

Kravspecifikation

BETON

Rev.	Revisionsdato	Emne (ændring)
1	30.06.2017	Version 1
2	26.08.2020	Diverse ændringer, bl.a. flere tilladelige bindersammensætninger, krav til rustfri armering. Dertil er designkrav vedr. minimumsarmering og revnevidder indført.
3	31.05.2023	Diverse ændringer, bl.a. betonkrav til segmenter til borede tunneler, slidsevægge samt mulighed for brug af nye cementtyper.

Kravs-specifikation

1	Indhold og anvendelse	6
1.1	Gyldighedsområde.....	6
1.2	Indhold.....	7
1.3	Love og bekendtgørelser	8
1.4	Normer, standarder m.m.	9
1.5	Kvalitetsledelse	11
2	Udformning og projektering.....	13
2.1	Generelle krav	13
2.1.1	Den projekterendes forpligtelser, samt inddragelse af bygherrens arbejds miljøkoordinator.....	13
2.1.2	Den projekterendes forpligtelser i forhold til bygbarhed og arbejdsmiljø.....	13
2.2	Armering	14
2.3	Præfabrikerede betonelementer – 50 års levetid.....	14
2.3.1	Krav til revner	14
2.3.2	Betonkrav	15
2.4	Præfabrikerede betonelementer – 100 års levetid.....	16
2.4.1	Krav til revner	16
2.4.2	Betonkrav	16
2.4.2.1	Eksponeringsklasser.....	16
2.4.2.2	Betonsammensætning.....	19
2.4.2.3	Forprøvning	22
2.4.2.4	Produktionskontrol	24
2.4.2.5	Kvalitetskontrol	25
2.4.2.6	Transport og opbevaring af presrør	27
2.4.2.7	Transport og opbevaring af tunnelsegenter.....	27
2.5	Traditionel armering - In situ-støbte betonkonstruktioner – 50 års levetid.....	27
2.5.1	Krav til revner	28
2.5.2	Betonkrav	28
2.6	Traditionel armering – In situ-støbte betonkonstruktioner – 100 års levetid.....	29
2.6.1	Krav til revner	29
2.6.2	Betonkrav til ydre elementer	29
2.6.2.1	Eksponeringsklasser.....	30
2.6.2.2	Betonsammensætning.....	32
2.6.2.3	Forprøvning	35
2.6.2.4	Produktionskontrol	37

Kravspecifikation

2.7	Betonkrav til indvendige elementer	39
2.7.1	Eksporeringsklasser.....	40
2.7.2	Betonsammensætning	40
2.7.3	Forprøvning	41
2.7.4	Produktionskontrol	41
2.8	Betonkrav – Sekantpæle og slidsevægge	43
2.8.1	Midlertidige sekantpæle og slidsevægge	43
2.8.2	Permanente sekantpæle og slidsevægge	43
2.8.2.1	Eksporeringsklasser.....	43
2.8.2.2	Betonsammensætning	44
2.8.2.3	Bøjningsmekaniske egenskaber af stålfiberarmeret beton	45
2.8.2.4	Prøvning	45
2.9	Generelle krav	47
2.9.1	Delmaterialer	47
2.9.1.1	CEM I	47
2.9.1.2	CEM II/A-S.....	47
2.9.1.3	CEM III/A	48
2.9.1.4	CEM III/B	49
2.9.1.5	Flyveaske	49
2.9.1.6	Mikrosilica.....	49
2.9.1.7	Tilslag	49
2.9.1.8	Vand	51
2.9.1.9	Tilsætningsstoffer	51
2.9.1.10	Levering og opbevaring af delmaterialer	52
2.9.2	Frisk betons egenskaber.....	52
2.9.3	Hærdnende og hærdnet betons egenskaber.....	52
2.10	Stålfiberarmering – Præfabrikerede betonelementer – 50 års levetid	52
2.11	Stålfiberarmering – Præfabrikerede betonelementer – 100 års levetid	52
2.11.1	Krav til revner	53
2.11.2	Betonkrav	53
2.11.2.1	Eksporeringsklasser.....	53
2.11.2.2	Betonsammensætning	54
2.11.2.3	Bøjningsmekaniske egenskaber af stålfiberarmeret beton	57
2.11.2.4	Forprøvning	58
2.11.2.5	Produktionskontrol	60

Kravspecifikation

2.11.2.6	Kvalitetskontrol	61
2.11.2.7	Transport og opbevaring af præfabrikerede stålfiberarmerede betonelementer ..	62
2.11.2.8	Reparation af installerede præfabrikerede stålfiberarmerede betonelementer	62
2.12	Stålfiberarmering – In-situ-støbte betonkonstruktioner – 50 års levetid	62
2.13	Stålfiberarmering – In-situ-støbte betonkonstruktioner – 100 års levetid	63
2.13.1	Krav til revner	63
2.13.2	Betonkrav	63
3	Udførelse	64
3.1	Mål og tolerancer	64
3.2	Form	64
3.2.1	Kontrol	65
3.3	Armering	65
3.3.1	Afstandsklodser	66
3.3.2	Fibre	67
3.3.3	Kontrol	67
3.4	Støbearbejde – udførelse	67
3.4.1	Generelt	67
3.4.2	Støbning	68
3.4.3	Støbeskel	68
3.4.4	Efterbehandling	70
3.4.4.1	Kontrol	70
3.4.4.2	Temperaturkrav og revner	71
3.4.4.3	Hærdnet beton, overflader	71
3.4.4.4	Reparation og injicering	72
3.4.5	Specielle udførselskrav	72
3.4.5.1	Vinterstøbning	72
3.4.5.2	Specielt for betonarbejder i vandværker	72
3.4.5.3	Specifikke udførelseskrav for dæk og gulve	72
3.4.6	Kvalitetskontrol	73
3.4.6.1	Dæklag	73
3.5	Udvendige membraner	73
4	Indberetning og dokumentation	75
	Appendix, konstruktioner til spildevand – alternative tiltag ved forøget risiko for syreangreb	76

Kravspekifikation

Bilag

Bilag 1 Udbudskontrolplan (BET 101 B1)

Bilag 2 Membraner (BET 101 B2)

Kravspecifikation

1 Indhold og anvendelse

1.1 Gyldighedsområde

Nærværende kravspecifikation dækker in situ-støbt beton og præfabrikerede betonelementer til 50 år samt 100 års levetid med traditionel armering, stålfiberarmering eller uarmeret.

