



LUND UNIVERSITY

Betongkonstruktioners beständighet : en genomgång av officiella svenska regler 1926-2010

Fagerlund, Göran

2010

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Fagerlund, G. (2010). *Betongkonstruktioners beständighet : en genomgång av officiella svenska regler 1926-2010*. (Rapport TVBM; Vol. 3153). 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

BETONGKONSTRUKTIONERS BESTÄNDIGHET

En genomgång av officiella svenska regler 1926-2010

Göran Fagerlund

I SRN: LUTVDG/ TVBM - 10/ 3153-- SE (1-86)

I SSN: 0348-7911 TVBM

Lunds Tekniska Högskola

Tel: 046-2227415

Byggnadsmaterial

Fax: 046-2224427

Box 118

www.byggnadsmaterial.lth.se

221 00 LUND

FÖRORD

I rapporten görs en genomgång av beständighetsrelaterade regler i statliga betongbestämmelser och standarder från 1926 och framåt.

Regler utgivna av olika statliga verk t.ex. Vägverket och Banverket behandlas inte. Dessa baseras i huvudsak på det statliga regelverket.

När det gäller detaljerade regler som har med frostbeständighet att göra hänvisas även till en tidigare publicerad rapport¹.

Uppförande av betongkonstruktioner har alltid reglerats av någon form av statliga normer och bestämmelser:

- Perioden 1926-1994: Statliga betongbestämmelser
- Perioden 1994-2004: Statliga regler kombinerade med av staten godkända handböcker
- Från och med 2004: Europeiska standarder med tillhörande svenska anpassningsdokument

Bestämmelser och standarderna har alltid innehållit regler som har med konstruktionernas beständighet att göra. Dessa regler har med åren blivit alltmer detaljerade.

Den första gången vi fick en betongnorm som tog beständighetsfrågan på större allvar var 1965 då betongbestämmelsen B5 gavs ut. Där infördes t.ex. för första gången krav på luftinblandning i betong exponerad för stark frost. Reglerna i B5 visade sig dock vara otillräckliga, främst genom att inga krav ställdes på maximalt tillåtet vattencementtal. Sådana krav uppställdes för första gången i BBK 79 som ersatte B5 år 1979. vct-kravet har successivt skärps, första gången år 1988.

I BBK 79 infördes dessutom 6 miljöklasser vilka beror på miljöns aggressivitet; 3 klasser för frost och 3 för korrosion. År 1994 utökades antalet miljöklasser till totalt 8. I nuvarande betongstandard EN 206-1 indelas miljön i inte mindre än 18 olika s.k. exponeringsklasser.

En viktig skärpning skedde år 1994 när BBK 79 ersattes av Boverkets Konstruktionsregler tillsammans med handboken BBK 94. I dessa skrifter uppställdes för första gången krav på att betong i hård frostmiljö skulle frysprovas.

Det traditionella cementet i Sverige har varit portlandcement (tidigare P, numera CEM I). Kraven på cement har reglerats av Statliga Cementbestämmelser ända fram till 1994. Kraven på cementets sammansättning har varierat något under åren, men i grunden skulle cementet maximalt innehålla 3 à 5% inert material (normalt kalkstensmjöl) och maximalt 2,5 à 4% SO₃ (normalt från gips). Måttlig inblandning av masugnsslagg i cement har varit tillåtet ända från 1926. Från 1979 tilläts även inblandning av flygaska och stora mängder slagg i cement.

I och med att den europeiska cementstandarden började gälla även i Sverige år 1994 tilläts ett mycket stort antal cement bestående av inblandning av olika mineraliska tillsatsmaterial, även

¹) Fagerlund, G.: Krav på frostbeständighet hos svensk betong åren 1994-2008. BML/LTH.
Rapport TVBM-7195, 2008

inerta sådana såsom kalkstensmjöl. Detta medförde att det svenska standard portlandcementet (Std P) ersattes av ett cement med mer än 10% kalkstensmjöl (CEM II). Cementet säljs under namnet Byggcement. I dag är inte mindre än 11 cementtyper godkända i Sverige. Samtliga anses vara ”beprovade för användning i Sverige”, vilket är ett påstående vars riktighet är tveksam.

Den europeiska betongstandarden reglerar vilka cement som får användas i olika miljötyper. Här har successivt en uppluckring av reglerna skett. I standarden som gällde mellan åren 1994 och 2004 godtogs enbart portlandcement (CEM I) i den hårdaste frost- och korrosionsmiljön. I standarden från år 2008 tillåts inte mindre än 5 typer i frostmiljön varav 4 är av typ CEM II och innehåller silikastoft, flygaska, kalkstensmjöl eller olika blandningar av alla dessa material. I hårdaste korrosionsmiljön tillåts 6 cementtyper varav 5 är av typ CEM II. Än så länge används dock i praktiken enbart CEM I, vilket även är det enda cement som godtas i Vägverkets Bronorm för brobyggnader. På sikt kan man dock förvänta att flera oprövade cementtyper kommer att användas även i hård miljö eftersom standarden godtar detta.

Flygaska, silikastoft och masugnsslagg fick inte inblandas direkt i betong förrän år 1988. Den europeiska betongstandarden, som nu gäller (från 2008), accepterar inblandning av avsevärda mängder mineraliska tillsatsmaterial i betong, även i sådan som baseras på cement som i sig själva innehåller viss mängd tillsatsmaterial.

Täckskiktet har reglerats ända från 1926. Till en början gällde reglerna troligen enbart konstruktiva aspekter. Första gången man explicit skiljde på täckskikt med avseende på konstruktion och täckskikt med avseende på miljö var år 1979 i och med att BBK 79 började gälla. Då infördes också en nyanserad indelning av korrosionsmiljön i tre olika klasser.

Kraven på minsta tillåtna täckskikt har varierat anmärkningsvärt mycket under de senaste 30 åren. Orsaken till detta är inte klar. I dag tillåter man täckskikt som i flera fall, t.ex. i karbonatiseringsmiljö, är mindre än de man tillät år 1926. Det rekommenderas att en snar översyn av täckskiktsstandarden görs. Behovet av en sådan accentueras av att nuvarande regler baseras på användning av portlandcement. Inverkan av andra godkända cementtyper på täckskiktet bör klarläggas innan dessa typer av cement blir mer allmänt använda för konstruktioner i aggressiv miljö.

Lund i mars 2010

Göran Fagerlund

INNEHÅLL	Sid
Förord	i
Innehåll	iii
Sammanfattning	v
Perioden 1926-1934	1
Perioden 1934-1949	7
Perioden 1949-1965	19
Perioden 1965-1979	27
Perioden 1979-1988	35
Perioden 1988-1994	41
Perioden 1994-2004	47
Perioden 2004-2008	55
Perioden 2008-	65

SAMMANFATTNING

Den genomgång av bestämmelser och standarder som görs i denna rapport omfattar endast text som på något sätt är kopplad till konstruktionens beständighet. Uppställda krav uppdelas i följande områden:

1. Krav på cement (bindemedel)
2. Krav på blandningsvatten
3. Krav på ballast
4. Krav på betongsammansättning
5. Krav på frostbeständighet
6. Krav på täcksikt

Ofta ges reglerna som direkta citat från respektive norm. Direkt citerade regler återges med kursiv stil.

I tabellform nedan ges en kortfattad sammanfattning över hur olika regler utvecklats under åren. Vissa kommentarer ges även. Huvudsakligen anges enbart regler för aggressiva frost- och korrosionsmiljöer.

1. Indelning i miljötyper

Period	Antal miljötyper kopplade till betongkrav			Antal miljötyper kopplade till täcksiktskrav
	totalt	m.a.p. frost	m.a.p. korrosion	
1926-1934	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>2</i>
1934-1949	<i>6</i>	<i>1</i>	<i>0</i>	<i>4</i>
1949-1965	<i>4</i>	<i>1</i>	<i>0</i>	<i>3</i>
1965-1979	<i>6</i>	<i>3</i>	<i>0</i>	<i>3</i>
1979-1994	<i>6</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>
1994-2004	<i>8</i>	<i>4</i>	<i>4</i>	<i>4</i>
2004-	<i>18</i>	<i>4</i>	<i>10</i>	<i>9</i>

Kommentarer

Först år 1979 skiljde man på frostmiljö och korrosionsmiljö. Dessförinnan hade man enbart sett frostmiljön som en miljö som man skulle ta särskild hänsyn till.

År 1994 utökades antalet miljöklasser med vardera tre i frost- och korrosionsmiljö. Detta för att inverkan av tösaltning och havsmiljö skulle tas bättre om hand.

I och med att den europeiska betongstandarden började tillämpas även i Sverige år 2004 utökades antalet miljöklasser (exponeringsklasser) dramatiskt, särskilt när det gäller miljöer som har påverkan på armeringskorrosion. Man kan ifrågasätta om alla dessa klasser behövs i Sverige. Det visar sig nämligen att flera klasser kan slås samman i täcksiktsstandarden, vilket är den standard som reglerar livslängden. Troligen var indelningen 1994 tillräckligt detaljerad och lättförståelig.

2. Indelning i livslängdsklasser

(X innebär att livslängdsklassen införts)

Period	20 år	50 år	100 år
1926-1994	-		
1994-2004	-	X	X
2004-	X	X	X

Kommentar

I och med att metoder att förutse konstruktionens livslängd utvecklades kunde man ställa krav på konstruktionens förväntade livslängd. Denna definieras som den tid som krävs för att armeringen skall börja rosta. Livslängden är alltså kopplad till armeringskorrosion och påverkar täcksiktets tjocklek.

3. Högsta tillåtna vct i mest aggressiva miljötyper

Period	vct _{max}				
	Frostmiljö		Korrosionsmiljö		
	måttlig	mycket	måttlig	mycket	extrem
1926-1979	<i>inget krav</i>		<i>inget krav</i>		
1979-1988	0,60	0,50	0,70	0,50	
1988-1994	0,60	0,45	0,60	0,45	
1994-2004	0,55	0,45	0,55	0,45	0,40
2004-	0,55	0,45	0,55	0,45	0,40

Kommentarer

Först 1979 ställdes det krav på vct. Dessförinnan ansåg man att det var tillräckligt med krav på lägsta kubhållfasthet. I och med att det visade sig att en viss hållfasthet kunde åstadkommas med tämligen olika vct blev det nödvändigt att införa vct-krav.

Värdet på högsta vct har gradvis minskat. Orsaken är att ny forskning visat att de tidigare värdena var otillräckliga, framförallt med avseende på armeringskorrosion. De värden som gäller i dag torde vara rimliga. Att gå lägre ned i vct kan medföra negativa effekter som främst sammanhänger med betongens inre självuttorkning, vilken medför ökad inre krympning och därav orsakad mikrosprickbildning.

4. Krav på luftinblandning och frysprovning

Period	Lägsta lufthalt vid 32 mm sten %		Krav på frysprovning	
	måttligt aggr.	mycket aggr.	måttligt aggr.	mycket aggr.
1926-1965	<i>inget krav</i>		<i>inget krav</i>	
1965-1979	<i>min 3,5</i>	<i>min 4,5</i>	<i>inget krav</i>	
1979-1988	<i>min 4,5¹⁾</i>	<i>min 4,5¹⁾</i>	<i>inget krav</i>	
1988-1994	<i>medel 5,0</i> <i>min 3,5</i>	<i>medel 6,0</i> <i>min 5,0</i>	<i>inget krav</i>	
1994-2004	<i>riktvärde 5,0</i> <i>min 3,5</i> <i>2)</i>	<i>riktvärde 6,0</i> <i>min 5,0</i> <i>2)</i>	<i>inget krav</i>	<i>krav</i>
2004-	<i>krav på lufttillsats</i> <i>2)</i>		<i>krav</i>	<i>krav</i>

1) minst 13,5% av volymen cement+vatten+luft.

2) dessutom krav på högsta vattenabsorption hos ballast: <1,0 vikt-%. (OBS. lättballast kan ha betydligt högre porositet och trots detta vara frostbeständig)

Kommentarer

1965 ställdes för första gången krav på att betong i frostmiljö skulle ha viss lufthalt. Dessförinnan krävdes enbart att betongen antingen skulle ha en viss lägsta hållfasthet eller en viss lägsta cementshalt. Orsaken till att det dröjde så länge är svårförståelig eftersom värdet av luftinblandning var välkänd sedan ca 25 år. Möjligen var orsaken till att man var tveksam till luft att man var rädd att hållfastheten skulle riskeras. Vissa statliga verk, t.ex. Statens Vattenfallsverk, hade infört lufthaltskrav långt tidigare än 1965.

Lufthaltskravet blev så småningom alltmer skärpt, särskilt i miljö med tösalt eller havsvatten.

År 1994 ställdes för första gången krav på att betong i kloridmiljö skulle frysprovas varvid den s.k. "Boråsmetoden" skulle användas.

5. Krav på lägsta tillåtna cementshalt i betong med trögflytande och lösare konsistens (kg/m³)

Period	Frostmiljö och korrosionsmiljö
1926-1934	<i>min 250 max 400</i>
1934-1949	<i>350</i>
1949-1965	<i>beror på betonghållfasthet, konsistens och ballasttyp 360-380 för K35</i>
1965-1979	<i>beror på betonghållfasthet, konsistens och ballasttyp 355-380 för K35¹⁾</i>
1979-2004	<i>inga krav</i>
2004-	<i>200²⁾</i>

1) Reduktion med max 60 kg/m³ tilläts i utförandeklass I.

2) Ekvivalent cementshalt dvs. mineraliska tillsatser inräknas med sina effektivitetsfaktorer. Värdet är inte direkt relaterat till beständighet utan till krav på tillräcklig täthet.

Kommentarer

Redan 1926 och ända fram till 1979 ställdes krav på att betongen skulle ha en viss cementshalt som översteg ett fastställt värde. Detta krav medförde att vct inte kunde bli hur lågt som helst. Däremot blev naturligtvis verkligt vct beroende av konsistensenivån. Exempel på vilka vct som kunde förväntas ges i rapporten nedan. Exempler visar att vct normalt blir högre än vad som kan förväntas ge god beständighet.

1979 övergavs cementshaltskravet eftersom beständigheten säkrades genom andra regler, främst kravet på ett visst högsta vattencementtal.

6. Krav på lägsta tillåtna tryckhållfasthet hos betong i aggressiv miljö (MPa)

Period	Frostmiljö		Korrosionsmiljö	
	måttligt aggr.	mycket aggr.	måttligt aggr.	mycket aggr.
1926-1934	<i>inget krav</i>			
1934-1949	<i>K35</i>			
1949-1965	<i>K30</i>			
1965-1979	<i>K30</i>	<i>K40</i>	<i>Inget krav</i>	
1979-1988	<i>K30</i>	<i>K40</i>	<i>K25</i>	<i>K40</i>
1988-	<i>inget krav</i>			

Kommentarer

Som nämnts i kommentarer till Tabell 4 ersattes vct-krav ända fram till 1979 med krav på lägsta tryckhållfasthet. Under perioden 1979-1988 fanns både vct-krav och hållfasthetskrav. Det var först 1988 som hållfasthetskravet helt övergavs.

Ända fram till 1988 ansågs måttligt aggressiv korrosionsmiljö vara något mindre skadlig än frostmiljö. Det framgår även av att vct-kravet är mildare, se Tabell 3.

7. Krav på högsta tillåtna kloridhalt i betong (vikt-% av cementet)

Period	I cementet	I betongen	
		Korrosionskänslig arm.	Icke korrosionskänslig arm.
1926-1960	<i>Inget krav</i>	<i>Inget krav</i>	
1960-1965	0,65% Cl ⁻	<i>Inget krav</i>	
1965-1979		1,5% CaCl ₂ dvs. 1% Cl ⁻ ³⁾	
1979-1982		0,5% CaCl ₂ dvs 0,3% Cl ⁻	1,5% CaCl ₂ dvs 1% Cl ⁻ ¹⁾
1982-1988	0,1% Cl ⁻	0,5% CaCl ₂ dvs 0,3% Cl ⁻	1,5% CaCl ₂ dvs 1% Cl ⁻ ¹⁾
1988-1994		0,1% Cl ⁻	1,0% Cl ⁻ ²⁾
1994-2004			0,1% Cl ⁻
2004-			0,2% Cl ⁻

1) Endast 0,5% i måttlig eller mycket armeringskorrosiv miljö.

2) Endast 0,3% i måttlig eller mycket armeringskorrosiv miljö.

3) Begränsningar i klorid för betong med spännarmering.

Kommentarer

Ända fram till 1965 fanns inga som helst krav på högsta halt klorid i betongen. Då infördes kravet max 1,5 % räknat som CaCl₂ (dvs 1% kloridjoner). Detta värde innebar att man kunde använda bräckt vatten till betongtillverkning och kalciumklorid som accelererande tillsatsmedel.

Eftersom det visade sig att korrosionsskador kunde uppstå vid denna kloridhalt sänktes gränsvärdet år 1979 till 0,5% kloridjoner i armeringsaggressiv miljö. Gränsvärdet för högsta kloridhalt har därefter successivt minskat såväl för cement som för betong. I dag gäller värdet 0,1% för cement och 0,2% för vanlig armering i starkt kloridhaltig miljö.

Först år 1979 skiljde man mellan ”korrosionskänslig armering” (spännstål) och ”icke korrosionskänslig armering” (vanligt armeringsstål).

8. Tillåtna cementtyper i tösaltnings- och havsmiljö

Miljöklasser resp. exponeringsklasser B4 resp. XF4; A4 resp. XD3 och XS3

(X innebär att cementtypen är reglerad i norm eller standard)

Period	Portland-cement	Slaggcement		Flygaska-cement	Kalkstens-cement	Aluminat-cement (smält-cement)	”Bland-cement” komposit-cement	Silika-stoft-cement
		Måttlig slagghalt	Hög slagghalt					
1926-1934	X - max 3 % kalksten - max 2,5 % SO ₃	X max 30% slagg	-	-	-	X	-	-
1934-1943			-	-	-	X	-	-
1943-1949			-	-	X ”E-cement”	X	-	-
1949-1960			-	-	X ”E-cement”	X	-	-
1960-1982	X - max 3 % kalksten - max 10 % slagg - max 3,5 % SO ₃	X 25-60% slagg		-	-	-	-	-
1982-1994	X - max 5 % kalksten - max 4 % SO ₃	X max 35% slagg	X max 80% slagg	X max 35% flygaska	-	-	-	-
1994-2004	X CEM I ¹⁾	X CEM II A-S max 20% slagg ²⁾	X CEM III/A max 65% slagg ³⁾	X CEM II A-V max 20% flygaska ⁴⁾	X CEM II A-LL max 20% kalksten ⁵⁾	-	X CEM II A-LS max 20% kalksten + slagg ³⁾	-
2004-		CEM II B-S max 35% slagg ³⁾	CEM III/B max 80% slagg ³⁾	CEM II B-V max 35% flygaska ³⁾			X CEM II A-M max 20% “mineral” ⁶⁾ CEM II B-M max 35% “mineral” ³⁾	X CEM II A-D max 10% silikastoft ⁷⁾

1) Tillåtet i alla miljöer. Sedan ca 1990 har i stort sett bara portlandcement typ LA/SR/BV använts i aggressiva miljöer

2) 1994-2004: Tillåts inte i mycket frostaggressiv miljö (B4) eller extremt armeringsaggr. miljö (A4)

2004-2008: Tillåts inte i mycket betongaggressiv miljö

2008-: Tillåtet i alla miljöer

3) 1994-2004: Tillåts inte

2004-: Cementet utgick i och med 2004 års standard. Det ersattes i princip av CEM II/A-M

4) 1994-2004: Tillåts inte i mycket betongaggressiv och extremt armeringsaggressiv miljö (B4, A4)

2004-: Tillåtet i alla miljöer

5) 1994-2004: Cementet existerade inte i svensk standard

2004-: Tillåtet i alla miljöer

6) 2004-2008: Tillåts inte i mycket betongaggressiv miljö (XF4)

2008-: Tillåtet i alla miljöer

7) Tillåts inte i mycket betongaggressiv miljö

Kommentarer

Ända fram till 1982 användes i princip enbart rent portlandcement i Sverige. Under en 10-årsperiod från slutet av 1970-talet till slutet av 1980-talet producerades även ett flygaskacement (Std M) med ca 23% flygaska och ett slaggcement ("Massivcement") med 65% slagg. Dessa cementtyper fick dock begränsad användning; vardera ca 30 000 ton av totalt ca 2 miljoner ton cement årligen. Cementen var inte helt problemfria. Std M-cementet visade sig ge försämrad frostbeständighet hos betong i miljöer där luftinblandning inte krävdes. Slaggcementet gav omfattande termosprickbildning även i halvmassiva konstruktioner trots att värmeutvecklingen var låg. Saltfrostbeständigheten visade sig vara låg.

Under ett par decennier efter det att 1960 års cementnorm blivit gällande tillverkades även ett slaggcement i Cementas Köpingsfabrik. Det såldes under namnet "Vulkancement" och användes bl.a. till vattenkraftanläggningar i Mellansverige.

Från mitten av 1980-talet blev det s.k. Anläggningscementet (CEM I LA/SR/BV) i stort sett det enda använda cementet när det gäller betong i aggressiv miljö, vilket sammanhänger med att frysprovning infördes som krav. Anläggningscementet visade sig ge betydligt säkrare frostbeständighet än övriga svenska cement vilket möjligen beror på den lägre alkaliteten hos cementet.

I och med att den europeiska cementstandarden godtog i Sverige år 1994 tilläts ett stort antal andra cementtyper. Flertalet av dessa har tillsatser av mineraliska restmaterial av olika maximala mängd och typ. I hårdaste miljöer fanns fram till 2004 restriktioner för användning av andra cement än CEM I. Därefter har, sedan den europeiska betongstandarden infördes år 2004, reglerna gradvis luckrats upp. 2004 tilläts även flygaskacement och kalkstenscement i hårdaste frostmiljön. Efter 2008 tilläts även slaggcement och s.k. kompositcement i denna miljö.

I hård korrosionsmiljö tillåts från och med 2004 fem olika blandcement, dock inget med större halt tillsatsmaterial än 20%.

Den vetenskapliga bakgrunden till att dessa förändringar kunde införas utan risk för låg beständighet har aldrig presenterats av svenska myndigheter. Det har t.ex. aldrig visats hur olika tillsatsmaterial och kombinationer av tillsatsmaterial påverkar sådana egenskaper som tröskelvärde för start av korrosion, inverkan på olika transportegenskaper och s.k. "gelbildande förmåga", dvs förmåga att skapa tät cementgel, etc.

