



LUND UNIVERSITY

Krav på frostbeständighet hos svensk betong åren 1994-2008

Fagerlund, Göran

2008

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Fagerlund, G. (2008). *Krav på frostbeständighet hos svensk betong åren 1994-2008*. (Rapport TVBM (Intern 7000-rapport); Vol. 7195). Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola.

Total number of authors:

1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

KRAV PÅ FROSTBESTÄNDIGHET HOS SVENSK BETONG ÅREN 1994-2008

Requirements for frost resistance of Swedish
concrete the years 1994-2008

Göran Fagerlund

Innehåll

	sid
FÖRORD	2
GÄLLANDE SVENSKA REGLER	
I: KRAV ENLIGT SVENSK BETONGSTANDARD SS-EN 206 + SS 13 70 03	4
II: KRAV ENLIGT BRO 2004	9
III: KRAV ENLIGT BBK 04	11
KOMMENTARER	12
TIDIGARE SVENSKA REGLER ÅREN 1994-2002	13
I: KRAV ENLIGT BBK 94	14
II: KRAV ENLIGT BRO 94	18
KOMMENTARER	19
TIDIGARE SVENSKA REGLER ÅREN 2002-2004	20
I: KRAV ENLIGT BBK 94	21
II: KRAV ENLIGT BRO 2002	21
KOMMENTARER	21
ÖRESUNDSFÖRBINDELSSEN	23
1. KRAVSTRUKTUR	23
2. KRAV PÅ FÄRSK BETONG	23
3. KRAV PÅ HÅRDNADE OCH HÅRDNAD BETONG	25
4. BINDEMEDEL	26
5. BALLAST	27
6. ÖVERSIKT ÖVER PROVNINGAR VID ÖRESUNDSBRON	27
KOMMENTARER	28
CITYTUNNELN I MALMÖ	29
1. KRAV PÅ LUFTHALT	30
2. KRAV PÅ FROSTBESTÄNDIGHET	31
3. KRAV PÅ VATTENCEMENTTAL	32
4. BINDEMEDEL	32
5. BALLAST	33
KOMMENTARER	33
BILAGA 1: OFFICIELLA BETONGREGLER	34
BILAGA 2: FROSTPROVNING	35

FÖRORD

I rapporten presenteras följande regler som avser frostbeständigheten hos betongkonstruktioner:

1. Nuvarande officiella regler som gäller från och med 2004.
2. Tidigare officiella regler som gällde under perioden 1994-2004.
3. Regler som användes vid produktion av Öresundsbron.
4. Regler som gäller vid produktion av Citytunneln i Malmö.

Genomgången visar att de mest omfattande reglerna användes för Öresundsförbindelsen och Citytunneln. I båda dessa fall skrevs speciella regelverk innefattande en stor mängd provning och kontroll av frostbeständigheten.

Även de officiella svenska reglerna under perioden 1994-2002 har erfarenhetsmässigt medfört konstruktioner med god frostbeständighet. Den främsta orsaken är kravet som fanns på förundersökning av saltfrostbeständigheten med "Boråsmetoden", kombinerat med att man regelmässigt i Sverige, för konstruktioner i hård miljö, oftast föreskrev det lågalkaliska och sulfatresistenta s.k. Anläggningscementet, vilket visat sig ge hög och säker frostbeständighet även hos betong med höga doseringar av flyttillsats och med lös konsistens. Anläggningscementet var i och för sig inte föreskrivet i de officiella reglerna, utan man kunde i princip även använda konventionella standardcement som ofta har hög alkalihalt och aluminathalt. Seriösa svenska beställare, t.ex. Vägverket, hade dock noterat fördelarna med cement av typen Anläggningscement och föreskrev därför sådant cement.

De nuvarande officiella reglerna baseras på den nya betongstandarden SS-EN 206 med tillhörande anpassningsdokument SS 13 70 03. Reglerna är betydligt mindre strikta än i de som användes vid Öresundsförbindelsen och Citytunneln, och delvis även mindre strikta än i de tidigare officiella reglerna. Kraven på omfattning av förundersökning av lufthalt och frostbeständighet är nu oklara. Till detta kommer att man nu tillåter cement och bindemedel som erfarenhetsmässigt kan ge problem i frostmiljö eller som är oprövade i sådan miljö. Det finns därför en påtaglig risk att de större möjligheter, som nu finns att använda flera olika bindemedel och att minska omfattningen av förundersökningar och produktionsprovningar, kan komma att utnyttjas. Beställaren bör vara medveten om riskerna och snäva in på de möjligheter som ges. Därvid kan de regler som tillämpades vid Öresundsförbindelsen och Citytunneln i Malmö användas som exempel.

GÄLLANDE SVENSKA REGLER 2008

REGELSYSTEM

Officiella regler för hur betong skall sammansättas och provas ges i följande dokument:

- Boverkets Konstruktionsregler (BKR)
- Betong – Del 1: Fordringar, egenskaper, tillverkning och överensstämmelse (Svensk Standard SS-EN 206)
- Betong – Användning av EN 206 i Sverige (Svensk Standard SS 13 70 02)
- Allmän Teknisk Beskrivning för nybyggande och förbättring av broar (BRO 2004)

Boverkets regler tolkas i skriften *Boverkets handbok om betongkonstruktioner* (BBK 04)

I: KRAV ENLIGT SVENSK BETONGSTANDARD SS-EN206 OCH SS 13 70 03

Kraven beror på exponeringsklassen.

I.1 EXPONERINGSKLASS XF1 (MÅTTLIG VATTENMÄTTNAD, UTAN SALT):

- Ballasten måste vara frostbeständig enligt kriterier i SS 10 70 03.
- Högsta ekvivalenta vct är 0,60 (vct_{ekv} definieras i paragraf I.8.3 nedan).

Citat: *...(om) "vct ≤ 0,60 kan betongen normalt anses vara frostresistent utan tillsats av luftporbildande tillsatsmedel. Provning av betongens frostresistens erfordras därför normalt inte."*

"I tveksamma fall kan frostresistensen kontrolleras genom provning av frostresistens enligt SS 137244, metod B" (avskalning vid frysprovning i rent vatten). Kravnivå på avskalning anges ej.

I.2 EXPONERINGSKLASS XF2 (MÅTTLIG VATTENMÄTTNAD, MED SALT):

- Ballasten måste vara frostbeständig enligt kriterier i SS 10 70 03.
- Krav ställs på lufthalt *eller* frysprovning.
- Högsta ekvivalenta vct är 0,45
- Det finns 2 alternativa metoder att säkra frostbeständigheten.

Alt 1: Krav på viss lägsta lufthalt hos färsk betong

Tillsättning av luftporbildande tillsatsmedel skall göras. Värdet på lufthalt före placering i formen (dvs. efter pumpning) som ges i tabellen skall uppfyllas.

Vid tillverkningsstället får betongens lufthalt vid den fortlöpande provningen inte understiga lufthalten vid förundersökningen ökad med förväntade förluster i lufthalt under transport och pumpning.

Max stenstorlek (mm)	Minsta lufthalt (% av betongvolym)
32	4,0
16	4,5
8	5,0

Alt 2: Frysprövning

Citat: "För betong i exponeringsklass XF2 kan kravet på lufthalt enligt tabellen ersättas med provning av frostresistens enligt SS 13 72 44, metod A. Därvid skall minst acceptabel frostbeständighet påvisas" (dvs $\leq 1 \text{ kg/m}^2$ i avskalning.)

Det framgår inte om frysprövningen avser förundersökning, fortlöpande provning eller färdig konstruktion.

I.3 EXPONERINGSKLASS XF3 (HÖG VATTENMÄTTNAD, UTAN SALT):

- Ballasten måste vara frostbeständig enligt kriterier i SS 10 70 03.
- Krav ställs på lufthalt *eller* frysprövning.
- Högsta ekvivalenta vct är 0,55.
- Det finns 2 alternativa metoder att säkra frostbeständigheten.