Konstruktionselementer som presrør til pipe jacking indgår i denne specifikation som en del af de krav, der er angivet til præfabrikerede betonelementer. Permanente betonkonstruktioner der støbes med pladsstøbt beton til f.eks. skakte skal overholde krav angivet til in situ beton.

Desuden dækker nærværende kravspecifikation også beton benyttet til midlertidige eller armerede/uarmerede sekantpæle samt midlertidige eller permanente, armerede slidsevægge.

Mindre betonbrønde (præfabrikerede og in-situ), dæksler samt standard betonrør (uarmerede), som installeres i åben udgravning tæt på terræn, er ikke eksplicit specificeret i nærværende kravspecifikation. Disse konstruktioner kan designes iht. nærværende kravspecifikation, men skal også designes iht. gældende normer, standarder samt guidelines for de pågældende konstruktionselementer.

Nærværende kravspecifikation dækker ikke beton i kontakt med vandbanen (drikkevand). Her gælder kravspecifikation VAM101 – beton i kontakt med vandbanen

Kravspecifikationen skal anvendes ved planlægning, projektering og udførelse af beton til permanente konstruktioner. Dette gælder uarmerede konstruktioner/elementer såvel som konstruktioner/elementer armeret med traditionel armering (sort stangarmering) eller stålfibre. Ved traditionel armering og stålfibre forstås armering af kulstofstål.

Midlertidige konstruktioner er, bortset fra sekantvægge og slidsevægge, ikke dækket af nærværende specifikation.

Som udgangspunkt, er krav i nærværende specifikation udarbejdet til beton til brug for konstruktioner med begrænset risiko for svovlsyreangreb. Hvorvidt der er forøget risiko for svovlsyreangreb, skal fastlægges af den projekterende på det enkelte projekt.

For konstruktioner, som projekteres for eksponering mod skybrud/regnvand, er det ved fastlæggelse af eksponeringsklasse mod kemisk angreb antaget, at de, f.eks. i forbindelse med overløb, også eksponeres for spildevand i en kortere periode, såkaldt overløbsvand, dvs. regnvand med mindre mængder spildevand (sker typisk ved kraftige regnhændelser og skybrud).

Projektspecifikke krav vedrørende slitage (abrasion/erosion/kavitation) er ikke indeholdt i nærværende kravspecifikation, med undtagelse af presrør.

Dette dokument skal læses i sammenhæng med projektspecifik SAB, som den projekterende skal udarbejde. Den projektspecifikke SAB skal bl.a. indeholde krav til levetid, dvs. om konstruktionen skal designes til 50 eller 100 års levetid. Derudover skal eksponeringsforhold for beton afhængig af konstruktionens brug (fjernvarme, skybrud/regnvand eller spildevand) defineres i den

Kravspecifikation

projektspecifikke SAB. For konstruktioner til spildevand, skal det desuden specificeres i SAB, hvorvidt der er forøget risiko for svovlsyreangreb af beton.

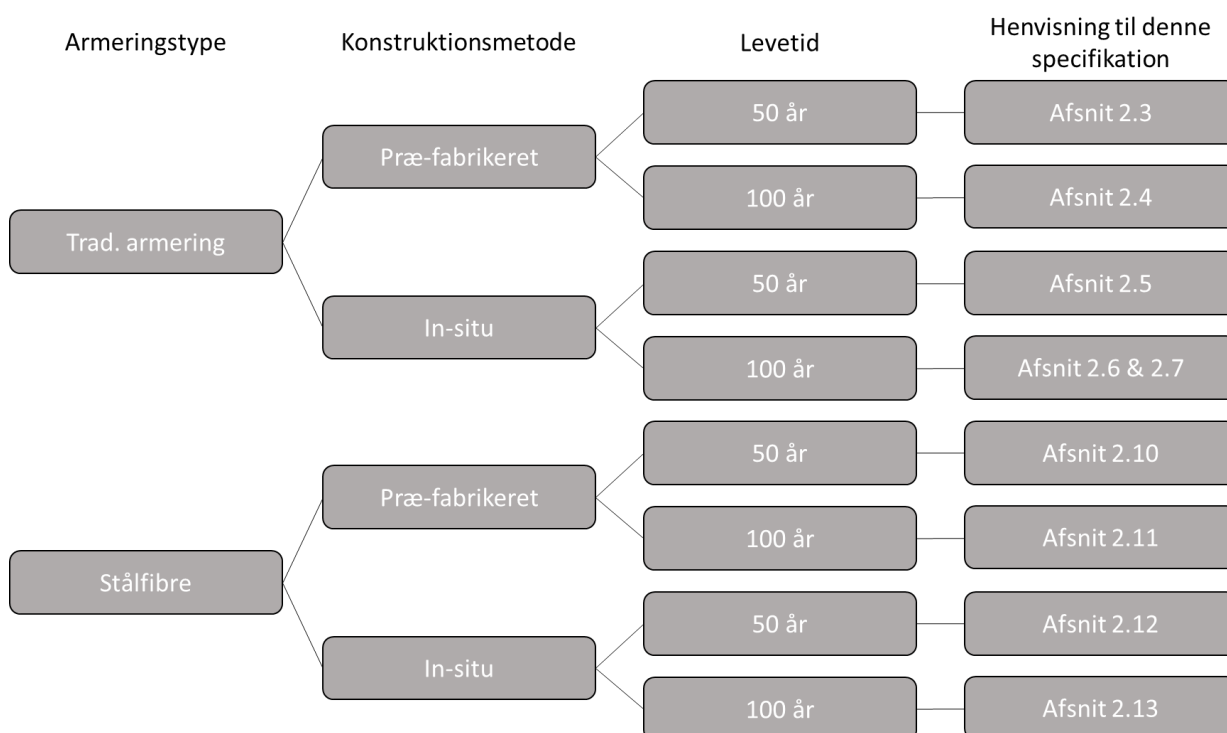
I nærværende kravspecifikation er der angivet korresponderende krav til dæklag og betonsammensætning, dvs. de angivne dæklag gælder kun for de anførte, tilladelige betonsammensætninger. Ved udarbejdelse af f.eks. generalnoter eller projektspecifik SAB skal krav til både dæklag og tilladt betonsammensætning således angives.