Mest anmärkningsvärt är att man tillåter kalkstenscement CEM II/A-LL med upp till 20% inert kalksten i de hårdaste frost- och korrosionsmiljöerna. Det medför att det verkliga vattencementtalet blir betydligt högre än vad som fås ur cementhalten. Den verkliga effektivitetsfaktorn för kalkstenen måste nämligen antas vara noll, men antas vara 1 när vct räknas fram. Exempel på vad detta har för negativ effekt visas i rapporten nedan för Period 2004-2008.

Ett annat anmärkningsvärt och ologiskt faktum är att när ett visst mineraliskt tillsatsmaterial, t.ex. flygaska, används inmalt i cement är dess effektivitetsfaktor 1. När samma material inblandas i betong, är effektivitetsfaktorn lägre än 1; i fallet flygaska bara 0,4.

9. Tillåten inblandning i betong av mineraliska tillsatsmaterial i tösaltnings- och havsmiljö.

Tillåten effektivitetsfaktor k vid definition av vct inom parentes)

Period	Slagg		Flygaska		Silikastoft
	Som del av bindemedel	Som inert material	Som del av bindemedel	Som inert material	Som del av bindemedel
1926-1988	-	-	-	-	-
1988-1994	-	-	<i>max 35% av cement ($k=0,3$)</i>	<i>regler saknas ($k=0$)</i>	<i>max 10% av cement ($k=1$)</i>
1994-2004	<i>max 100% av cement ($k=0,6$)</i>	<i>regler saknas ($k=0$)</i>			<i>max 5% ($k=1$)</i>
2004-2008	<i>max 26% av cementklinker ($k=0,6$)</i>	<i>regler saknas ($k=0$)</i>	<i>max 26% av cementklinker ($k=0,4$)</i>	<i>regler saknas ($k=0$)</i>	<i>max 11% av cementklinker max 6% i hård frostmiljö ($k=2$)</i>
2008-	<i>max 26% av cementklinker ($k=0,6$)</i>	<i>regler saknas ($k=0$)</i>	<i>max 26% av cementklinker ($k=0,4$)</i>	<i>regler saknas ($k=0$)</i>	<i>max 11% av cementklinker max 6% i hård frostmiljö ($k=2$)</i>
	<i>maximal total tillsats av tillsatsmaterial typII (reaktiv) är 26% av cementklinker</i>				

Kommentarer

Det var först år 1988 som man tillät inblandning av flygaska och silikastoft direkt i betong. År 1994 tilläts även inblandning av mald granulerad masugnsslagg.

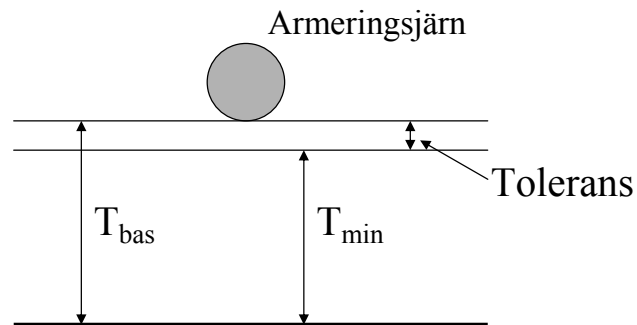
År 2004 började de europeiska betongbestämmelserna gälla. Effektivitetsfaktorerna ökades då för flygaska och silikastoft. Samtidigt innebar standarden att högsta tillåtna mängden av slagg och flygaska minskades något i de mest aggressiva miljöerna. För silikastoft ökades dock maximalt tillåten mängd i de mest aggressiva korrosionsmiljöerna (XD3 och XS3), vilket förefaller något märkligt med tanke på att silikastoft sänker betongens pH-värde och därmed kan förväntas sänka tröskelvärde för start av korrosion.

Ett tillsatsmaterial som klassas som Typ I ("inert", $k=0$) kan i princip tillsättas i stor mängd eftersom inga maxgränser uppställs i reglerna. Detta är olyckligt eftersom t.ex. en flygaska som klassas som Typ I kan ha avsevärd reaktivitet och därmed påverka beständigheten negativt.

10. Täcksikt

I reglerna förekommer två olika definitioner av täcksikt, se figuren:

- Absolut minsta täcksikt som erfordras för att korrosion inte skall starta inom önskad livslängd.
- Minsta basmått vilket är det mått som skall anges på ritning och vilket konstruktören använder vid sin statiska dimensionering. Basmåttet är lika med minimimåttet+den aktuella toleransen vid inläggning av järnen. Normalt antas denna vara 10 mm i olika normer. För fabrikstillverkade element antas toleransen ofta vara 5 mm.



Kommentarer:

- Det är svårt att jämföra täcksikt från olika perioder eftersom det ända fram till 1979 inte åtskildes på minsta mått och basmått. För tiden före 1979 anges bara minsta täcksikt. Om detta avser mått på ritning, dvs basmått, eller verkligt minimivärde som inte får underskridas anges inte. År 1979 infördes en inläggningstolerans på 5 mm vilket innebär att minimimåttet är basmåttet minus 5 mm.
- En annan svårighet för en rättvis jämförelse är att man fram till 1979 inte skiljde på olika miljötyper. Alla ansågs tydligen vara lika aggressiva.

År 1979 infördes 3 miljöklasser för korrosion:

- obetydligt armeringsaggressiv
- måttligt armeringsaggressiv
- mycket armeringsaggressiv

År 1994 infördes ytterligare en miljöklass för att ta hänsyn till inverkan av hög kloridbelastning:

- extremt armeringsaggressiv

År 2004 när den europeiska betongstandarden började gälla infördes inte mindre än 9 nya s.k. exponeringsklasser för korrosion. Samtliga indelades i princip i obetydligt, måttligt och mycket aggressiv:

- 3 klasser för karbonatiseringsmiljön
- 3 klasser för havsmiljön
- 3 klasser för tösaltningsmiljön

- Ytterligare en svårighet för en jämförelse är att man inte förrän år 1994 skiljde på olika önskade livslängder, dvs. tid innan korrosion startar. År 1994 infördes för första gången två livslängdsklasser. Dessa utökades till 3 klasser år 2004.

Tabell 10: Krav på minsta täcksikt i korrosionsmiljö (mm) ¹⁾

Period	Minsta täcksikt	Antagen normal tolerans	Minsta basmått	Max vct ²⁾
1926-1934	20 för platta, valv 30 för balk 40 för pelare ⁴⁾	inte angiven	antagligen samma som minsta täcksikt	ej reglerat men ca 0,55-0,70
1934-1949	30 för platta, valv 40 för pelare ⁴⁾			ej reglerat men ca 0,50-0,65
1949-1968	30 för massiv platta, ram, vägg 40 för pelare, valv ⁴⁾			ej reglerat men ca 0,55-0,65
1968-1979	30 för platta, vägg, 45 för annat ⁴⁾			ej reglerat men ca 0,50-0,60
1979-1994	20 i karb.-miljö 20 i måttligt aggr. kloridmiljö 30 i mycket aggr. kloridmiljö + 10 mm vid spännarmering	5	25 i karb.-miljö 25 i måttligt aggr. kloridmiljö 35 i mycket aggr. kloridmiljö + 10 vid spännarmering	0,60 ³⁾ 0,70 (0,60) ³⁾ 0,50 (0,45) ³⁾
1994-2004	<u>50 års livslängd</u> 15 i karb.-miljö (A2) 20 i mycket aggr. klorid (A3) 35 i extremt aggr. klorid (A4) + 10 vid spännarmering <u>100 års livslängd</u> 25 i karb.-miljö (A2) 35 i mycket aggr. klorid (A3) 55 i extremt aggr. klorid (A4) + 10 vid spännarmering	10	<u>50 års livslängd</u> 25 i karb.-miljö (A2) 30 i mycket aggr. klorid (A3) 45 extremt aggr. klorid (A4) + 10 vid spännarmering <u>100 års livslängd</u> 35 i karb.-miljö (A2) 45 i mycket aggr. klorid (A3) 65 extremt aggr. klorid (A4) + 10 vid spännarmering	0,55 0,45 0,40 0,55 0,45 0,40
2004-	<u>50 års livslängd</u> 20 i karb.-miljö (XC3, XC4) 30 i mycket aggr. tösalt (XD2) 40 i mycket aggr. hav (XS2) 35 i extremt aggr. tösalt (XD3) 35 i extremt aggr. hav (XS3) + 10 vid spännarmering <u>100 års livslängd</u> 25 i karb.-miljö (XC3, XC4) 40 i mycket aggr. tösalt (XD2) 50 i mycket aggr. hav (XS2) 45 i extremt aggr. tösalt (XD3) 45 i extremt aggr. hav (XS3) ⁵⁾ + 10 vid spännarmering	10	<u>50 års livslängd</u> 30 i karb.-miljö (XC3, XC4) 40 i mycket aggr. tösalt (XD2) 50 i mycket aggr. hav (XS2) 45 i extremt aggr. tösalt (XD3) 45 i extremt aggr. hav (XS3) + 10 vid spännarmering <u>100 års livslängd</u> 35 i karb.-miljö (XC3, XC4) 50 i mycket aggr. tösalt (XD2) 60 i mycket aggr. hav (XS2) 55 i extremt aggr. tösalt (XD3) 55 i extremt aggr. hav (XS3) ⁵⁾ + 10 vid spännarmering	0,55 0,45 0,45 0,45 0,40 0,55 0,45 0,45 0,40 0,40

- 1) Värdena gäller platsgjutna konstruktioner. För förtillverkade konstruktioner kan något mindre täcksikt användas från och med 1979.
- 2) För perioden 1926-1979 regleras inte max vct i normerna. Värdena i tabellen baseras på lägsta tillåtna cementhalt i trögflytande betong och rimlig vattenhalt för denna konsistens (ca 180 à 190 l/m³).
- 3) Värden inom parentes gäller perioden 1988-1994.
- 4) Alla värden gäller för konstruktioner i eller närmast över vatten, vilket är den mest aggressiva miljön enligt normen.
- 5) Vid kloridkoncentration >0,4% skall särskild utredning göras

100 års livslängd Minsta täckskikt

Diagram 1: Mest aggressiv karbonatiseringsmiljö (A2), (resp. XC2 och XC3)

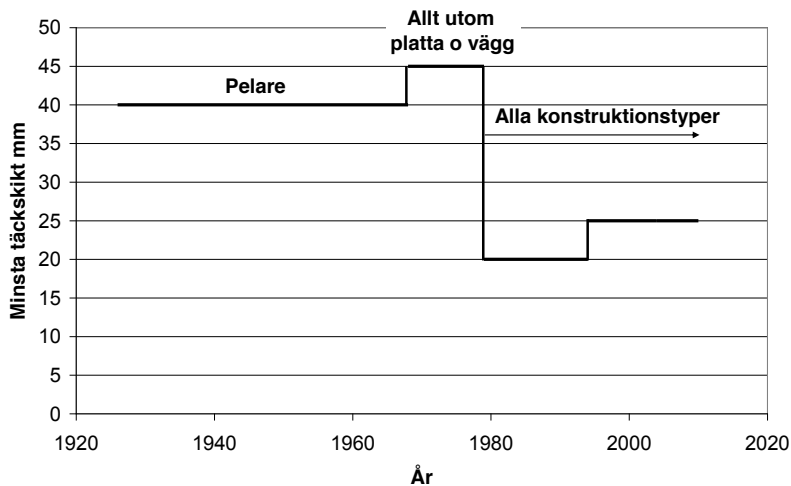


Diagram 2: Mycket aggressiv kloridmiljö (A3), (resp. XD2 och XS2)

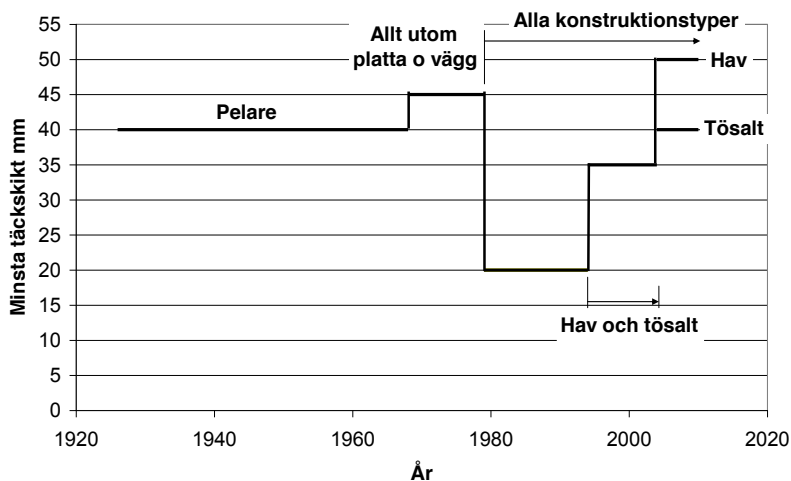
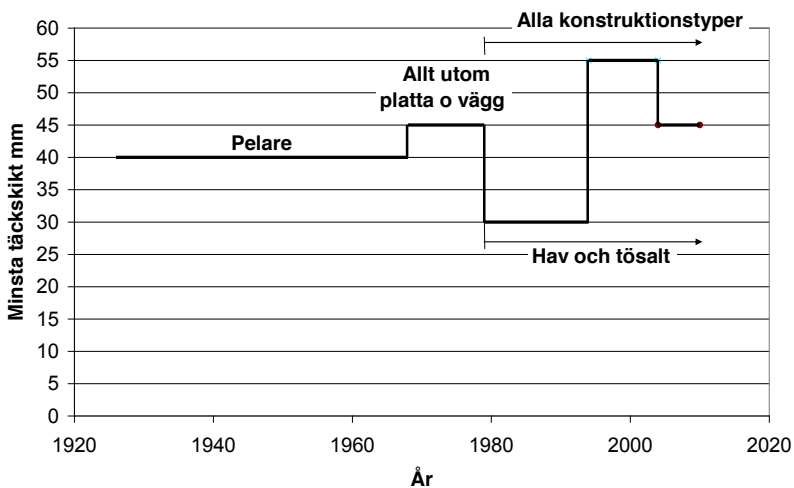


Diagram 3: Extremt aggressiv kloridmiljö (A4), (resp. XD3, XS3 <0,4% klorid)



50 års livslängd Minsta täckskikt

Diagram 4: Mest aggressiv karbonatiseringsmiljö (A2), (resp. XC2 och XC3)

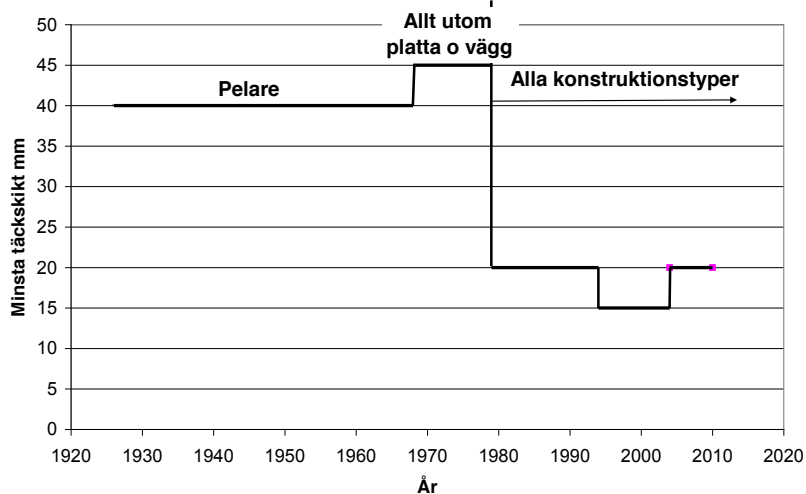


Diagram 5: Mycket aggressiv kloridmiljö (A3), (resp. XD2 och XS2)

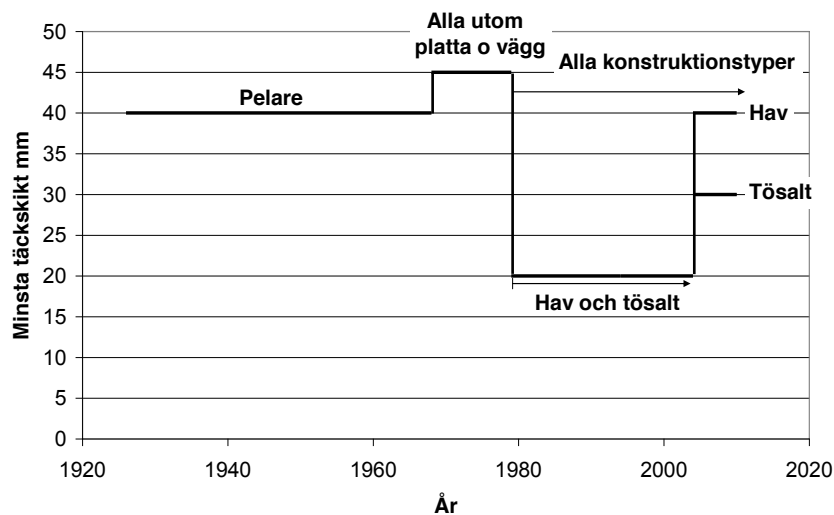
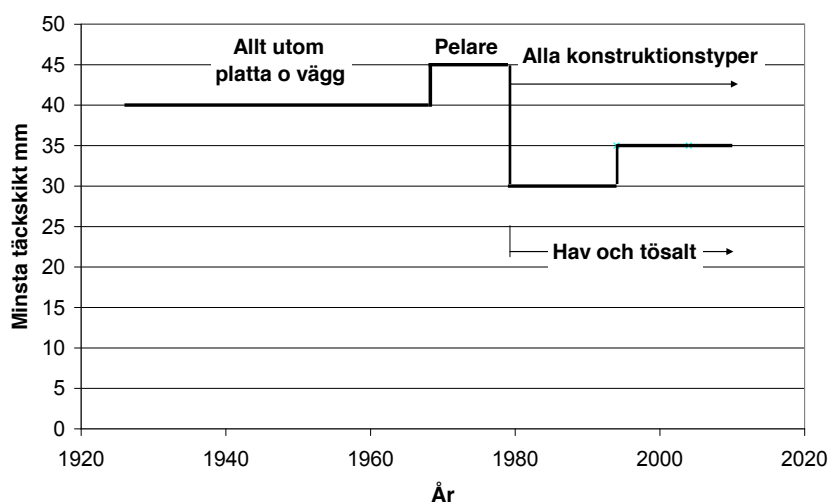


Diagram 6: Extremt aggressiv kloridmiljö (A4), (resp. XD3, XS3 <0,4% klorid)



Kommentarer:

- För tiden fram till 1979 skiljde man inte på frostmiljö och korrosionsmiljö. Däremot hade man olika täckskiktsskrav för olika konstruktionstyper. Begreppet ”livslängd” var ännu inte använt. De täckskikt som anges i tabell 10 och i figurerna ovan för tiden från 1926 till 1979 antas gälla för 100 års livslängd eftersom det förutsätts att man även under denna period önskade att betongkonstruktioner, t.ex. broar, skulle ha denna höga livslängd. Värdena antas också gälla för den mest aggressiva korrosionsmiljön eftersom man även under perioden 1926-1979 byggde i havet.
- Från och med 1979 har täckskiktsskravet varierat på ett rätt märkligt och oregelbundet sätt. Ibland har det varit högre än under perioden 1926-1979. Oftast har det varit lägre. Delvis kan detta bero på att vct-kravet ändrats, men trots detta är variationen anmärkningsvärt stor. Detta gäller i särskilt hög grad för karbonatiseringsmiljö. Variationen kan åskådliggöras med några exempel. Livslängden vid konstant täckskikt antas approximativt vara omvänt proportionell mot vct^1 .

Exempel 1: Karbonatiseringsmiljö, 100 års livslängd.

1968-1979: Täckskikt 45 mm ($vct \approx 0,50$ à $0,60$)

1979-1994: Täckskikt 20 mm ($vct=0,60$)

1994-2004: Täckskikt 25 mm ($vct=0,55$)

2004-: Täckskikt 20 mm ($vct=0,55$)

Teoretiskt innebär detta att livslängden före korrosionsstart förhåller sig till varandra på följande sätt under olika perioder (vct är ungefär detsamma):

$$1979-1994/1968-1979 = 20^2/45^2 \approx 0,2$$

$$1994-2004/1968-1979 = 25^2/45^2 \approx 0,3$$

$$2004-/1968-1979 = 20^2/45^2 \approx 0,2$$

Exempel 2: Mycket aggressiv tösaltningsmiljö, 100 års livslängd.

1968-1979: Täckskikt 45 mm ($vct \approx 0,50$ à $0,60$)

1979-1994: Täckskikt 30 mm ($vct=0,60$ à $0,70$)

1994-2004: Täckskikt 35 mm ($vct=0,45$)

2004-: Täckskikt 40 mm ($vct=0,45$)

Teoretiskt innebär detta att livslängden före korrosionsstart förhåller sig till varandra på följande sätt under olika perioder (viss hänsyn till olika vct):

$$1979-1994/1968-1979 = (30^2/45^2) \cdot (0,55/0,65) \approx 0,4$$

$$1994-2004/1968-1979 = (35^2/45^2) \cdot (0,55/0,45) \approx 0,7$$

$$2004-/1968-1979 = (40^2/45^2) \cdot (0,55/0,45) \approx 1,0$$

Exempel 3: Mycket aggressiv havsmiljö, 100 års livslängd.

1968-1979: Täckskikt 45 mm ($vct \approx 0,50$ à $0,60$)

1979-1994: Täckskikt 30 mm ($vct=0,60$ à $0,70$)

1994-2004: Täckskikt 35 mm ($vct=0,45$)

2004-: Täckskikt 50 mm ($vct=0,45$)

Teoretiskt innebär detta att livslängden före korrosionsstart förhåller sig till varandra på följande sätt under olika perioder (viss hänsyn till olika vct):

$$1979-1994/1968-1979 = (30^2/45^2) \cdot (0,55/0,65) \approx 0,4$$

$$1994-2004/1968-1979 = (35^2/45^2) \cdot (0,55/0,45) \approx 0,7$$

$$2004-/1968-1979 = (50^2/45^2) \cdot (0,55/0,45) \approx 1,5$$

¹) Svenska Betongföreningen: Beständiga betongkonstruktioner. Betongrapport nr 1, Utgåva 2, 1998.