Alt 1: Krav på viss lägsta lufthalt

Samma regler som för XF2.

Alt 2: Frysprövning

Lufthaltskravet får ersättas av frysprövning. Betongen provas enligt SS 13 72 44, metod B (frysning i rent vatten). Kravet är lägst acceptabel frostbeständighet ($\leq 1 \text{ kg/m}^2$).

Kommentar: Detta är ett olämpligt krav eftersom betong normalt inte ytskadas vid frysning i vatten utan ibland får inre frostsador som bättre dokumenteras med ultraljud, E-modul och volymändring.

Det framgår inte om frysprövningen avser förundersökning, fortlöpande provning eller färdig konstruktion.

I.4 EXPONERINGSKLASS XF4 (HÖG VATTENMÄTTNAD MED SALT):

- Ballasten måste vara frostbeständig enligt kriterier i SS 10 70 03.
- Krav ställs på frysprövning.
- Högsta ekvivalenta vct är 0,45.
- Frostbeständigheten skall påvisas genom provning enligt SS 13 72 44, metod A. Vid fortlöpande provning skall minst kravet acceptabel frostresistens uppfyllas.
- För betong med silikastoft görs utvärderingen efter 112 cykler.

I.5 GENERELLA KRAV PÅ FÖRUNDERSÖKNING AV BETONGENS SAMMANSÄTTNING

Citat ur standarden: "Vid användning av en ny betongsammansättning skall förundersökning utföras för att ta fram en betong som uppnår de specificerade egenskaperna eller den avsedda funktionen med tillräcklig marginal. När det finns lång tids erfarenhet från likartad betong eller betongfamilj erfordras inte någon förundersökning..... Betongsammansättningar skall under beaktande av ändringar i delmaterialens egenskaper och resultat från provningar av överensstämmelse granskas regelbundet för att säkerställa att alla betongsammansättningar alltfjämt är i enlighet med gällande krav".

I.6 PRODUKTIONSKONTROLL AV FROSTBESTÄNDIGHET - KRAV PÅ FÖRUNDERSÖKNING

Enligt SS 17 70 03 skall förundersökning av frostresistens utföras för betong i exponeringsklass XF4. Provning sker enligt SS 13 72 44, metod A. Minst 4 provkroppar med minst $90\,000 \text{ mm}^2$ provas. Betongen skall uppvisa minst god frostbeständighet ($\leq 0.5 \text{ kg/m}^2$). Avskalningen för enskilt prov får inte överstiga 1.5 kg/m^2 . För betong med silikastoft görs utvärderingen efter 112 cykler.

I.7 STICKPROVSKONTROLL AV FROSTBESTÄNDIGHET

När frostresistens provas genom direkt frysprovning skall minst 1 provkropp per betongsammansättning tas ut och provas varje månad¹.

Provning av frostresistens skall göras vid ackrediterat provningslaboratorium.

I.8 BINDEMEDEL

I.8.1 Cement

Följande cement reglerade av standarden SS-EN 197 godtas i olika exponeringsklasser. x markerar godkänt cement²:

Cementtyp	Exponeringsklass				Sammansättning av cement
	XF1	XF2	XF3	XF4	
I Portlandcement	x	x	x	x	≥95% klinker
II/A-S Portland- slaggcement	x	x	x	(x)	≥80% klinker ≤20% masugnsslagg
II/B-S Portland- slaggcement	x	(x)	(x)		≥65% klinker ≤35% masugnsslagg
II/A-D Portland- silikastoftcem	x	x			≥90% klinker ≤10% silikastoft
II/A-V Portland- flygaskecem	x	x	x	x	≥80% klinker ≤20% flygaska
II/B-V Portland- flygaskecem	x	(x)	(x)		≥65% klinker ≤35% flygaska
II/A-LL Portland- kalkstencem	x	x	x	x	≥80% klinker ≤20% kalkstensfyller
II/A-M Portland- kompositcem	x	x	x	(x)	≥80% klinker ≤20% valfri puzzolan
II/B-M Portland- kompositcem	x	(x)	(x)		≥65% klinker ≤35% valfri puzzolan

¹) I ett modifierat svenskt förslag reduceras behovet av provning. Citat ur förslaget: "Under förutsättning av att tre på varandra följande prover för respektive betongsammansättning uppvisar god frostbeständighet gäller att en provkropp tas ut och provas var sjätte månad som produktion ägt rum. Skulle något provresultat vara underkänt eller visa acceptabel frostresistens ska återigen prover tas ut och provas varje månad med produktion tills tre på varandra följande provresultat uppvisar god frostbeständighet".

²) Ett modifierat svenskt förslag till utökning av antalet godkända cementtyper i olika exponeringsklasser har sänts på remiss av SIS våren 2008. Förslaget framgår av markering (x) i tabellen.

I.8.2 Mineraliska tillsatsmaterial

Mineraliska tillsatsmaterial delas in i två typer:

- Typ I: Filler (största kornstorlek 0,063 mm). Finmaterial som anses vara icke-reaktivt som enbart räknas som ballast. Exempel är flygaska, kalkstensfiller och pigment.
- Typ II: Reaktivt material som får inräknas som del av bindemedlet. Exempel är reaktiv flygaska, masugnsslagg och silikastoft.

Typ I

Det finns inga regler som begränsar mängden. Egenskaperna regleras av ballaststandarden SS 12620. I denna finns ingen text om fillers eventuella inverkan på frostbeständigheten.

Betongstandarden SS-EN 206 noterar att risk med filler Typ I kan finnas genom texten: *"Det bör beaktas att användning av en stor mängd tillsatsmaterial kan påverka andra egenskaper än hållfasthet"*. Ett exempel på en sådan risk är när flygaska som inte klassificerats som reaktiv, eftersom reaktivitetsprovning inte utförts, används som filler Typ I trots att askan är reaktiv. Man kan då få negativ påverkan på betongens lufthaltsvariation och luftporstabilitet och därmed på dess frostbeständighet.

Typ II

Följande maximala mängd reaktivt mineraliskt tillsatsmaterial får räknas som bindemedel i olika exponeringsklasser. Angivna värden avser % av mängden portlandcement (CEM I). Totalmängden tillsatsmaterial inklusive det som ingår i cementet får inte överstiga värden enligt tabellen³:

Typ av tillsatsmaterial	Exponeringsklass			
	XF1	XF2	XF3	XF4
Silikastoft	11	11	11	6
Flygaska	25 (50)	25	25	25
Masugnsslagg	25 (50)	25	25	0
Totalt	25 (50)	25 (50)	25 (50)	0 (25)

I tillämpningsdokumentet SS 10 70 03 ges även följande kommentarer:

- Silikastoft med SiO₂-halter även mellan 70% och 85% får användas.
- Glödförlusten hos flygaska får vara högst 5%.
- Masugnsslagg får användas förutsatt att den kemiska sammansättningen och reaktiviteten uppfyller i standarden definierade krav och glashalten är minst 90%.

I.8.3 Definition av vct

Olika krav på högsta vattencementtal gäller i olika exponeringsklasser (se ovan).

I stället för vct används i standarden ett ekvivalent värde, vct_{ekv} som definieras:

$$vct_{ekv} = \frac{V}{C + k \cdot T} \quad \text{där } V = \text{vattenhalt, } C = \text{halt portlandcement, } T = \text{halt tillsatsmaterial}$$

k är en effektivitetsfaktor som är olika hög för olika tillsatsmaterial. När portlandcement (CEM I) används gäller följande effektivitetsfaktorer:

³) Ett modifierat svenskt förslag till ökning v mängden tillsatsmedel i olika exponeringsklasser har sänts på remiss av SIS våren 2008. Nya förslaget framgår av siffror inom parentes i tabellen.