1.2 Indhold

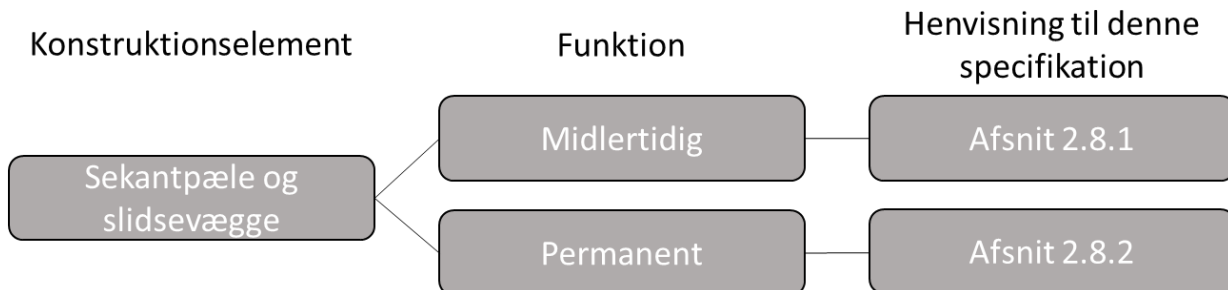
Nærværende kravspecifikation beskriver kravene til beton i planlægning, projektering og udførelse af permanente konstruktioner.

Kravspecifikationen er for udførelsen tænkt benyttet som en slags "Almindelig arbejdsbeskrivelse", som i det konkrete projekt skal suppleres, og evt. fraviges. Dette sker i en projektspecifik beskrivelse, SAB.

Afsnit 2 angiver krav til udformning og projektering, som den projekterende skal opfylde ved projektets planlægning og projektering i alle projektfaser, inkl. hvis dele af eller hele planlægningen eller projekteringen er henlagt til udførelsesfasen. Figurerne nedenfor viser, hvor krav til de i Afsnit 1.1 angivne konstruktioner kan findes. Det bemærkes, at der angives separate krav til hhv. traditionelt armeret beton (stangarmering) og stålfiberarmeret beton. Krav til uarmerede konstruktioner/elementer er angivet i samme afsnit som krav til traditionelt armerede konstruktioner/elementer.



Kravspecifikation



Som udgangspunkt følger projektering for 50 års levetid gældende standarder inkl. nationalt annek (NA) fra produktionsland, med få tilføjelser som givet heri. Denne levetid benyttes typisk for mindre bygværker over jord, eller mindre, underjordiske (overfladenære) bygværker, f.eks. brønde, som er let-udskiftelige. Idet gældende standarder ikke angiver krav til 100 års levetid for de specielle eksponeringer som dækket heri, er krav til disse elementer/bygværker fastlagt på baggrund af erfaringer fra tidligere projekter, levetidsmodellering, og internationale guidelines.

Kravspecifikationen angiver tilladte bindersammensætninger til beton afhængig af konstruktionens levetid og brug, og de specificerede bindersammensætninger kan enten købes som færdigblandede produkter, eller de kan blandes på betonværket.

Afsnit 3 angiver krav til udførelsen (in-situ), som den udførende skal opfylde ved projektets fysiske udførelse.

Afsnit 4 angiver krav til indberetning og dokumentation af udførelsen.

Kravspecifikationen tager ikke stilling til hvilken part (den projekterende eller udførende) i byggeprocessen, der skal planlægge, projektere eller udføre projektet, og dermed hvilken part, der har ansvaret for opfyldelse af kravene. Dette vil være bestemt af HOFOR ved valget af byggeprocessens organisation og af kontrakt- og entrepriseformer. Ansvarsforholdene ift. kravspecifikationerne vil være beskrevet i rådgiver- og entreprisekontrakterne for det konkrete projekt.

1.3 Love og bekendtgørelser

Nedenfor er listet nogle love og bekendtgørelser, som indeholder bestemmelser med særlig relevans for kravspecifikationens område. Listen må ikke betragtes som udtømmende, og flere kunne være nævnt. Det understreges i den forbindelse, at alle gældende love og bekendtgørelser skal overholdes, uanset om de er nævnt nedenfor eller i andre afsnit, er ændret eller slet ikke nævnt i kravspecifikationen.

- LBK nr. 2062 af 16/11/2021 Bekendtgørelse af lov om arbejdsmiljø
- LBK nr. 1185 af 14/10/2010 Bekendtgørelse af byggeloven
- BEK nr. 110 af 05/02/2013 Bekendtgørelse om projekterendes og rådgiveres pligter mv. efter lov om arbejdsmiljø
- BEK nr. 1826 af 16/12/2015 Bekendtgørelse om uddannelse af personer, der udfører boringer og brønde på land

Kravspecifikation

1.4 Normer, standarder m.m.

Nedenfor nævnte normer og standarder m.m. gælder i relation til denne kravspecifikation med de tilføjelser og fravigelser, som fremgår af projekt- eller udbudsmaterialet. Hvis ikke andet er nævnt, gælder den sidst udsendte version. Vejledninger i de nævnte normer, standarder m.m. skal betragtes som krav medmindre andet er nævnt i projekt- eller udbudsmaterialet inklusiv nærværende kravspecifikation.