- Variationen i täckskiktsskravet under de senaste decennierna är så stor att en analys av orsaken bör göras. I en sådan analys bör man även ta hänsyn till att vi dag tillåter cement vars inverkan på korrosionsskyddet är obekant, t.ex. kalkfillercementet CEM II/A-LL som kan innehålla upp till 20% inert material utan att täckskiktet påverkas enligt nuvarande regler.

Det är inte osannolikt att vi i dag arbetar med täckskikt som är alltför låga, särskilt när oprövade men godkända cement används och livslängder av storleksordningen 50 till 100 eller 120 år efterstävas.

- Det kan nämnas att följande minsta täckskikt användes vid *Öresundsförbindelsen* som är utsatt både för ”extrem” havsmiljö och tösaltningsmiljö:
 1. Direkt utsatta för havsvatten i plaskzonen och utsatta för tösalt (exponeringsklasser XS3 och XD3):
75 mm+tolerans (vct=0,40)
 2. Utsatta för kloridmiljö genom luftburet salt (6 m över plaskzon resp. körbana) (exponeringsklasser XS2 och XD2):
55 mm +tolerans (vct=0,45)

Dessa värden kan jämföras med den svenska täckskiktsstandardens värden för 100 års livslängd:

1. Exponeringsklass XS3 och XD3:
45 mm+tolerans (vct=0,40)
2. Exponeringsklass XS2 och XD2:
50 mm (XS2) resp. 40 mm (XD2) +tolerans (vct=0,45)

Öresundsförbindelsen har alltså betydligt större täckskikt än vad som föreskrivs i den svenska standarden.

Förhållandet i förväntad livslängd vid krav som gäller för Öresundsförbindelsen och enligt svenska täckskiktsstandard är alltså:

$$\text{XD3: } 75^2/45^2 = 2,8$$

$$\text{XS2: } 55^2/50^2 = 1,2$$

$$\text{XD2: } 55^2/40^2 = 1,9$$

XS3: täckskikten 75 mm resp. 45 mm är inte direkt jämförbara. Kloridhalten i Öresund är nämligen något högre än maximalt värde som förutsätts i täckskiktsstandard; 0,6 à 0,8% jämfört med <0,4% enligt standarden.

Beräkningsmässigt antogs Öresundsförbindelsen få en livslängd av ca 100 år innan korrosion startar. Det innebär att om denna livslängd är riktig skulle den svenska täckskiktsstandard ge en livslängd som är enbart ca 80 år (XS2), resp. ca 50 år (XD2) resp. 35 år (XD3). Det kan emellertid vara så att Öresundsförbindelsen har ”överdimensionerade” täckskikt, dvs. att livslängden är betydligt högre än den önskade 100 år.

11. Största tillåtna sprickvidd

<i>period</i>	<i>största sprickvidd, mm</i>						
	<i>livslängd</i>	<i>måttligt arm-aggr.</i>		<i>mycket arm-aggr.</i>		<i>extremt arm-aggr.</i>	
		<i>spänn-arm.</i>	<i>vanlig arm</i>	<i>spänn-arm</i>	<i>vanlig arm.</i>	<i>spänn-arm</i>	<i>vanlig arm</i>
<i>1926-1979</i>	-	-	-	-	-	-	-
<i>1979-1994</i>	-	<i>0,2</i>	<i>0,4</i>	<i>0,1</i>	<i>0,2</i>	<i>0,1</i>	<i>0,2</i>
<i>1994-2004</i>	<i>50</i>	<i>0,3</i>	<i>0,4</i>	<i>0,2</i>	<i>0,3</i>	<i>0,1</i>	<i>0,2</i>
	<i>100</i>	<i>0,2</i>	<i>0,3</i>	<i>0,1</i>	<i>0,2</i>	<i>0,05</i>	<i>0,1</i>
<i>2004-</i>	<i>20</i>	<i>0,45</i>	-	<i>0,3</i>	<i>0,4</i>	<i>0,2</i>	<i>0,3</i>
	<i>50</i>	<i>0,4</i>	<i>0,45</i>	<i>0,2</i>	<i>0,3</i>	<i>0,15</i>	<i>0,2</i>
	<i>100</i>	<i>0,3</i>	<i>0,4</i>	<i>0,1</i>	<i>0,2</i>	<i>0,1</i>	<i>0,15</i>

Kommentarer

Ända fram till 1979 ställdes inga myndighetskrav på maximal sprickvidd. Därefter har kravet på den maximalt tillåtna sprickvidden varierat tämligen kraftigt, vilket återspeglar att kunskapen om sambandet mellan sprickvidd och korrosionskänslighet till stor del fortfarande är osäker.

PERIODEN 1926-1934

Gällande norm är:

**NORMALBESTÄMMELSER FÖR LEVERANS OCH PROVNING AV
CEMENT (CEMENTBESTÄMMELSER)**

Samt för

**BYGGNADSVERK AV BETONG OCH ARMERAD BETONG
(BETONGBESTÄMMELSER)**

Fastställd år 1926

Inledning

Reglerna innehåller :

- Regler för cement
- Regler för delmaterial och betongmassa
- Konstruktionsregler.

Reglerna omfattar enbart 44 sidor vilket medför att varje område behandlas tämligen kortfattat, i synnerhet konstruktionsreglerna.

1. Krav på cement

1.1 Cementbestämmelserna

Normerade cement är:

- **Portlandcement** med högst 3% ”andra, för särskilda ändamål gjorda tillsatser”. Normalt avser detta troligen inmalad kalksten. Max mängd SO_3 (normalt från gips), 2,5 %.
- **Slaggportlandcement**. Citat: ”Ett hydrauliskt bindemedel bestående av en intim blandning av portlandcement och finmalen masugnsslagg, vilken senare får ingå till högst 30 viktprocent av hela massan”. Det ställs specifika krav på slaggkvalitet.

Portlandcement uppdelas i 3 klasser med avseende på tryckhållfasthet:

- Klass B: Lägsta 28 dygns hållfasthet, 250 kg/cm^2 (25 MPa)
- Klass A: 400
- Special: 550

Portlandcementets hållfasthet skall uppfylla de krav som visas i tabellen nedan. Provning görs på cementbrukskuber (cement:sand=1:3) med 5 cm kantlängd.

Benämning	Tryckhållfasthet kg/cm^2 efter			
	2 dygn	7 dygn	28 dygn	
	vattenhärdning	vattenhärdning	vattenhärdning	vatten- & lufthärdning
klass B	-	140	200	250
klass A	-	250	350	400
special	225	350	450	550

1 kg/cm^2 =0,1 MPa.

Dessutom tillåts en del andra cementtyper under vissa betingelser, citat:

”Andra högvärdiga cement eller cementliknande bindemedel såsom s.k. smältcement, aluminatcement eller dylikt må användas i enlighet med betongbestämmelserna”.

Kommentar:

- Man visste inte att aluminatcement var kemiskt instabilt i fuktig miljö.
- Hållfasthetskravet för typ ”special” motsvara i stort sett kravet för moderna portlandcement av typ CEM I 42,5 (”Standardcement”).

1.2 Cement enligt betongbestämmelserna

I princip gäller betongbestämmelserna enbart de normerade cementtyperna portlandcement och slaggportlandcement. Man öppnar dock även för andra cement vilket visas av följande citat:

"Cementliknande bindemedel må användas i stället för portlandcement eller slaggportlandcement under förutsättning att de blivit fabriksmässigt tillverkade och i avseende på sina egenskaper undersökta och befunna lämpliga för betongtillverkning samt att de i övrigt i tillämpliga delar uppfylla ovannämnda normalbestämmelser (cementbestämmelserna) och för varje enskilt användningsfall av vederbörande myndighet eller beställare godkänts".

2. Krav på blandningsvatten

Citat:

"Vatten till betongberedning skall för ögat vara rent och klart, vara fritt från olja samt sådana salter och organiska ämnen, som inverka menligt på beständigheten eller hållfastheten hos betong."

Kommentar:

- Havsvatten förbjuds inte explicit.

3. Krav på ballast

Krav på ballast är omfattande och kloka. Av alla krav citeras följande:

"Stenmaterial till betongberedning skall hava bildats av väderbeständig bergart antingen i naturen eller genom krossning med konst."

Allt stenmaterial skall vara fritt från sådana föroreningar som kunna inverka menligt på betongens beständighet¹.

Lera må förekomma i för ögat synlig obetydlig mängd, fint och jämn fördelad i massan såvida genom särskild undersökning ådagaläggs att stenmaterialet dock giver betong med tillfredsställande hållfasthetsegenskaper."

"1) Vid vattenbyggnader är det av särskild vikt att betongsanden är fri från organiska föroreningar varför sanden alltid för dylika byggnader bör undersökas i detta avseende."

"Singel, makadam och sparsten skola härstamma från sådan beständig bergart vars tryckhållfasthet är minst 15 ggr så stor som den för ifrågavarande betong vid vanligt belastningsfall tillåtna påkänningen för centriskt tryck. Om stenmjöl förekommer i form av täckande skikt på stenarnas ytor skall stenen vid behov tvättas genom vattenspolning."

4. Krav på betongsammansättning av armerad betong

4.1 Allmänna krav

Citat:

*"Betongblandningen skall som regel vara av **våt** konsistens. Endast där tillförlitlig kringgjutning av järnen ej kan ernås vid denna konsistensform må **blöt** betongblandning användas, varvid dock skall nogga tillses att cement och vatten ej kunna bortrinna ur formarna."*

Sandvolymen i armerad betong bör icke vara större än 3 ggr cementvolymen. Cementhalten i armerad betong skall som regel vara lägst 230 kg och högst 400 kg per m³ betong. Där järnen kunna utsättas för rostning får cementhalten i betongen omkring

järnen dock icke vara lägre än 250 kg/m^3 . Betongen skall vara så tät som möjligt så att järnen bliva väl omslutna samt skyddade för rostbildning."

Konsistensklasserna våt och blöt definieras på följande sätt, citat:

"Våt konsistens erhålles i regeln då vattenhalten utgör 15 à 20% av cementets och sandens sammanlagda vikt och avser en massa som är plastisk, dvs. under vidhäftning i handen låter forma sig till en boll varvid något vatten utpressas".

"Blöt konsistens erhålles i regeln då vattenhalten utgör 20 à 25 % av cementets och sandens sammanlagda vikt och avser en trögflytande massa. Den låter ej forma sig till en boll i handen utan flyter ut."

"Vattenmängden må betecknas genom angivande antingen av den konsistensform som avses hos den tillredda betongblandningen, eller av vattenhalten, dvs. den viktprocent som vattnet skall utgöra av sammanlagd cement- och sandvikt i torrt tillstånd."

Kommentarer:

- Vibreringstekniken var inte känd vilket förklarar att man måste ställa krav på en betongkonsistens som gör att betongen går att packa manuellt.
- Konsistensmätare var inte använda (sättkonen var dock känd sedan 1918). Därför beskrivs konsistensklasser på ett mera "handfast" sätt.
- Inget krav ställs på högsta vct. Man kan på grundval av kraven på konsistens beräkna inom vilket område vct ungefär kommer att hamna:

Alt 1: Högsta cementhalt. Sandvol=3 ggr cementvol. Vattenhalt 15% av cement+sand:

$C=400 \text{ kg (130 liter)}$. Sand $1030 \text{ kg (390 liter)}$. Vatten $0.15 \cdot (400+1030)=214 \text{ liter}$.
 $vct=214/400=0,54$

Alt 2: Lägsta cementhalt. Sandvol=3 ggr cementvol. Vattenhalt 20% av cement +sand.

$C=250 \text{ kg (80liter)}$. Sand $640 \text{ kg (240 liter)}$. Vatten $0.20(250+640)=178 \text{ liter}$.
 $vct=178/250=0,71$

Vattencementtalen är så höga att sannolikheten är hög att man får låg beständighet där betongen utsätts för hård miljö.

- Inga krav ställs på maximal kloridhalt i betong.

5. Krav på frostbeständighet

Inga krav på frostbeständighet (luft eller frysprovning) ställs. Inverkan av luftinblandning var inte känd 1926.

6. Krav på täckskikt och maximal sprickvidd

Citat:

"Det armeringsjärn täckande betongskiktet, vari puts ej får inräknas, skall vara minst lika med järnets diameter, dock icke mindre än 1 cm vid plattor och valv, 2 cm vid balkar och 3 cm vid pelare.

Vid konstruktioner i fria luften och vid konstruktioner utsatta för stark växling av värme och kyla, för starka fuktighetsväxlingar, för rökgaser o.d. ävensom vid alla vattenbyggnader ökas dessa mått till resp. 2, 3, 4 cm".

Det finns inga krav på maximal sprickvidd.

Kommentar:

- Det är inte helt klart om kravet gäller det som i dag kallas "basmått", dvs det mått som skall stå på ritning och som konstruktören använder, eller om det är minimimått. Troligen avses basmåttet vilket alltså i princip innehåller inläggningstoleransen. Det innebär att minimimåttet är minsta basmåttet minus inläggningstoleransen. Hur stor denna var 1926 är omöjligt att veta. I dag används ofta värdet 10 mm. Om detta var fallet även 1926 skulle alltså minimivärdena vara 1, 2 och 3 cm i utomhusmiljö.

Uppenbarligen var man inte medveten om skillnaden mellan basmått och minimimått, dvs värdena 2, 3 och 4 cm kan mycket väl vara minimimåttet.

- Man skiljde inte på olika miljötyper, dvs korrosion i havsvatten betraktades på samma sätt som korrosion orsakad av karbonatisering.

PERIODEN 1934-1949

Gällande normer är:¹

STATLIGA CEMENT- OCH BETONGBESTÄMMELSER AV ÅR 1934

STATLIGA CEMENTBESTÄMMELSER AV ÅR 1943

¹) Byggnadsstyrelsen utfärdade egna regler för sina husbyggnader, se BILAGA

Inledning

Cementreglerna har reviderats så att fler cementtyper regleras, bl. a. aluminatcement.

1943 tillåts även s.k. E-cement som innehåller viss mängd mer eller mindre inert tillsatsmaterial.

Regler för minsta cementhalt hos betong i olika miljötyper införs. Därmed kan man förvänta sig att en viss minsta beständighetsnivå uppnås.

Täckskiktet kopplas bättre till yttre miljö än i 1926 års regler.

1. Krav på cement

1.1 Cementbestämmelser

1.1.1 Tiden 1934-1943

I huvudsak samma regler gäller som i 1926 års bestämmelser, dvs. tillåtna cement är:

- **Portlandcement** klasser B, A och Special med högst 3 viktprocent tillsatser (t.ex. kalkmjöl) och max 2,5% SO₃.
Hållfasthetskravet är något höjt i förhållande till 1926 års normer. Kraven visas i tabellen nedan. Värden med fet text är kravvärden.

Sort och klass	Tryckhållfasthet kg/cm ² efter				
	1 dygn	2 dygn	7 dygn	28 dygn	
	under fuktiga dukar	vattenhärdn.	vattenhärdn.	vattenhärdn.	vatten-& lufthärdn.
Klass B	-	-	140	200	250
Klass A	-	-	275	375	425
Special	-	250	375	450	550
Aluminatcem. Smältcement	450	-	-	550	650

1 kg/cm²=0,1 MPa.

- **Slaggportlandcement** med högst 30 viktprocent slagg av total cementmängd.
- **Aluminatcement.** Detta definieras nu i normen på följande sätt, citat:

”Aluminatcement är ett hydrauliskt bindemedel innehållande huvudsakligen kalk och lerjord samt dessutom i allmänhet kiselsyra, järnoxider (FeO, Fe₂O₃) och titansyra (TiO₂). Aluminatcement skiljer sig från andra cementsorter bl.a. genom sin jämförelsevis låga kiselsyre- och kalkhalt och sin höga lerjordshalt (vanligen minst 35%).

Sintrat aluminatcement är framställt genom bränning till sintring av en finpulveriserad blandning av råämnena, samt finmalning.

Smältcement är ett aluminatcement framställt genom sammansmältning av råämnena (vanligen ungefär lika viktdelar kasksten och bauxit) samt finmalning.”

1.1.2 Tiden 1943-1949

1934 års cementbestämmelser reviderades år 1943. Följande nyheter infördes:

A. Portlandcementet indelas i 3 typer:

- Snabbt hårdnande portlandcement
- Standardportlandcement (motsvarar det tidigare portlandcement klass A)
- Långsamt hårdnande portlandcement

Hållfasthetskraven för de tre portlandcementen ges i tabellen nedan där värden med fet stil är kravvärden.

Cementtyp	Tryckhållfasthet i kg/cm ² efter antal dygn:			
	3	7	28	90
Snabbt	325	400	500	-
Standard	-	250	400	-
Långsamt	-	150	275	400

$$1 \text{ kg/cm}^2 = 0,1 \text{ MPa}$$

För långsamt hårdnande cement infördes även krav på maximal värmeutveckling mätt med adiabatisk kalorimeter.

B. Ersättningscement, E-cement, införs.

Citat:

"På grund av knapphet på kol inom landet har den svenska cementindustrin sedan våren 1941 fört i marknaden ersättningscement, s.k. E-cement som för sin tillverkning kräver mindre bränsle än portlandcement."

"Ersättningscement framställes genom sammanmalning av portlandcement eller portlandcementklinker med ett eller flera tillsatsmaterial.....De för framställning av ersättningscement använda tillsatsmaterialen få icke innehålla sådana beståndsdelar som kunna inverka skadligt på betong, tillverkad med ersättningscement."

Tryckhållfasthetskrav på E-cement ges i tabellen nedan. Motsvarande krav på det tidigare portlandcement klass B ges också.

Cement	Tryckhållfasthet i kg/cm ² efter	
	7 dygn	28 dygn
E-cement	150	250
B-cement	140	250

Kommentarer:

- E-cementet motsvarar hållfasthetsmässigt portlandcement klass B.
- E-cementet innehöll troligen inmalt kalkstensmjöl. Mängden inmalt material reglerades inte utan den avgjordes troligen av kravet på hållfasthet. Sannolikt kunde ganska stora mängder av t.ex. kalkstensmjöl malas in utan att hållfastheten blev för låg.

I övrigt fortsatte Cementbestämmelser från 1934 att gälla, dvs. slaggportlandcement och olika typer av aluminatcement var fortfarande tillåtna.

1.2 Cement enligt betongbestämmelserna

I princip gäller betongbestämmelserna enbart alla normerade cementtyper, dvs. portlandcement och slaggportlandcement. Man öppnar dock även för användning av andra cement, t.ex. E-cement, citat:

"Cementliknande bindemedel samt portlandcement med tillsatser utöver i cementbestämmelserna medgivna 3% må användas i stället för normenligt cement under förutsättning,

- att de blivit fabriksmässigt tillverkade.*
- att de blivit undersökta med avseende på sina egenskaper och därvid befunna lämpliga för betongtillverkning,*
- att de i övrigt i tillämpliga delar uppfylla cementbestämmelserna samt att de för varje särskilt användningsfall godkänts av beställaren och av vederbörande myndighet."*

För vattenbyggnader ställs dessutom kravet på icke normerade cement att det

"genom särskilda undersökningar påvisats att den med ifrågavarande bindemedel tillverkade betongen besitter åtminstone samma motståndsförmåga mot utlösning som betong med normenligt cement."

Kommentarer:

- Reglerna innebär att även E-cement med höga fillerhalter kunde användas på samma sätt som portlandcement under förutsättning att de *"blivit undersökta och befunnits vara lämpliga"*.
- Även *"lämpliga"* aluminatcement kunde användas, liksom var fallet i 1926 års normer. Man visste den gången inte att aluminatcement av typ *"smältcement"* är kemiskt instabilt i fuktig miljö, vilket ledde till att flera konstruktioner byggda med aluminatcement skadades allvarligt, t.ex. *"Sportpalatset"* i Stockholm som invigdes 1934..

2. Krav på blandningsvatten

Citat:

"Vatten till betong skall vara fritt från olja samt sådana salter, syror och ämnen som kunna menligt inverka på cementets bindning eller beständighet. I naturen förekommande vatten är i regeln användbart till betong såvida det icke är i väsentlig grad förorenat av slam, växtdelar el. dyl. Havsvatten får icke användas vid betongtillverkning med aluminatcement (smältcement)."

3. Krav på ballast

Kraven på ballast (betongsand, stenmaterial, betonggrus, sparsten) är tämligen omfattande. Stora krav ställs på provning av ballast. Följande provningar skall göras:

- *Förekomst av organiska föroreningar*
- *Förmåga att bilda hållfast betong*
- *Förmåga att bilda vattentät betong*
- *Halt av lera och slam*
- *Petrografisk sammansättning*
- *Beständighet*
- *Tryckhållfasthet*

4. Krav på betongsammansättning

Samma regler gäller oberoende av cementtyp.

4.1 Beskrivning av betongmassan

Citat:

"En betongblandning betecknas genom angivande av cementmängd i kg per m^3 färdig betong och erforderlig tryckhållfasthet i kg/cm^2 efter 28 dygn, t.ex. Btg 300, $\sigma_{B,28}=260$, betecknande en betongblandning med 300 kg cement och en tryckhållfasthet av åtminstone $260 kg/cm^2$ efter 28 dygn".

*"Dessutom **må** vattenmängden angivas antingen genom högsta tillåtna vattenhalt uttryckt i liter vatten per kg cement (vattencementtal=vct) eller genom den konsistensform.... som avses hos den beredda betongmassan (plastisk=pl, trögflytande=tf). Betongblandningen betecknas då exempelvis sålunda: Btg 300 pl $\sigma_{B28}=260$. Vid angivande av vattenhalten skall sandens och stenmaterialets egna fuktighet vara inberäknad".*

4.2 Konsistens

Citat:

"För här (i betongbestämmelserna) avsedda byggnadsverk förekomma som regel hos betongmassan konsistensformerna plastisk och trögflytande.

Plastisk konsistens avser en massa som under vidhäftning låter forma sig i handen till en boll. (Denna konsistens erhålles vanligen med omkring 175 liter vatten per m^3 betongmassa.