Flygaska blandad med CEM I:

Cementhållfasthet 32,5 MPa: $k = 0,2$

Cementhållfasthet 42,5 MPa och högre: $k = 0,4$

Silikastoft blandad med CEM I:

Specificerat vct-krav $\leq 0,45$: $k = 2,0$

Specificerat vct-krav $> 0,45$: $k = 1,0$

Man kan även använda dessa effektivitetsfaktorer när andra cementtyper än CEM I används som "bascement" förutsatt att "*lämpligheten är påvisad*".

I.9 BALLAST

Krav på ballast regleras av standarden SS-EN 12620 "*Ballast för betong*".

För samtliga exponeringsklasser krävs att ballast > 4 mm är frostresistent. Detta innebär schablonmässigt att vattenabsorptionen skall understiga 1 vikt-%.

II: KRAV ENLIGT BRO 2004

All exponerad (oskyddad) betong hänförs till exponeringsklass XF4.

II.1 ALLMÄNNA KRAV

BRO 2004 baseras på de svenska betongreglerna i SS-EN 206 och SS 13 70 03. Därför gäller texten i avsnitt I ovan även för BRO 2004. Dessutom finns vissa tilläggskrav som beskrivs nedan.

II.2 FÖRUNDESRÖKNING

Inga särskilda förundersökningskrav utöver de som finns i SS-EN 206 och SS 13 70 03.

Citat: *"Betongen skall uppfylla kraven i SS-EN 206 och SS 13 70 03"*.

II.3 PROVNING AV FÄRDIG KONSTRUKTION

- Utförandekontroll av frostbeständighet utförs genom frysprovning av utborrade cylindrar. Cylindrarna provas enligt SS 13 72 44, förfarande II, metod A.
- Antal prov skall vara minst ett per varannan gjutetapp. Antalet prov skall vara minst 5 för varje bro och betongsammansättning.
- Vid total betongvolym $< 50 \text{ m}^3$ räcker det med 3 prov.
- För godkänt prov krävs "god frostbeständighet" enligt SS 13 72 44 (dvs. $\leq 0,5 \text{ kg/m}^2$). OBS: detta är ett hårdare krav än enligt SS 13 70 03.
- Uttaget av cylindrar skall fördelas jämnt över alla konstruktionsdelar som ingår i bron. Val av provplats avgörs i samråd med beställaren.
- Provuttagning görs tidigast 7 dygn efter gjutning.
- Prover förseglas och förvaras vid $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ fram till provning.

II.4 BINDEMEDEL

II.4.1 Cement

Samma regler som i nuvarande standard SS 13 70 03 (se ovan) med tillägg att cementet skall vara av typ CEM I (portlandcement) med tilläggskraven BV (begränsad värmeutveckling), SR (sulfatresistent) och LA (lågalkaliskt).

Begreppen BV, SR och LA definieras av följande standarder:

BV: SS 13 42 02

SR: SS 13 42 04

LA: SS 13 42 03

II.4.2 Mineraliska tillsatsmaterial

Samma regler som enligt SS-EN 206 och SS 13 70 03 gäller med följande tillägg:

Typ I

Glasfiller i betong skall räknas som tillsatsmaterial typ I. Förundersökning krävs varvid:

- Den aktuella betongen med glasfiller jämförs med en standardiserad referensbetong.
- Frostresistensen bestäms för de båda blandningarna med SS 13 72 44, metod A förlängd till 112 cykler.

Typ II

”Användning av masugnsslagg kräver tillstånd av beställaren i varje enskilt fall”.

”Maximal inblandning av flygaska är högst 6% av cementvikten i exponeringsklass XF4 och högst 11% i övriga exponeringsklasser.”

II.4.3 Definition av vct

Samma regler som i SS-EN 206 gäller (se I.8.3).

II.5 BALLAST

Ballaststandarden SS-EN 12620 gäller liksom betongstandarder SS-EN 206 och SS 13 70 03 (se I.9 ovan).

III: KRAV ENLIGT BBK 04

BBK 04 är inte ett officiellt bindande regelverk utan betraktas som en *handbok* med det officiella namnet *"Boverkets handbok om betongkonstruktioner, BBK 04"*.

III.1 ALLMÄNNA KRAV

BBK 04 baseras på de svenska betongreglerna i SS-EN 206 och SS 13 70 03. Därför gäller texten i avsnitt I ovan även för BRO 2004. Dessutom finns viss kompletterande text som beskrivs nedan.

III.1 MATERIALKRAV

BBK 04 ställer inga krav utöver de som ges i Svensk Betongstandard för betong och täckskikt. Citat under rubriken "Betongkvalitet med hänsyn till beständighet":

"Erforderliga åtgärder kan anses ha vidtagits om betongkonstruktionen uppfyller kraven i SS-EN 206, SS 13 70 03 och SS 13 70 10" (täckskiktsstandarden).

III.2 KRAV PÅ KONTROLL

Hänvisning sker till Betongstandarden SS 13 70 03 med följande tillägg: *"Provningen genomförs i del av konstruktionen där frostbeständigheten förväntas vara lägst, eller inom zon där miljöpåverkan kan förväntas vara störst. Kravet för acceptabel frostbeständighet skall uppfyllas."*

Detta är samma krav som i betongstandarden men lägre krav än BRO 2004.

III.3 BINDEMEDEL

III.3.1 Cement

Citat: *"Beprövade cementtyper kan om de används i enlighet med SS-EN 206 och dess nationella tillämpningsstandard SS 13 70 03 antas vara lämpliga. Vilka cementtyper som anses vara beprövade anges för respektive harmoniserad cementstandard i Boverkets författningssamling BFS föreskriftsserie TEK. Därutöver kan cement enligt SS 13 42 02 (BV), SS 13 42 03 (LA) och SS 13 42 84 (SR) anses beprövade."*

Detta innebär att enligt BBK 04 är betongstandardens (SS 13 70 03) regler för cement tillämpliga (se I.8.1).

III.3.2 Mineraliska tillsatsmaterial Typ I och Typ II

Man måste förutsätta att regler enligt SS-EN 206 och SS 10 70 03 gäller eftersom ingen särskild text införts.

Citat: *"Användning av tillsatsmaterial förutsätter att man genomförundersökning kontrollerar att tillsatsmaterialet tillsammans med övriga delmaterial och aktuell utrustning ger avsedd effekt och att övriga egenskaper hos betongen inte påverkas menligt."*

III.3.3 Definition av vct

Regler enligt SS-EN 206 och SS 10 7003 gäller (se I.8.3).

III.4 BALLAST

Regler enligt betongstandarden SS-EN 206 och SS 13 70 03 gäller (se I.9 ovan).

KOMMENTARER

Nuvarande regler, med visst undantag för BRO 2004, medför risk för bristfällig frostbeständighet av främst följande skäl:

1. Olämpliga cement godkänns. Detta är särskilt allvarligt i den mest aggressiva exponeringsklassen XF 4 där både fillercement och flygaskacement tillåts.

Fillercementet CEM II/A-LL får innehålla upp till 20% kalkstensfiller utan att kravet på maximalt $v_{ct_{ekv}}$ minskas. Eftersom fillret kan antas vara inert innebär detta att det effektiva v_{ct} baserat på portlandandelen i cementet är betydligt högre än när rent portlandcement (CEM I) används ($v_{ct_{eff}}=V/PC$ där PC är mängden portlandklinker i cementet):

Exempel, $v_{ct_{ekv}}=0.45$ (max tillåtet värde):

CEM I:	$v_{ct_{eff}}=V/PC =V/C=$ 0,45 (samma som kravet)
CEM II/A-LL (20% filler):	$v_{ct_{eff}}=V/PC=V/0,8\cdot C=$ 0,56 (högre än kravet!)

