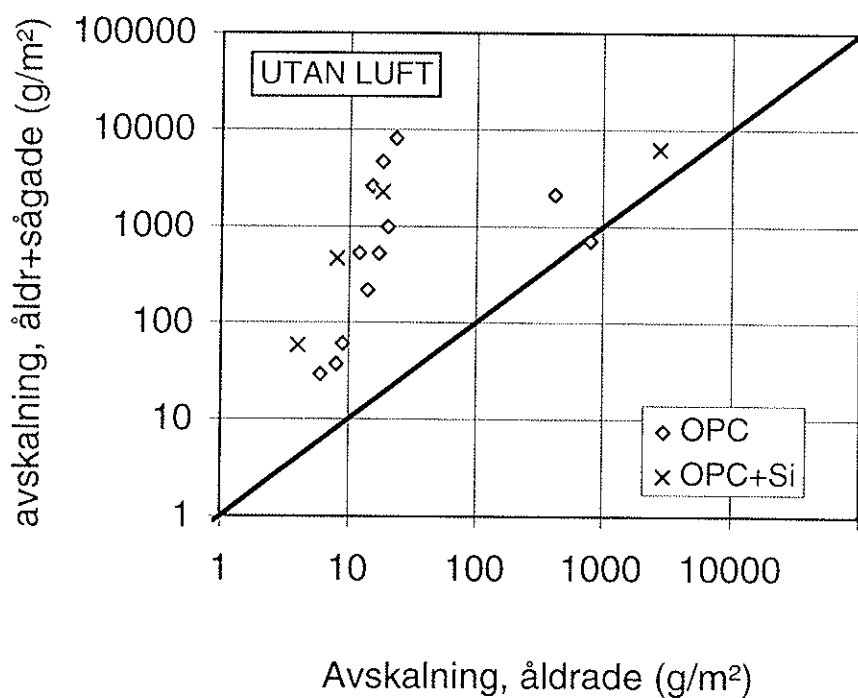
3) Accelererar

många fall medför betydligt förbättrad frostbeständighet i den aktuella marina miljön.

I tabell 7 visas vattenuppsugningen under de tre dygnens återuppfuktning direkt före frysprovningen, dels för åldrade provkroppar, dels för åldrade provkroppar där ytan sågats bort. Genomgående är vattenuppsugningen 2-3 gånger lägre för de åldrade ytorna än för motsvarande ytor där ytskiktet sågats bort. Betong med luft tycks tåla en ökad uppsugning men det gör däremot inte betong utan luft vilket förklarar varför frostbeständigheten ofta blir sämre när ytskiktet sågats bort för icke lufttillsatta betongkvaliteter. Det går emellertid inte med hjälp av resultaten i denna undersökning förklara varför ytan efter åldring blir så mycket tätare.



FIGUR 20 Samband mellan frysprovningresultat för åldrade provkroppar och åldrade provkroppar där ytskiktet sågats bort från provytan. Resultaten gäller för *lufttillsatt betong*.



FIGUR 21 Samband mellan frysprovningresultat för åldrade provkroppar och åldrade provkroppar där ytskiktet sågats bort från provytan. Resultaten gäller för *betong utan lufttillsats*.

TABELL 7 Vattenupptagning under återuppfuktningsperioden direkt före frysning, dels för åldrade provkroppar och dels för åldrade provkroppar där ytskiktet sågats bort före frysprovningsen.

Be- teckn	Cem- typ	Si	FA	vbt	Luft- halt	Vattenuppsugning (g/m ²)	
		%	%			<i>åldrad</i>	<i>åldrad+sågad</i>
1-40	Anl			0,40	6,2	132	327
1-75	Anl			0,75	6,1	633	1978
2-40	Slite			0,40	6,2	104	227
2-75	Slite			0,75	5,8	831	1635
3-40	Anl	5		0,40	6,1	97	260
3-75	Anl	5		0,75	5,9	711	1404
4-40	Anl	10		0,40	6,6	127	292
6-40	Anl	5		0,40	1,7	64	140
7-40	Anl			0,40	2,1	142	248
7-75	Anl			0,75	1,1	591	2044
8-40	Slite			0,40	2,1	92	135
8-75	Slite			0,75	1,4	585	1400

2.6.2 Provpaneler åldrade på pontonernas sidor

I december -91 till mars -92 hängdes provpaneler med dimensionerna 100x800x1000 mm ut på pontonernas sidor så att halva panelen kom under vattnet och halva över. Tillverkning och härdning av panelerna före utplaceringen beskrivs i avsnitt 2.3.3 och betongrecepten i avsnitt 2.2.

Efter ca 2 års exponering togs panelerna i april/maj -94 in till SPs laboratorium i Borås för analys. Det ska observeras att det hittills inte har observerats några frostsador på panelerna i fält utom för betong med vbt på 0,75. För dessa kvaliteter hade små skador uppstått på panelernas horisontella överytor.

Först sågades en 5 cm bred remsa bort från panelernas ena sida för att eliminera eventuella kanteffekter varefter en 100 mm bred remsa togs ut för att användas till provningar. Remsan delades i 100 mm långa bitar så att 100 mm kuber erhöles. Vissa av dessa kuber användes för frysprovning.

Kuberna för frysprovning klövs i mitten med hjälp av en stensåg så att två provkroppar med de ungefärliga dimensionerna 50x100x100 mm erhöles. På den ena provkroppen användes gjutytan som provyta, dvs den yta som var gjuten mot form och som direkt exponerats för den marina miljön. På den andra användes den sågade ytan för provning, dvs betong från det inre av panelen, ca 50 mm från den ytan som gjutits mot form.

Frysprovkropparna togs dels från den del av panelen som låg minst 150 mm över vattenytan, dels från den del som låg i plaskzonen, dvs ± 150 mm från vattenytan. I tabell 8 visas hur provkropparna betecknades med avseende på var de tagits ut.

TABELL 8 Provkropparnas beteckning med avseende på var på panelen de tagits ut.

	Över vattenytan	I Plaskzonen
Gjutyta	Ö/G	P/G
Sågad yta	Ö/S	P/S

Efter det att provkropparna sågats behandlades de på samma sätt som normaltidsprov behandlas efter sågningen, se avsnitt 2.3.2. Detta innebär att provkropparna torkades ut under 7 dygn varefter de återuppfuktades under 3 dygn innan frysprovningen startade.

Resultaten framgår av tabell 9 och bilaga 5 där resultaten för varje enskild provkropp redovisas. Normalt har två provkroppar provats för varje betongkvalitet och provkroppsplacering, i vissa fall dock endast en enda.

Resultaten för de utsågade provkropparna kan naturligtvis inte förväntas vara direkt jämförbara med resultaten för normproverna. Bl a har tillverkning och lagring fram till 28 dygn varit olika, ibland testas sågad yta och ibland överyta etc. Det är

TABELL 9 Frysprovningresultat efter 56 fryscyklar för provkroppar som sågats ut från paneler som åldrats längs pontonernas sidor. Provkroppsbezeichnungarna framgår av tabell 1 och 9.