Beton skal projekteres og udføres i henhold til de gældende Eurocodes med tilhørende danske nationale annekser med tillæg som givet i nærværende kravspecifikation. For præfabrikerede betonprodukter gælder Eurocodes med tilhørende nationale annekser for enten Danmark eller produktionsland med tillæg som givet i nærværende kravspecifikation. I relation til denne kravspecifikation henvises til følgende specifikke normer og standarder m.m.:

- DS/EN 1990 Eurocode 0: Projekteringsgrundlag for bærende konstruktioner
- DS/EN 1992-1-1 Eurocode 2: Betonkonstruktioner – Del 1-1: Generelle regler samt regler for bygningskonstruktioner
- DS/EN 1992-1-1 DK NA:2017 Nationalt annekst til Eurocode 2: Betonkonstruktioner – Del 1-1: Generelle regler samt regler for bygningskonstruktioner
- DS/EN 1992-2 Eurocode 2: Betonkonstruktioner – Betonbroer – Dimensionerings- og detaljeringsregler
- DS/EN 1992-2 DK NA:2015 Nationalt annekst til Eurocode 2: Betonkonstruktioner - Del 2: Betonbroer - Dimensionerings- detaljeringsregler
- DS/INF 135 Klassifikation af cement – Klassifikation vedrørende alkaliindhold og sulfatbestandighed samt regler for certificering af supplerende krav og overensstemmelsesvurdering
- DS/EN 196-2 Metode til prøvning af cement – Del 2: Kemisk analyse af cement
- DS/EN 197-1 Cement – Del 1: Sammensætning, krav til egenskaber og overensstemmelseskriterier for almindelige cementer
- DS/EN 197-2 Cement – Del 2: Overensstemmelsesvurdering
- DS/EN 197-5 Cement – Del 5: Portlandkompositcement CEM II/C-M og kompositcement CEM VI
- DS/EN 206, Beton – Specifikation, egenskaber, produktion og overensstemmelse
- DS/EN 450 Flyveaske til beton – Del 1: Definition, specifikationer og overensstemmelseskriterier
- DS/EN 480-4 Tilsætningsstoffer til beton, mørtel og injektionsmørtel – Prøvningsmetoder – Del 4: Bestemmelse af vandudskillelse

Kravspecifikation

- DS/EN 480-10 Tilsætningsstoffer til beton, mørtel og injektionsmørtel – Prøvningsmetoder – Del 10: Bestemmelse af vandopløseligt chloridindhold
- DS/EN 480-11, Tilsætningsstoffer til beton, mørtel og injektionsmørtel. Prøvningsmetoder. Del 11: Bestemmelse af luftporestruktur i hærdnet beton
- DS/EN 932-1 Prøvningsmetode for generelle egenskaber ved tilslag. Del 1: Prøveudtagning
- DS/EN 933-1 Metoder til prøvning af tilslags geometriske egenskaber – Del 1: Bestemmelse af kornstørrelsesfordeling – Sigteanalyse
- DS/EN 1097-6 Metoder til prøvning af tilslags mekaniske og fysiske egenskaber – Del 6: Bestemmelse af korndensitet og vandabsorption
- DS/EN 1367-4 Metoder til prøvning af tilslags egenskaber over for temperatur- og vejrpåvirkninger – Del 4: Bestemmelse af svind ved tørring
- DS/EN 1504-3 Produkter og systemer til beskyttelse og reparation af betonkonstruktioner – Definitioner, krav, kvalitetskontrol og vurdering af overensstemmelse – Del 3: Konstruktiv og æstetisk reparation
- DS/EN 1504-5 Produkter og systemer til beskyttelse og reparation af betonkonstruktioner – Definitioner, krav, kvalitetskontrol og vurdering af overensstemmelse – Del 5: Betoninjektion
- DS/EN 1744-1 Metoder til prøvning af tilslags kemiske egenskaber – Del 1: Kemisk analyse
- DS/EN 206 DK NA:2020, Beton – Specifikation, egenskaber, produktion og overensstemmelse – Regler for anvendelse af EN 206 i Danmark
- DS 2427, Udførelse af betonkonstruktioner – Regler for anvendelse af EN 13670 i Danmark
- DS/EN 10080 Armeringsstål til beton – Svejselige armeringsstål – Generelt
- DS/EN 10088-1 Rustfrie stål - Del 1: Liste over rustfrie stål
- DS/EN 12390-3, Prøvning af hærdnet beton – Del 3: Prøvelegemers trykstyrke
- DS/EN 12390-6, Prøvning af hærdnet beton – Del 6: Prøvelegemers spaltetrækstyrke
- DS/EN 12390-13, Prøvning af hærdnet beton – Del 13: Bestemmelse af elasticitetsmodul (Sekantmodul) under trykpåvirkning
- DS/EN 12504-1, Prøvning af betonkonstruktioner – Del 1: Borekerner – Udtagning, undersøgelse og trykprøvning
- DS/EN 12350-2 Prøvning af frisk beton – Del 2: Sætmål
- DS/EN 12350-3 Prøvning af frisk beton – Del 3: Vebeprøvning
- DS/EN 12350-4 Prøvning af frisk beton – Del 4: Kompakteringsgrad

Kravspecifikation

- DS/EN 12350-5 Prøvning af frisk beton – Del 5: Faldbordsprøvning
- DS/EN 12350-7 Prøvning af frisk beton – Del 7: Luftindhold – Pressurmetermetode
- DS/EN 12620 Tilslag til beton
- DS/EN 13263 Mikrosilica i beton – Definitioner, krav og overensstemmelseskriterier
- DS/EN 13670, Udførelse af betonkonstruktioner
- DS/EN 14651, Præfabrikerede betonelementer – Prøvningsmetode til beton med metalfibre – Måling af bøjningstrækstyrken (LOP)
- DS/EN 14721, Præfabrikerede betonprodukter – Prøvningsmetode til beton med metalfibre – Måling af fiberindholdet i frisk og hærdnet beton
- DS/EN 15167 Granuleret højojnsslagge til brug i beton, mørtel og injektionsmørtel – Del 1: Definitioner, specifikationer, overensstemmelseskriterier
- Fédération Internationale Du Béton, *fib* Model Code for Concrete Structures 2010, for fiberarmerede betonkonstruktioner gælder især Sektion 5.6 af 5.6 "Fibre/fibres reinforced concrete"
- TI-B 33 Prøvningsmetode Måling af betonforseglingens virkningsgrad
- NT Build 492 Chloride migration coefficient from non-steady state migration experiments
- BS 7973-1 Spacers and chairs for steel reinforcement and their specification. Product performance requirements
- ASTM C 1064 Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete

1.5 Kvalitetsledelse

Den udførende skal oprette et kvalitetssystem, hvorom det gælder, at delmaterialer, færdigblandet beton, betonelementer og andre elementer i det endelige bygværk skal være omfattet af et kvalitetssystem, som overholder DS/EN ISO 9001. For produkter henvises der til relevant produktstandard samt tilhørende kvalitetssystem.