Flygaskacementet CEM II/A-V får innehålla upp till 20% flygaska med effektivitetsfaktor 0,4. Flygaska medför risk för stora lufthaltsvariationer orsakade av varierande innehåll av restkol i askan. Därför är risken för låg frostbeständighet större än när rent portlandcement används.

Risken är stor även i de något mindre aggressiva exponeringsklasserna XF2 och XF3.

2. Mineraliska tillsatsmaterial godkänns både som bindemedel och som inert filler trots att vissa ger osäker frostbeständighet, t.ex. masugnsslagg, och flygaska. När dessa material används som filler finns ingen begränsning i mängder trots att materialen, trots att de ses som inerta, har en viss reaktivitet och därmed har påverkan på betongens struktur och beständighet.
3. Kraven på omfattning av förundersökning och produktionsprovning av lufthalt och frostbeständighet är mycket oprecisa och även svårtolkade. Det förefaller som om förundersökning av frostresistens inte behöver göras om det finns tidigare förundersökning av "likartad" betong. Detta är en mycket olycklig paragraf. Risken är stor att man producerar konstruktioner med frostbeständighet som visar sig vara otillräcklig när provning så småningom görs av den färdiga konstruktionen.
4. Kraven på ballast är inte helt säkra. De borde skärpas så att man inte som nu är fallet godtar all ballast om den bara har vattenabsorption mindre än 1%. Man bör explicit förbjuda användning av vissa ballasttyper som kan vara riskabla, t.ex. ballast av sedimentärt ursprung, dolomithaltig ballast, svavelhaltig ballast, etc.

BRO 2004 är något säkrare än betongstandarden eftersom den bara godkänner cement av typ CEM I. Det är dock inga skärpta krav på användning av mineraliska restmaterial.

Kraven på provning av färdig konstruktion bättre specificerade än i betongstandarden. Det är dock samma svaghet när det gäller förundersökning och produktionsprovning.

**TIDIGARE SVENSKA REGLER
ÅREN 1994-2002**

REGELSYSTEM 1994-2002

Under 8-års perioden mellan 1994 och 2002 gavs betongregler i följande dokument:

- Boverkets Konstruktionsregler (BKR)
- Allmän Teknisk Beskrivning för broar (BRO 94). Kopplas till BBK 94.

Boverkets regler tolkades i skriften *Boverkets handbok om betongkonstruktioner* (BBK 94). Text om frostbeständighet i BBK 94 används som regeltext i BRO 94.

I: KRAV ENLIGT BBK 94

I.1 MILJÖKLASSER ENLIGT BBK 94

BBK 94 delar in frostmiljö i 4 miljöklasser:

- *B1: Obetydligt betongaggressiv miljö:*
Ingen risk för frysning.
- *B2: Något betongaggressiv miljö:*
Frysning/tining med måttlig fuktbelastning och ingen närvaro av klorid.
- *B3: Måttligt betongaggressiv miljö:*
Alt 1: Frysning/tining i mycket fuktig miljö med ingen eller försumbar kloridhalt
Alt 2: Frysning/tining vid låg fuktbelastning och närvaro av klorid.
- *B4: Mycket betongaggressiv miljö:*
Frysning/tining i fuktig eller mycket fuktig miljö med måttlig eller hög kloridhalt

I.2 KRAV PÅ LUFTHALT

Citat: *"Betong i miljöklass B3 och B4 fordrar normalt tillsats av luftporbildande medel."*

Riktvärden för styrning av betongproduktion och minimivärden på lufthalt ges i tabellen nedan. Citat: *"I tabellen ges exempel på lufthalter som med betongkvaliteter enligt tabell och lämplig bearbetning och härdning kan antas ge tillfredsställande frostbeständighet hos betong med bergartsballast"*.

Minimivärdena gäller omedelbart innan betongen placeras i formen. Citat: *"Lägre lufthalter kan användas om frostbeständighet påvisas genom frysprovning med SS 13 72 44."*

Max vct	Max stenstorlek (mm)	Lufthalt i % av betongvolym			
		B4		B3	
		Riktvärde	Minvärde	Riktvärde	Minvärde
B4: 0,45	32	6,0	5,0	5,0	3,5
B3: 0,55	16	7,0	6,0	5,5	4,0
	8	-	-	6,0	4,5

I miljöklass B2 är max vct 0,60. I miljöklass B1 finns inget krav på vct.

I.3 KRAV PÅ FRYSPROVNING

Miljöklass B2:

Citat: *"Betong med vct 0,60 kan normalt anses vara frostbeständig utan tillsats av luftporbildande medel. Provning av betongens frostbeständighet erfordras därför normalt inte. I tveksamma fall kan frostbeständigheten kontrolleras genom frysprovning enligt SS 13 72 44, metod B"* (utan salt). Inget krav på provningsresultat ges.

Miljöklass B3:

Citat: *"Betong i miljöklass B3 med lufthalt enligt tabell...(ovan)...kan normalt anses vara frostbeständig."*

Miljöklass B4:

Citat: *"Betong i miljöklass B4 bör påvisas vara frostbeständig genom förundersökning och fortlöpande provning enligt SS 13 72 44, metod A. Vid förundersökning skall kravet för god frostbeständighet enligt standarden uppfyllas och avskalningen för enskild kub får dessutom inte överskrida 1,5 kg/m². Vid den fortlöpande provningen skall kravet för acceptabel frostbeständighet uppfyllas. För betong med silikastoft görs bedömningen först efter 112 fryscykler. Betongen lufthalt får vid den fortlöpande provningen inte understiga lufthalten vid förundersökningen"*.

I.4 KRAV VID BETONGMASSETILLVERKNING

Förundersökning

Citat: *"Förundersökning av betong med tillsatsmedel bör utföras vid minst 2 olika betongtemperaturer, svarande mot den högsta och lägsta temperatur som kan förekomma i betongmassan under och efter gjutningen."*

Citat: *"Om luftporbildande medel används i kombination med annat tillsatsmedel, tex vattenreducerande, bör betongens frostbeständighet kontrolleras genom frysprovning."*

I.5 TILLVERKNINGSKONTROLL AV FABRIKSBETONG – EGENKONTROLL

Frostbeständigheten skall provas för varje betongblandning på minst 3 prover uttagna var 6:e månad.

Lufthalten skall provas minst 3 gånger per tillverkningsdag.

Citat: *"Provning bör göras på den första satsen och fortgå till dess att minst 2 värden i följd uppgår till angivet värde samt dessutom ytterligare en gång dagligen."*

I.6 EFTERKONTROLL AV FROSTBESTÄNDIGHET HOS FÄRDIG KONSTRUKTION

Frostbeständigheten skall provas på utborrade prov. Metod A används i miljöklass B4 och metod B i miljöklass B3.

Citat: *"Provningen utförs i den del av konstruktionen där frostbeständigheten kan förväntas vara lägst eller inom zon där miljöpåverkan kan förväntas vara störst. Värdering av provningsresultat görs enligt standarden varvid kravet för acceptabel frostbeständighet skall uppfyllas"*.

I.7 BINDEMEDEL

I.7.1 Cement

Citat: "Cement bör ha en kemisk sammansättning och uppfylla de krav som anges i ENV 197-1:1992 med de tillägg och begränsningar som framgår av NAD(S)/ENV 197-1". De senare reglerna innebär att följande bindemedel är accepterade i olika miljöklasser.