Be-teckn	Cem-typ	Si	FA	vbt	Luft-halt	Avskalning efter 56 cykler (g/m ²)				Normprov 56 c	
		%	%			Ö/G	Ö/S	P/G	P/S	(g/m ²)	Bedö ¹
1-50	Anl			0,50	6,4	80	60	540	55	131	G
2-40	Slite			0,40	6,2	65	45	110	50	109	G
3-40	Anl	5		0,40	6,1	55	60	860	60	21	MG
3-50	Anl	5		0,50	6,0	80	60	1420	75	43	MG
H1	Anl	5		0,30	0,8	9260	19360	170	14650	545	IA ³
H2	Anl	10		0,30	1,1	12300	5250	210	15900	1958	IA
H3	Anl			0,30	3,6	265	75	130	60	60	MG
H4	Anl	5		0,40	5,9	95	65	155	55	59	MG
H5	Anl	5		0,25	1,3	1660	5500	210	790	151	G
H8	Anl		20	0,30	3,0	285	220	940	240	152	IA

1) Bedömning av frostbeständighet enligt SS 13 72 44;

MG=mycket god, G=god, A=acceptabel, IA= icke acceptabel

2) SF innebär att provkropparna är helt sönderfrusna

3) Accelererar

dock av intresse att studera hur väl bedömningen genom normprovet kan användas för att klassificera den åldrade betongen i panelerna.

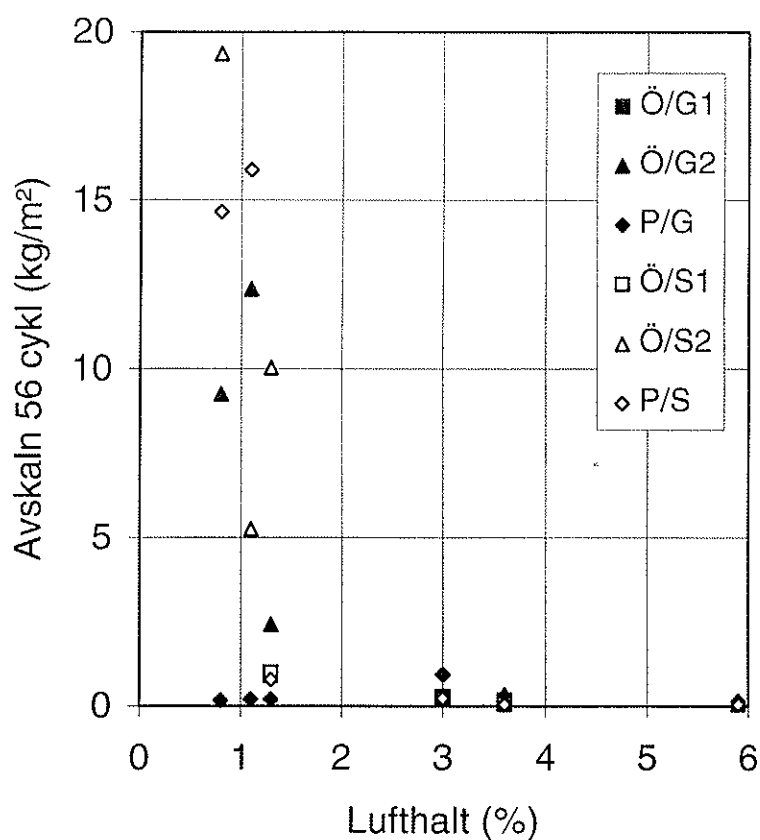
För de fyra "normala" betongkvaliteterna (1-50, 2-40, 3-40, 3-50) med luftinblandning är avskalningarna överlag låga vilket stämmer väl överens med normproven. Emellertid är avskalningarna högre för de våtaste provytorna, dvs gjutytor som befunnit sig i plaskzonen. Effekten är speciellt märkbar för blandningar med tillsats av kiselstoft och en av dessa, 3-50, har avskalningar i plaskzonen som överstiger gränsen för acceptabel frostbeständighet. Orsaken till de högre avskalningarna i plaskzonen är troligen ett högre fuktinnehåll på grund av långvarig kapillärsugning utan möjlighet till mellanliggande uttorkningsperioder.

För de högpresterande betongkvaliteterna är avskalningarna för gjutytor i plaskzonen genomgående låga eller måttliga. För några kvaliteter visar det sig emellertid att avskalningarna för sågade ytor och gjutytor ovanför plaskzonen blir höga eller till och med mycket höga. Detta gäller de icke lufttillsatta kvaliteterna H1, H2 och H5 som alla har tillsats av kiselstoft. Dessa ytor har drabbas av någon form av negativ åldring. Detta kan möjligen hänga samman med att alla ytor utom gjutytan i plaskzonen blir utsatta för kontinuerlig eller periodvis uttorkning, antingen genom att de finns i luften eller genom självuttorkning inne i betongen.

För H3 utan tillsats av kiselstoft och H4 som är en lufttillsatt betong med kiselstoft är avskalningarna genomgående låga. Man ska dock observera att betongen utan kiselstoft har en hög naturlig lufthalt, 3,6 %, vilket säkert bidrar till de låga avskalningarna. H8, som innehåller flygaska, har också relativt låga avskalningar.

Normproven klassar de fyra normala betongkvaliteterna korrekt med viss tvekan för de med tillsats av kiselstoft. Vidare har de fyra första högpresterande betongkvaliteterna klassats rätt medan däremot frostbeständigheten överskattats för den femte, H5. Detta är en extrem kvalitet med ett mycket lågt vbt på 0,25. Frostbeständigheten för den sista kvaliteten, H8, har underskattats något även om fältproverna för gjutytan i plaskzonen ligger mycket nära gränsen för icke acceptabel frostbeständighet.

I figur 22 har alla frysresultaten för de högpresterande betongkvaliteterna plottats mot lufthalten. Som framgår av figuren tycks det finnas ett klart samband mellan lufthalt och frostbeständighet. Resultaten tyder på att också en relativt låg naturlig lufthalt på ca två procent kan ge frostbeständighet vid de låga vbt som är aktuella här.



FIGUR 22 Samband mellan frostbeständighet efter 56 fryscyklar och lufthalt för högpresterande betong. Beteckningarna förklaras i tabell 8.

3 Fältexponering i vägmiljö

3.1 Fältexponeringsstation vid riksväg 40

I en begränsad undersökning har några betongkvaliteter exponerats för vägmiljö. Syftet var i första hand att kalibrera frysprovningssmetoden SS 13 72 44 mot resultat uppnådda under realistisk exponering.

Provplatsen är belägen omedelbart utanför vägbanan vid riksväg 40 strax väster om Borås. Provkropparna med dimensionerna 50x150x150 mm placerades i rad i speciella riggar med plats för tio provkroppar i varje. Riggarna orienterades längs vägen och grävdes ner i vägbanken så att provytan kom i nivå med vägbanan, se figur 23. Eftersom hela vägens bredd utnyttjades för trafik vid provplatsen passerade fordon mycket nära provkropparna, ibland på bara några decimeters avstånd. På den aktuella vägsträckan är trafikintensiteten hög och vinterväghållningen med tösalt intensiv. Detta gör att miljön kan betraktas som mycket betongaggressiv.



FIGUR 23 På fältprovplatsen vid riksväg 40 placerades provkropparna i speciella riggar nedsänkta i vägrenen.

Vägverket har en så kallad väderstation belägen ca 300 meter från provplatsen. Denna station kan nås per telefon. Informationen förnyas varje halvtimme. Någon kontinuerlig registrering har inte varit möjlig utan väderstationen har ringts upp 3 till 4 gånger per dygn och de meddelade observationerna har antecknats.

För den aktuella perioden hösten -90 till våren -93 har observationer gjorts enligt tabell 10. Ingen registrering av temperaturen gjordes under vintern 93/94. Eftersom observationerna är relativt glesa är det troligt att värdena i tabellen är något underskattade. Antalet nollpunktpassager avser marktemperaturen i ytan och troligen har de lägsta lufttemperaturerna varit ännu något lägre. De aktuella vinternarna kan betraktas som relativt milda.