Det skal altid vurderes ift. det konkrete projekt, om kravspecifikationen er dækkende, eller om der er behov for i projekt- eller udbudsmaterialet at stille supplerende krav eller fravigelser til kravspecifikationen. Det er den projekterende/udførendes ansvar at foretage denne vurdering.

Ved fravigelse forstås en planlagt og nøje overvejet ændring ift. kravspecifikationen. En fravigelse skal begrundes og det skal dokumenteres, at den er forsvarlig. Inden implementering skal fravigelsen accepteres af HOFOR.

Ved afvigelse forstås en ikke planlagt eller ikke overvejet ændring ift. kravspecifikationen, som af uforudsigelig eller ikke tiltænkt grund er opstået, og at forholdet ikke kan bringes til opfyldelse af

Kravspecifikation

kravspecifikationen. En afvigelse skal beskrives i en afvigerapport mht. afvigelsens karakter og årsag, forslag til afhjælpende foranstaltninger og konsekvens af forslaget på kort og lang sigt, mht. holdbarhed, drift og vedligehold, herunder evt. behov for skærpede overvågnings-/moniterings- eller vedligeholdsaktiviteter. Forslaget til afhjælpende foranstaltninger skal have HOFORs accept, før arbejdet udføres.

Generelt gælder det, hvis ikke andet angivet, at alle dokumenter, der skal sendes til HOFORs accept, skal sendes minimum 30 dage inden arbejdet påbegyndes. Alle dokumenter skal være godkendte af HOFOR, inden arbejdet påbegyndes.

HOFOR forbeholder sig retten til at auditere den projekterende, den udførende og dennes underentreprenører og leverandører i løbet af arbejdets udførelse.

Kravsifikation

2 Udformning og projektering

2.1 Generelle krav

2.1.1 Den projekterendes forpligtelser, samt inddragelse af bygherrens arbejdsmiljøkoordinator

Den projekterendes forpligtelser er lovgivningsmæssigt reguleret af Bekendtgørelse om projekterendes og rådgiveres pligter mv. Overordnet skal den projekterende i sit design sikre, at reglerne i arbejdsmiljøloven kan overholdes under udførelsen af projektet, samt ved drift og vedligehold af det kommende anlæg.

I forbindelse med planlægningen og projekteringen af betonkonstruktioner skal den projekterende informere og inddrage HOFORs arbejdsmiljøkoordinator i nødvendige vurderinger af arbejdsmiljømæssige forhold på projektet.

Den projekterende skal som en del af planlægningen/projekteringen facilitere gennemførelsen af en skriftlig arbejdsmiljømæssig risikoidentifikation for udførelsesdelen samt for den senere drift og vedligeholdelse af det aktuelle projekt. Arbejdsmiljøkoordinatoren skal inddrages i denne proces og have råderet over det skriftlige materiale.

Den projekterende skal herudover inddrage arbejdsmiljøkoordinatoren i forbindelse med f.eks. planlægning af byggepladsforhold, fastlæggelse af udførelsesplan og særligt farligt arbejde, samt andre elementer, der skal indgå i arbejdsmiljøkoordinatorens udarbejdelse af plan for sikkerhed og sundhed.

Den projekterende skal inddrage arbejdsmiljøkoordinatoren i så god tid, at det er muligt for den projekterende at nå at tage hensyn til de anvisninger, der kommer fra arbejdsmiljøkoordinatoren.

Den projekterende skal løbende dokumentere overvejelserne med hensyn til arbejdsmiljø i en log. Loggen skal være tilgængelig for arbejdsmiljøkoordinatoren under hele projekteringsfasen, og skal overdrages til koordinatoren inden udbud.

2.1.2 Den projekterendes forpligtelser i forhold til bygbarhed og arbejdsmiljø

Det er den projekterendes ansvar at designet, hvor muligt, skal indtænke brugen af præfabrikerede betonelementer, og ved in situ beton optimeres i forhold til brugen af præfabrikerede armeringsbure og net. Ved anvendelse af præfabrikerede betonelementer skal den projekterende i sin arealdisponering indregne plads til midlertidig afstivning af elementerne inden fastgørelsen.

Kravspecifikation

Generelt skal den projekterende i sit forslag til arealdisponering og tidsplaner for byggepladsen afsætte plads til arbejds- og færdselsarealer i forbindelse med transport og mellemoplagering af armering og præfabrikerede betonelementer, udførelse af armeringsarbejde, kraning etc.

2.2 Armering

Der skal anvendes armeringsstål f_{yk} 500/ 550 i henhold til DIN 488 eller DS/EN 10080. Armeringsstål skal opfylde specifikationerne i Tabel 1.

Tabel 1 Anvendte armeringskvaliteter

Identifikation iht. EN 1992-1-1 Anneks C	Bearbejdning	Styrke f_{yk} [MPa]	Duktilitet		Svejsbart *
			$\epsilon_{uk} \geq [\%]$	$(f_t/f_y)_k$	
Klasse A	Ingen krav	Min 500	2,5	$\geq 1,05$	Svejsbar
Klasse B	Ingen krav	Min 500	5,0	$\geq 1,08$	Svejsbar

Noter:

* Ved bestemmelse af svejselighed fastlægges det udelukkende om man kan svejse på armeringen. Hvis der kan svejses på armeringen, kan det medføre ændrede egenskaber for armeringen. Dokumentation for egenskaber skal således være efter svejsning.

Såfremt der skal benyttes syrefast, rustfri armering skal der vælges mellem EN 1.4401, EN 1.4404, EN 1.4432, EN 1.4435, EN 1.4436, eller 1.4571 til HOFORs accept.

Krav til armering i forbindelse med udførelse er givet i Afsnit 3.3.