Trögflytande konsistens avser en massa som utan att materialen skilja sig åt av sin egen tyngd kan långsamt flyta fram i en ränna av plåt vars tvärsektion är en halvcirkel med 30 cm diameter och som lutar 1:2,5. (Denna konsistens erhålles vanligen med omkring 195 liter vatten per m^3 betongmassa)

Kommentar:

- Man har för första gången infört en enkel konsistensmätning. Ännu har inte sättmättet standardiserats trots att det varit känt i mer än 25 år.

4.3 Krav på betongsammansättning med hänsyn till miljö

Citat:

”Den minsta cementhalt, som med hänsyn till täthet och beständighet i vanliga fall skall användas till olika konstruktioner anges i tabell 2:

(OBS: Kraven i tabellen gäller konstruktioner tillverkade med portlandcement Klass A.)

Tabell 2

Betongkonstruktion	Cementmängd i kg/m ³	
	Armerade konstruktioner och tunna oarmerade konstruktioner	Grova oarmerade konstruktioner
a) utsatta för ensidigt vattentryck b) i beröring med vatten och utsatt för ofta växlande frysning och upptining (i vattenlinjen vid dammar, bropelare, etc.)	350 (35MPa)	350
c) helt eller delvis belägen i fria luften men ej utsatt för ensidigt vattentryck d) helt under vatten, där frysning ej kan förekomma	300	200
e) inomhus eller på annat sätt skyddad f) under marken på frostfritt ej utsatt för aggressivt grundvatten	250	150

Kommentarer:

- Inget krav ställs på högsta tillåtna vct. Genom att krav ställs på lägsta cementhalt sker dock en viss begränsning av vct uppåt; se nästa paragraf.
- Inga krav ställs på total kloridhalt i betongen.

4.4 Exempel på lämpliga betongsammansättningar för olika hållfasthets- och konsistensklasser

Normen ger en tabell över betongsammansättningar vid olika cementhalter (vid användning av A-cement). Tabellen är uppenbarligen inte normerande utan skall främst användas för beräkning av materialåtgång.

I normen angivna värden för cementhalter 350, 300, 250, 200 och 150 kg/m³ visas i nedanstående tabell 1.

Tabell 1 (utdrag)

Materialåtgång i kg per m ³ betong		Plastisk konsistens	Trögflytande konsistens
Cement	Sand och sten	Liter vatten per kg cement (vct)	Liter vatten per kg cement (vct)
350	1840	0,50	0,56
300	1880	0,58	0,65
250	1920	0,70	0,78
200	1960	0,87	0,98
150	2000	1,17	1,30

Kommentarer:

- Som synes anger tabellen helt olika vct för olika konsistensklasser. Detta visar att tabellvärden för vct inte är kopplade till miljöpåfrestningen utan till vattenbehovet.
- För den mest utsatta betongkonstruktionen (a, b) skall minsta cementhalt vara 350 kg/m³. Detta kan alltså enligt tabellen innebära att vct normalt kan variera mellan ca 0,50 och ca 0,56 beroende på vilken konsistens betongen har. Kvaliteten hos betongen blir därför osäker och inte särskilt hög.
För vanlig utemiljö (c) är minsta cementhalt 300 kg/m³. vct kan alltså enligt tabellen variera mellan 0,58 och 0,65.

5. Krav på frostbeständighet

Bestämmelserna ger inget krav på lufthalt eller frysprovning. Den positiva inverkan av luftinblandning var inte känd år 1934.

6. Krav på täckskikt

Citat:

”Tjockleken av armeringsjärn täckande betongskikt, vari puts ej får inräknas, skall vid alla slag av byggnadsverk vara minst lika med järnets diameter och får ej understiga i tabell 3 angivna minimivärden”.

Tabell 3

Byggnadsverk	Minsta tjocklek i mm av armeringsjärn täckande betongskikt för		
	plattor	balkar, bågar och valv	pelare
Vanliga bostads- och kontorshus	10	20	30
Husbyggnader där god brandsäkerhet fordras Utomhuskonstruktioner (konstruktioner belägna helt eller delvis i fria luften) Konstruktioner utsatta för starka växlingar av värme och kyla, för starka fuktighetsväxlingar, för rökgaser o.d.	15	30	40
Husbyggnader eller andrabyggnadsverk där större mängder av brännbara ämnen finnas hopade eller särskilt hög grad av brandsäkerhet önskas	25	40	50
Byggnader eller byggnadsdelar i eller närmast över vatten	30	30	40

Kommentarer:

- Det är inte helt klart om kravet gäller det som i dag kallas ”basmått”, dvs det mått som skall stå på ritning och som konstruktören använder, eller om det är minimimått. Möjligen avses minsta basmåttet vilket alltså i princip innehåller inläggningstoleransen. Det innebär att minimimåttet är minsta basmåttet minus inläggningstoleransen. Hur stor denna var 1934 är omöjligt att veta. I dag används ofta värdet 10 mm. Om detta var fallet även 1934 skulle alltså minimivärdena vara 2 resp 3 cm i utomhusmiljö.
Värdena 3 och 4 cm kan emellertid mycket väl vara minimimåttet.
- Man skiljde inte på olika miljötyper, dvs korrosion i havsvatten betraktades på samma sätt som korrosion orsakad av karbonatisering.

BILAGA

**ALLMÄNNA BESTÄMMELSER ANGÅENDE
MATERIALIER OCH ARBETE VID KUNGL. BYGGNADSSTYRELSENS
HUSBYGGNADSARBETEN
Fastställd av Kungl. Byggnadsstyrelsen år 1937**

Inledning

Byggnadsstyrelsen utfärdade egna betongregler som gällde för husbyggen inom styrelsens område. Reglerna gällde åtminstone tom 1948 då nionde oförändrade upplagan publicerades.

1. Krav på betongsammansättning

1.1 Krav på cement

Citat:

"Cement skall uppfylla de i gällande statliga cementbestämmelser angivna fordringar för portlandcement klass A.

Därest särskilda förhållanden så påfordra, särskilt i de fall där belastningen av betongkonstruktionen måste ske tidigare än 28 dygn efter gjutningen, skall, alltefter förhållandena användas special- eller aluminatcement."

1.2 Allmänna krav på betongsammansättning

Citat:

"I tabellen här nedan angivna minimifordringar å betongens tryckhållfasthet vid olika blandningsförhållanden skola under alla förhållanden uppfyllas.

Om genom ändrad proportionering av materialen eller användande av bättre cementsort föreskriven hållfasthet skulle erhållas vid mindre cementmängd än den i tabellen uppgivna tillåts dock ej minskning av cementmängden såvida icke särskild överenskommelse härom förut träffats.

Vattentillsatsen skall, inberäknat råmaterialens (sand, grus, sten) fuktighetshalt, som regel ej understiga 175 eller överstiga 200 liter per kbm betong, motsvarande plastisk konsistens hos betongblandningen. I övrigt rättas vattentillsatsen efter arbetssättet samt konstruktionens beskaffenhet och utformning, så att den minsta vattentillsatsen används vid oarmerade konstruktioner med stora dimensioner och den största vid starkt armerade konstruktioner".

"Betongen i oarmerade konstruktioner skall hava en blandning motsvarande 1:5:7 och i armerade konstruktioner 1:3:3 där icke annorlunda bestämmes."

Betongblandning i volymdelar	Materialåtgång per kbm betong			Minsta tryckhållfasthet i kg/cm ² efter	
	cement kg	sand kbm	makadam kbm	7 dygn	28 dygn
1:5:7	155	0,55	0,77	50 (5 MPa)	85 (8,5)
1:3:3	275	0,58	0,58	95 (9,5)	150 (15)

Kommentar:

- Det finns inget cementhaltskrav kopplat till miljöpåfrestning och inget vct-krav. Om man antar att en normal vattenhalt i plastisk betong är ca 180 liter per m³, blir vct i armerad betong max $180/275=0,65$. Detta ger knappast en betong med tillräckligt hög kvalitet i utomhusmiljö.

2. Krav på frostbeständighet

Inga krav ställs på lufthalt eller frysprovning.

3. Krav på täckskikt

Citat:

"Fria avståndet mellan järnen och formens innersidor skall vara minst lika med järnens diameter, dock ej mindre än 1 cm vid plattor och valv, 2 cm vid balkar och 3 cm vid pelare. Vid konstruktioner utomhus ävensom sådana som är utsatta för fuktighet, rökgaser o.d. ökas dessa mått till resp. 1,5, 3 och 4 cm."

Det finns inga krav på maximal sprickvidd.

Kommentar:

- Ingen hänsyn tas till toleranser.

PERIODEN 1949-1965

Gällande normer är:

STATLIGA BETONGBESTÄMMELSER
Del 1. Materialdelen
Fastställd år 1949

STATLIGA CEMENTBESTÄMMELSER 1934

STATLIGA CEMENTBESTÄMMELSER B1, 1960

Inledning

Rätt omfattande förändringar i regler som rör beständighet sker:

1. Under perioden 1949-1960 är det tillåtet att använda E-cement. Särskilda begränsande regler ställs på betong med E-cement.
2. Efter 1960 gäller de nya cementbestämmelserna B1 vilket innebär att aluminatcement och E-cement inte längre är tillåtna. De nya reglerna diskuteras och motiveras i skriften *"KB1. Kommentarer till 1960 års cementbestämmelser"*.
3. Cementbestämmelserna B1 ställer krav på högsta tillåtna kloridhalt.
4. Begreppet "standardkvalitet" införs för betong.
5. Krav ställs på minsta cementhalt i olika miljötyper. Krav på högsta vct ställs dock inte.
6. Provning av frostbeständighet införs som en möjlighet.

Täckskiktskraven är oförändrade

1. Krav på cement

1.1 Cementbestämmelser

1.1.1 Tiden 1949-1960

Samma cementtyper som enligt 1934 års regler tillåts, dvs:

- Portlandcement av tre typer beroende på snabbhet (LH, Std, SH). Max tillsats 3%, max SO₃ 2,5%.
- Slaggportlandcement med max 30% slagg
- Ersättningscement, E-cement
- Aluminatcement

1.1.2 Tiden 1960-1982

I cementbestämmelserna från 1960 (B1) tillkom följande förändringar i förhållande till tidigare cementbestämmelser:

- **Portlandcement:** Maximalt 10% masugnsslagg fick malas in (utöver de generellt godtagna 3% tillsatserna). Max SO₃ ökades från 2,5% till 3,5%. Hållfasthetskraven ändrades; högre krav vid tidig ålder och lägre vid "normtiden", 7, 28 resp. 90 dygn. Värden med fet stil är normvärden.

<i>Cementtyp</i>	<i>Tryckhållfasthet i kg/cm² efter antal dygn:</i>				
	<i>1</i>	<i>3</i>	<i>7</i>	<i>28</i>	<i>90</i>
<i>Snabbt</i>	<i>160</i>	<i>340</i>	<i>420</i>		
<i>Standard</i>		<i>160</i>	<i>260</i>	<i>420</i>	
<i>Långsamt</i>			<i>160</i>	<i>290</i>	<i>420</i>
<i>Slaggcement</i>			<i>230</i>	<i>420</i>	

1 kg/cm²=0,1 MPa

- **E-cement** med stora inmalda mängder filler är inte längre reglerat i bestämmelserna
- **Slaggcement:** Tillåten slagghalt ändrades från maximalt 30% till området 25% - 60%. Masugnsslagg definieras av *"en genom snabbkylning erhållen granulerad produkt av smält basisk slagg från järnframställning."* Kravvärden på hållfasthet anges i tabellen ovan
- **Aluminatcement** godtas inte, citat:
"Aluminatcement (t.ex. smältcement) har ej medtagits i dessa bestämmelser på grund av de dåliga erfarenheter som framkommit vid dess användning för byggnadsändamål."
- **Värmeutvecklingen** för långsamt hårdnande portlandcement får bestämmas med lösningsvärmemetod.

- För första gången införs krav på **maximal kloridhalt** i cement räknad som vattenfri CaCl_2 . Maxvärdet är 1,0 viktprocent (motsvarar max Cl-halt 0,65 vikt-%.)

1.2 Cement enligt betongbestämmelserna

Samtliga cement som regleras i Cementbestämmelserna är tillåtna. För betong med E-cement (aktuellt perioden 1949-1960) gäller dock särskilda regler, se avsnitt 5 nedan.

Dessutom tillåts även andra "icke-normenliga bindemedel" förutsatt att de uppfyller följande krav, citat:

- *"att de blivit fabriksmässigt tillverkade"*
- *"att de i tillämpliga delar uppfyller samtliga fordringar enligt gällande cementbestämmelser"*
- *"att de även i övrigt blivit undersökta med avseende på sina egenskaper och därvid befunnits lämpliga,*
- *"att de för varje särskilt användningsfall godkänts av vederbörande myndighet"*

2. Krav på blandningsvatten

Citat:

"Vatten till betong skall vara fritt från sådana föroreningar som kunna menligt inverka på cementets bindning eller på betongens hållfasthet eller beständighet.

I naturen förekommande vatten, även havsvatten, är i regel användbart till betong, såvida det icke är i väsentlig grad förorenat".

3. Krav på ballast

Citat:

"Sand och sten till betongberedning skall bestå av beständigt bergartsmaterial och får ej innehålla mineral eller andra ämnen som kunna inverka menligt på cementets bindning eller på betongens hållfasthet och beständighet."

Följande krav på provning ställs:

- *Förekomst av organiska föroreningar (humus)*
- *Halt av lera och slam*
- *Kornfördelning*
- *Petrografisk sammansättning*¹⁾

¹⁾ *Bergartsmaterial som kunna inverka menligt på betongens beständighet särskilt i konstruktioner utsatta för vatten och frost äro t.ex. skiffriga eller delvis förvittrade och lösa bergarter, vissa sulfidhaltiga malmmineral, t.ex. magnetkis, en del basiska bergarter och lösa karbonatstenar.*

S.k. ersättningsmaterial godkänns under förutsättning av att det "genom provningar påvisats att därmed framställd betong blir fullgod för sitt ändamål". Ersättningsmaterial kan vara "masugnsslagg, lerklinker, tegelskärvar o.dyl."

4. Krav på betongsammansättning

Reglerna är betydligt mer detaljerade än i de tidigare bestämmelserna. Enbart regler som har betydelse för beständigheten återges nedan.

Betong med E-cement följer egna regler, se avsnitt 5. nedan..

4.1 Standardkvaliteter

För första gången införs begreppet ”Standardkvalitet” vilken karakteriseras av kubhållfastheten, citat:

”Följande kvaliteter av portlandcementbetong äro standardiserade, K400, K350, K300, K250, K200, K150 samt K75.”

”De sex första kvaliteterna gälla såväl armerad som oarmerad betong, medan den sjunde, K75, gäller endast oarmerad betong.”

4.2 Minimifordringar beträffande betongkvaliteten

Konstruktioner indelas i 4 ”konstruktionsgrupper” med avseende på miljö. För varje konstruktionsgrupp specificeras ett lägsta hållfasthetskrav. Dessa anges i normens Tabell 4:7.

**Tabell 4:7 Minimifordringar beträffande betongkvaliteten
(betong med standardportlandcement)**

Konstruktionsgrupp	Belägenhet och art	Lägsta tillåtna betongkvalitet (minimikvalitet)	
		Armerade och tunna oarmerade konstruktioner	Grova oarmerade konstruktioner
a 1)	1. Utsatt för ensidigt vattentryck 2. I broar, kajdäck, oisolerade tak och balkonger, etc. 3. I beröring med vatten och utsatt för ofta växlande frysning och upptining 4. Utsatt för aggressivt vatten	K300 (30 MPa)	K300
b 1)	1. Oskyddad, helt eller delvis i fria luften (husbyggnader, silor, e.d.)	K250	K200
c	1. Mer än 25 cm under marklinjen 2. Inomhus i fuktiga lokaler	K200	K75
d	1. Inomhus i torra lokaler 2. I putsade eller på annat sätt skyddade konstruktioner helt eller delvis i fria luften	K150	K75

1) Med tunna konstruktioner avses här sådana med tjockleken mindre än 25 cm.

Kommentarer:

- Hållfasthetskravet har sänkts något i förhållande till 1934 års normer, vilket förefaller märkligt.
- Tabellen gäller troligen för alla tre typer av portlandcement och inte bara Std P, men detta är inte helt klart.

4.3 Betongklasser och minsta cementhalter

I 1949 års normer införs för första gången begreppet betongklass. Betong indelas i 3 klasser; Klass I, Klass II och Klass III.

Klass I betong måste proportioneras genom förprovning. Cementhalten får inte understiga värden enligt tabellen nedan för betong med **sten 8-32 mm**.

Utdrag ur Tabell 4:81 och 4:83

Minsta cementmängd kg/m³		
Betongkvalitet	Lätt- till trögflytande konsistens	Plastisk till medelstyv konsistens
Singelbetong		
K350	360	330
K300	320	290
K250	280	260
K200	250	230
K150	220	200
K75	170	150
Makadambetong		
K350	380	350
K300	340	310
K250	300	270
K200	270	240
K150	230	210
K75	180	160

Klass II- och Klass III-betong får proportioneras enligt fastställda tabeller.

Kommentar:

- Det finns alltså inga krav på högsta vct. Detta kommer alltså att bli beroende av hur mycket vatten man behöver tillsätta för att få en gjutbar betong.
- Med minsta cementhalt och minsta hållfasthet blir vct tämligen högt, vilket visas med följande exempel:

Exempel: Konstruktionsgrupp a (svåraste miljön)

Makadambetong. Min K300. Lättflytande. Således, minsta cementhalt 340 kg/m³. Antag vattenbehov mellan 180 och 190 liter/m³.

$$vct_{\min} = 180/340 = 0,53. \quad vct_{\max} = 190/340 = 0,56.$$

Vid singelbetong minskar cementhaltskravet till 320 kg och samtidigt kan man anta att vattenhalten minskar till 170 à 180 liter. Dessa värden ger samma vct som för makadambetong: $vct_{\min} = 170/320 = 0,53$. $vct_{\max} = 180/320 = 0,56$.

Exempel: Konstruktionsgrupp b (Normal utomhusmiljö)

Makadambetong. Min K250. Lättflytande. Således, minsta cementhalt 300 kg/m³. Antag vattenbehov mellan 180 och 190 liter/m³.

$$vct_{\min} = 180/300 = 0,60. \quad vct_{\max} = 190/300 = 0,63.$$

Vid singelbetong minskar cementhaltskravet till 280 kg och samtidigt kan man anta att vattenhalten minskar till 170 à 180 liter. Dessa värden ger nästan samma vct som för makadambetong: $vct_{\min} = 170/280 = 0,61$. $vct_{\max} = 180/280 = 0,64$.

Högsta vct blir alltså för båda exemplen ungefär detsamma som enligt 1934 års normer.

5. Särskilda regler för betong med E-cement (fram till 1960)

Användning av E-cement regleras i ”Särskilda bestämmelser”.

5.1 Standardkvaliteter för betong med E-cement

Citat:

”Följande kvaliteter av E-cementbetong äro standardiserade:

K250, K200, K150 och K75. De tre första kvaliteterna gälla såväl armerad som oarmerad betong, medan den fjärde K75 gäller endast oarmerad betong.”

5.2 Minimifordringar beträffande betongkvaliteten hos betong med E-cement

Citat:

”Vid proportionering med ledning av förprovning får cementhalten för singelbetong och makadambetong icke understiga de i tabell (nedan) för ifrågavarande minimikvalitet vid plastisk till medelstyv konsistens angivna cementhalterna.”

<i>Minsta cementmängd kg/m³</i>		
<i>Betongkvalitet</i>	<i>Lätt- till trögflytande konsistens</i>	<i>Plastisk till medelstyv konsistens</i>
<i>Singelbetong</i>		
<i>K250</i>	<i>340</i>	<i>310</i>
<i>K200</i>	<i>290</i>	<i>270</i>
<i>K150</i>	<i>240</i>	<i>220</i>
<i>K75</i>	<i>180</i>	<i>160</i>
<i>Makadambetong</i>		
<i>K250</i>	<i>370</i>	<i>330</i>
<i>K200</i>	<i>310</i>	<i>280</i>
<i>K150</i>	<i>260</i>	<i>240</i>
<i>K75</i>	<i>190</i>	<i>170</i>

Kommentarer:

- För att kompensera för den negativa effekten av fillerinblandning i E-cement krävs ökat cementinnehåll, vilket ger minskat vct.

Exempel:

Makadambetong. K250. Lättflytande. Antag vattenbehov 180 liter/m³.

A-cement: minsta cementhalt 300 kg/m³. vct=180/300=0,60

E-cement: minsta cementhalt 370 kg/m³. vct=180/370=0,49

Detta står i stark kontrast till bestämmelser gällande från och med 2004.

6. Krav på frostbeständighet

För första gången ställs krav på frostbeständighet, citat:

” I sådana fall där betongen föreskrivs skola vara frostbeständig och där tveksamhet råder om ballastmaterialets lämplighet, bör frostbeständighetsprovning utföras som förprovning varvid, om icke annorlunda särskilt föreskrives av vederbörande myndighet, Statens provningsanstalts arbetsförfarande tillämpas.”

Särskilda krav ställs på betong med E-cement, citat:

”Betong i konstruktion utsatt för växlande frysning och upptining i eller för aggressivt vatten bör icke tillverkas med E-cement, såvida icke säker kännedom föreligger om beständigheten hos betong tillverkad med det cement och den ballast som skall användas”

7. Krav på täckskikt

Citat:

”Tjockleken av betongskikt som skall täcka armering varvid puts ej får inräknas skall hava det minst i tabell 8:2 för respektive slag av konstruktion (byggnadsdel) angivna minimivärdet. Dessutom skall täckskiktets tjocklek vid alla slag av konstruktioner vara för släta stänger minst lika med stångdiametern och för kamstänger minst 1,5 ggr diametern i höjdled och 2 ggr diametern i sidled.

För konstruktionsdelar i byggnadsverk för vilka särskilda fordringar beträffande brandsäkerheten äro uppställda och för byggnadsdelar som utsätts för kemiska angrepp bestämmes erforderlig tjocklek av det täckande betongskiktet med hänsyn härtill”.

Tabell 8:2. Minsta tjocklek av täckande betongskikt

Konstruktion (byggnadsdel)	Minsta tjocklek i mm vid huvudarmering i		
	massiva plattor	balkar ramar väggar	bågar pelare valv
<i>Inomhus i bostads- och kontorshus</i>	10	20	30
<i>Helt eller delvis i fria luften, eller under marken, samt byggnadsdelar utsatta för starka temperatur- och fuktighetsväxlingar, rökgaser, etc. ¹⁾</i>	20	30	40
<i>I eller närmast över vatten ¹⁾</i>	30	30	40

1) Vid gjutning direkt mot mark bör täckskiktet ökas till 50-100 mm alltefter markens jämnhet och beskaffenhet.