TABELL 10 Klimatobservationer vid fältexponeringsstationen vid riksväg 40 under perioden hösten -90 till våren -93.

Period	Passager genom 0°C	Lägsta temperatur (°C)
nov 90-mars 91	46	-10,1
nov 91-mars 92	68	-11,8
nov 92-mars 93	58	-13,3

3.2 Betongkvaliteter

I undersökningen ingick 15 blandningar enligt tabell 11. Blandningarna spänner från betong med förväntat mycket dålig frostbeständighet ($v_{ct}=0,90$, ingen luftinblandning) till mycket god beständighet ($v_{ct}=0,37$, 6% luftinblandning).

I tabellen anges betongkvaliteternas tryckhållfasthet. Värdena utgör medelvärden för tre provkroppar som provats och härdats enligt SS 13 72 10.

Degerhamn anläggningscement har använts till samtliga blandningar. Cementets nominella sammansättning och egenskaper redovisas i bilaga 1. Som redan omnämnts i avsnitt 2.2 är detta ett lågalkaliskt, sulfatresistent cement med låg värmeutveckling som i Sverige anses speciellt lämpligt för anläggningskonstruktioner.

Det luftporbildande tillsatsmedel som använts är en neutraliserad vinsoliharts med beteckningen C88L. För blandningarna med det eftersträfvade vattencementtalet 0,37 användes, förutom luftporbildare, även ett vattenreducerande tillsatsmedel, en melamin med beteckningen V33.

Ballasten bestod av naturmaterial, huvudsakligen gnejs. Största stenstorleken var 16 mm.

TABELL 11 Betongsammansättning vid fältförsök vid riksväg 40.

Be- teckn	Binde- medelsh	vct	Till- satsm ¹	Luft- halt	Sätt- mått	Tryck- hållf
	<i>kg/m³</i>				<i>mm</i>	<i>MPa</i>
A-37	464	0,37	VR	2,1	80	77,2
A-45	426	0,45	-	1,9	80	65,2
A-60	302	0,63	-	1,7	80	39,8
A-75	278	0,74	-	1,2	85	29,3
A-90	219	0,93	-	1,1	80	16,2
B-37	458	0,37	VR+L	3,8	80	74,9
B-45	398	0,45	L	4,2	80	56,4
B-60	310	0,59	L	4,0	80	36,0
B-75	255	0,72	L	4,0	85	24,5
B-90	209	0,87	L	4,0	80	16,4
C-37	449	0,37	VR+L	5,9	80	70,7
C-45	404	0,44	L	6,3	80	46,2
C-60	300	0,59	L	6,3	80	32,3
C-75	240	0,74	L	6,0	80	20,8
C-90	198	0,90	L	6,1	80	13,0

1) L=luftporbildare (C88L), VR=vattenreducerare (V33)

3.3 Tillverkning och härdning av provkroppar

Alla blandningar gjordes i en 350 liters tvångsblandare. Satsstorleken var genomgående ca 100 l. Vid användning av luftporbildare tillsattes medlet tillsammans med blandningsvattnet. I blandningar med vattenreducerare tillsattes denna efter luftporbildaren tillsammans med det sista blandningsvattnet. Samtliga satser blandades 180 sekunder. Gjutningarna genomfördes under oktober 1990.

Av betongen tillverkades provkroppar med dimensionen 50x150x150 mm enligt det förfarande som beskrivs i avsnitt 2.3.2, provkroppar för normaltidsprov. Fyra provkroppar per kvalitet användes för normaltidsprov medan två provkroppar per kvalitet placerades på provplatsen vid ca 28 dygns ålder för fältexponering.

3.4 Frysprovning

Normaltidsprov utfördes enligt den metodik som beskrivs i avsnitt 2.4, frysprovning.

3.5 Resultat normaltidsprov

Resultaten från normaltidsproven redovisas i tabell 12 (medelvärden) och i bilaga 6 där resultatet för varje enskild provkropp anges. I tabell 12 görs en bedömning av betongkvaliteternas frostbeständighet enligt kommentarerna i SS 13 72 44. Bedömningskriterierna finns i tabell 3 i avsnitt 2.5.

TABELL 12 Frysprovningresultat (medelvärden) vid normaltidsprovning för betong till fältförsök vid riksväg 40.

Be- teckn	vct	Luft- halt	Avskalning (g/m ²)					Be- dömn ¹
			7c	14c	28c	42c	56c	
A-37	0,37	2,1	1020	2450	5520	9310	11880	IA
A-45	0,45	1,9	1190	3320	7630	10630	12280	IA
A-60	0,63	1,7	1300	4050	10870	16740	19760	IA
A-75	0,74	1,2	2060	6490	15580	20160	SF ²	IA
A-90	0,93	1,1	1610	4300	6890	10130	SF	IA
B-37	0,37	3,8	190	430	790	1080	1270	IA
B-45	0,45	4,2	50	70	90	100	110	G
B-60	0,59	4,0	200	440	790	1040	1130	IA
B-75	0,72	4,0	360	700	1210	1460	1600	IA
B-90	0,87	4,0	540	870	1200	1470	1580	IA
C-37	0,36	5,9	30	50	60	70	80	MG
C-45	0,44	6,3	20	30	40	50	60	MG
C-60	0,59	6,3	40	60	70	80	80	MG
C-75	0,74	6,0	250	360	420	440	450	(G)
C-90	0,90	6,1	470	720	940	1040	1130	IA

1) Bedömning av frostbeständighet enligt SS 13 72 44;

MG=mycket god, G=god, A=acceptabel, IA= icke acceptabel

2) SF innebär att provkropparna är helt sönderfrusna

Resultaten överensstämmer i stort med förväntade värden och med de resultat som presenteras i tabell 2 i avsnitt 2.5 för normaltidsprov av betong till Träslövsläge. Resultaten för C-75 är tveksamma på grund av läckage under provningen. Denna kvalitet har därför inte beaktats i den fortsatta analysen.

Det är anmärkningsvärt att avskalningarna är så höga för betong med det låga vattencementtalet 0,37 och med 4 % luftinblandning. Frostbeständigheten bedöms till och med som betydligt sämre än för betong med samma lufthalt och med ett vct på 0,45. En trolig förklaring till detta är att den använda kombinationen av luftporbildare och vattenreducerare, som endast används för det lägre vattencementtalet, är olämplig och ger en otillfredsställande luftporstruktur. Motsvarande effekt har rapporterats i /7/.

3.6 Resultat fältprovning

Två provkroppar av varje kvalitet placerades på fältexponeringsstationen i oktober 1990. Avsikten var att endast studera skadeutvecklingen okulärt. Efter ett år togs proverna in till laboratoriet för besiktning. Därvid gjordes en mätning av varje provkropps volym genom vägning i luft respektive vatten. Sedan placerades provkropparna ut på provplatsen igen. Samma procedur upprepades också efter två respektive tre års exponering. Därefter fick försöket tyvärr avbrytas eftersom vägen skulle byggas om och det blev omöjligt att fortsätta arbetet.

Volymförändringen efter olika tids exponering blev ett utmärkt mått på betongens nedbrytning. Tyvärr gjordes ingen volymbestämning före den första utplaceringen av provkropparna och därför finns det inte heller några värden för den första vinterns exponering. Resultaten visas i tabell 13.

Av tabellen framgår att de uppmätta volymminskningarna varierar från mycket små, 0,1 % efter tre års exponering, till total nedbrytning av provkropparna för de sämsta kvaliteterna. Frostangreppen varierar kraftigt mellan åren. Störst var angreppen under vintern 92/93 och lindrigast vintern före, dvs 91/92. Frostangreppen är som väntat störst för betong utan luftporbildare. Med luftinblandning tycks 4 eller 6 % luft vara helt likvärdigt.