Benämning	Beteckning enligt EN 197	Högsta mängd tillsatsmaterial % av klinker	Miljöklass			
			B1	B2	B3	B4
Portlandcement	CEM I	-	x	x	x	x
Portland-slagg cement	CEM II/A-S	20	x	x	x	x
	CEM II/B-S	35	x	x	x	x
Portland-flygaskecement	CEM II/A-V	20	x	x	x	x
	CEM II/B-V	35	x	x		x
Portland-kalkstencement	CEM II/A-L	20	x	x		
Portland-kalksten-slaggcm.	CEM IIA-LS	20	x	x		
Slaggcement	CEM III/A	65	x	x		x
	CEM II/B	80	x	x		x

Det är således enbart cement med större mängd kalkstensfyller som inte får användas i mycket aggressiv miljö.

I.7.2 Mineraliska tillsatsmaterial

Tillsatsmaterialen delas in i två klasser:

- Klass A: Jämföras med bindemedel och får inräknas i vct_{ekv} (motsvarar Typ II i SS EN 206)
- Klass B: Jämföras med ballast (motsvarar Typ I i SS-EN 206).

Klass A

Följande tillsatsmaterial och maximala mängder (i % av mängden cement) är godkända:

Tillsatsmaterial	Miljöklass			
	B1	B2	B3	B4
Silikastoft	10		5	
Flygaska	35			
Masugnsslagg	100			

Vissa krav ges på kemisk sammansättning.

Klass B

I princip samma krav som för Klass A gäller. Inga krav på maximal inblandad mängd ges.

I.7.3 Definition av vct

Ett ekvivalent vct_{ekv} definieras på samma sätt som i nuvarande standard SS-EN 206 (se I.8.3).

Följande värden på effektivitetsfaktorn k gäller:

- Silikastoft: $k=1,0$
- Flygaska: $k=0,3$
- Masugnsslagg: $k=0,6$

I.8 BALLAST

Citat: *"För betong i miljöklasserna B3 och B4 bör ballast med låg porositet användas. Vid användning av bergartsballast bör därvid ballastkornens vattenabsorption inte överstiga 1,0 vikt-%".*

II: KRAV ENLIGT BRO 94

II.1 ALLMÄNT

Betongen skall uppfylla kraven enligt BBK 94 med tillägg enligt nedan.

II.2 FRYSPROVNINGSRESULTAT

Regler enligt BBK 94 gäller med följande ändringar:

- Kravet i provningsstandarden att $m_{56} \leq 2 \cdot m_{28}$ (m_{56} är avskalning efter 56 cykler) slopas om m_{112} uppfyller kravet på maximal avskalning vid 56 cykler (m_{56}) uppfylls. (Det visar nämligen att avskalningen inte är accelererad).
- Vid utvärdering av resultatet av frysprovningen skall medelvärdet vid 56 cykler från samtliga prover användas. Avskalningen från enskild provkropp skall inte vara högre än $1,5 \text{ kg/m}^2$. Då frysprovning gjorts till 112 cykler skall medelvärdet vid 112 cykler gälla.
- Kraven på maximal avskalning gäller både vid förundersökning och utförandekontroll.

II.3 FÖRUNDESRÖKNING

- Förundersökningens resultat är giltigt i 12 månader.
- Förundersökning kan ersättas av fortlöpande provning under förutsättning att resultaten inte är äldre än 6 månader.
- Vid byte av betongrecept, ballastmaterial, maximal stenstorlek, tillsatsmedel eller annan cementfabrikat skall en ny förprovning göras.
- Förundersökning av frostbeständighet skall omfatta minst 4 betongkuber. Provning skall göras vid ackrediterat laboratorium.

II.4 UTFÖRANDEKONTROLL

- Kontroll av frostbeständighet utförs genom utbörning och frysprovning av cylindrar.
- Provning sker enligt SS 13 72 44, förfarande III.
- Antal cylindrar skall vara minst en per varannan gjutetapp.
- För varje bro skall minst 6 cylindrar tas ut.
- Om betongvolymen understiger 50 m^3 godtas att endast 3 cylindrar tas ut.
- Uttaget av cylindrar skall fördelas jämnt över samtliga konstruktionsdelar.

II.5 BINDEMEDEL

II.5.1 Cement

Enbart portlandcement (CEM I) godtas. Dessutom skall cementet uppfylla kraven för BV, LA, SR.

II.5.2 Mineraliska tillsatsmaterial

Användning måste godkännas av Vägverket i varje enskilt fall. Vid användning av silikastoft är max dosering 5% av cementvikten. Silikastoftet skall vara "väl dispergerat".

II.5.3 Definition av vct

Samma definition av vct_{ekv} och samma effektivitetsfaktorer som enligt BBK 94 gäller.

KOMMENTARER

BBK 94, som är en tolkning av Boverkets Konstruktionsregler, har delvis samma grundläggande svagheter som nuvarande regler:

1. Olämpliga cementtyper accepteras även i den strängaste miljön, t.ex. cement med flygaska och slagg. Däremot godtas inte kalkstensfillercement vilket är positivt.
2. Tillsättning av upp till 35% flygaska och 100% masugnsslagg räknat på mängden portlandcement godtas.
3. Ballastreglerna är ännu mer oprecisa än i nuvarande regelsystem eftersom ballaststandarden ännu inte hade blivit accepterad.
4. Kraven på förundersökning och produktionsprovning av lufthalt och frostbeständighet är lika oprecisa som i nuvarande regler.

BRO 94 är något bättre än nuvarande BRO 2004 eftersom det är mera utförliga krav på förundersökning och frysprovning. Mineraliska tillsatsmedel är inte tillåtna såvida inte Vägverket ger tillstånd i varje enskilt fall.

**TIDIGARE SVENSKA REGLER
ÅREN 2002-2004**

REGELSYSTEM 1994-2002

Under 2-års perioden mellan 2002 och 2004 gavs betongregler i följande dokument:

- Boverkets Konstruktionsregler (BKR)
- Allmän Teknisk Beskrivning för broar (BRO 2002)

Skriften *Boverkets handbok om betongkonstruktioner* (BBK 94) var fortfarande gällande. Text om frostbeständighet i BBK 94 används inte längre i BRO 2002.

I: KRAV ENLIGT BBK 94

Samma krav som gäller perioden 2004-2002

II: Krav enligt BRO 2002

Betongstandarden SS-EN 206 med anpassningsdokument SS 13 70 03 hade publicerats när BRO 2002 skrevs. Dessa standarder förutsätts gälla. Reglerna är därför desamma som i BRO 2004, se kapitel *Nu gällande regler*, avsnitt III ovan.

KOMMENTARER

Kommentarer gjorda ovan beträffande nu gällande regler och regler perioden 1994-2002 gäller även för regler perioden 2002-2004.

ÖRESUNDSFÖRBINDELSEN

ÖRESUNDSFÖRBINDELSSENS REGELVERK

Regler för betong ges i dokumentet:

“The Öresund Link. Contract No 3a High Bridge. Construction Requirements, Volume 2 – Concrete. December 1994”.

1. KRAVSTRUKTUR

1.1 KRAV PÅ FÄRSK BETONG

1.1.1 Grundkrav

Krav på färsk betong som är bindande och som används som kriterier för godkännande.

1.1.2 Förprovning

Krav på provning av färsk betong som måste genomföras innan produktion startar.

OBS: Separat provning måste genomföras för varje blandare.

1.1.3 Produktionsprovning

Krav på provning av färsk betong som genomförs under löpande produktion.

Regler för lufthaltsskontroll.

1.2 KRAV PÅ HÅRDNANDE OCH HÅRDNAD BETONG

1.2.1 Grundkrav (acceptanskrav)

Kvantifierade krav på lufthalt och frostbeständighet hos hårdnad betong.

1.2.2 Förprovning

Etablering av krav på minsta acceptabla lufthalt i hårdnad betong (”målvärdet” på luft).

Frysprovningssmetoder och kravnivåer för godkännande av förprovningssresultat.

1.2.3 Produktionsprovning

Provning av lufthalt i hårdnad betong.

Åtgärder vid underskriden lufthalt.