Det finns inga krav på maximal sprickvidd.

Kommentar:

- Inga särskilda krav ställs för betong med E-cement.
- Det är inte helt klart om kravet gäller det som i dag kallas ”basmått”, dvs det mått som skall stå på ritning och som konstruktören använder, eller om det är minimimått. Troligen avses minsta basmåttet vilket alltså i princip innehåller inläggnings-toleransen. Det innebär att minimimåttet är minsta basmåttet minus inläggnings-toleransen. Hur stor denna var 1949 är omöjligt att veta. I dag används ofta värdet 10 mm. Om detta var fallet även 1949 skulle alltså minimivärdena vara 2 resp 3 cm i utomhusmiljö. Uppenbarligen var man inte medveten om skillnaden mellan basmått och minimimått, dvs. värdena 3 och 4 cm kan mycket väl vara minimimåttet.

- Man skiljde inte på olika miljötyper, dvs. korrosion i havsvatten betraktades på samma sätt som korrosion orsakad av karbonatisering.

PERIODEN 1965 - 1979

Gällande normer är

B5
BESTÄMMELSER FÖR BETONGKONSTRUKTIONER
MATERIAL OCH UTFÖRANDE
BETONG
Fastställd år 1965
Reviderad år 1973
Reviderad år 1978 (Utgåva 2)

B6
BESTÄMMELSER FÖR BETONGKONSTRUKTIONER
MATERIAL OCH UTFÖRANDE
ARMERING
Fastställd år 1968

B1
STATLIGA CEMENTBESTÄMMELSER
Fastställd år 1960

Inledning

Nya betongbestämmelser B5 gäller. De är en omfattande förändring i förhållande till bestämmelserna från 1949. Många nya regler för kontroll och provning införs, krav på härdning införs, etc. Alla regler diskuteras och motiveras i skriften *"KB5. Kommentarer till 1965 års material- och utförandebestämmelser för betong"*. Täcksiktreglerna är oförändrade och desamma som 1934. Viktiga ändringar i B5 jämfört med perioden före är:

1. Havsvatten anses vara användbart för betongtillverkning förutsatt att kloridhalten i betongen inte överstiger ett visst gränsvärde. Det innebär att normalt bräckt vatten kan användas.
2. För första gången ställs krav på viss minsta lufthalt i frostmiljö.
3. Nya konsistensklasser kopplade till provningsmetoder införs.
4. Absoluta minimicementhalter för betong med olika hållfasthetsklasser införs.
5. Hänvisning sker till frysprovningssmetod vilken dock inte behöver tillämpas.

B5 reviderades 1978. En viktig ändring är att lägsta tillåtna cementhalt sänktes. Lufthaltskravet ändrades.

1. Krav på cement

1.1 Cementbestämmelserna

Samma bestämmelser gäller som under perioden 1960-1965 (B1), dvs. reglerade cement är:

- Portlandcement av tre typer med maximalt 3% tillsatser, max 3,5% SO₃ och maximalt 10% masugnsslagg.
- Slaggcement med slagghalt mellan 25 och 60%.

Kloridhalten räknad som vattenfri CaCl₂ får uppgå till högst 1.0 vikt-% (motsvarar Cl⁻ - halt 0,65%).

1.2 Cement enligt betongbestämmelserna

Betongnormen gäller för cement reglerade av cementbestämmelserna.

Icke normerade cement kan användas under vissa förutsättningar, citat:

"Annat cement må efter godkännande av vederbörande statlig myndighet använda si stället för normenligt cement under förutsättning

- att det blivit fabriksmässigt tillverkat*
- att det i tillämpliga delar uppfyller i statliga cementbestämmelser angivna fordringar*
- att det även i övrigt blivit undersökt med avseende på sina egenskaper och därvid befunnits lämpligt"*

2. Krav på blandningsvatten

Citat:

"Havsvatten är i regel användbart för betongtillverkning. Dock skall tillses att den totala kloridhalten i betongen beräknad som vattenfri kalciumklorid icke överstiger 1,5% av cementets vikt. Havsvatten får ej användas vid beredning av betong, cementbruk eller cementpasta som kan komma i kontakt med spännstålet i spännbetongkonstruktioner."

3. Krav på ballast

Ännu mer detaljerade krav än under tidigare bestämmelser.

S.k. ”ersättningsmaterial” godtas under vissa betingelser, citat:

”Ersättningsmaterial såsom lättballast, masugnsslagg eller ovanligt tunga bergartsmaterial får efter medgivande av vederbörande statliga myndighet användas i stället för fingrus och sten om provningar visat att därmed tillverkad betong blir fullgod för sitt ändamål.”

4. Krav på betongsammansättning (gäller fram till 1978) (Regler efter 1978 ges i BILAGA)

4.1 Krav på betongsammansättning med avseende på miljö

Minimifordringarna i olika miljö ges i följande tabell.

Tabell3:32: Minimifordringar på betongkvalitet:

Konstr. grupp	Miljö	Hållfasthetsklass	Vattentäthet	Lufthalt. %
a	Mycket fuktigt Hög salthalt Frysning/upptining	K400	Fordras	4,5
b	Mycket fuktigt Ringa salt Frysning/upptining	K300	Fordras	3,5
c	Ensidigt vattentryck Måttlig frysning/upptining	K300	Fordras	-
d	Måttlig frysning/upptining Kortvarigt vattentryck	K250	-	-
e	Fuktig miljö Ej frysning/upptining Ej vattentryck	K200	-	-
f	Ringa påverkan av yttre miljö	K150	-	-

Kommentarer:

- Inget krav på högsta vct (se paragraf 4.3 nedan)
- Krav på lufthalt införs
- Krav på vattentäthet införs

4.2 Kloridhalt

Tillsats av kloridbaserade tillsatsmedel godtas i vissa fall, citat:

” Tillsatsmedel innehållande klorider (i regel acceleratorer) får med hänsyn till korrosionsrisken för ingjutet stål ej tillsättas i så stor mängd att halten klorid beräknad som vattenfri kalciumklorid överstiger 1,5 % av cementets vikt. Härvid skall eventuell kloridhalt i blandningsvatten och ballast inräknas. Sådana tillsatsmedel får ej utan vederbörande myndighets tillstånd användas för betong i konstruktionsgrupperna a-c samt för övrigt där korrosionsfara bedömes vara särskilt stor. I betong, cementbruk eller cementpasta som kan komma i kontakt med spännstålet i spännbetongkonstruktioner får kloridhaltigt tillsatsmedel, kloridhaltigt cement eller havsvatten ej användas”.

4.3 Proportionering - minsta cementhalt

För första gången införs regler och standardiserade metoder för konsistensmätning. Betong indelas i följande konsistensnivåer:

- Jordfuktig, J
- Mycket styv, SS
- Medelstyv, S
- Plastisk, P
- Trögflytande, T
- Lättflytande, L

Betong klass I måste proportioneras genom förprovning.

Betong klass II får proportioneras med tabell.

Tabell över lägsta tillåtna cementhalt för betong med 32 mm maximal stenstorlek återges nedan.

Tabell 3:42 B. Singel eller makadam 8-32 mm.

Hållfasthetsklass	Minsta cementhalt kg/m ³			
	Lättflytande	Trögflytande	Plastisk	Medelstyv
K350	380	355	335	310
K300	340	320	300	280
K250	300	280	265	245
K200	265	245	230	215
K150	225	210	195	180

Kommentarer:

- Ingen tabell eller minicementhalt ges för K400 vilket kan tolkas som att sådan betong alltid är klass I. Cementhalten i K400 kan antas vara densamma som för K350.
- Ett mått på högsta vct kan fås genom att anta ett vattenbehov av 180 liter för trögflytande betong, 170 liter för plastisk betong och 190 liter för lättflytande betong. För K350 ("frostmiljö") fås då för utförandeklass I:
 - Lättflytande: $v_{ct_{max}} = 190/380 = 0,50$
 - Trögflytande: $v_{ct_{max}} = 180/355 = 0,51$
 - Plastisk: $v_{ct_{max}} = 170/335 = 0,51$

Dvs. vct blir ungefär detsamma för alla konsistensnivåer. Värdet 0,50 är inte orimligt högt förutom för betong i den allra mest aggressiva korrosionsmiljön.

Cementhalterna i tabell 3:42B är de **lägsta accepterade**. Dessa värden får dock under vissa betingelser underskridas, citat:

"Undantag må göras i utförandeklasser I och II om förprovning eller fortlöpande provning visar att lägre cementhalt ger fullgott resultat. I dessa fall får de i tabeller för ifrågavarande konsistens och maximala stenstorlek angivna cementhalterna sänkas med högst de belopp som angivits i tabell 3:44. Den så erhållna minimicementhalten gäller även för lufttillsatt betong."

Tabell 3:44. Högsta tillåtna reduktion av cementhalt i kg/m³.

Hållfasthetsklass	K150	K200	K250	K300	K350
Utförandeklass I	20	30	40	50	60
Utförandeklass II	10	15	20	25	30

Kommentar:

Om minicementhalterna utnyttjas ökar maximalt v_{ct} . Samma exempel som ovan studeras.

- Lättflytande: $v_{ct_{max}} = 190 / (380 - 60) = 0,59$
- Trögflytande: $v_{ct_{max}} = 180 / (355 - 60) = 0,61$
- Plastisk: $v_{ct_{max}} = 170 / (335 - 60) = 0,61$

Värdet är för högt för flertalet betongkonstruktioner i normal utomhusmiljö.

5. Krav på frostbeständighet

För första gången införs krav på luftinblandning i färsk betong.

En metod för bestämning av hårdnad betongs frostbeständighet beskrivs. Den påminner om den amerikanska metoden snabb frysning och upptining i vatten. Frysskador indikeras genom mätning av dynamisk E-modul.

Det ges emellertid inget krav på att frysprovning av aktuell betong, skall genomföras, citat:

”Frostbeständighet karakteriseras genom krav på lufthalt och hållfasthet.”

Frysprovningssmetoden används främst för godkännande av olika luftporbildande medel.

6. Krav på täckskikt

6.1 Perioden 1965-1968

1949 års betongbestämmelser gäller, dvs. Tabell 8:2 därifrån gäller.

Tabell 8:2. Minsta tjocklek av täckande betongskikt

Konstruktion (byggnadsdel)	Minsta tjocklek i mm vid huvudarmering i		
	massiva plattor	balkar ramar väggar	bågar pelare valv
<i>Inomhus i bostads- och kontorshus</i>	10	20	30
<i>Helt eller delvis i fria luften, eller under marken, samt byggnadsdelar utsatta för starka temperatur- och fuktighetsväxlingar, rökgaser, etc. ¹⁾</i>	20	30	40
<i>I eller närmast över vatten ¹⁾</i>	30	30	40

1) Vid gjutning direkt mot mark bör täckskiktet ökas till 50-100 mm alltefter markens jämnhet och beskaffenhet.

Det finns inga krav på maximal sprickvidd.

6.2 Perioden 1968-1979

Konstruktionsbestämmelserna B6 gäller, citat:

”Tjocklek av täckande betongskikt skall anges på ritning.

Tjockleken av täckande betongskikt varvid puts ej får inräknas skall med hänsyn till korrosionsrisken ha minst de i tabell 8:43A för respektive slag av konstruktion (byggnadsdel) angivna värdena.

Tabell 8:43A

Minsta täckskikt av täckande betongskikt med hänsyn till korrosionsrisken

<i>Konstruktion (byggnadsdel) belägen</i>	<i>Minsta tjocklek mm</i>	
	<i>vid all armering i betongplattor och väggar, byglar, fördelningsarmering, montagestänger</i>	<i>vid huvudarmering i andra konstruktionsdelar än plattor och väggar</i>
<i>Inomhus i bostads-eller kontorshus</i>	<i>15</i>	<i>20</i>
<i>Helt eller delvis i fria luften eller under marken eller utsatt för fuktighets- växlingar, rökgaser, etc.</i>	<i>20</i>	<i>30</i>
<i>Närmast över eller under fri vattenyta</i>	<i>30</i>	<i>45</i>

Vid gjutning direkt mot mark skall minimivärdet på täckskiktet ökas till 50-100 mm alltefter markens beskaffenhet.

Det täckande betongskiktet räknas från stängernas yttre delar, t.ex. kammarnas toppar vid kamstänger.

Täckande betongskiktet får lokalt vara högst Δt mm mindre än vad som angivits på ritning. Oberoende av tvärsektionens dimensioner och armering sätt $\Delta t=5$.

Det finns inga krav på maximal sprickvidd.

Kommentarer:

- Det är inte helt klart om kravet gäller det som i dag kallas ”basmått”, dvs det mått som skall stå på ritning och som konstruktören använder, eller om det är minimimått. Troligen avses minsta basmåttet vilket alltså i princip innehåller inläggningstoleransen. Det innebär att minimimåttet är minsta basmåttet minus inläggningstoleransen. Om man antar att denna är 10 mm skulle alltså minimivärdena minskas med 10 mm.

Inte så sent som 1968 var man medveten om skillnaden mellan basmått och minimimått, dvs. tabellvärdena 8:2 kan mycket väl vara minimimåttet.

År 1968 skedde en skärpning av täckskiktet med 5 mm. Dessutom tilläts en avvikelse nedåt från angivet mått med 5 mm. Detta kan möjligen tolkas som att tabellvärdena 8:43A är basvärden, medan minimivärdena är 5 mm lägre.

- Man skiljde inte på olika miljötyper, dvs korrosion i havsvatten betraktades på samma sätt som korrosion orsakad av karbonatisering.

BILAGA

Krav på betongsammansättning 1978-1979

År 1978 utkom en Utgåva 2 av B5. Många kompletteringar och ändringar infördes. Bara några få berör beständighet. De viktigaste av dessa ändringar anges nedan,

B1 Krav på betongsammansättning med avseende på miljö

Tabellen 3:32, som visas ovan, över minimifordringar i olika konstruktionsgrupper kompletteras med regler för pålar och krav på betongklass.

Lufthaltskravet nyanseras med avseende på maximal stenstorlek enligt följande tabell.

Tabell 3:32 B

Minimifordringar på lufthalt uppmätt på byggnadsplatsen, för konstruktionsgrupp a och b vid olika maximal stenstorlek.

Maximal stenstorlek, mm	Lufthalt, %	
	Konstruktionsgrupp	
	a	b
32	4,5	3,5
22	5,0	4,0
16	5,0	4,0
12	5,5	4,5
8	6,0	5,0

”Sten större än 32 mm avlägsnas före provning. Betongmassans lufthalt avpassas vid tillverkningen så att angivna fordringar uppfylls på byggnadsplatsen. Härvid beaktas förekommande variationer i lufthalt vid tillverkningen och förlust i lufthalt i samband med transport.”

B2 Minsta cementhalt

Cementhalter som ges i tabell 3:42B, som återges ovan, är i princip de lägsta tillåtna. Viss reduktion av dessa cementhalter godtas dock. Reduktionen är något större än vad som framgår av Tabell 3:44 ovan.

Tabell 4:44

Högsta tillåtna reduktion av cementhalt i kg/m^3 betong.

Hållfasthetsklass	K150	K200	K250	K300	K350- -K600
Konstruktionsgrupp och tillverkningsklass					
a. Fabriksbetong i Klass I	45	55	65	50 ¹⁾ 75	60 ¹⁾ 85
b. Element i Klass I med särskilt godkännande	45	55	65	50 ¹⁾ 75	60 ¹⁾ 85
c. Element i Klass I	20	30	40	50	60
d. Platstillverkad betong i Klass I	20	30	40	50	60
e. Fabriksbetong i Klass II	10	15	20	25	30
f. Platstillverkad betong i Klass II	10	15	20	25	30

¹⁾ Gäller betong avsedda för konstruktioner med krav på vattentäthet.

PERIODEN 1979 - 1988

Gällande normer är

BBK 79
BESTÄMMELSER FÖR BETONGKONSTRUKTIONER
Band 2. Material. Utförande. Kontroll
Fastställd år 1979

BBK 79
BESTÄMMELSER FÖR BETONGKONSTRUKTIONER
Band 1. Konstruktion
Fastställd år 1979

B1
STATLIGA CEMENTBESTÄMMELSER
Fastställd år 1960

B1
STATLIGA CEMENTBESTÄMMELSER
Utgåva 2
Fastställd år 1982

Inledning

Betongbestämmelserna B5 Utgåva 2 ersattes med de nya bestämmelserna BBK 79. Viktiga ändringar är:

1. 6 miljöklasser införs.
2. Krav på högsta vct införs för de fyra mest aggressiva miljöklasserna.
3. Möjligheten att använda havsvatten till betongtillverkning utesluts genom att krav ställs på högsta tillåtna kloridhalt i betongen.
4. Lufthaltskravet skärps.
5. Täcksiktsskravet kopplas till miljöklassen.

År 1982 reviderades cementbestämmelserna genom att Utgåva 2 av B1 började gälla. Följande ändringar av B1 från 1960 infördes:

1. Två nya cementtyper infördes; modifierat portlandcement och blandcement.
2. Hållfasthetskraven på cement justeras något.
3. Kromatreducering införs med syfte att minska kromallergi hos betongarbetare.

De nya reglerna medförde att två nya cementtyper började produceras i Sverige: flygaskacement (Std M) och slaggcement med 65% slagghalt ("Massivcement").

1. Krav på cement

1.1 Cementbestämmelserna

1.1.1 Tiden 1979-1982

Samma regler gäller som under perioden 1965-1979, dvs. Cementbestämmelserna B1 gäller.

1.1.2 Tiden 1982-1988

År 1982 ändrades cementbestämmelserna B1 genom att Utgåva 2 gavs ut. Flera viktiga ändringar genomförs.

Tre olika cementtyper införs beroende på halten av portlandklinker:

- **Portlandcement (P).** Högsta halt SO_3 härrörande från tillsatt gips ökar från max 3,5% till 4,0 vikt-% (motsvarar högst 6 vikt-% gips). Högsta halt "*oorganiska korrektionsmaterial*" (normalt kalkstensmjöl) ökas från 3,0 till 5,0 vikt-%. Dessutom godtas 1 vikt-% "*andra särskilda tillsatser, såsom medel som motverkar kromallergi*" (normalt järnsulfat). Lägsta tillåtna halt portlandklinker är alltså 88 vikt-%.
- **Modifierat portlandcement (M)** innehållande "*en begränsad andel hydrauliska och puzzolanska tillsatsmaterial. Andelen portlandklinker får inte vara lägre än 65 viktprocent.*"
Liksom i typ P tillåts inblandning av 5+1 vikt-% filler (kalkstensmjöl+järnsulfat).
- **Blandcement (B)** innehållande "*en väsentlig andel hydrauliska och puzzolanska tillsatsmaterial. Andelen portlandklinker får inte vara lägre än 20 viktprocent och inte överstiga 65 viktprocent.*"
Liksom i typ P tillåts inblandning av 5+1 vikt-% filler (kalkstensmjöl+järnsulfat)

Begreppet hydrauliska och puzzolanska tillsatsmaterial definieras på följande sätt, citat:

”Hydrauliska och puzzolanska tillsatsmaterial innehåller liksom portlandklinkern i huvudsak CaO , SiO_2 , Al_2O_3 och Fe_2O_3 och bidrar liksom denna till cementets hårdnande. Glödförlusten för sådana material får inte överstiga 5 viktprocent och andelen $\text{CaO}+\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$ får inte vara lägre än 70 viktprocent (räknat på glödgat prov). Tillsatsmaterial skall ha sådana egenskaper att de inte har menlig inverkan på betongens beständighet eller medför hygieniska olägenheter”

De tre cementklasserna snabbt hårdnande (SH), standard (Std) och långsamt hårdnande (LH) bibehålls. Hållfasthetskraven ändras enligt följande tabell (värden i **fetstil** är kravvärden. Övriga värden är riktvärden)

Cementklass	Tryckhållfasthet (MPa) efter antal dygn				
	1	3	7	28	91
SH	16	34	42		
Std		16	26	42	
LH			16	29	42

Maximal kloridhalt räknad som Cl^- sänks från 0,65 enligt B1 1960 till 0,1 viktprocent.

Kommentarer:

- Hållfasthetskrav på cement medför att *enbart reaktiv flygaska från stenkolsförbränning* och *granulerad masugnsslagg* kan komma ifråga i cementtyp M och *enbart masugnsslagg* i cementtyp B.
- Inga specifika krav ställs på tillsatsmaterialet, t.ex. på dess sammansättning, dess fysikaliska egenskaper (t.ex. finhet och glashalt) eller reaktivitet. Därför är i princip cementtillverkaren fri att välja material.
- Mineraliska tillsatsmaterial får endas blandas in i cement. Tillsättning direkt till betongmassa är inte tillåten.
- Tidigare tillåten inblandning av 10% masugnsslagg i portlandcement är borttagen och ersatt med cementtyp M.
- De nya cementbestämmelserna medförde att två nya cementtyper introducerades i Sverige:
 - Ett modifierat portlandcement (M) med 23% flygaska. Cementet producerades i den nedlagda cementfabriken i Köping och salufördes under namnet Std M.
 - Ett blandcement (B) innehållande 65% masugnsslagg. Slaggen kom ursprungligen från Domnarvets stålverk och sedan från Oxelösunds järnverk. Cementet salufördes under namnet ”Massivcemet”. Det ersatte det tidigare i Limhamn producerade portland LH.

1.2 Cement enligt betongbestämmelserna

Citat,

”Cement skall uppfylla kraven i gällande statliga cementbestämmelser eller vara godkänt av vederbörande statliga myndighet.”

2. Krav på blandningsvatten

Havsvatten utesluts som blandningsvatten p.g.a. att det inte uppfyller gränsvärdet för klorid i vatten, se nedan.

3. Krav på ballast

Inga detaljerade krav, citat,

”Ballast skall tillverkas, levereras och förvaras så att dess renhet säkerställs, samt vid behov uppdelas i fraktioner så att betongmassan kan ges jämn sammansättning.”

4. Krav på betongsammansättning

En kraftig omarbetning av tidigare bestämmelser B5 Utgåva 2 genomförs. Enbart regler som direkt rör beständighet tas upp nedan.