TABELL 13 Volymförändring för provkropparna efter tre vintrars exponering. Varje resultat utgör medelvärdet av två provkroppar.

Be- teckn	vct	Luft- halt	Volymförändring (%)			
			9110-9209	9209-9311	9311-9407	91-94
A-37	0,37	2,1	0	0	0,1	0,1
A-45	0,45	1,9	0,1	0,9	0,4	1,4
A-60	0,63	1,7	0,1	7,8	33,5	41,4
A-75	0,74	1,2	0,4,1	95,9	-	100
A-90	0,93	1,1	14,2	85,8	-	100
B-37	0,37	3,8	0	0	0,1	0,1
B-45	0,45	4,2	0	0	0,1	0,1
B-60	0,59	4,0	0,1	0,1	0,2	0,4
B-75	0,72	4,0	0,2	2,0	0,6	2,8
B-90	0,87	4,0	0,4	4,4	1,5	6,3
C-37	0,36	5,9	0	0	0,1	0
C-45	0,44	6,3	0,1	0	0,1	0,2
C-60	0,59	6,3	0	0,3	0,2	0,5
C-75	0,74	6,0	0,2	1,6	0,6	2,4
C-90	0,90	6,1	0,5	6,1	1,9	8,5

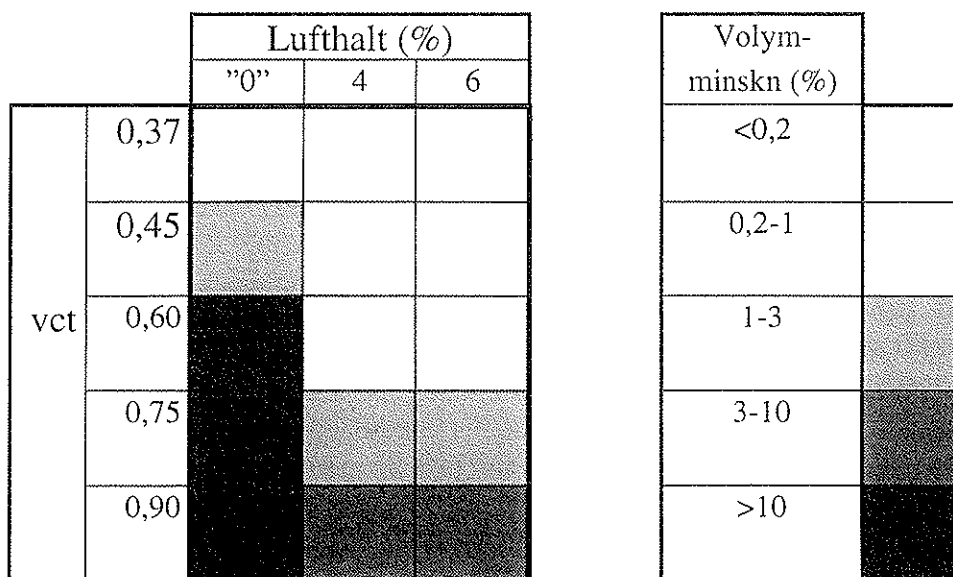
I Träslövsläge uppstod inga skador överhuvudtaget på provkropparna efter tre års exponering utom för de allra sämsta kvaliteterna. Detta visar att vägmiljön är mycket mer aggressiv än den marina miljön på Sveriges västkust, åtminstone med avseende på frostangrepp.

I figur 24 visas volymminskningen efter 3 vintrars exponering som funktion av vct och lufthalt. Ju mörkare färg desto kraftigare angrepp.

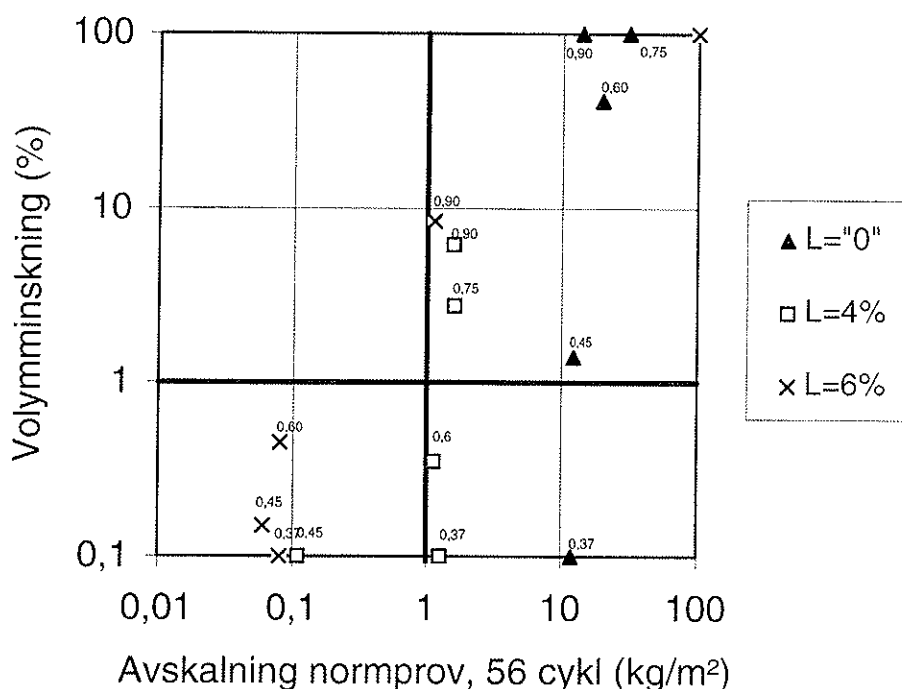
Mönstret följer väl det som kunde förväntas. Betong med vct över 0,6 och utan luftinblandning bryts ned fullständigt. Också luftinblandad betong med ett vct på 0,9 får som väntat kraftiga skador. Riktigt bra frostbeständighet uppnås för luftinblandad betong först då vct är 0,45 eller lägre vilket stämmer väl överens med nuvarande normer. Också utan luft går det enligt resultaten i figur 24 att uppnå frostbeständig betong men då krävs det ett lågt vct, i detta fall 0,37. Detta stämmer väl överens med resultaten från fältförsöken i Träslövsläge.

I figur 25 visas sambandet mellan resultaten från fältexponeringsförsöken och normaltidsprovningarna. I diagrammet finns två linjer markerade. Den lodräta vid avskalningen 1 kg/m² efter 56 cykler motsvarar gränsen för acceptabel frostbeständighet enligt SS 13 72 44. Den lodräta vid en volymminskning på 1 % motsvarar ett exempel på en tänkt acceptansgräns efter tre års exponering.

Om vi antar att en acceptansgräns vid fältexponering på 1 % är korrekt visar det sig att av de 4 kvaliteter som uppfyller kravet vid normaltidsprovning klarar alla 4 också kravet vid fältexponeringen. Vidare finns det två kvaliteter, lufthalt=4% och vct=0,37 respektive 0,6, som klarat fältexponeringen och som ligger på gränsen till det godkända området för normaltidsprovningen. Av de övriga 8 kvaliteterna som inte klarade kravet för acceptabel frostbeständighet vid normaltidsprov var



FIGUR 24 Samband mellan lufthalt, vct och volymminskning för provkroppar som exponerats tre vintrar vid uteprovningsplatsen vid riksväg 40.



FIGUR 25 Samband mellan resultat från fältexponeringen vid riksväg 40 och normaltidsprovningarna enligt SS 13 72 44.

det 7 som också blev underkända vid fältexponeringen. Undantaget utgörs av den icke lufttillsatta betongen med ett vct på 0,37.