Stålfibre skal være produceret af koldtrukket wire, samt opfylde krav til Gruppe I stålfibre i henhold til DS/EN 14889-1. Desuden stilles der følgende krav til stålfibre:

- Der tillades kun stålfibre med endekroge
- Minimum trækstyrke af stål: 1100 MPa
- Nominel længde af stålfiber: 40 – 60 mm
- Slankhedstallet (L/D) af stålfiber: 50 – 70.

2.3 Præfabrikerede betonelementer – 50 års levetid

I det følgende er der fastsat krav til beton til traditionelt armerede (dvs. slap armering), præfabrikerede betonelementer/betonprodukter, f.eks. brønde eller andre bygværker, som projekteres for 50 års levetid. Dette kan for eksempel omfatte konstruktioner og konstruktionsdele, som er lette at udskifte og reparere.

2.3.1 Krav til revner

Angående krav til revner henvises der til TUN 101 eller TUN 102 afhængig af typen af konstruktionselement.

Kravspecifikation

2.3.2 Betonkrav

Det skal specificeres i projektspecifik beskrivelse (SAB) hvilke eksponeringsklasser iht. DS/EN 206, betonen skal udføres til. Afhængigt af eksponeringsklasser følges krav til design, udførelse, betonsammensætning, forprøvning, produktionskontrol mm. som angivet i DS/EN 1992-1-1 og DS/EN 206 inkl. NA til disse standarder for produktionsland samt krav givet i aktuell produktstandard, f.eks. for præfabrikerede brønde.

I tillæg til de traditionelle cementtyper iflg. DS/EN 206 inkl. NA for produktionsland, tillades desuden at benytte følgende grønnere cementtyper med begrænsninger som angivet nedenfor:

- FutureCem (CEM II/B-M (Q-LL) 52,5 N), iht DS/EN 197-1: Tilladte eksponeringsklasser er angivet i DS/EN 206 DK NA og FutureCem er tilladt i alle eksponeringsklasser på nær XS2, XS3 og XA3.
- CEM II/C-M (S-LL) iht DS/EN 197-5: Tilladte eksponeringsklasser er angivet i national fastlagte anvendelsesregler, f.eks. tysk 'Zulassung' ([link](#)) eller EAD/ETA certifikat, i begge tilfælde udstedt til den enkelte cementproducent. CEM II/C-M (S-LL) er i udgangspunktet tilladt i alle eksponeringsklasser, dog er det ikke cement fra alle cementproducenter som på nuværende tidspunkt kan benyttes til XF2, XF3 og XF4.
- CEM III/A og CEM III/B iht. DS/EN 197-1.

Hvis der i eksponeringsklasse XA2 (eller højere) er risiko for sulfatangreb, skal benyttes sulfatbestandig cement (SR cement). Ved brug af CEM II/C-M (S-LL) eller CEM III/A under disse forhold, skal cementens/betonens sulfatbestandighed dokumenteres, som angivet nedenfor:

- For CEM III/A kan dokumentation være et nationalt certifikat for sulfatbestandighed, f.eks. tysk 'Zulassung' ([link](#)) eller et EAD/ETA-certifikat, i begge tilfælde udstedt til den enkelte cementproducent. Såfremt denne dokumentation ikke er tilgængelig, kan der foretages en afprøvning, f.eks. iht. den tyske SVA testmetode, eller schweizisk SIA 262/1 Appendiks D. Alternativt kan der ved anvendelse af CEM III/A, så længe sulfatindholdet (angivet som SO_4^-) i jord/grundvand er lavere end 1500 mg/l, tilsættes min. 10% flyveaske (%-del af det totale binderindhold).
- For CEM II/C-M (S-LL) skal sulfatbestandigheden dokumenteres ved afprøvning f.eks. iht. den tyske SVA testmetode, eller schweizisk SIA 262/1 Appendiks D.

Hvis CEM III/A eller CEM II/C-M (S-LL) overholder krav til sulfatbestandighed dokumenteret ved afprøvning som angivet ovenfor, antages det, at cementtypen også er modstandsdygtig overfor overløbsvand (dvs. regnvand/skybrud med spildevand). For FutureCem (CEM II/B-M (Q-LL)), er det usikkert hvorvidt den er tilstrækkelig modstandsdygtig overfor overløbsvand (dvs. regnvand/skybrud med spildevand). Derfor anbefales det at afprøve FutureCem iht. en af ovenstående testmetoder, såfremt FutureCem ønskes benyttet til konstruktioner udsat for overløbsvand.

Den udførende skal oprette et kvalitetssystem, hvorom det gælder at delmaterialer, færdigblandet beton, betonelementer og andre elementer i det endelige bygværk skal være omfattet af et kvalitetssystem som overholder DS/EN ISO 9001 eller aktuelle produktstandarder.

Kravspecifikation

2.4 Præfabrikerede betonelementer – 100 års levetid

For præfabrikerede, traditionelt armerede (dvs. slap armering) betonelementer/betonprodukter med en levetid på 100 år, herunder bl.a. presrør, boks culverts, og segmenter til borede tunneler er krav angivet i nærværende afsnit. Ved banekrydsninger kan der være særlige krav med hensyn til designlevetiden, som skal specificeres i projekt- eller udbudsmaterialet.

Beton benyttet til nogle præfabrikerede, traditionelt armerede betonelementer, såsom presrør og boks culverts skal opfylde krav givet i aktuelle produktstandarder, medmindre fraveget i nedenstående afsnit.

Den udførende skal oprette et kvalitetssystem, hvorom det gælder at delmaterialer, færdigblandet beton, betonelementer og andre elementer i det endelige bygværk overholder DS/EN ISO 9001 eller aktuelle produktstandarder.

2.4.1 Krav til revner

Angående krav til revner henvises der til TUN 101 eller TUN 102 afhængig af typen af konstruktionselement.

2.4.2 Betonkrav

Dette afsnit omfatter beton til præfabrikerede, traditionelt armerede betonelementer med 100 års levetid som har kontakt mod jord, grundvand eller havvand på ydersiden. Desuden skal disse konstruktioner projekteres, så de er holdbare overfor eksempelvis høje temperaturer på indersiden (i forbindelse med fjernvarmetunnel), samt aggressive miljøeksponeringer på indersiden i forskellig grad (i forbindelse med skybrud/regnvands- og spildevandstunneler).