4.1 Krav på betongsammansättning med avseende på miljö

Miljön indelas i 3 olika miljöklasser med avseende på betongaggressivitet och 3 olika miljöklasser med avseende på armeringskorrosion. Olika krav ställs i olika miljöklasser.

Miljö	Betongkvalitet				Tillverknings- och utförandeklass
	Hållfasthetsklass	Vattentäthet	Förhöjd lufthalt	Högsta vct	
Mycket betongaggressiv	K40	Fordras	Fordras	0,50	I
Måttligt betongaggressiv	K30	Fordras	Fordras	0,60	I
Obetydligt betongaggressiv	K16	-	-	-	I, II, III
Mycket armeringsaggressiv	K40	Fordras	-	0,50	I
Måttligt armeringsaggressiv	K25	-	-	0,70	I, II
Obetydligt armeringsaggressiv	K16	-	-	-	I, II, III

4.2 Kloridhalt

Krav på maximal kloridhalt i betongen införs, citat:

”Delmaterials kloridhalt skall begränsas så att betongmassans totala kloridhalt omräknad till mängd vattenfri kalciumklorid i % av cementets vikt inte överstiger nedanstående värden:

- 0,5% vid betong med korrosionskänslig armering eller i måttlig eller mycket armeringsaggressiv miljö (avsiktlig kloridtillsats godtas inte i dessa fall)
- 1,5% vid betong med föga korrosionsbenägen armering och i obetydligt armeringsaggressiv miljö (för avsiktlig kloridtillsats godtas endast kalciumklorid).”

Dessutom ställs krav på maximal kloridhalt i enskilda delmaterial, citat:

”Med hänsyn till oavsiktliga föroreningar i utgångsmaterialet godtas vid korrosionskänslig armering eller mycket eller måttligt armeringsaggressiv miljö följande gränsvärden för kloridhalt i delmaterialen omräknade till mängd vattenfri kalciumklorid och uttryckta i viktprocent av respektive delmaterials vikt.

- 0,03% i ballast (avser vattenlöslig klorid)
- 0,15% i cement
- 0,30% i tillsatsmedel
- 0,05% i vatten.”

Kommentar:

- För första gången införs vct-krav som dessutom är relaterade till olika miljötyper.
- Vct-kraven är högre än vad som bör accepteras för betong med hög beständighet.
- Kloridkravet är skärpt. Kalciumklorid förbjuds i armeringsaggressiv miljö.

5. Krav på frostbeständighet

För att uppfylla frostbeständighetskravet införs krav på lägsta tillåtna lufthalt, citat:

"Vid krav på förhöjd lufthalt skall luftporbildande tillsatsmedel användas. Lufthalten skall uppgå till minst 13,5 % av volymen cementpasta (volym cement, vatten och luft)..... För betongmassa med plastisk konsistens eller lösare godtas värden på lufthalt enligt tabell 7-1.

Tabell 7-1. Godtagna värden på betongmassas lufthalt vid krav på förhöjd lufthalt.

Maximal stenstorlek, mm	Lufthalt i % av betongmassans volym	
	<9 provningsresultat	>9 provningsresultat
	Lägsta enskilda värde	0,05-fraktil
32	4,5	4,5
16	5,0	5,0
8	6,0	6,0

"Erforderlig lufthalt vid andra maximala stenstorlekar än 8, 16 och 32 mm kan erhållas genom rätlinjig interpolering..."

Kommentarer:

- Inga krav på frysprovning uppställs.

6. Krav på täckskikt och maximal sprickvidd

Citat,

"Täckande betongskikt skall ha tillräcklig tjocklek med hänsyn till förankring och skarvning av armering, samt ge erforderligt skydd mot korrosion och i vissa fall brand."

"Med hänsyn till korrosion väljs minsta basmått på täckande betongskikt enligt Tabell 3-5. För lättballastbetong ökas tabellvärdena med 5 mm. Om man väljer större tolerans än 5 mm ökas tidigare angivna basvärden i samma grad."

"Täckande betongskikt får vara högst 5 mm mindre än enligt ritning."

"För tillverkningskontrollerade betongelement i måttligt armeringsaggressiv miljö får basmåten för det täckande betongskiktet enligt Tabell 3-5 minskas med 10 mm om betongens vattencementtal inte överstiger 0,45."

"För tillverkningskontrollerade betongelement i måttligt armeringsaggressiv miljö får basmåten för det täckande betongskiktet enligt Tabell 3-5 minskas med 10 mm om betongens vattencementtal inte överstiger 0,45."

Tabell 3-5. Minsta basmått för täckande betongskikt i mm med hänsyn till korrosion.

<i>Miljöklass</i>	<i>Föga korrosionskänslig armering</i>	<i>Korrosionskänslig armering samt kabelrör vid efterspänd armering</i>
<i>Obetydligt armeringsaggressiv</i>	<i>15</i>	<i>25</i>
<i>Måttligt armeringskorrosiv</i>	<i>25</i>	<i>35</i>
<i>Mycket armeringskorrosiv</i>	<i>35</i>	<i>45</i>

”Basmått (referensmått) är ett på ritning e.d. angivet mått till vilket avvikelser relateras.”

Maximal sprickvidd begränsas enligt tabellen nedan.

Miljö	Max. tillåten karakteristisk sprickvidd, mm	
	Korrosionskänslig armering	Föga korrosionskänslig armering
Måttligt armeringsaggressiv	0,2	0,4
Mycket armeringsaggressiv	0,1	0,2

Max 0,2 mm även för vattentäta konstruktioner utsatta för vattentryck.

Kommentarer:

- För första gången införs begreppet ”basmått”.
- Minimimåttet är 5 mm lägre än basmåttet, dvs. inläggningstoleransen i tabellen antas vara 5mm. Andra toleranser ger andra basmått.
- För tillverkningskontrollerade element i måttligt aggressiv miljö skulle 10 mm täckskikt uppenbarligen tolereras (25-10-5=10 mm). Detta förefaller riskabelt för konstruktioner som skall ha 50-100 års livslängd.
- Sprickviddskravet används för dimensionering av mängd sprickarmering.

PERIODEN 1988 - 1994

Gällande normer är

BBK 79
BESTÄMMELSER FÖR BETONGKONSTRUKTIONER
Band 2. Material. Utförande. Kontroll
Utgåva 2
Fastställd år 1988

BBK 79
BESTÄMMELSER FÖR BETONGKONSTRUKTIONER
Band 1. Konstruktion
Utgåva 2
Fastställd år 1988

B1
STATLIGA CEMENTBESTÄMMELSER
Utgåva 2
Fastställd år 1982

Inledning

De tidigare betongbestämmelserna BBK 79 reviderades 1988. Följande ändringar genomfördes:

1. Betongkraven i de olika miljöklasserna ändras något. vct-kravet i de båda mest aggressiva miljöklasserna skärps. Krav på minsta tillåtna hållfasthetsklass tas bort.
2. Flygaska och silikastoft får tillsättas direkt till betong vilket innebär att definitionen av vct med tillsatsmaterial införs. Den innebär att en viss mängd flygaska anses ersätta 30% cement, och en viss mängd silikastoft ersätter lika stor mängd cement.
3. Krav på egenskaper och hos flygaska och silikastoft införs, liksom kontrollregler för de båda materialen.
3. Krav på högsta kloridhalt skärps.
4. Krav på lägsta lufthalt skärps något.

1. Krav på bindemedel

1.1 Cementbestämmelser

B1 Utgåva 2 gäller, dvs. Samma tre cementtyper som under perioden 1979-1988 är normerade:

- **Portlandcement (P)** med minst 88% portlandklinker
- **Modifierat portlandcement (M)** med minst 65% portlandklinker
- **Blandcement (B)** med minst 20% portlandklinker

1.2 Cement enligt betongbestämmelserna

Samtliga tre cementtyper som regleras av cementbestämmelserna får användas.

1.3 Mineraliska tillsatsmaterial enligt betongbestämmelserna

Vid sidan av de tre cementtyperna som regleras av cementbestämmelserna får ett antal reaktiva mineraliska restmaterial användas som bindemedel:

Tillåtna tillsatsmaterial är:

- Flygaska från förbränning av stenkol. Flygaska indelas i två klasser beroende på dess reaktivitet:
 - Klass A (hög reaktivitet)
 - Klass B (låg reaktivitet)
- Mald granulerad masugnsslagg från framställning av tackjärn (oklart om materialet är helt tillåtet att använda i betong).
- Silikastoft, dvs. amorf kiselsyra från tillverkning av metalliskt kisel och kiseljärn

Tillsatsmaterial får användas under följande förutsättning, citat:

"Mineraliska tillsatsmaterial skall påvisas vara lämpliga som delmaterial till betong vid avsedd användning. Användning av tillsatsmaterial skall godkännas av behörig statlig myndighet."

Tillsatsmaterialen måste vara typgodkända, citat:

"Beträffande typgodkännande av tillsatsmaterial se Planverkets publikation Godkännanderegler för mineraliska tillsatsmaterial till betong, PFS 1985:2."

I denna publikation ges krav på flygaskas och silikatofts kemiska och fysikaliska sammansättning liksom krav på deras reaktivitet. Även användningssättet t.ex. maximala mängden av inblandning i betong regleras för flygaska och silikastoft, se nedan. För masugnsslagg ges inga krav på egenskaper eller användningsregler i Planverkets publikation.

Kommentar:

- För första gången godkänns inblandning av mineraliska tillsatsmaterial direkt i betong.

2. Krav på blandningsvatten

Inga ändringar görs i förhållande till kraven i tidigare regler.

3. Krav på ballast

Inga ändringar görs i förhållande till kraven i tidigare regler.

4. Krav på betongsammansättning

Vissa förändringar som påverkar beständigheten hos betong görs i Utgåva 2.

4.1 Krav på betongsammansättning med avseende på miljö

Miljön klassificeras med avseende på betongaggressivitet i 3 klasser och med avseende på armeringsaggressivitet i 3 klasser. Dessa klasser är något annorlunda beskrivna än i Utgåva 1 som gäller perioden 1979-1988. Kraven i de olika miljöklasserna ges i tabellform.

Miljö	Betongkvalitet				Tillverknings- och utförandeklass
	Hållfasthets- klass	Vattentäthet	Frostbestän- dighet	Högsta vct	
Mycket betongaggressiv	-	Fordras	Fordras	0,45	I
Måttligt betongaggressiv	-	Fordras	Fordras	0,60	I
Obetydligt betongaggressiv	-	-	-	-	I, II, III
Mycket armeringsaggressiv	-	Fordras	-	0,45	I
Måttligt armeringsaggressiv	-	Fordras	-	0,60	I
Obetydligt armeringsaggressiv	-	-	-	-	I, II, III

4.2 Kemiskt angrepp

Citat:

”Vid risk för kemiskt angrepp, t.ex. vid djurstallar och i vatten med betydande mängd marmoraggressiv kolsyra, eller vid risk för mekaniskt angrepp skall särskild utredning göras om angreppets inverkan på beständigheten av betong och armering. I utlåtandet skall anges erforderliga skyddsåtgärder.”

4.3 Mineraliska tillsatsmaterial

Dessa material får användas enligt följande regler (förutsatt att användningen godkänts av ”behörig statlig myndighet”). Användning kräver alltid utökad förprovning, bl.a. skall förprovning alltid utföras vid två olika temperaturnivåer; +20 resp. +5°C. Användningssättet

regleras av dokumentet *"Mineraliska tillsatsmaterial till betong. Statens Planverks författningssamling PFS 1985:2."*

Flygaska, citat:

"Betong skall utföras med portlandcement (typ P)."

"Vikten av den inblandade mängden flygaska får högst uppgå till 35% av cementets vikt"

"Vattenbindemedelstalet oberoende av miljöklass får inte vara högre än 0,90."

"I all betong till konstruktioner som kan utsättas för frysning skall luftporbildande medel tillsättas så att lufthalten i den färdiga konstruktionen blir minst 4,5%."

Vattencementtalet (vattenbindemedelstalet) definieras

- $vct = w / (c + 0,3 \cdot FA)$ för Klass A
 - $vct = w / (c + 0 \cdot FA)$ för Klass B
- där FA är mängden flygaska

Masugnsslagg.

Inga regler för maximal inblandning eller definition av vattenbindemedelstal ges i PFS 1985:2.

Silikastoft, citat:

"Betong skall utföras med portlandcement (typ P)."

"Vikten av den inblandade mängden silikastoft skall uppgå till högst 10% av cementets vikt"

"Vattenbindemedelstalet, oberoende av miljöklass, får inte vara högre än 0,90."

Vattencementtalet (vattenbindemedelstalet) definieras:

$$vct = w / (c + S)$$

där S är mängden silikastoft

4.4 Kloridhalt

Krav på maximal kloridhalt är skärpta, citat:

"Delmaterials kloridhalt skall begränsas så att betongmassans totala kloridhalt uttryckt som jonhalten Cl i procent av cementets vikt inte överstiger nedanstående värden:

- *0,1% vid betong med spännarmering och 0,3% vid betong med ospänd armering i måttlig eller mycket armeringsaggressiv miljö.*
- *1,0% vid betong med ospänd armering i obetydligt armeringsaggressiv miljö (avsiktlig kloridtillsats endast i form av tillsatsmedel)."*

Dessutom ställs krav på maximal kloridhalt i enskilda delmaterial, citat:

"Med hänsyn till oavsiktliga föroreningar i utgångsmaterial får vid spännarmering eller vid ospänd armering i mycket eller måttligt armeringsaggressiv miljö kloridhalten uttryckt i procent av respektive delmaterials vikt uppgå till följande värden:

- *0,02% i ballast (gäller här vattenlöslig klorid)*
- *0,10% i cement*
- *0,20% i tillsatsmedel*
- *0,03% i vatten."*

Kommentarer:

- Vattencementtalet är sänkt i de mest aggressiva miljöklasserna (från 0,50 till 0,45). I mycket armeringsaggressiv miljö är detta sannolikt en otillräcklig sänkning om livslängden skall bli hög.
- Krav på lägsta hållfasthet är borttaget
- Kravet på högsta tillåtna kloridhalt är skärpt
- Flygaskans "effektivitet" antas som mest vara 30% av portlandcementets effektivitet.
- Silikastoftets effektivitet antas vara densamma som portlandcementets effektivitet.

5. Krav på frostbeständighet

I två miljöklasser skall betongen vara frostbeständig, citat:

"Om betongen skall vara frostbeständig.... skall luftporbildande tillsatsmedel användas såvida inte man genom en särskild utredning påvisar att betongens frostbeständighet är tillfredsställande i den aktuella miljön."

"Exempel på lufthalter som förutsätts ge frostbeständighet hos betong med naturballast ges i tabell 7-1. Tabellen anger dels medelvärde, dels lägsta enskilt värde. Värdena gäller för betong på byggplatsen omedelbart innan betongen placeras i formen. Medelvärdena i tabellen är börvärden för styrning av betongproduktionen medan de enskilda värdena är minimivärden som inte får underskridas."

Tabell 7-1 Förutsatta lufthalter i frostbeständig betong vid olika miljöklasser

Maximal stenstorlek mm	Lufthalt i % av betongens volym			
	Mycket aggressiv		Måttligt aggressiv	
	Medelvärde	Enskilt värde	Medelvärde	Enskilt värde
32	6,0	5,0	5,0	3,5
16	7,0	6,0	5,5	4,0
8	-	-	6,0	4,5

Kommentarer:

- Lufthaltskravet har skärps i förhållande till Utgåva 1 av betongbestämmelserna (Period 1979-1988)
- Att inget lufthaltskrav uppställts för betong med max 8 mm sten i mest aggressiv miljö är besynnerligt, men kan bero på att sådan betong inte kan tänkas komma ifråga.
- Inget krav på frysprovning uppställs, trots att lämplig frysprovningssmetod ("Boråsmetoden") fanns tillgänglig år 1988.

6. Krav på täckskikt och maximal sprickvidd

Samma krav som gällde i Utgåva 1 av Konstruktionsbestämmelserna (period 1979-1988) gäller, dvs:

"Med hänsyn till korrosion väljs minsta basmått på täckande betongskikt enligt Tabell 3-5. För lättballastbetong ökas tabellvärdena med 5 mm. Om man väljer större tolerans än 5 mm ökas tidigare angivna basvärden i samma grad."

"Täckande betongskikt får vara högst 5 mm mindre än enligt ritning."

"För tillverkningskontrollerade betongelement i måttligt armeringsaggressiv miljö får basmåten för det täckande betongskiktet enligt Tabell 3-5 minskas med 10 mm om betongens vattencementtal inte överstiger 0,45."

"För tillverkningskontrollerade betongelement i måttligt armeringsaggressiv miljö får basmåten för det täckande betongskiktet enligt Tabell 3-5 minskas med 10 mm om betongens vattencementtal inte överstiger 0,45."

Tabell 3-5. Minsta basmått för täckande betongskikt i mm med hänsyn till korrosion.

<i>Miljöklass</i>	<i>Föga korrosionskänslig armering</i>	<i>Korrosionskänslig armering samt kabelrör vid efterspänd armering</i>
<i>Obetydligt armeringsaggressiv</i>	<i>15</i>	<i>25</i>
<i>Måttligt armeringskorrosiv</i>	<i>25</i>	<i>35</i>
<i>Mycket armeringskorrosiv</i>	<i>35</i>	<i>45</i>

"Basmått (referensmått) är ett på ritning e.d. angivet mått till vilket avvikelser relateras."

Även sprickviddskravet är detsamma som för perioden 1979-1988.

PERIODEN 1994 - 2004

Gällande normer och standarder är

BOVERKETS KONSTRUKTIONSREGLER BKR 94

Fastställd 1994

EUROPEISKA CEMENTSTANDARDEN

ENV 197-1:1992

med

NATIONELLA TILLÄMPNINGSDOKUMENTET

NAD(S)/ENV 197-1

Fastställda år 1992

Av myndigheterna accepterade regler är

BOVERKETS HANDBOK OM BETONGKONSTRUKTIONER

BBK 94

BETONGKONSTRUKTIONER

Band 2. Material. Utförande. Kontroll

Publicerad år 1994

BOVERKETS HANDBOK OM BETONGKONSTRUKTIONER

BBK 94

BETONGKONSTRUKTIONER

Band 1. Konstruktion

Publicerad år 1994

Inledning

Betongbestämmelser under åren 1965-1994 som gick under beteckningen B5 och BBK 79 innehöll bindande regler. Den nya skriften BBK 94 har enbart ställning som "handbok" och kan anses vara en s.k. "godtagbar lösning".

I Boverkets konstruktionsregler BKR 94 hänvisas dock i stor utsträckning till BBK 94 som därför i realiteten fått en ställning som regelbok.

Viktiga nyheter är:

- Den europeiska cementstandarden ersätter de tidigare svenska cementbestämmelserna. Det innebär att ett större antal cementtyper tillåts. Ett resultat är att cement med avsevärd halt inmalt kalkstensmjöl introduceras i Sverige och ersätter inom kort tid all tidigare tillverkat portlandcement Std P.
- Användning av mineraliska tillsatsmaterial regleras på ett mera detaljerat sätt än i tidigare normen. Inblandning i betong av mald masugnsslagg godtas för första gången.
- Antal miljöklasser utökas och vct-kravet skärps i de mest aggressiva miljöerna.
- Livslängdsklasserna L1 och L2 motsvarande 50 resp. 100 år innan start av armeringskorrosion införs.
- Täcksiktsskravet beror på livslängdsklassen.

1. Krav på bindemedel

1.1 Krav på cement

De tidigare cementbestämmelserna B1 (utgåva 1 och 2) ersattes med en Europeisk cementstandard ("försöksstandard"), ENV 197-1:1992 med tillhörande svenskt tillämpningsdokument NAD(S)/ENV 197-1.

Europastandarden godtar inte mindre än 27 olika cementtyper, vilket beror på att standarden skall täcka in alla cement som produceras inom EU.

Cementen delas in i 5 huvudtyper:

- CEM I portlandcement (1 typ)
- CEM II portland-blandcement (19 typer)
- CEM III slaggcement (3 typer)
- CEM IV puzzolancement (2 typer)
- CEM V kompositcement (2 typer)

Det svenska anpassningsdokumentet godtar enbart följande huvudtyper vilka anses vara "beprövade i Sverige":

- CEM I
- CEM II 6 typer enligt nedan godtas
 - CEM II/A-S Portland slaggcement med 6-20% slagg
 - CEM II/B-S Portland slaggcement med 21-35% slagg
 - CEM II/A-V Portland flygaskecement med 6-20% flygaska
 - CEM II/B-V Portland flygaskecement med 21-35% flygaska
 - CEM II/A-LL Portland kalkstencement med 6-20% kalksten
 - CEM II/A-LS Portland kalksten slaggcement med 6-20% kalksten+slagg
- CEM III 2 typer enligt nedan godtas
 - CEM III/A Slaggcement med 35-65% slagg
 - CEM III/B Slaggcement med 66-80% slagg

OBS. angivna mängder är utöver gips men inklusive ”mindre beståndsdelar”. I samtliga cement tillåts 5% s.k. ”mindre beståndsdelar” varmed normalt avses kalksten och kromatreducerande järnsulfat.

Maximal kloridhalt är 0,1 vikt-% för alla cementtyper.

I Sverige tillverkades under 1994 bara CEM I av tre typer; Std, SH, Anläggningscement. Under 1999 började man även tillverka CEM II/A-LL med ca 13% kalkstensmjöl. Cementet marknadsfördes under namnet ”Byggcement”. Detta cement ersatte inom kort tid portlandcementet CEM I av Std-typ.

Cementstandarden indelar cementet i olika hållfasthetsklasser:

Hållfasthetsklass	Tryckhållfasthet MPa			
	Tidig hållfasthet		Normhållfasthet	
	2 dygn	7 dygn	28 dygn	
32,5 N	-	$\geq 16,0$	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$
32,5 R	$\geq 10,0$	-		
42,5 N	$\geq 10,0$	-	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$
42,5 R	$\geq 20,0$	-		
52,5 N	$\geq 20,0$	-	$\geq 52,5$	-
52,5 R	$\geq 30,0$	-		

Värdena avser karakteristiska värden. Medelvärdet måste alltså vara högre än tabellvärdet.