Provningsmetoden SS 13 72 44 har således klassat betongkvaliteterna i stort sett rätt i 13 fall av 14. För de betongkvaliteter som normalt används i betongaggressiv miljö och som metoden primärt är utvecklad för, dvs luftinblandade betongkvaliteter med lågt vct, har metoden klassat alla 8 kvaliteterna rätt. Resultaten tyder således på att metod och acceptansgränser är lämpliga för provning av betong i aggressiv vägmiljö, åtminstone för högvärdiga betongkvaliteter med luftinblandning.

För betong med lågt vct utan luftinblandning blir resultatet avvikande. Normaltidsprevet ger mycket stora avskalningar efter 56 cykler, över 11 kg/m², medan det inte uppstått några skador alls under fältexponeringsperioden! Denna observation stämmer väl överens med resultaten från fältexponeringen i marin miljö i Träslövsläge. Åldringen har en positiv inverkan på speciellt icke luftinblandad betong och då vct understiger 0,40 finns det tecken som tyder på att också icke lufttillsatt betong har en betydande förmåga att motstå frysning i betongaggressiv miljö.

Betong med låga vct (0,30-0,40) och utan luftinblandning är inte frostbeständig vid normaltidsprovning, dvs vid ca en månads ålder. Det finns då tillräckligt med frysbart vatten i kapillärporerna och utan ett fungerande luftporsystem fryser be-

tongen sönder. Allteftersom betongen blir äldre fortgår hydratationen och volymen kapillärporer, och därmed också mängd frysbart vatten, minskar. Om vct är tillräckligt lågt blir kapillärporvolymen så liten och mängden frysbart vatten så lågt att betongen skyddas mot sönderfrysning också av ett bristfälligt luftporsystem, t ex av den naturliga luft som alltid finns i betong. Detta är troligen förklaringen till skillnaderna mellan normaltidsprov och fältexponeringsprov för den icke lufttillsatta betongkvaliteten med ett vct på 0,37. Effekten kan eventuellt också förstärkas av andra positiva åldringseffekter.

Också för betongen med ett vct på 0,37 och en lufthalt på 4 % är det stor skillnad mellan normaltidsprov och resultat från fältexponering. Dessutom är resultatet för normaltidsprovet betydligt sämre än motsvarande resultat för betongen med samma lufthalt men med ett vct på 0,45. Förklaringen ges förmodligen av att det till betongblandningarna med ett vct på 0,37 alltid användes vattenreducerande tillsatsmedel men inte till några andra blandningar. Undersökningar har visat att kombinationen vattenreducerare och luftporbildare ofta leder till bristfälliga luftporsystem [7]. För betongen med ett vct på 0,37 och med 4 % luftinblandning finns det inte något skyddande luftporsystem vid normaltidsprovning vilket det däremot finns i betongen med ett vct på 0,45. Detta förklarar skillnaderna vid normaltidsprovningarna. Vid fortsatt hydratation och åldring minskar betydelsen av ett bra luftporsystem vid låga vct. Detta gör att det inte blir några påvisbara skillnader mellan vct=0,37 och vct=0,45 vid fältexponeringen.

SS 13 72 44 underskattar således normalt frostbeständigheten hos icke lufttillsatt betong med låga vct. För att fullt ut kunna utnyttja potentialen hos sådana betongkvaliteter bör provningsmetodiken modifieras. Troligen vore det en fördel att genomföra provningarna vid 56 dygns ålder eller senare eller kanske ännu hellre på provkroppar som fått åldras utomhus några månader. Nackdelen är att provningstiden förlängs men det är svårt att se hur man skulle kunna undvika detta. Betong med lågt vct är helt enkelt inte "mogen" ur frostbeständighetssynpunkt vid 28 dygns ålder.

Vid normaltidsproven uppstod kraftiga skillnader mellan betong med 4 respektive 6 % luftinblandning, förutom vid vct 0,37 också då vattencementtalet är 0,6 eller högre. Någon motsvarande skillnad blir det inte vid fältexponeringen. Detta styrker observationerna vid Träslövsläge som tyder på att de positiva åldringseffekterna blir tydligare ju sämre kvalitet luftporstrukturen har.

4 Slutsatser

I denna rapport redovisas resultat från fältförsök där 34 betongkvaliteter exponerats i marin miljö på den svenska västkusten och 15 kvaliteter i tösaltad vägmiljö längs riksväg 40 mellan Borås och Göteborg. Slutsatserna från undersökningen kan sammanfattas i följande punkter:

- Normaltidsprov enligt SS 13 72 44, förfarande IA, klassar betongs saltfrostbeständighet korrekt, dvs så som man kan förvänta sig efter de erfarenheter som finns (sid 19).
- Betong blir ofta antingen bra eller riktigt dålig ur frostbeständighetssynpunkt och hamnar sällan i gränsområdet däremellan. En fungerande provningsmetod ska därför i första hand kunna särskilja riktigt bra och riktigt dåliga kvaliteter och de utförda försöken visar att SS 13 72 44 klarar detta (sid 19).
- Vid normaltidsprovning ger Slite std högre avskalningar än Degerhamn anläggning med eller utan tillsats av kiselstoft. Motsvarande skillnad fanns inte för åldrade provkroppar i denna undersökning. Skillnaderna mellan anläggningscement med respektive utan kiselstoft tycks vara liten vid normaltidsprovning, åtminstone vid en lufthalt på 6 % (figur 12).
- Efter tre års exponering i marin miljö kunde inga synliga frysskador observeras på några provkroppar utom för de med ett vbt på 0,75. För dessa provkroppar var ytorna svagt etsade och kanterna hade frysskador (sid 23).
- För lufttillsatta betongkvaliteter är avskalningarna ofta upp till en tiopotens lägre för provkroppar åldrade i marin miljö jämfört med icke åldrade prov. Skillnaden minskar med ökande avskalningar och vid värden på ca 1 kg/m² efter 56 cykler, som utgör gränsen för acceptabel frostbeständighet enligt SS 13 72 44, tycks det inte längre finnas någon skillnad. För lufttillsatt betong tycks således den nuvarande acceptansgränsen vara tillämplig för marin miljö i Sverige. För betong med lägre avskalningar ger metoden resultat på den säkra sidan, dvs avskalningarna vid normaltidsprovning är högre än motsvarande värden för åldrade provkroppar (sid 26).
- Resultaten tyder på att SS 13 72 44 underskattar frostbeständigheten för icke lufttillsatt betong som exponerats för marin miljö. Det är emellertid motiverat att ha en hög säkerhetsmarginal för icke lufttillsatt betong tills dess nedbrytningsmekanismer och åldringseffekter vid saltfrostangrepp är helt klarlagda (sid 26).
- För åldrade provkroppar utan luftinblandning med portlandcement som binde-medel är avskalningarna mycket små efter 56 fryscykler då vbt är 0,4 eller lägre. Detta indikerar att det kan vara möjligt att tillverka betong med god frostbeständighet i marin miljö utan användning av luftporbildande medel, under förutsättning att vbt är tillräckligt lågt (sid 26).