2. KRAV PÅ FÄRSK BETONG

2.1 GRUNDKRAV

- Frostbeständig betong skall ha luft som skapats av en luftporbildare.
- Lufthalten skall bestämmas enligt standardmetod med följande tillägg:
Packning av betongen skall ske på vibrobord med fastställd vibreringstid som beror på konsistensen enligt tabellen.

Konsistens		Vibreringstid för varje lager (s)
Sätt (mm)	Utbredningsmått (mm)	
<150	<440	15
160-200	450-520	10
200-240	530-620	5

2.2 FÖRPROVNING

- Luftinnehållet i färsk betong skall vara tillräckligt hög för att uppfylla kraven på lufthalt och frostbeständighet hos hårdnad betong.
- Entreprenören skall genom förundersökning och produktionsprovning fastställa minimivärdet på lufthalt i färsk betong. Detta värde skall betraktas som kravet på lufthalt. Betong från varje betongblandare (minst 2) skall provas separat.
- Minst 3 betongblandningar med olika kombinationer av luftporbildare och flyttillsats skall för provas. För varje blandning skall 2 luftnivåer provas. Minsta antal blandningar är 6.

Stabiliteten hos luftporsystemet hos dessa blandningar skall provas efter följande produktionstekniska variationer:

- olika blandningstider
 - olika transporttider
 - pumpning resp. ingen pumpning
 - olika vibreringsmetoder och vibreringstider.
- Entreprenören skall etablera ett samband mellan luftinnehåll direkt efter blandning, efter transport och efter pumpning genom att tillverka 1 m³ block av alla blandningar. Entreprenören skall översätta detta samband till de krav som skall användas vid produktionsprovningen
 - Betongblandningarna som provas skall ha en lufthalt efter blandning $\leq 9.5\%$ av betongvolymen.

2.3 PRODUKTIONSPROVNING

- Luftinnehållet omedelbart efter blandning och före pumpning skall inte vara högre än 10% av betongvolymen.
- Entreprenören skall vid början av produktionsprovningen bestämma lufthalten direkt efter blandning, före pumpning och efter pumpning. Acceptanskravet är lufthalten efter pumpning.
- När minst 30 samhörande mätningar av lufthalten före och efter pumpning är tillgängliga kan acceptanskravet ("conformity criterion") ändras till att gälla lufthalt före pumpning förutsatt att ett "tillfredsställande" samband mellan de båda lufthalterna kan etableras (metod att klarlägga om ett tillfredsställande samband existerar ges i specifikationen).
Var 14:e dag skall det dokumenteras med minst 5 samhörande mätningar att relationen fortfarande gäller.
- När minst 60 samhörande mätningar av lufthalten direkt efter blandning och efter pumpning är tillgängliga kan acceptanskravet (conformity criterion) ändras till att gälla lufthalt efter blandning förutsatt att ett "tillfredsställande" samband mellan de båda lufthalterna kan etableras.
Var 14:e dag skall det dokumenteras med minst 5 samhörande mätningar att relationen fortfarande gäller.

3. KRAV PÅ HÅRDNANDE OCH HÅRDNAD BETONG

3.1 GRUNDKRAV

3.1.1 Krav på lufthalt

- Den hårdnade betongen skall en lufthalt av minst 3% provad på minst 3 utborrade kärnor.
- Lufthalten hos den hårdnade betongen skall vara minst lika hög som det ”målvärde” som bestämdes vid förundersökningen.

3.1.2 Krav på frostbeständighet

- *Saltfrysprovning*: utförs enligt SS 137244 metod I för gjutna prover och metod III för utborrade prover.
Avskalningen skall vara mindre än $0,5 \text{ kg/m}^2$ efter 56 cykler (medelvärde av alla provkroppar).
- *Critical Dilation*: Provas på gjutna cylindrar ($\Phi 75 \times 150 \text{ mm}$) enligt princip som beskrivs i metod ASTM C671. Cylindrarna lagras direkt efter avformning i vatten vid 20°C under 3, 8, 12, 16, 20 och 24 veckor. Cylindrarna skall skyddas mot uttorkning från det de tas ur vattenlagringen till dess frysprovningen är avslutad. Frysning sker med en 30-tim cykel från $+20^\circ\text{C}$, ned till -20°C tillbaka till $+20^\circ\text{C}$. Temperatursänkingshastigheten skall vara ca $2,8^\circ\text{C/h}$.
Kravet är att ”critical dilation” inte får uppstå. Critical dilation definieras av att provets längd överstiger den till minustemperatur extrapolerade kontraktionskurvan från området $+5^\circ\text{C}$ till 0°C .

3.2 FÖRPROVNING

3.2.1 Krav på lufthalt

- Lufthalten hos den hårdnade betongen skall bestämmas för samtliga (minst 6) 1 m^3 block som tillverkades vid förprovning av färsk betong.
- Entreprenören skall etablera sambandet mellan luftinnehåll efter pumpning och luftinnehåll i hårdnad betong.
- Entreprenören skall definiera ett målvärde (”target value”) för hårdnad betongs lufthalt vilket skall användas som krav vid produktionsprovningen. Målvärdet skall uppfylla kravet på minst 3% och skall vara högt nog att tillförsäkra att frostbeständighetskravet vid saltfrysprovning är uppfyllt (dvs oftast är det $>3\%$).

3.2.2 Krav på frostbeständighet

- Ur vart och ett av de minst 6 st 1 m^3 block som tillverkades vid förprovning av färsk betong borrar minst 4 kärnor ($150 \times 200 \text{ mm}$) 1 månad efter gjutning. Vid tillverkning av blocken gjuts också minst 4 kuber av varje blandning. Alla cylindrar och kuber saltfrysprovas. Provningen förlängs till 112 cykler.
- I samband med gjutning av blocken gjuts 12 cylindrar för var och en av de minst 6 blandningarna. Proverna används för provning av Critical Dilation.
- På basis av provningar enligt ovan väljs en blandning för fortsatt provning. Alternativt tas nya blandningar fram och provas enligt procedurer ovan tills en godtagbar blandning kan väljas.
Den valda blandningen skall uppfylla följande krav:
 - *Saltavskalning*: Medelvärde $\leq 0,3 \text{ kg/m}^2$ efter 56 cykler; $\leq 1,0 \text{ kg/m}^2$ efter 112 cykler. Inget enskilt värde får vara högre än $0,5 \text{ kg/m}^2$ efter 56 cykler.
 - *Critical Dilation*: Inget prov, oavsett lagringstid, får uppvisa ”critical dilation”.

3.3 PRODUKTIONSPROVNING

3.3.1 Generell provning

- För varje ”gjutning” (casting) skall 1 kärna ($\Phi 150 \times 200$ eller $\Phi 100 \times 200$) borrar ut och lufthalten hos denna bestämmas. Resultatet skall tas fram inom 12 dagar efter avslutad gjutning.
- Om lufthalten är lika med, eller högre än målvärdet är gjutningen godkänd och betraktas som frostbeständig (”complying”).
- Om lufthalten är lägre än målvärdet borrar ytterligare 2 kärnor ut.
- Om medelvärdet av lufthalt hos alla tre prover är lika med eller högre än målvärdet är gjutningen godkänd och betraktas som frostbeständig.
- Om medelvärdet är lägre än målvärdet är gjutningen inte godkänd (”non-complying”).
- Om gjutningen inte är godkänd borrar 4 kärnor ut och saltfrysprovas. Medelvärdet skall uppfylla kravet på hårdnad betong.
- Om avskalningen är högre än kravvärdet är gjutningen underkänd.

3.3.2 Kompletterande provning

- För varje 5000 m³ gjuten betong skall 4 kärnor borrar ut och saltfrysprovas.
- Varje gång gjutning av en ny typ av konstruktion påbörjas skall 4 kärnor borrar ut och saltfrysprovas.
- Utbörningen skall göras inom 10 dygn efter avslutad gjutning. Provning startas så fort frysprovingsstandarden tillåter.
- Om avskalningen är högre än kravet på hårdnad betong skall produktionen avbrytas och ny förprovning genomföras.