Svensktillverkade cement klassificeras enligt nedan:

- Vanligt standardcement, CEM I: 42,5 R
- ”Byggcement”, CEM II/A-LL: 42,5 R
- Snabbcement, CEM I: 52,5 R
- Anläggningscement, CEM I: 42,5 N

I standarden finns också krav på kemisk och fysikalisk sammansättning på färdigt cement och på olika delmaterial till cement.

I Sverige finns dessutom tre standarder som reglerar speciella egenskaper hos cement. Samtliga standarder fastställdes 2001.

- Cement med begränsad värmeutveckling (BV-cement). SS 13 42 02
Krav: Max 290 kJ/kg efter 7 dygn bestämd med lösningsvärmemetod.
- Cement med låg alkalihalt (LA-cement). SS 13 42 03
Krav: Max 0,6% ekvivalent mängd Na_2O för CEM I och CEM II.
- Cement med hög sulfatresistens (SR-cement). SS 13 42 04.
Krav: Max 3,5% C_3A för CEM I. Ej fastställda krav för CEM II.

Kommentar:

- Den nya cementstandarden innebär en radikal förändring eftersom ett antal tidigare i Sverige obeprövade cement godtas. Så t.ex. godtas nu cement med hög mängd inmalad kalksten. Viss begränsning i användningen av olika cement sker dock genom regler i NAD(S)/ENV 197-1.

1.2 Krav på mineraliska tillsatsmaterial

Tillåtna tillsatsmaterial är:

- Flygaska från förbränning av stenkol.
- Mald granulerad masugnsslagg från framställning av tackjärn.
- Silikastoft, dvs. amorf kiselsyra från tillverkning av metalliskt kisel och kiseljärn

Tillsatsmedlets reaktivitet, citat:

”Mineraliska tillsatsmaterial indelas i två klasser A och B med hänsyn till deras reaktivitet och användningssätt. Tillsatsmaterial i klass A jämföras med bindemedel, medan tillsatsmaterial i klass B jämföras med ballast.”

Provningsmetod för reaktivitet, citat:

”Ett tillsatsmedels reaktivitet bedöms genom en jämförande provning av hållfastheten hos cementbruk med olika sammansättningar.”

”Reaktiviteten anges som hållfastheten hos en blandning (normbruk) av tillsatsmaterial och cement.... i hela procent av hållfastheten hos ett rent cementbruk. Reaktiviteten hos ett tillsatsmaterial i klass A får därvid inte understiga de värden som anges i Tabell B4 för 28 och 98 dygn.”

Kombination	Tillsatsmaterial viktprocent	Cement viktprocent	Reaktivitet (relativ hållfasthet) i % efter	
			28 dygn	91 dygn
(A)	0	100	100	100
(B)	5	95	95	100
(C)	10	90	90	95
(D)	30	70	70	85
(E)	50	50	60	80

Flygaska testas med kombinationer (A), (C) och (D).

Masugnsslagg testas med kombinationer (A), (C) och (E)

Silikastoft testas med kombinationer (A), (B) och (C).

1.3 Cement enligt betongbestämmelserna

Alla cementtyper i standarden får inte användas i alla miljöklasser. Användningen regleras av det svenska tillämpningsdokumentet NAD(S)/ENV 197-1. Tillåtna cement i olika miljöklasser ges i tabell över betongsammansättning nedan.

1.4 Mineraliska tillsatsmaterial enligt betongbestämmelserna

1.4.1 Definition av ekvivalent vattencementtal,

Citat:

”För betong med tillsatsmaterial beräknas ett ekvivalent vattencementtal vct_{ekv} enligt följande formel:

$$vct_{ekv} = \frac{W}{C + \beta \cdot D}$$

W är vattnets massa

C är cementets massa

β är effektivitetsfaktor. Om inget annat påvisas gäller för β för tillsatsmaterial i klass A sätts till 1,0 för silikastoft, 0,6 för granulerad masugnsslagg och 0,3 för flygaska. För alla tillsatsmaterial i klass B sätts $\beta=0$.

D är tillsatsmaterialiets massa”

1.4.2 Mängd tillsatsmaterial

Citat:

"Den totala mängden tillsatsmaterial bör för cement av typ CEM I inte överstiga följande värden räknat i procent av cementets vikt

- *silikastoft max 10%. I miljöklasserna A3-A4 samt B3-B4 dock max 5%*
- *flygaska max 35%*
- *granulerad masugnsslagg max 100%."*

1.4.3 Övriga krav

Det ställs vissa krav på kemisk sammansättning av tillsatsmaterial.

Kommentar:

- För första gången godkänns inblandning av mineraliska tillsatsmaterial direkt i betong.

2. Krav på blandningsvatten

Citat,

"Havsvatten, även bräckt, bör inte användas vid betongtillverkning i miljöklasserna A3, A4 samt B3 och B4."

3. Krav på ballast

Citat:

"Komponenter (i ballast) som kan orsaka skada är t.ex. sulfater, lättoxiderbara sulfider, salter, volyminstabila bergarter (t.ex. lerstenar), obeständiga glimmermineral (t.ex. svällglimmer) och bergarter som kan orsaka expansiva alkali-ballast reaktioner. Skadliga alkali-ballast reaktioner kan undvikas genom att begränsa det totala alkaliinnehållet i betongen, t.ex. genom att använda cement med låg alkalihalt. För betong i miljöklasserna B3, B4 samt A3, A4 bör ballast med låg porositet användas. Vid användning av bergartsballast bör därvid ballastkornens vattenabsorption inte överstiga 1,0 viktprocent."

4. Krav på betongsammansättning

4.1 Allmänna krav

Miljön klassificeras med avseende på betongaggressivitet i 4 klasser (B1-B4) och med avseende på armeringsaggressivitet i 4 klasser (A1-A4). Miljöns aggressivitet indelas alltså i två klasser mer än i regler för perioden 1988-1994. Miljöerna beskrivs tydligt i BBK 94.

Konstruktionens beständighet indelas i 2 livslängdsklasser L1 och L2 utgående från den tid det förväntas ta innan armeringskorrosion startar, citat:

"Livslängdsklass L1 avser konstruktioner med förväntad livslängd minst 50 år och livslängdsklass L2 förväntad livslängd minst 100 år."

Kraven i de olika miljöklasserna ges i tabellform.

Miljöklass	Betongkvalitet		Godtagna cementtyper	Utförande-klass
	Frost-beständighet	Högsta vct_{ekv}		
<i>B1</i> <i>Obetydligt betongaggressiv</i>	-	- ⁴⁾	<i>Alla</i>	<i>I, II eller III</i>
<i>B2</i> <i>Något betongaggressiv</i>	<i>Ja</i> ¹⁾	<i>0,60</i>	<i>Alla utom CEM III/A CEM III/B</i>	<i>I eller II</i>
<i>B3</i> <i>Måttligt betongaggressiv</i>	<i>Ja</i> ²⁾	<i>0,55</i>	<i>CEM I CEM II/A-S CEM II/A-V</i>	<i>I</i>
<i>B4</i> <i>Mycket betongaggressiv</i>	<i>Ja</i> ³⁾	<i>0,45</i>	<i>CEM I</i>	<i>I</i>
<i>A1</i> <i>Obetydligt armeringsaggressiv</i>	-	-	<i>Alla utom CEM III/B</i>	<i>I, II eller III</i>
<i>A2</i> <i>Måttligt armeringsaggressiv</i>	-	<i>0,55</i>	<i>CEM I CEM II/A-S CEM II/A-V CEM II/L CEM II/LS</i>	<i>I eller II</i>
<i>A3</i> <i>Mycket armeringsaggressiv</i>	-	<i>0,45</i>	<i>CEM I CEM II/A-S CEM II/A-V</i>	<i>I</i>
<i>A4</i> <i>Extremt armeringsaggressiv</i>	-	<i>0,40</i>	<i>CEM I</i>	<i>I</i>

¹⁾ Betong med $vct \leq 0,60$ kan normalt anses vara frostbeständig utan tillsats av luftporbildande tillsatsmedel. Provning av betongens frostbeständighet erfordras därför normalt inte. I tveksamma fall kan frostbeständigheten kontrolleras genom frysprovning enligt SS 13 72 44 metod B (frysning i rent vatten).

²⁾ Betong med lufthalt enligt tabell 7.3.2.1 (se nedan) kan normalt anses vara frostbeständig.

³⁾ Betong bör påvisas vara frostbeständig genom förundersökning och fortlöpande provning enligt SS 13 72 44 metod A (frysning i 3% NaCl-lösning).
Vid förundersökning skall kravet för god frostbeständighet enligt standarden uppfyllas.....
Vid den fortlöpande provningen skall kravet för acceptabel frostbeständighet uppfyllas.
För betong med silikastoft görs bedömningen först efter 112 fryscykler.
Betongens lufthalt får vid den fortlöpande provningen inte understiga lufthalten vid förundersökningen.

⁴⁾ Betong till konstruktioner i fuktig miljö bör inte ha högre vct_{ekv} än 0,90.

4.2 Kemisk resistens

Citat:

"Vid risk för kemiskt angrepp, t.ex. konstruktioner i kemiska industrier, lantbruksbyggnader eller i vatten med betydande mängd marmoraggressiv kolsyra bör en särskild utredning göras om angreppets inverkan på betongens och armeringens beständighet. I utlåandet bör erforderliga skyddsåtgärder anges."

4.3 Kloridhalt

Citat:

"Delmaterialens kloridhalt bör begränsas så att betongmassans totala kloridhalt uttryckt som jonhalten Cl- inte överstiger 0,1% av bindemedlets vikt."

Kommentar:

- För första gången införs begreppet "livslängdsklass" vilken kopplas till den tid det förväntas ta innan armeringskorrosion startar.
- Antalet miljöklasser utökas vilket gör det möjligt att nyansera krav på $v_{ct_{ekv}}$ och täckskikt.
- De högsta accepterade vattencementtalen är för första gången tillräckligt låga. Det gäller framförallt miljöklass A4 där sänkning skett från 0,45 till 0,40.
- För första gången införs krav på frysprovning.
- Kravet på frysprovning innebar i praktiken att enbart cement av typ CEM I med tillägg LA/SR kunde användas eftersom övriga cement visade sig ge osäker frostsäkerhet vid frysprovningen. Det vanligaste cementet var det s.k. Anläggningscementet".

5. Krav på frostbeständighet

I miljöklass B3 ställs krav på minsta lufthalt, se fotnot 2 i tabellen ovan. I miljöklass B4 krävs även frysprovning med krav på högsta tillåtna skada; fotnot 3.

Lämpliga lufthalter i de båda miljöklasserna ges i en tabell som visas nedan. Citat:

"Betong till konstruktionsdelar i miljöklasserna B3 och B4 fordrar normalt tillsats av luftporbildande medel. I Tabell 7.3.2 ges exempel på lufthalter som.....kan antas ge tillfredsställande frostbeständighet hos betong med bergartsballast. Tabellen ger dels riktvärden avsedda för styrning av betongproduktionen, dels minimivärden som inte bör underskridas. Värdena gäller för betong omedelbart innan den placeras i formen. Lägre lufthalter kan användas om frostbeständighet påvisas genom frysprovning enligt SS 13 72 44." (Boråsmetoden)"

"Tabell 7.3.2.1a Lämpliga lufthalter i frostbeständig betong vid olika miljöklasser".

Maximal stenstorlek mm	Lufthalt i % av betongens volym			
	B4 mycket aggressiv		B3 måttligt aggressiv	
	Riktvärde	Minimivärde	Riktvärde	Minimivärde
32	6,0	5,0	5,0	3,5
16	7,0	6,0	5,5	4,0
8	-	-	6,0	4,5

"För betong i miljöklasserna B3, B4 och A3 och A4 bör ballast med låg porositet användas. Vid användning av ballastmaterial utom lättballast bör ballastkornens vattenabsorption inte överstiga 1,0 viktprocent." (Ur BBK 94 Supplement)

Kommentarer:

- Lufthaltskravet är detsamma som gällde perioden 1988-1994
- Den citerade texten ovan strider mot fotnot 3 ovan eftersom frysprovning förefaller kunna utelämnas om lufthaltskravet uppfylls.

6. Krav på täckskikt och maximal sprickvidd

Citat:

"I tabell 7.3.2.2b anges de basmått, dvs. på ritning angivet mått, för täckande betongskikt som inte bör underskridas för föga korrosionskänslig armering med hänsyn till miljöklass, betongens $v_{ct_{ekv}}$ samt förväntad livslängd.

Tabellens basmått förutsätter normal utförandetolerans för platsgjutna konstruktioner, dvs. 10 mm. Om andra toleranser tillämpas justeras basmåtten i motsvarande grad. För tillverkningskontrollerade element kan normal utförandetolerans 5 mm tillämpas."

"För tillverkningskontrollerade element kan normalt utförandetoleransen 5 mm användas."

Tabell 7.3.2.2b Minsta basmått för täckande betongskikt i mm med hänsyn till korrosionsskyddet för föga korrosionskänslig armering

Miljöklass	$v_{ct_{ekv}}$	Livslängdsklass	
		L1	L2
A1	-	-	-
A2	0,55	25	35
	0,50	20	30
	$\leq 0,45$	20	25
A3	0,45	30	45
	$\leq 0,40$	25	40
A4	0,40	45	65
	$\leq 0,35$	35	50

"Angivna täckskikt gäller även för monteringsarmering.

För korrosionskänslig armering samt kabelrör vid efterspänd armering ökas täckskiktet enligt tabell med 10 mm."

Maximal tillåten sprickvidd visas i tabellen nedan.

Miljöklass	Maximal karakteristisk sprickvidd, mm			
	Korrosionskänslig armering		Föga korrosionskänslig armering	
	Livslängdsklass		Livslängdsklass	
	L_1 (50år)	L_2 (100år)	L_1	L_2
Måttligt armeringsaggr.	0,30	0,20	0,40	0,30
Mycket armeringsaggr.	0,20	0,10	0,30	0,20
Extremt armeringsaggr.	0,10	0,05	0,20	0,10

Kommentar:

- Täckskiktskravet i aggressiva armeringsmiljöer har skärpts avsevärt.
- Regler för betongelement har skärpts genom att enbart 5 mm utförandetolerans godkänns och inte 10 mm. Å andra sidan tillåts reduktionen i alla miljötyper.
- Sprickviddskravet har blivit mer nyanserat och skärpt i svåraste miljön.

PERIODEN 2004 - 2008

Gällande normer och standarder är

BOVERKETS REGELSAMLING FÖR KONSTRUKTION Boverkets konstruktionsregler BKR

Fastställd år 2003

EUROPEISKA BETONGSTANDARDEN SS-EN206-1

FASTSTÄLLD 2001

Med dess tillämpningsdokument

SVENSK STANDARD SS 13 70 03:2004

Fastställd år 2004

EUROPEISKA CEMENTSTANDARDEN SS-EN 197-1

Fastställd år 2001

TÄCKSKIKTSTANDARDEN SS 13 70 10

Fastställd år 2002

Av myndigheterna accepterade regler är

BOVERKETS HANDBOK OM BETONGKONSTRUKTIONER BBK 04

Publicerad år 2004

Inledning

Från och med 2004 baseras betongreglerna för första gången helt på Europeiska standarder. I stället för nationella svenska betongbestämmelser, vilka tidigare gav detaljerade regler för hur betongmassa skall sammansättas, hänvisas nu till relevanta Europeiska standarder; i första hand betongstandarden SS-EN 206-1, cementstandarden SS-EN 197-1 och ballaststandarden EN 12620.

Eftersom de Europeiska standarderna tillåter material och metoder som inte är lämpade för svenskt klimat har man utarbetat tilläggsstandards i Sverige. De viktigaste är:

- SS 13 70 03 ”anpassningsdokument” som är kopplad till betongstandarden EN 206-1.
- SS 13 70 10, som ger krav på täcksikt.

De nya standarderna är betydligt mer omfattande än de tidigare svenska bestämmelserna. Endast regler som har direkt relevans för beständighet återges nedan.

Följande viktiga ändringar i förhållande till tidigare bestämmelser görs:

1. Ytterligare 3 nya cementtyper anses vara ”beprövade” i Sverige vilket innebär att totalt 11 cementtyper får användas. De nya cementen är:
 - Ett s.k. ”silikastoftcement” med upp till 10% inmalt silikastoft.
 - Två s.k. ”Kompositcement” med upp till 20 resp. 35% inmalda mineraliska tillsatsmaterial av valfritt slag, inklusive kalksten.
2. Nya effektivitetsfaktorer införs för silikastoft och flygaska.
3. Nya ballastregler införs. När det gäller egenskaper hos ballast sker hänvisning till EU-standarden för ballast.
4. De tidigare 8 miljöklasserna ersätts med 18 exponeringsklasser.
5. Krav på cementtyp och betongsammansättning i olika exponeringsklasser införs. Det innebär att även cement med höga halter inert filler eller reaktiva restmaterial godkänns även i hård miljö, t.ex. den mest aggressiva korrosionsmiljön för armering.
6. Kraven på frysprovning skärps något.
7. Tre livslängdsklasser införs, L100, L50, L20.
7. Täcksiktsskravet regleras av den nya svenska täcksiktssstandard. Täcksiktet avgörs av livslängdsklass och ekvivalent vattencementtal.

1. Krav på bindemedel

1.1 Krav på cement

Gällande cementstandard är den Europeiska standarden SS-EN 197-1 med Bilaga NA (Användning av EN 197-1 i Sverige).

Beträffande innehåll i cementstandarderna se text under perioden 1994-2004.

Följande elva cementtyper anses vara ”beprövade för användning i betong”.

Cement		Beteckning	Sammansättning ²⁾
Typ	Benämning		
I	Portlandcement	CEM I	95-100% klinker
II	Portland-slaggcement	CEM II/A-S	6-20% slagg
		CEM II/B-S	21-35% slagg
	Portland-silikastoftcem	CEM II/A-D	6-10% silikastoft
	Portland-flygaskcem	CEM II/A-V	6-20% flygaska
		CEM II/B-V	21-35% flygaska
	Portland-kalkstencem	CEM/A-LL	6-20% kalksten
	Portland kompositcem	CEM II/A-M	6-20% mineral ¹⁾
		CEM II/B-M	21-35% mineral ¹⁾
III	Slaggcement	CEM III/A	35-65% slagg
		CEM III/B	65-80% slagg

1) ”Mineral” kan vara masugnsslagg, flygaska, puzzolan, bränd skiffer, kalksten, silikastoft (max 10%)

2) Angivna mängder är utöver gips men inklusive ”mindre beståndsdelar”. I samtliga cement tillåts 5% s.k. ”mindre beståndsdelar” varmed normalt avses kalksten och kromatreducerande järnsulfat.

I Förhållande till perioden 1994-2004 har ett cement tagits bort och tre tillförts:

- Borttaget: CEM II/A-LS
- Tillförda: CEM II/A-D, CEM II/A-M, CEM II/B-M

”Icke beprövade cement” får användas under förutsättning av att omfattande undersökningar görs: citat ur cementstandardens Bilaga NA:

”Användning av icke beprövade cementtyper förutsätter att cementets lämplighet dokumenterats genom en teknisk utvärdering för aktuell betong och miljöklass.

Utvärderingen baseras på laboratorieprovningar eller fältförsök eller långvarig väldokumenterad användning eller någon kombination därav.”

”Utvärderingen bör göras av expertis med lång erfarenhet inom området.”

Kommentar:

- Flera av dessa s.k. ”beprövade” cementtyper har aldrig använts i Sverige. Detta gäller särskilt silikastoftcementet CEM II/A-D och de båda kompositcementen CEM II/A-M och CEM II/B-M. Kalkstencementet CEM II/A-LL har bara använts under kort tid varför erfarenheter av beständigheten hos betong med detta cement saknas.

1.2 Krav på mineraliska tillsatsmaterial

Följande tillsatsmaterial regleras i standarden:

- Silikastoft (materialkrav ges i standarden EN 13263).
- Flygaska (materialkrav ges i standarden EN 450)
- Granulerad masugnsslagg (materialkrav ges i anpassningsdokumentet SS 13 70 03.)

1.3 Cement enligt betongbestämmelserna

Samtliga cement enligt tabellen ovan får användas, men olika cement får användas i olika exponeringsklasser. Se tabell över betongsammansättning i BILAGAN.

Fortfarande kan cement indelas efter speciella egenskaper i BV (begränsad värmeutveckling), LA (lågalkalitet) och SR (sulfatresistent). Regler för dessa cement finns i Svensk Standard SS 13 42 02, SS 13 42 03 samt SS 13 42 04.

Regler införs för hur man skall bedöma användbarheten av ”icke beprövade cementtyper”.

Rätt omfattande laboratorieprovning omfattande följande egenskaper krävs :

- Korttids- och långtidshållfasthet
- Krympning
- Frostbeständighet
- Saltfrostbeständighet
- Kloridpermeabilitet
- Kloridtröskelnivå
- Värmeutveckling
- Sulfatresistens

Kommentarer:

- Det är något märkligt att inte sådana mätningar krävs även av flera av de nya cement som anses vara ”beprövade i Sverige” eftersom de faktiskt inte är detta.
- Flera av de föreslagna provningsmetoderna är tveksamma. Detta gäller t.ex. kloridpermeabilitet och kloridtröskelvärde.

1.4 Mineraliska tillsatsmaterial enligt betongbestämmelserna

Tillsatsmaterial är generellt endast tillåtna tillsammans med CEM I. De kan dock även användas tillsammans med CEM II och CEM III förutsatt att mängden tillsatsmaterial i relation till mängden cementklinker inte överstiger den mängd som gäller när CEM I används.

Tillsatsmaterial indelas i två klasser beroende på dess reaktivitet:

- Typ I. Betraktas som inert ballast och får inte inräknas i vct.
- Typ II. Har viss reaktivitet och får inräknas i vct.

I EN 206 förskrivs regler för två typer av tillsatsmaterial, fölygaska och silikastoft. Egenskaper hos dessa material regleras av två europeiska standarder, EN 450 resp. EN 13263.

Enligt det svenska anpassningsdokumentet till EN 206 får även mald granulerad masugnsslagg användas som tillsatsmaterial Typ II. Förutsättningen är att glashalten hos slaggen är >90% och att slaggen uppfyller krav på kemisk sammansättning och reaktivitet.

2. Krav på blandningsvatten

Vatten skall uppfylla krav i standarden prEN 1008:1997.