- Icke lufttillsatt betong med tillsats av 5 % kiselstoft fryser sönder också vid så låga vattenbindemedelstal som 0,35-0,40. Avskalningarna är små fram till 28 eller 42 cykler för att därefter accelerera kraftigt så att betongen blir helt sönderfrusen inom några få cykler. Motsvarande acceleration uppstår ej för betong utan kiselstoft ens efter upp till 112 cykler (sid 26).
- Resultaten från exponering av betong i vägmiljö tyder på att SS 13 72 44 med tillhörande bedömningstabell är lämplig för klassificering av betong för användning i aggressiv vägmiljö, åtminstone för högvärdiga betongkvaliteter med luftinblandning (sid 42).
- Åldringen har en positiv inverkan speciellt på icke luftinblandad betong. Då vct understiger 0,40 tycks också icke lufttillsatt betong ha en betydande förmåga att motstå frysning i aggressiv vägmiljö (sid 42).
- Många av de provkropparna som exponerats för vägmiljö var kraftigt skadade efter fyra säsonger. Detta visar att miljön kring en tösaltad väg är betydligt mer aggressiv än den marina miljön på den svenska västkusten, åtminstone då det gäller frostangrepp (sid 41).
- Betong som tillverkas enligt nuvarande praxis, dvs med ett vbt lägre än 0,45 och med 4-6 % luftinblandning har normalt god frostbeständighet både i marin miljö och vägmiljö med tösalter.

5 Referenser

- /1/ Petersson, P-E The influence of silica fume on the salt frost resistance of concrete. SP-RAPP 1986:32, Statens Provningsanstalt, Borås, 1986.

- /2/ Malmström, K Cementsortens inverkan på betongs frostbeständighet. SP-RAPP 1990:7. Statens Provningsanstalt, Borås, 1990.

- /3/ SS 13 72 44, utgåva 2 Betongprovning-Hårdnad betong-Frostresistens. Svensk standard, 1988.

- /4/ SS 13 72 44, utgåva 3 Betongprovning-Hårdnad betong-Frostresistens. Svensk Standard, 1995.

- /5/ Petersson, P-E Influence of minimum temperature on the scaling resistance of concrete. Part 1: Portland Cement Concrete. SP-Report 1994:22, Swedish National Testing and Research Institute, Borås, 1994.

- /6/ Lagerblad, B Silica granulates in concrete - dispersion and
Utkin, P durability aspects. CBI-report 3:93, Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm, 1993.

- /7/ Petersson, P-E The use of air-entraining and plasticizing admixtures for producing concrete with good salt-frost resistance. SP-Report 1989:37. Swedish National Testing Institute, Borås, 1989.

BILAGA 1 Cementsorternas sammansättning och egenskaper.

	Slite std	Degerhamn anl	Degerhamn 400
Kiseldioxid %	20	22	22
Titandioxid %	0,25	0,21	0,24
Järntrioxid %	2,2	4,7	4,6
Aluminiumtrioxid %	4,4	3,6	3,6
Manganoxid %	0,05	0,22	0,23
Kalciumoxid %	62	65	65
Magnesiumoxid %	3,5	0,80	0,77
Natriumoxid %	0,30	0,07	0,06
Kaliumoxid %	1,25	0,59	0,61
Svaveltrioxid %	3,7	2,0	2,2
Glödförlust %	2,9	0,6	0,7
Olöslig rest %	0,67	0,07	0,17
Klorid %	0,01	<0,01	<0,01
Ekv Na ₂ O %	1,12	0,46	0,46
Trikalciumsilikat %	58	60	58
Dikalciumsilikat %	12	17	19
Trikalcialumin. %	8	2	2
Tetrakalciumal.fer. %	7	14	16
Specif yta m ² /kg	416	309	439
Lösningsv., 7 d, kJ/kg	340	270	290
Hållf EN196			
2 dygn MPa	30	21	27
28 dygn MPa	53	57	65

BILAGA 2 Frysprovningresultat för normaltidsprov enligt SS 13 72 44.

Serie	Provkr.	Avskalning (g/m ²)				
		7c	14c	28c	42c	56c
1-35	1	25	32	37	44	54
	2	80	114	128	143	155
	3	62	77	92	98	109
	medel	56	74	85	95	106
1-40	1	78	102	111	117	123
	2	68	80	84	90	92
	3	67	91	97	97	100
	medel	71	91	97	101	105
1-50	1	104	129	152	178	187
	2	82	97	105	111	114
	3	76	92	96	98	101
	4	58	70	93	110	121
	medel	80	97	111	124	131
1-75	1	380	560	790	950	1060
	2	580	890	1300	1500	1600
	3	200	300	460	520	540
	4	420	740	1130	1350	1440
	medel	400	620	920	1080	1160
2-35	1	32	43	65	80	88
	2	16	20	30	40	47
	3	12	17	26	31	33
	medel	20	27	40	50	56
2-40	1	69	92	110	124	128
	2	64	92	110	128	136
	3	37	44	52	59	61
	medel	57	76	91	104	109
2-50	1	76	124	152	160	163
	2	196	278	312	316	319
	3	124	210	303	333	345
	4	133	203	264	280	290
	medel	133	204	257	272	279

Serie	Provkr.	Avskalning (g/m ²)				
		7c	14c	28c	42c	56c
2-60	1	370	700	1270	1650	1910
	2	340	580	910	1020	1050
	3	280	530	960	1270	1460
	4	230	410	630	710	720
	medel	310	560	940	1160	1290
2-75	1	700	1300	2130	2650	3060
	2	680	1210	1900	2370	2790
	3	770	1420	2300	2970	3510
	4	640	1180	2040	2590	2990
	medel	700	1280	2090	2650	3090
3-35	1	19	23	29	38	55
	2	18	23	31	46	65
	3	15	19	24	32	51
	medel	17	21	28	39	57
3-40	1	8	10	12	15	17
	2	11	16	19	22	24
	3	12	16	18	21	23
	medel	9	14	16	19	21
3-50	1	36	40	43	45	48
	2	26	33	43	45	47
	3	10	13	16	18	20
	4	35	41	49	51	56
	medel	27	32	38	40	43
3-75	1	420	620	730	780	810
	2	390	540	850	930	960
	3	450	650	910	1060	1140
	4	240	320	330	350	360
	medel	420	603	880	995	1050
4-40	1	15	20	25	29	38
	2	22	27	30	33	40
	3	14	16	26	29	36
	4	19	23	28	33	39
	medel	18	22	27	31	38

Serie	Provkr.	Avskalning (g/m ²)				
		7c	14c	28c	42c	56c
5-40	1	80	118	152	169	196
	2	44	58	68	83	106
	3	57	69	80	90	103
	4	40	57	66	110	138
	medel	56	75	92	113	135
6-35	1	166	500	1350	2580	4600
	2	146	420	1300	2570	4500
	3	127	410	1210	2160	3330
	4	122	330	1090	2320	4460
	medel	140	420	1240	2410	4520
6-40	1	410	1150	2890	4920	7770
	2	420	1240	2880	4660	7830
	3	320	930	2360	4490	7530
	4	260	740	2040	3980	7050
	medel	350	1020	2540	4510	7550
7-35	1	230	590	1170	1680	2240
	2	110	290	680	1030	1390
	3	290	840	1770	2620	3300
	4	220	680	1480	2150	2720
	medel	210	600	1280	1870	2410
7-40	1	650	1770	3710	6360	9570
	2	880	2330	4730	6890	8930
	3	850	2160	4650	6850	9300
	4	1030	2740	5740	7950	8210
	medel	850	2250	4710	6700	9450
7-75	1	1930	4570	11410		
	2	1900	5060	12750		
	3	1900	4730	12690		
	4	1890	4880	10900		
	medel	1910	4810			
8-35	1	280	810	1870	2740	3560
	2	330	940	1880	2600	3450
	3	310	840	1870	2810	3820
	4	370	920	1710	2470	3230
	medel	320	880	1830	2660	3520