Afhængigt af brugen af de præfabrikerede betonelementer, differentieres der i udvalgte krav til betonsammensætning, mm. Desuden er der krav, som kun er gældende for f.eks. presrør eller tunnelsegmenter. I så tilfælde er dette tydeligt beskrevet i teksten.

2.4.2.1 Eksponeringsklasser

Mht. eksponeringsklasser på konstruktionens inderside skelnes der mellem følgende:

- Fjernvarme (høj temperatur på indersiden),
- Skybrud/regnvand (samt regnvand opblandet med spildevand, dvs. overløbsvand), og
- Spildevand (dvs. fælleskloakeret spildevand med/uden regnvand).

Ved fastsættelse af krav til beton til konstruktioner benyttet til spildevand, regnes disse konstruktioner udsat for fælleskloakeret spildevand og der skelnes mellem hhv. begrænset risiko for svovlsyreangreb og forøget risiko for svovlsyreangreb. Svovlsyreangreb af beton forekommer over vandspejlet, hvor H_2S produceret af anaerobe bakterier reagerer med O_2 og producerer H_2SO_4 (svovlsyre). Risikoen for svovlsyreangreb er afhængig af mange faktorer, herunder, pH værdi, temperatur og mængden af ilt. De mest kritiske områder mht. forøget risiko for svovlsyreangreb er, under forudsætning af at der er ilt til stede, bl.a.:

Kravspecifikation

- Pumpeanlæg,
- Indløb/udløb ved skakte,
- Indløb fra trykledninger (offerledninger),
- Indløb af sulfidholdigt spildevand fra bundfaldssystemer samt fra mindre og større industri
- Overløbsbygværker samt andre bygværker hvor der er turbulens

Kravene til beton på ydersiden er fastsat ud fra de mest aggressive forhold, som det vurderes konstruktionerne kan udsættes for udvendigt. Med dette refereres der til påvirkning af f.eks. sulfat og chlorid i jord/grundvand i Københavnsområdet. Det er for designet antaget, at f.eks. chlorid- og sulfat-eksponeringen for alle præfabrikerede betonelementer er den højest mulige i Københavnsområdet, dvs. eksponeringsklasse XS3 og XA2. Såfremt eksponeringen mht. chlorid er lavere end XS3, kan den projekterende foreslå lempelser i krav til dæklag og/eller chloridmigrationskoefficienten på ydersiden. Såfremt eksponeringen mht. sulfat-eksponering er lavere end XA2, kan den projekterende foreslå lempelser i krav til betonsammensætning, f.eks. cementtype. Sådanne lempelser skal godkendes af HOFOR for hvert enkelt projekt, og må kun foretages på baggrund af forundersøgelser af jord/grundvand for det relevante projekt. Forundersøgelser af jord/grundvand skal som minimum følge anvisninger givet i HOFORs kravspecifikation for jordbundsundersøgelser til anlægsarbejde.

For elementer der ikke er i kontakt med jord/grundvand (indvendige elementer), kan den projekterende foreslå lempelser i krav til påkrævet sulfatbestandighed, dæklag og/eller chloridmigrationskoefficienten på baggrund af fastsættelse af den aktuelle eksponering. Der henvises i øvrigt til Afsnit 2.7. Antagelser omkring den aktuelle eksponering skal godkendes af HOFOR for hvert enkelt projekt.

Kravene til betonens sammensætning for et givent element bestemmes af de mest aggressive eksponeringsforhold på ydersiden og indersiden.

Krav til eksponeringsklasser, dæklag, styrkeklasse m.m. afhængigt af brugen af præfabrikerede betonelementer er givet i Tabel 2. Krav til dæklag gælder alle indvendige og udvendige flader af eksponerede overflader af de præfabrikerede betonelementer, inkl. joints for tunnelsegmenter, samt i hele udstrækningen af et betonelement eller en rørføring/ledningsstrækning.

Kravspecifikation

Tabel 2 Krav til eksponeringsklasser, styrkeklasser og dæklag afhængigt af brugen af præfabrikerede traditionelt armerede betonelementer

Emne	Krav		
	Fjernvarme	Skybrud / Regnvand	Spildevand
Temperatur (indvendig)	~ 50°C	Op til 20°C	Op til 30°C
Eksponeringsklasse mht. chlorid (udvendig)	XS3	XS3	XS3
Eksponeringsklasse mht. sulfat (udvendig)	XA2	XA2	XA2
Eksponering mht. spildevand (indvendig)	Ej relevant	Overløbsvand (XA2/XA3) ^{c)}	Rent spildevand: 1. Begrænset risiko for svovlsyreangreb (XA3), eller 2. Forøget risiko for svovlsyreangreb (>XA3).
Eksponeringsklasse mht. karbonatisering (indvendig)	XC4	XC4	XC4
Frosteksponering	Ikke eksponeret ^{b)}	Ikke eksponeret ^{b)}	Ikke eksponeret ^{b)}
Eksponeringsklasse mht. slitage iht. DIN 1045-2 (indvendig) – gælder kun for presrør	Ej relevant	XM3	XM3
Minimum styrkeklasse – gælder kun for presrør, boks culverts og tunnelsegenter	C50/60	C50/60	C50/60
Nominal dæklag	45 mm ^{a)}	45 mm ^{a)}	45 mm ^{a)}
Minimum dæklag	40 mm ^{a)}	40 mm ^{a)}	40 mm ^{a)}

Kravspecifikation

Emne	Krav		
	Fjernvarme	Skybrud / Regnvand	Spildevand
a) Såfremt dæklag ikke overholdes reduceres designlevetiden afhængigt af betonkvaliteten. b) Såfremt betonelementerne er udsat for frost/tø eksponering, skal betonen overholde krav til luftindblanding samt luftporesystem eller frost/tø bestandighed som angivet i DS/EN 206 samt nationalt annekse for produktionsland. For konstruktionsdele, der kun udsættes midlertidigt for frost under udførelse, skal alene krav til luftindblanding i den friske beton iht. DS/EN 206 samt nationalt annekse for produktionsland overholdes. c) Hvorvidt eksponeringen er XA2 eller XA3 skal bestemmes specifikt for det pågældende projekt.			