3. Krav på ballast och filler

Ballast klassificeras enligt regler i standarden EN 12620. Tillämpningen för svensk betong ges i det svenska anpassningsdokumentet SS 13 70 03 till betongstandarden. Viktiga regler är:

"Vattenabsorptionen hos grov ballast skall deklarerars vid användning i betong för exponeringsklasserna XF1-XF4."

"Ballast med minsta kornstorlek 4 mm till betong i exponeringsklasserna XF1-XF4 skall vara frostresistent." Ballast med vattenabsorption $\leq 1\%$ anses vara " frostresistent.

"För tidigare oprövad ballast (eller filler) bör det genom petrografisk analys påvisas att den inte innehåller skadliga mineral i sådan mängd att betongens bärförmåga, stadga eller beständighet äventyras."

"Ballast av återvunnen betong kan användas i betong i exponeringsklasserna X0, XC1 och XC2."

4. Krav på betongmassa med avseende på miljö

4.1 Exponeringsklasser

De tidigare svenska reglerna indelade yttre miljön i 8 olika miljöklasser. I den europeiska standarden EN 206-1 utökas antalet miljötyper till 18 s.k. "exponeringsklasser". Dessa är:

- 1 icke-aggressiv miljö, X0
- 4 olika "karbonatiseringsmiljöer" m.a.p. armeringskorrosion, XC1-XC4
- 6 olika "kloridmiljöer" m.a.p. armeringskorrosion, XD1-XD3 samt XS1-XS3.
- 4 olika frostmiljöer, XF1-XF4.
- 3 olika kemiska miljöer, XA1-XA3.

Miljöerna beskrivs i tabellen nedan.

Exponeringsklass	Miljö	
X0	Torr	Inomhus, torrt
XC1	karbonatisering	Inomhus, låg fuktighet. Under vatten
XC2		Ytor utsatta för långvarig vattenlast. Grundläggningar
XC3		Inomhus, måttlig eller hög fuktighet
XC4		Ytor i kontakt med vatten ej hänfödda till XC2.
XD1	Korrosion av klorid utom havsvatten	Måttlig fukt. Luftburna klorider
XD2		Våt. Simbassänger. Kloridhaltigt industrivatten
XD3		Cykliskt våt o torr. Bro med kloridstänk. Parkeringshus
XS1	Korrosion av havsvatten	Luftburet salt
XS2		Ständigt under vatten
XS3		Tidvatten, skvalp- och stänkzon
XF1	Frysning med eller utan tösalt	Måttlig vattenmättnad utan salt
XF2		Måttlig vattenmättnad med salt
XF3		Hög vattenmättnad utan salt
XF4		Hög vattenmättnad med salt
XA1	Kemisk miljö	Obetydligt aggressiv
XA2		Måttligt aggressiv
XA3		Starkt aggressiv

4.2 Betongkrav i olika exponeringsklasser

Det ställs olika krav på betongmassan i olika exponeringsklasser. Regler som gäller Sverige finns i det svenska anpassningsdokumentet SS 13 70 03 till EU-standard EN 206-1. Viktiga krav visas i tabell 5.3.2a vilken återges i BILAGAN. Krav i kemiskt aggressiva miljöer tas inte upp i redovisad tabell.

Olika cementtyper godtas i olika exponeringsklasser.

För mineraliska tillsatsmaterial gäller följande regler:

Definition av v_{ct} (förutsätter tillsatsmaterial av typ II. För typ I är $k=0$):

$$v_{ct_{ekv}} = \frac{vatten}{cement + k \cdot tillsatsmaterial}$$

Där k är ”effektivitetsfaktorn”. Denna har följande storlek:

Silikastoft:

- $k=2,0$ för $v_{ct} \leq 0,45$
- $k=2,0$ för $v_{ct} > 0,45$ utom för exponeringsklasser XC och XF där $k=1,0$.

Flygaska:

- $k=0,2$ för CEM I 32,5
- $k=0,4$ för CEM I 42,5 och 52,5

Masugnsslagg:

- $k=0,6$ för CEM I

Maximal tillåten mängd som får räknas in som bindemedel är:

- Silikastoft: max 11 vikt-% av vikten CEM I.
- Flygaska: max 33 vikt-% av vikten CEM I.
- Masugnsslagg: max 100 vikt-% av vikten CEM I.

Se dock BILAGAN som ger ytterligare begränsningar i mängder.

Kommentarer:

- För första gången tillåter man användning av cement med stor mängd inert kalkstensfyller (CEM II/A-LL) i de mest aggressiva miljöerna XC4, XS3, XD3 och XF4; se BILAGAN. Detta görs utan att effekten på beständigheten blivit ordentligt klarlagd. Under kriget användes s.k. E-cement (se perioden 1934-1949), men man införde då restriktioner när det gäller i vilka betongtyper cementet fick användas. När tillgången på portlandcement ökade efter kriget förbjöds E-cementet, troligen på grund av dåliga erfarenheter.

v_{ct} -kravet i viss miljö är oberoende av cementtyp. Eftersom kalkfyller måste anses vara inert innebär det att det effektiva v_{ct} ökar när kalkstencement används.

$$v_{ct_{eff}} = \frac{V}{C(1-KS)} = \frac{v_{ct}}{1-KS}$$

där KS är andelen kalksten i cementet. Maximal mängd kalkstensmjöl i CEM II/A-LL är 20%.

Effekten vilket visas med ett par exempel.

Exempel 1: 20% kalksten. Exponeringsklass XS3

$$v_{ct_{max}} = 0,40$$

$$v_{ct_{eff}} = 0,40 / 0,80 = 0,50$$

Exempel 2: 15% kalksten. Exponeringsklass XF2

$$v_{ct_{max}}=0,45$$

$$v_{ct_{eff}}=0,45/0,85=0,53$$

Den negativa inverkan av kalkfyller på effektiva vct är så stor att det är rätt självklart att man inte kan förvänta samma beständighet när kalkstencement används som när portlandcement används. Enda möjligheten är att minska värdet på minsta tillåtna vct, men detta görs inte i reglerna.

- Flygaskacement (CEM II/A-V) tillåts i sträng frostmiljö med salt trots att erfarenheten visar att stora lufthaltsvariationer kan uppstå vilket kan äventyra frostbeständigheten.
- Cement som påstås vara "beprövade" tillåts i flertalet exponeringsklasser trots att de veterligen aldrig tidigare använts i Sverige.
- Vattencementtalen är desamma som i tidigare bestämmelser vid samma miljötyp.
- Effektivitetsfaktorerna för silikastoft och flygaska är höjda i förhållande till vad som gällde perioden 1994-2004.
- Maximala mängden flygaska typ I är tyvärr inte reglerad vilket innebär att stor mängd flygaska kan blandas in i betongen bara den inte inräknas i vct. Men all flygaska kan vara negativ eftersom den reducerar betongens alkalitet och kan påverka frostbeständigheten negativt.

4.3 Kloridhalt

Betongen indelas i olika kloridhaltsklasser. Högsta tillåtna kloridhalt hos svensk betong i förhållande till mängden cement i de olika klasserna visas i tabellen nedan.

<i>Typ av konstruktion</i>	<i>Kloridhaltsklass</i>	<i>Högsta Cl-halt i vikt-% av cement</i>
<i>Oarmerad</i>	<i>Cl 1,0</i>	<i>1,0</i>
<i>Armerad</i>	<i>Cl 0,20</i>	<i>0,20</i>
<i>Spännarmerad</i>	<i>Cl 0,10</i>	<i>0,10</i>

5. Krav på frostbeständighet

5.1 Lufthalt

I exponeringsklasser XF2 och XF3 ställs krav på lägsta lufthalt i de fall frysprovning inte genomförs. Citat:

" ... i exponeringsklasserna XF2 och XF3 ...skall tillsättning av luftporbildande tillsatsmedel göras. Därvid skall de värden som anges i tabell 5.3.2b användas. Värden för lufthalten gäller omedelbart innan betongen placeras i formen."

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

"Tabell 5.3.2b-Lufthaltens lägsta värde för betong i exponeringsklasser XF2 och XF3."

<i>D_{max} mm</i>	<i>Lägsta lufthalt %</i>
<i>32</i>	<i>4,0</i>
<i>16</i>	<i>4,5</i>
<i>8</i>	<i>5,0</i>

Kommentar:

- Lufthaltskravet har skärpts med 0,5 % i förhållande till tidigare regler.

5.2 Frysprovning

Citat:

"Betong i exponeringsklass XF1 med vct $\leq 0,60$ kan normalt anses vara frostresistent utan tillsats av luftporbildande medel. Provning av betongens frostresistens erfordras därför normalt inte. I tveksamma fall kan frostresistensen kontrolleras genom provning enligt SS 13 72 44, metod B ("Boråsmetoden").

"För betong i exponeringsklasserna XF2 och XF3 kan kravet på lufthalt... ersättas med provning av frostresistens enligt SS 13 72 44, metod A för betong i exponeringsklass XF2 och metod B för betong i exponeringsklass XF3. Därvid skall minst acceptabel frostbeständighet påvisas."

"För betong i exponeringsklass XF4 skall frostresistens påvisas genom provning enligt SS 13 72 44, metod A. Vid fortlöpande provning skall minst kravet på acceptabel frostresistens uppfyllas."

Frekvensen av frysprovning regleras, citat:

"Vid krav på provning av frostresistens skall minst en provkropp per betongsammansättning tas ut och provas varje månad med produktion."

6. Krav på täckskikt och maximal sprickvidd

Täckskiktet i olika exponeringsklasser regleras av den svenska täckskiktsstandarden

SS 13 70 10. Täckskiktet beror på förväntad livslängd och förutsätter att *"ingen armeringskorrosion i osprucket tvärsnitt får starta"*. Livslängden indelas i tre olika livslängdsklasser:

- L100: 100 års förväntad livslängd
- L50: 50 års dito
- L20: 20 års dito

Täckskiktet beror även på vattencementtalet. Om detta är lägre än maximalt tillåtet enligt tabell i BILAGAN kan täckskiktet minskas.

Täckskikten visas i Tabell 2, nedan, citat:

"Täckskiktets basmått, dvs på ritning e.d. angivet mått, väljs som minsta täckande betongskikt enligt tabellen nedan plus aktuell tolerans för armeringens placering i formen. Normal utförandetolerans är 10 mm."

"Angivna täckskikt med hänsyn till korrosionsskydd gäller även för monteringsarmering."

"För korrosionskänslig armering samt foderrör vid efterspänd armering ökas täckskikten med 10 mm."

Tabell 2. Minsta täckande betongskikt i mm med hänsyn till maximal sprickbredd och korrosionsskyddet för föga korrosionskänslig armering.

Exponeringsklass	Max vct _{ekv}	Minsta täckande täcksikt, mm		
		L100	L50	L20
X0	-	-	-	-
XC1	0,90	15	10	10
	0,60	10	10	10
XC2	0,60	25	20	15
	0,55	20	15	10
	0,50	15	10	10
XC3, XC4	0,55	25	20	15
	0,50	20	15	10
XS1, XD1	0,45	30	20	15
	0,40	25	20	15
XD2	0,45	40	30	25
	0,40	35	30	20
	0,35	30	25	20
XD3	0,40	45	35	25
	0,35	40	30	25
XS2	0,45	50	40	30
	0,40	45	35	25
	0,35	40	30	25
XS3 ¹⁾	0,40	45	35	25
	0,35	40	30	25

vct angiven med fet stil är det högsta värde som får användas i resp. exponeringsklass.

¹⁾ "Angivna täcksikt gäller för en kloridkoncentration i havet av högst 0,4% (ostkusten). För högre kloridkoncentrationer fastställ de täckande betongskikten i varje enskilt fall."

"För betongkonstruktioner i exponeringsklasser XA1-XA3 (kemiskt aggressiv miljö) bestäms minsta täckande betongskikt i varje enskilt fall.

Maximal sprickvidd visas i tabellen nedan.

Exponeringsklass	Maximal karakteristisk sprickvidd, mm					
	Korrosionskänslig armering			Föga korrosionskänslig armering		
	Livslängdsklass			Livslängdsklass		
	L100	L50	L20	L100	L50	L20
XC1	0,4	0,45	-	0,45	-	-
XC2	0,3	0,4	0,45	0,4	0,45	-
XC3, XC4	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4	-
XS1, XS2 XD1, XD2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3	0,4
XS3, XD3	0,1	0,15	0,2	0,15	0,2	0,3

Kommentar:

- Generell reduktion av täcksikt för tillverkningskontrollerade element anges inte. Det tillåts dock att verklig tolerans används vid bestämning av minsta basmått, dvs. en elementtillverkare som använder 5 mm tolerans kan använda detta värde vid bestämning av basmått.

BILAGA

Tabell 5.3.2a-Gränsvärden för betongsammansättning med avseende på beständighet i olika exponeringsklasser

		Exponeringsklasser														
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4
högsta $v_{ct_{ekv}}$		-	0,90	0,60	0,55	0,55	0,45	0,45	0,40	0,45	0,45	0,40	0,60	0,45	0,55	0,45
Lägsta cem-halt c_{ekv} kg/m ³ ³⁾		-	-	200												
Användbara cement		Alla	Alla utom III/B	Alla utom III/B	Alla utom III/B	I II/A-S II/A-D II/A-V II/A-LL II/A-M	I II/A-S I/A-D II/A-V II/A-LL II/A-M	I II/A-S II/A-D II/A-V II/A-LL II/A-M	I II/A-S II/A-D II/A-V II/A-LL II/A-M	I II/A-S II/A-D II/A-V II/A-LL II/A-M	I II/A-S II/A-D II/A-V II/A-LL II/A-M	I II/A-S II/A-D II/A-V II/A-LL II/B-V II/A-LL II/A-M II/B-M	I II/A-S II/B-S II/A-D II/A-V II/A-LL II/A-M	I II/A-S II/A-D II/A-V II/A-LL II/A-M	I II/A-S II/A-D II/A-V II/A-LL II/A-M	I II/A-V II/A-LL
Lägsta hållfasthetsklass		32,5	32,5	32,5	32,5	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5
Max tillsatsmat. % av CEM I ²⁾	Silikastoft	11 ¹⁾														
	Flygaska	50	50	25												
	Slagg	230	150	25												0
Frostresistent ballast													ja	ja	ja	ja
Provning av frostresistens																ja
Krav på lägsta lufthalt alt. provn. av frostresistens														ja	ja	

- 1) 6 % i XF4
- 2) Citat: "Vid användning av tillsatsmaterial tillsammans med cement av typerna CEM II och CEM III skall den totala mängden av respektive tillsatsmaterial av typ II inklusive det som eventuellt ingår som en komponent i cementet per mängd cementklinker inte överstiga det som anges för tillsatsmedlet i respektive exponeringsklass."
- 3) Ekvivalent cementshalt c_{ekv} är cement + k-tillsatsmaterial där k är effektivitetsfaktorn för tillsatsmaterialet.

PERIODEN 2004 - 2008

Gällande normer och standarder är

BOVERKETS REGELSAMLING FÖR KONSTRUKTION
Boverkets konstruktionsregler BKR
Fastställd år 2003

EUROPEISKA BETONGSTANDARDEN SS-EN206-1
FASTSTÄLLD 2001
Med dess tillämpningsdokument
SVENSK STANDARD SS 13 70 03:2004
Fastställd år 2008

EUROPEISKA CEMENTSTANDARDEN SS-EN 197-1
Fastställd år 2001

TÄCKSKIKTSTANDARDEN SS 13 70 10
Fastställd år 2002

Av myndigheterna accepterade regler är
BOVERKETS HANDBOK OM BETONGKONSTRUKTIONER
BBK 04
Publicerad år 2004

Inledning

Under 2008 genomfördes en revision av det svenska anpassningsdokumentet SS 13 70 02 ”Betong - Användning av EN 206-1 i Sverige.

Övriga dokument, cementstandarden, täckskiktstandarden och betongstandarden EN 206-1 förblev oförändrade.

Väsentliga förändringar i anpassningsdokumentet är:

1. Nya regler för användning av ej beprövade cement.
2. Ändrade krav på ballast.
3. Ändade regler för betongsammansättning i olika exponeringsklasser.
4. Ändrad frekvens av frysprovning.
4. Nya regler för undersökning av ej beprövade cementtyper.

1. Krav på bindemedel

1.1 Krav på cement

Samma cementtyper som tidigare.

I stränga miljöklasser begränsas mängden kalkstensfyller i kompositcement CEM III/B-M till 20% och mängden silikastoft i kompositcement CEM II/A-M till 5% ; se BILAGAN.

1.2 Krav på mineraliska tillsatsmaterial

Oförändrade regler.

1.3 Cement enligt betongbestämmelserna

Det införs ändrade regler och metoder för undersökning av cement som ej är ”beprövade i Sverige”. Följande egenskaper skall undersökas:

- Korttids- och långtidshållfasthet	Oförändrad metod
- Krympning	Oförändrad metod
- Inre frostbeständighet	Ny metod
- Saltfrostbeständighet/flagning	Oförändrad metod
- Kloridpermeabilitet	Oförändrad metod
- Korrosionskänslighet	Ny metod
- Värmeutveckling	Oförändrad metod
- Sulfatresistens	Ny metod
- Karbonatiseringsdjup	Ny metod

1.4 mineraliska tillsatsmaterial enligt betongbestämmelserna

Max tillsatt mängd *flygaska* typII som får räknas som bindemedel när den tillsätts CEM II är $0,33 \cdot 1,05 = 0,35$ gånger mängden cementklinker i cementet.

Max tillsatt mängd *silikastoft* som får räknas som bindemedel när det tillsätts CEM II är $0,11 \cdot 1,05 = 0,116$ gånger mängden cementklinker i cementet.

Max tillsatt mängd *masugnsslagg* som får räknas som bindemedel när den tillsätts CEM II är $1,0 \cdot 1,05 = 1,05$ gånger mängden cementklinker i cementet.

Kommentar:

- Om man t.ex. utgår från ett flygaskacement CEM II/B-V som redan innehåller 15% flygaska får alltså ytterligare ca 20% aska av Typ II blandas in i betongen. Dessutom kan troligen ytterligare en stor mängd aska blandas in såvida den klassas som Typ I. Detta kan innebära stora problem både när det gäller frostbeständighet och armeringskorrosion.

2. Krav på blandningsvatten

Oförändrade regler.

3. Krav på ballast och filler

Viss kompletteringar av ballastegenskaper som skall deklarerars införs. Ändringarna har troligen marginell betydelse för beständigheten hos betong.

4. Krav på betongmassa med avseende på miljö

Tabellen över tillåtna betongsammansättningar i olika exponeringsklasser revideras. Den nya tabellen visas i BILAGAN.

Väsentliga ändringar är att ett mycket större antal cementtyper tillåts även i strängare miljöklasser. Så t.ex. godtas alla CEM II-cement i karbonatiseringsmiljö. Kalkstencement och kompositcement tillåts i alla miljöer med risk för armeringskorrosion och i den strängaste frostmiljön.

Kommentar:

- Helt oprövade cementtyper godtas i aggressiva miljöer. Det är oklart vilket vetenskapligt underlag eller vilket underlag baserat på praktisk erfarenhet som ligger bakom dessa nya regler.

5. Krav på frostbeständighet

Frekvensen av frysprovning ändras. Betydligt mindre antal provningar krävs. Tidigare krävdes en provkropp per månad per "betongsammansättning". Nu krävs endast en provkropp var sjätte månad förutsatt att tre prover testade under 3 månader visar god frostbeständighet.

Kommentar:

- Mängden frysprovning var låg redan i de tidigare reglerna. Nu har den ytterligare reducerats. Dessutom är begreppet "betongsammansättning" mycket dåligt preciserat. Även små ändringar i sammansättningen kan få dramatiska effekter på frostbeständigheten.

6. Krav på täckskikt och maximal sprickvidd

Inga ändringar i förhållande till perioden 2004-2008. Den svenska täckskiktsstandarden gäller fortfarande.

BILAGA

Tabell 5.3.2a-Gränsvärden för betongsammansättning med avseende på beständighet i olika exponeringsklasser

	Exponeringsklasser														
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4
högsta $v_{ct_{ekv}}$	-	0,90	0,60	0,55	0,55	0,45	0,45	0,40	0,45	0,45	0,40	0,60	0,45	0,55	0,45
Lägsta cem-halt c_{ekv} kg/m ³ 2)	-	-	200												
Användbara cement 3)	Alla	Alla utom III/B	Alla utom III/B	Alla utom III/A III/B	Alla utom III/A III/B	Alla utom III/A III/B	Alla utom III/A III/B	I II/A-S II/A-D II/A-V II/A-LL II/A-M	I II/A-S II/B-S II/A-D II/A-V II/B-V II/A-LL II/A-M II/B-M	I II/A-S II/B-S II/A-D II/A-V II/B-V II/A-LL II/A-M II/B-M	I II/A-S II/B-S II/A-D II/A-V II/B-V II/A-LL II/A-M II/B-M	I II/A-S II/B-S II/A-D II/A-V II/B-V II/A-LL II/A-M II/B-M	I II/A-S II/B-S II/A-D II/A-V II/B-V II/A-LL II/A-M II/B-M	I II/A-S II/B-S II/A-V II/B-V II/A-LL II/A-M II/B-M	I II/A-S II/A-V II/A-LL II/A-M 4)
Lägsta hållfasthetsklass	32,5	32,5	32,5	32,5	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5
Max tillsatsmat. Silikastoft % av CEM I Flygaska 1) Slagg Totalt	11													6	6
	50							25	50	25	50			25	
	230	150	50					25	50	25	50			25	
	230	150	50					25	50	25	50			25	
Frostresistent ballast												ja	ja	ja	ja
Provning av frostresistens															ja
Krav på lägsta lufthalt alt. provn. av frostresistens													ja	ja	

- 1) Citat: "Vid användning av tillsatsmaterial tillsammans med cement av typerna CEM II och CEM III skall den totala mängden av respektive tillsatsmaterial av typ II inklusive det som eventuellt ingår som en komponent i cementet per mängd cementklinker inte överstiga det som anges för tillsatsmedlet i respektive exponeringsklass."
- 2) Ekvivalent cementshalt c_{ekv} är cement + k-tillsatsmaterial där k är effektivitetsfaktorn för tillsatsmaterialet.
- 3) Högst 20% kalkstensmjöl i CEM II/B-M (kompositcement med max 35% mineral)
- 4) Högst 5% silikastoft i CEM II/A-M (kompositcement med 20% mineral)