3.4 KRAV PÅ VATTENCEMENTTAL

$v_{ct_{ekv}} \leq 0,45$ (target value 0,38).

4. BINDEMEDEL

4.1 CEMENT

Enbart portlandcement med hållfasthetsklass 42,5 eller 52,5 MPa (CEM I, 42,5,52,5) godtas.

Följande tilläggskrav gäller:

- Max C₃A: 5,0%
- Max MgO: 3,0%
- Max Na₂O_{ekv}: 0,6%

Dessutom ställs ett stort antal krav på provning.

4.2 MINERALISKA TILLSATSMATERIAL

Filler

Inga särskilda krav utöver de som gäller för ballast.

Reaktivt material

Enbart silikastoft (pulver eller slurry) godtas.

Max dosering är 5.0% av cementvikten.

Strikta krav ställs på provning av silikastoftet.

4.3 Definition av v_{ct}

Ett ekvivalent v_{ct} definieras på samma sätt som enligt nuvarande regler i SS-EN 206.

Effektivitetsfaktorn $k=2,0$

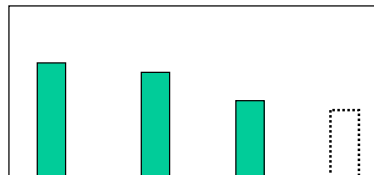
5. BALLAST

Den grova ballastens (>2mm) vattenabsorption får vara högst 1 vikt-%.

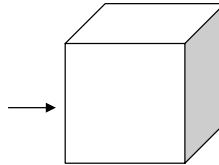
6. ÖVERSIKT ÖVER PROVNINGAR VID ÖRESUNDSBRON

Färsk betong förprovning (minst 6 blandningar för varje blandare)

Lufthalt



e bland f pump e pump hård



6x1m³

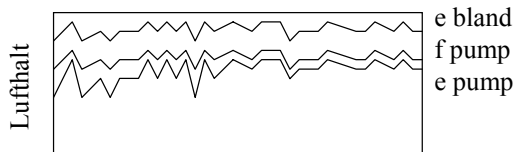


6x4 kuber



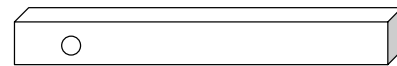
6x12 cylindrar

Färsk betong produktionsprovning



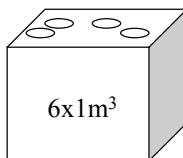
Batch nr

Hård betong produktionsprovning



Lufthalt hos utborrade kärnor

Hård betong förprovning



6x1m³



6x4 kärnor
till saltfrysprov
112cykler



6x12 cylindrar till
Critical Dilation



6x4 kuber
till saltfrysprov
112 cykler

KOMMENTARER

Öresundsbroreglerna var mycket strikta såväl när det gäller krav på delmaterial som när det gäller krav på lufthalt och frostbeständighet. Regler för förundersökning, produktionsprovning och provning av färdig konstruktion var mycket detaljerade och omfattande. Tyngdpunkten på provning och acceptans lades på lufthalt hos färsk och hårdnad betong. Enbart när lufthalten hos konstruktionen var för låg gjordes frysprovning. Mängden frysprovning kunde därför begränsas.

Regelsystemet fungerade utmärkt och frostbeständigheten hos den färdiga konstruktionen förefaller vara mycket god. Detta visades i samband med 5-årsbesiktningen. Ett problem uppstod när en underentreprenör gjorde en receptförändring som innebar att mängden flyttillsats ökades vilket höjde lufthalten. Mängden luftporbildare minskades för att lufthalten skulle bibehållas. Detta medförde en försämring av luftporstrukturen vilket visades av att frysprovningens resultat visade på otillräcklig frostbeständighet. Detta kunde dock inte noteras vid besiktning av den färdiga konstruktionen efter 5 år.

Regelsystemet som användes vid Öresundsförbindelsen bör vara en förebild för hur regelsystem bör utformas vid andra större byggprojekt där hög frostbeständighet är av stor vikt. Samma princip användes för Citytunneln i Malmö.

CITYTUNNELN I MALMÖ

CITYTUNNELNS REGELVERK

Regler för betong ges i dokumentet:

"Citytunneln: Krav på Betong – Material, utförande, kontroll, Januari 2003."

1. KRAV PÅ LUFTHALT

1.1 GRUNDKRAV PÅ LUFTHALT

- Lufthalten direkt efter blandning, efter transport och före pumpning skall vara tillräckligt hög för att säkerställa frostbeständighet.
- Lufthalten direkt efter blandning, efter transport och före pumpning får aldrig överstiga 10 volymprocent av betongen.
- Lufthalten direkt efter blandning, transport och före pumpning skall alltid överstiga värden enligt tabell i SS 13 70 03 (se tabellen nedan)

Max stenstorlek (mm)	Minsta lufthalt (% av betongvolym)
32	4,0
16	4,5
8	5,0

- Lufthalten i färsk betong skall bestämmas som en funktion av tid och 3 temperaturnivåer (planerad, planerad +10°C, planerad -10°C).
- Lufthalten i hårdnad betong skall vara tillräckligt hög för att säkerställa frostbeständighet och inte vara lägre än 3 volymprocent.

1.2 FÖRUNDERSÖKNINGSPROVNING AV LUFTHALT

Entreprenören skall bestämma den minsta lufthalt i färsk betong som krävs för att uppfylla kravet på luft i färsk och hårdnad betong och kravet på frostbeständighet.

För varje föreslagen betongsammansättning skall minst 3 nivåer på lufthalt provas under realistiska förhållanden genom blandning och gjutning. De tre lufthaltsnivåerna skall vara:

- Cirka 1% lägre än kravet
- Cirka 1% högre än kravet
- Cirka 1,5% högre än kravet

Av varje blandning gjuts ett block på 1 m³ samt minst 4 kuber. Dessa används för provning av frostbeständighet (se 2.2).

Förundersökningen skall inkludera:

- Olika blandningstider
- Olika transporttider
- Pumpning resp. ingen pumpning
- Olika vibreringstider och metoder

1.3 PRODUKTIONSPROVNING AV LUFTHALT

Provning av lufthalt skall genomföras enligt följande:

- Provning av färsk betong utförs såväl före som efter pumpning såvida inte entreprenören satt upp en relation mellan dessa båda lufthalter som är på säkra sidan.
- Ett kontrollavsnitt skall inte motsvara mer än en produktionsdag.
- Varje enhet (lass) med en lufthalt $>10.0\%$ eller $< 3\%$ är avvikande.
- Varje enhet (lass) med lufthalt mindre än det minimivärde som bestämdes vid förundersökning är avvikande.
- De första 8 enheterna (lass) med betong provas. Samtliga avvikande enheter förkastas.
- Då 8 på varandra följande överensstämmande enheter har provats reduceras provningsfrekvensen till var tredje enhet.
- Om en avvikande enhet upptäcks skall den förkastas och de följande 8 enheterna skall provas.
- Då 8 på varandra följande överensstämmande enheter har provats reduceras provningsfrekvensen till var tredje enhet, etc.

Betong som förkastats på grund av för låg lufthalt kan användas som icke frostbeständig betong om den uppfyller övriga relevanta krav.