Serie	Provkr.	Avskalning (g/m ²)				
		7c	14c	28c	42c	56c
8-40	1	1110	2550	4950	6770	9580
	2	1010	2220	4470	6800	8980
	3	1090	2490	4800	7480	10020
		910	2160	3920	6310	7890
	medel	1030	2360	4540	6840	9120
8-50	1	2440	5310	7710		
	2	1950	4500	10820		
	3	2010	5330	13060		
	4	2330	5150	1136		
	medel	2180	5070			
8-60	1	2520	5800	16510	30330	
	2	2390	6170	16160	33060	
	3	2430	6470	15740	31700	
	4	2510	6430	18020	37960	
	medel	2460	6220	16610		
8-75	1	2150	6030	16390		
	2	2760	8090	28360		
	3	2470	7590	29650		
	4	2660	6790	19160		
	medel	2510	7130			
H1	1	55	159	349	610	910
	2	35	103	271	450	750
	3	12	32	93	160	230
	4	15	43	123	190	290
	medel	29	84	209	352	545
H2	1	22	51	250	640	1380
	2	49	92	495	1030	2400
	3	47	92	409	890	1650
	4	52	99	466	1130	2400
	medel	43	83	405	923	1958

Serie	Provkr.	Avskalning (g/m ²)				
		7c	14c	28c	42c	56c
H3	1	11	17	29	45	56
	2	24	35	45	55	69
	3	7	12	22	28	40
	4	16	19	34	52	77
	medel	15	21	33	45	60
H4	1	23	31	39	44	49
	2	23	40	57	63	76
	3	23	27	37	40	42
	4	32	40	59	65	68
	medel	25	35	48	53	59
H5	1	10	25	52	69	101
	2	16	40	85	114	172
	3	16	34	61	84	117
	4	32	64	115	149	216
	medel	18	41	78	104	151
H6	1	6	17	26	36	50
	2	29	43	52	64	78
	3	21	34	57	98	120
	4	15	21	28	40	59
	medel	18	29	41	60	77
H7	1	6	18	56	197	590
	2	12	32	95	315	490
	3	9	22	61	252	290
	4	21	51	132	461	1000
	medel	12	31	86	306	593
H8	1	26	41	58	92	143
	2	22	27	41	59	114
	3	23	30	40	64	108
	4	28	52	81	136	244
	medel	25	38	55	88	152
H9	1	17	24	36	48	68
	2	4	9	16	32	65
	3	21	29	37	52	84
	4	13	19	24	36	60
	medel	14	20	28	42	69

BILAGA 3 Frysprovningresultat för prover (50x150x150 mm) som åldrats uppe på bryggan.

ÅLDRADE		Avskalning (g/m ²)				
Serie	Provkr.	7c	14c	28c	42c	56c
1-35	1	7	11	13	15	20
	2	6	9	11	12	15
	3	6	9	13	15	18
	medel	6	10	12	14	18
1-40	1	9	13	15	17	19
	2	9	9	10	11	11
	3	4	8	10	11	15
	medel	7	10	12	13	15
1-50	1	9	14	18	19	22
	2	11	14	19	22	25
	3	10	13	17	19	22
	medel	10	14	18	20	23
1-75	1	615	770	920	1098	
	2	703	910	1052		
	3	533	631			
	medel	617	840	1052		
2-35	1	9	11	13	16	20
	2	6	9	11	14	19
	3	5	7	9	11	14
	medel	7	9	11	14	18
2-40	1	6	11	13	14	17
	2	8	9	12	14	18
	3	6	9	13	17	17
	medel	7	10	13	15	17
2-50	1	8	13	17	18	
	2	17	23	32	36	37
	3	15	24	29	32	36
	medel	13	20	26	34	36

Serie	Provkr.	Avskalning (g/m ²)				
		7c	14c	28c	42c	56c
2-60	1	29	51	93		
	2	34	66	78		
	3	44	71	140	183	214
	medel	37	63	140	183	214
2-75	1	280	424			
	2	248	397			
	3	276	312			
	medel	268				
3-35	1	5	9	13	14	17
	2	4	8	11	12	14
	3	4	7	13	16	16
	medel	4	8	12	14	16
3-40	1	4	8	12	16	17
	2	5	9	10	14	18
	3	3	7	10	12	13
	medel	4	8	11	14	16
3-50	1	7	14	16	18	25
	2	5	9	15	18	19
	3	9	12	17	21	24
	medel	7	12	16	19	23
3-75	1	1200	1410	1740	1890	2020
	2	560	810	1100	1230	1370
	3	1340	1570	1890	2110	2240
	medel	1030	1260	1580	1740	1880
4-40	1	8	12	17	20	23
	2	7	13	17	24	27
	3	8	13	18	21	25
	medel	8	13	17	22	25

Serie	Provkr.	Avskalning (g/m ²)				
		7c	14c	28c	42c	56c
5-40	1	7	13	17	21	26
	2	3	7	8	11	15
	3	7	11	17	23	41
	medel	6	10	14	18	27
6-35	1	3	7	11	78	2430
	2	4	8	11	241	3260
	3	4	7	11	30	470
	medel	4	7	11	116	2050
6-40	1	4	6	23	5590	SF
	2	4	9	18	630	8040
	3	4	8	12	1960	SF
	medel	4	8	18	2730	
7-35	1	8	12	14	17	20
	2	9	12	13	15	17
	3	7	10	11	14	16
	medel	8	11	13	15	18
7-40	1	8	11	14	18	24
	2	9	13	17	19	22
	3	8	11	15	18	22
	medel	8	12	15	18	23
7-75	1	980	1548			
	2	746	746			
	3	677	748			
	medel	801				
8-35	1	7	7	12	16	20
	2	8	11	12	16	18
	3	7	9	12	17	19
	medel	7	9	12	16	19

Serie	Provkr.	Avskalning (g/m ²)				
		7c	14c	28c	42c	56c
8-40	1	4	8	11	15	19
	2	7	11	18	21	25
	3	7	8	13	14	16
	medel	6	9	14	17	20
8-50	1	17	25	35	40	
	2	23	41	65	70	
	3	14	21	53	143	683
	medel	18	29	51	143	683
8-60	1	32	84	264	1944	8694
	2	37	66	119	163	
	3	52	74	107	116	
	medel	40	57	192	1944	8694
8-75	1	269	405			
	2	270	510			
	3	567	814			
	medel	418				

BILAGA 4 Frysprovningresultat för prover (50x150x150 mm) som först åldrats uppe på bryggan varefter ett 5 mm tjockt skikt sågats bort från frysytan före provning.

ÅLDR, AVSÄGAD YTA		Avskalning (g/m ²)				
Serie	Provr.	7c	14c	28c	42c	56c
1-40	1	8	11	15	19	22
	2	13	16	24	27	30
	medel	11	14	20	23	26
1-75	1	75	195	220		
	2	124	327	374		
	medel	100	261			
2-40	1	10	13	20	21	28
	2	11	13	18	30	34
	medel	11	13	19	26	31
2-75	1	122	188			
	2	284	600			
	medel	203	600			
3-40	1	10	14	20	26	27
	2	12	15	25	28	29
	medel	11	15	23	27	28
3-75	1	130	240	480	730	1090
	2	112	210	390	610	990
	medel	121	225	435	670	1040
4-40	1	13	20	28	35	39
	2	16	22	27	37	41
	medel	15	21	28	36	40
6-40	1	56	480	2320	5940	SF
	2	60	440	2190	6580	SF
	medel	58	460	2255	6260	SF
7-40	1	37	530	2970	4740	7370
	2	36	520	2220	4580	8090
	medel	37	525	2595	4660	8090

ÄLDR, AVSÄGAD YTA		Avskalning (g/m ²)				
Serie	Provkr.	7c	14c	28c	42c	56c
7-75	1	609	1220			
	2	801	3860	SF		
	medel	705	3860	SF		
8-40	1	29	60	217	520	990
	medel	29	60	217	520	990
8-75	1	2000	4860	7440		
	2	2250	4900	9300		
	medel	2125	4880			

BILAGA 5 Resultat för provkroppar som sågats ut från paneler som åldrats upphängda på pontonernas sidor. Provkroppsbeteckningarna förklaras i tabell 8.

Från paneler		Avskalning (g/m ²)				
Serie	Provr.	7c	14c	28c	42c	56c
1-50	Ö/G-1	20	30	30	70	80
	Ö/G-2	20	30	30	50	80
	Ö/S-1	10	20	30	60	70
	Ö/S-2	10	20	30	40	50
	P/G-1	30	50	70	100	150
	P/G-2	20	40	110	320	930
	P/S-1	10	20	30	40	50
	P/S-2	20	30	30	50	60
2-40	Ö/G-1	20	20	40	60	70
	Ö/G-2	20	20	30	40	60
	Ö/S-1	10	20	20	30	40
	Ö/S-2	20	20	30	40	50
	P/G-1	30	40	70	80	110
	P/S-1	10	20	30	50	50
3-40	Ö/G-1	10	10	30	40	50
	Ö/G-2	10	20	40	40	60
	Ö/S-1	10	20	30	40	70
	Ö/S-2	10	20	40	40	50
	P/G-1	220	300	460	640	860
	P/S-1	10	20	30	40	60
3-50	Ö/G-1	10	20	20	30	50
	Ö/G-2	30	50	60	90	110
	Ö/S-1	10	20	20	50	60
	Ö/S-2	10	20	30	40	60
	P/G-1	230	450	860	1260	1690
	P/G-2	120	220	410	700	1150
	P/S-1	10	40	60	90	100
	P/S-2	10	20	20	40	50

Serie	Provkr.	Avskalning (g/m ²)				
		7c	14c	28c	42c	56c
H1	Ö/G-1	10	20	110	1450	7980
	Ö/G-2	10	20	60	3850	10550
	Ö/S-1	20	120	1040	12490	21160
	Ö/S-2	20	90	1430	13350	17560
	P/G-1	50	80	110	160	200
	P/G-2	30	40	70	110	140
	P/S-1	30	110	960	9420	22270
	P/S-2	30	100	690	2110	7040
H2	Ö/G-1	10	10	60	3540	13180
	Ö/G-2	10	10	40	7080	11510
	Ö/S-1	30	130	910	6560	8250
	Ö/S-2	30	130	900	1600	2250
	P/G-1	30	60	140	190	240
	P/G-2	40	60	100	130	180
	P/S-1	30	130	660	4260	14380
	P/S-2	30	150	720	7580	17410
H3	Ö/G-1	10	10	30	80	180
	Ö/G-2	20	30	100	250	350
	Ö/S-1	10	10	20	40	80
	Ö/S-2	10	10	20	40	70
	P/G-1	30	40	60	80	130
	P/S-1	0	10	10	30	60
H4	Ö/G-1	10	20	50	90	100
	Ö/G-2	10	30	50	70	90
	Ö/S-1	10	20	30	50	60
	Ö/S-2	20	30	40	60	70
	P/G-1	40	70	100	150	200
	P/G-2	30	40	50	70	110
	P/S-1	20	30	30	60	60
	P/S-2	10	20	20	50	50
H5	Ö/G-1	10	10	50	180	910
	Ö/G-2	10	30	110	370	2420
	Ö/S-1	10	20	360	370	1000
	Ö/S-2	10	40	260	1960	10300
	P/G-1	50	90	130	170	210
	P/S-1	10	20	80	280	790

Serie	Provkr.	Avskalning (g/m ²)				
		7c	14c	28c	42c	56c
H8	Ö/G-1	10	30	110	200	280
	Ö/G-2	10	30	70	150	290
	Ö/S-1	10	20	50	120	230
	Ö/S-2	10	10	50	110	210
	P/G-1	60	120	360	630	940
	P/S-1	10	20	80	160	240

BILAGA 6 Normprov för betong som använts för fältexponering vid riksväg 40.

Norm-R40		Avskalning (g/m ²)				
Serie	Provkr.	7c	14c	28c	42c	56c
A-37	1	970	2390	4950	7680	11890
	2	1070	2610	5890	10590	12510
	3	1100	2530	5730	9440	12910
	4	950	2260	5520	9530	10210
	medel	1020	2450	5520	9310	11880
A-45	1	1120	3210	7380	12190	13250
	2	910	2990	7420	11260	13100
	3	1570	3800	8840	11700	14440
	4	1160	3290	7050	7370	8310
	medel	1190	3320	7630	10630	12280
A-60	1	1340	3830	1094	19160	25820
	2	1140	3720	1152	15160	18700
	3	1250	4310	9190	11410	14760
	4	1450	4340	11820	21230	SF
	medel	1300	4050	10870	16740	19760
A-75	1	1940	5880	13490	SF	SF
	2	2140	6350	16840	SF	SF
	3	2030	6960	11190	20160	SF
	4	2140	6750	20810	SF	SF
	medel	2060	6490	15580	SF	SF
A-90	1	1690	4060	5450	8210	SF
	2	1610	4510	5950	10780	SF
	3	1590	4300	6530	8460	SF
	4	1570	4340	9640	13460	SF
	medel	1610	4300	6890	10230	SF
B-37	1	160	390	710	880	930
	2	170	310	470	580	610
	3	200	510	1010	1410	1760
	4	210	490	980	1430	1790
	medel	190	430	790	1080	1270

Serie	Provkr.	Avskalning (g/m ²)				
		7c	14c	28c	42c	56c
B-45	1	50	80	100	120	130
	2	40	60	80	90	100
	3	40	60	80	80	90
	4	70	90	110	120	120
	medel	50	70	90	100	110
B-60	1	270	660	1250	1710	2010
	2	180	370	620	660	670
	3	200	450	920	1360	1400
	4	150	260	370	410	430
	medel	200	440	790	1040	1130
B-75	1	280	590	1090	1300	1310
	2	300	510	920	1230	1580
	3	380	720	1250	1540	1630
	4	460	970	1580	1750	1890
	medel	360	700	1210	1460	1600
B-90	1	500	830	1120	1250	1270
	2	490	600	640	650	660
	3	620	1210	2020	2730	3140
	4	530	830	1000	1250	1260
	medel	540	870	1200	1470	1580
C-37	1	40	50	70	70	90
	2	20	40	50	60	70
	3	30	40	50	60	70
	4	40	50	60	70	90
	medel	30	50	60	70	80
C-45	1	20	30	40	50	60
	2	20	30	40	50	60
	3	20	30	40	40	50
	4	30	30	40	50	60
	medel	20	30	40	40	60
C-60	1	30	60	70	80	90
	2	40	50	60	70	80
	3	40	60	70	70	90
	4	50	60	70	90	100
	medel	40	60	70	80	90

Serie	Provkr.	Avskalning (g/m ²)				
		7c	14c	28c	42c	56c
C-75	1	260	380	450	470	480
	2	240	350	400	430	440
	3	240	360	430	450	460
	4	240	330	390	400	430
	medel	250	360	420	440	450
C-90	1	440	670	840	920	1020
	2	470	750	980	1070	1150
	3	470	740	1000	1130	1220
	4	510	730	930	1030	1110
	medel	470	720	940	1040	1130

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

SP RAPPORT 1995:73
ISBN 91-7848-602-5
ISSN 0284-5172