2. KRAV PÅ FROSTBESTÄNDIGHET

2.1 GRUNKRAV

2.1.1 Betong utsatt för salt:

- Avskalning bestämd med SS 13 72 44, metod A skall efter 56 fryscyklar uppfylla kravet för god frostbeständighet ($\leq 0,5 \text{ kg/m}^2$) med tilläggskravet att inget enskilt värde får överstiga 1 kg/m^2 .
- Om silikastoft används ökas provtiden till 112 cykler. Kravnivån bibehålls men gäller efter 112 cykler.
- Luftporanalys enligt ASTM C 457 genomförs. Resultat redovisas som:
 - foto av provkroppen
 - total lufthalt
 - lufthalt i porer $< 2\text{mm}$
 - specifik yta
 - avståndsfaktor

2.1.2 Betong som enbart utsätts för rent vatten:

- Avskalning bestämd med SS 13 72 44, metod B skall efter 56 fryscyklar uppfylla kravet för god frostbeständighet ($\leq 0,5 \text{ kg/m}^2$) med tilläggskravet att inget enskilt värde får överstiga 1 kg/m^2 .

2.2 FÖRUNDESRÖKNINGSPROVNING AV FROSTBESTÄNDIGHET

- Från var och en av de förprovade blandningarna gjutna i block skall minst 8 kärnor ($\Phi 150 \times 300$ mm) borrar ut på 3 olika nivåer (2 på toppen, 4 på mitten och 2 på botten). Borrning sker mellan 28 och 35 dygn efter gjutning.
- De gjutna kuberna samt 6 kärnor provas med avseende på avskalning till 112 cykler.
- Resultatet skall uppfylla följande krav:
 - Avskalningens medelvärde högst 0.5 kg/m^2 efter 112 cykler.
 - Inget enskilt värde högre än 1 kg/m^2 efter 112 cykler.
- Om kraven inte uppfylls kan blandningen med den aktuella lufthalten inte användas i produktionen.
- Två kärnor från mitten skall användas för luftporanalys.

2.2 PRODUKTIONSPROVNING AV FROSTBESTÄNDIGHET

- En gång per 250 m^3 eller minst 1 gång per vecka (1 gång per månad för betong utsatt för rent vatten) skall för varje betongrecept 1 kärna ($\Phi 100 \times 200$ mm eller $\Phi 150 \times 200$ mm) borrar ut och lufthalten bestämmas med luftporanalys. Resultatet skall föreligga senast 12 dagar efter avslutad gjutning.
- Om lufthalten är minst lika hög som riktvärdet bestämt vid förundersökning kan krav på lufthalt och frostbeständighet betraktas som uppfyllda.
- Om lufthalten är lägre än riktvärdet skall 2 extra kärnor borrar ut och frysprovas. Om medelvärdet för lufthalt för de tre kärnorna är minst lika högt som riktvärdet är kraven på lufthalt och frostbeständighet uppfyllda.
- Om medelvärdet för lufthalt är lägre än riktvärdet är betongen inte i överensstämmelse med kraven.
- Om betongen inte är i överensstämmelse med kraven skall följande provning genomföras:
 - 4 kärnor borrar ut och frysprovas. Medelvärdet skall uppfylla grundkraven för frostbeständighet.
 - Om avskalningen är större än grundkraven är betongen inte godkänd.

Dessutom skall utförandekontroll av frostbeständighet göras genom frysprovning av 1 cylinder per varannan gjutetapp. För stora gjutningar t.ex. broäck skall minst 5 kärnor provas per 200 m^3 betong.

3. KRAV PÅ VATTENCEMENTTAL

Konstruktionsdelar utsatta för saltvatten: $v_{ct_{ekv}} \leq 0,40$

Andra konstruktionsdelar: $v_{ct_{ekv}} \leq 0,55$

4. BINDEMEDEL

4.1 CEMENT

Samma regler som enligt BRO 2002 gäller, dvs. enbart portlandcement CEM I, BV, LA, SR. Strikta krav ställs på variation hos cementet.

4.2 MINERALISKA TILLSATSMATERIAL

Filler

- Enbart filler från krossning av ballast som uppfyller kraven för ballast får användas.
- Fillerballast skall uppfylla kraven för fin ballast.

- Fillerballast av sedimentärt material är inte tillåtet (med undantag för filler till självkompakterande betong).

Reaktivt material

Enbart silikastoft godtas.

Max tillåten dosering är 6% av cementvikten.

Strikta krav ställs på silikastoftets egenskaper och på provning.

4.3 DEFINITION AV VCT

Vid beräkning av ekvivalent vct antas effektivitetsfaktorn för silikastoft vara $k=2,0$.

5 BALLAST

Grova ballastens vattenabsorption får vara högst 1 vikt-%.

Som exempel på icke godtagbar ballast anges kalksten, dolomit, skiffer, sandsten.

Det ställs krav på omfattande provning av all ballast. Flertalet krav utom vattenabsorptionen rör inte hållfasthet.

KOMMENTARER

Regelverket har samma generella struktur som för Öresundsförbindelsen. Kraven på delmaterial och betongegenskaper är strikta. Omfattningen av provning av lufthalt och frostbeständighet är ungefär densamma som vid Öresundsförbindelsen. Man kan därför förvänta att frostbeständigheten hos Ciytunnelns olika delar blir tillfredsställande.

BILAGA 1: OFFICIELLA BETONGREGLER

Normer

Boverkets konstruktionsregler BKR 94. Föreskrifter och allmänna råd. Ett antal ändringar och tillägg i form av Boverkets Författningssamling har successivt utkommit sedan 1994.

Vägverket: Allmän Teknisk Beskrivning för nybyggande och förbättring av broar (BRO 2004)

Standards

Svensk Standard SS-EN 206: Betong-Del 1: Fordringar, egenskaper, tillverkning och överensstämmelse

Svensk Standard SS 13 70 03: Betong - användning av EN 206-1 i Sverige.

Svensk Standard SS-EN 12620: Ballast för betong

Svensk Standard SS-EN 197-1: Cement - Del 1: Sammansättning och fordringar för ordinära cement.

Svensk Standard SS 13 4202: Cement - Sammansättning och fordringar för cement med begränsad värmeutveckling (BV-cement)

Svensk Standard SS 13 4203: Cement - Sammansättning och fordringar för cement med låg alkalihalt (LA-cement)

Svensk Standard SS 13 4204: Cement - Sammansättning och fordringar för sulfatresistent cement (SR-cement)

EN 450: Fly ash for concrete

EN 13263: Silica fume for concrete

BILAGA 2: FROSTPROVNING

Frysmetod

Frostprovning görs enligt Svensk Standard SS 13 72 44. Metoden förutsätter noggrann hantering av prover med avseende på härdning och förkonditionering.

Provning kan ske enligt fyra olika *förfaranden*:

- Förfarande I: Provning av sågad yta på gjuten kub
- Förfarande II: Provning av övre gjutyta på gjuten kub
- Förfarande III: Provning av sågad yta på utborrad cylinder
- Förfarande IV: Provning av ytteryta på utborrad cylinder

Provning kan ske med två olika *metoder*:

- Metod A: Fryscyklerna sker med frysytan täckt av 3-procentig NaCl-lösning
- Metod B: Fryscyklerna sker med frysytan täckt av rent vatten

Bedömning av resultat

Resultatet bedöms på följande sätt:

- *Mycket god frostbeständighet:*
Ingen provkropp har högre avskalning än $0,1 \text{ kg/m}^2$ efter 56 cykler
- *God frostbeständighet:*
Medelvärde på avskalning för alla prover efter 56 cykler är högst $0,5 \text{ kg/m}^2$ samtidigt som avskalningen inte är accelererad vilket visas av att $m_{56}/m_{28} < 2$ (m_{56} är avskalning efter 56 cykler, etc.)
- *Acceptabel frostbeständighet:*
Medelvärde på avskalning för alla prover efter 56 cykler är högst $1,0 \text{ kg/m}^2$ samtidigt som $m_{56}/m_{28} < 2$
- *Oacceptabel frostbeständighet:*
Kravet för acceptabel frostbeständighet är inte uppfyllt