Som angivet i Afsnit 1.1, gælder det for spildevandsprojekter at rådgiveren for det pågældende projekt skal fastlægge, hvorvidt der er forøget risiko for svovlsyreangreb af betonen eller ej.

2.4.2.2 Betonsammensætning

Krav til betonsammensætning afhængigt af brugen af præfabrikerede traditionelt armerede elementer er angivet i Tabel 3. Det bemærkes at krav til tilladte bindersammensætninger er givet i enheden "vægt-% af binderindhold", og ikke som "vægt-% af cementindhold".

For rør/konstruktioner til spildevand skal designet i videst muligt omfang undgå områder med høj turbulens, risiko for aflejringer mm. for at undgå forøget risiko for svovlsyreangreb af beton. Hvorvidt der er forøget risiko for svovlsyreangreb, skal fastlægges i projektspecifik SAB.

Ved spildevandseksponering skal der altid benyttes en syrebestandig betonsammensætning, BSA (**B**eton som er bestandig mod **S**yre **A**ngreb) beton, uanset om der er begrænset eller forøget risiko for svovlsyreangreb. For spildevand angiver Tabel 3 mulige bindersammensætninger til BSA beton. I tillæg til krav for BSA beton som givet i Tabel 3, skal BSA betonens bestandighed overfor syreangreb dokumenteres eller verificeres. Betonens bestandighed overfor syreangreb kan verificeres ved afprøvning (MPA Berlin Brandenburg proceduren), se særskilt afsnit med krav hertil nedenfor, eller som alternativ til ny afprøvning af betones bestandighed overfor syreangreb (MPA Berlin Brandenburg proceduren), kan dette dokumenteres med data fra tidligere afprøvning af samme betonsammensætning (MPA Berlin Brandenburg proceduren) til HOFORs accept. Endelig tillades det for BSA beton, at benytte tidligere af HOFOR godkendte betonsammensætninger.

Beton skal opfylde alle krav, givet i Tabel 3. Afprøvning af beton (forprøvning og produktionskontrol) skal udføres som beskrevet i europæiske standarder inkl. nationale tillæg for produktionslandet, med tillæg/fravigelser som givet i denne specifikation. Der henvises til afsnit 2.9.1 for krav til delmaterialer.

Kravspecifikation

Tabel 3 Krav til bindersammensætning mm. afhængigt af brugen af præfabrikerede, traditionelt armerede betonelementer

Emne	Krav		
	Fjernvarme	Skybrud / Regnvand	Spildevand
Tilladte bindersammensætninger [vægt-% af binderindhold] ^{e)}	1) CEM I + 10-30% FA + 0-7% MS, eller 2) CEM III/A + 0-7% MS ^{g)} , eller 3) CEM III/B + 0-7% MS, eller 4) CEM II/A-S + 20% FA + 0-7% MS	1) CEM I + 10-30% FA + 0-7% MS, eller 2) CEM III/A + 0-7% MS ^{g)} , eller 3) CEM III/B + 0-7% MS, eller 4) CEM II/A-S + 20% FA + 0-7% MS	1) CEM I + FA + MS (FA+MS >30% & FA/MS = 2.75/1 - masseforhold), eller 2) CEM III/A ^{f)} + 0-20% FA + 0-7% MS ^{g)} , eller 3) CEM III/B + 0-7% MS, eller 4) CEM II/A-S + 20% FA + 6% MS
Maksimum ækvivalent v/c forhold	0,40	0,40	0,40
Maksimum chloridmigrationskoefficient for armeret beton afhængig af bindersammensætning ^{a)} ^{b)} [$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$]	1) 2,0 2) 2,0 3) 2,0 4) 2,0	1) 8,0 2) 4,0 3) 2,0 4) 2,0	1) 8,0 2) 2,0 3) 2,0 4) 2,0
Minimum binderindhold	270 kg/m ³ ^{h)}	270 kg/m ³ ^{h)}	270 kg/m ³ ^{h)}
Minimum betonfillerindhold inkl. finstof	375 kg/m ³ ^{c) h)}	375 kg/m ³ ^{c) h)}	410 kg/m ³ ^{d) h)}
Minimum indhold af 8-16 mm tilslag	Intet krav	Intet krav	50-vol.-%
Maksimum SO ₃ indhold	4,0% binderindhold af	4,0% binderindhold af	4,0% af binderindhold

Kravspecifikation

Emne	Krav		
	Fjernvarme	Skybrud / Regnvand	Spildevand
E-modul, gælder kun for presrør	Bestemmes iht. DS/EN 12390-13	Bestemmes iht. DS/EN 12390-13	Bestemmes iht. DS/EN 12390-13
Spaltetrækstyrke, gælder kun for presrør	Bestemmes iht. DS/EN 12390-6	Bestemmes iht. DS/EN 12390-6	Bestemmes iht. DS/EN 12390-6

a) Krav til chloridmigrationskoefficienten er fastsat dels på baggrund af erfaring, dels på basis af modellering ifølge *fib* Bulletin 34. Chloridmigrationskoefficienten skal testes iht. NT Build 492 ved 28 modenhedsdøgn (eller 56 for bindersammensætninger med FA \geq 20% af binderindhold). Konditionering og forberedelse af prøveemner iht. forskrifter givet i NT Build 492. Krav til chloridmigrationskoefficienten (og samhørende afprøvning) er kun gældende for beton med traditionel armering (sort stangarmering).

b) Krav til chloridmigrationskoefficienten er angivet for de tilladte bindersammensætninger.

c) Inkl. finstof < 0.125 mm

d) Inkl. finstof < 0.25 mm

e) FA er flyveaske, GGBS er højovns slagge og MS er mikrosilica

f) Minimum 40% GGBS af totalt binderindhold

g) Hvis der er risiko for sulfatangreb skal sulfatbestandigheden af CEM III/A dokumenteres ved tysk 'Zulassung' ([link](#)) eller et EAD/ETA-certifikat, i begge tilfælde udstedt til den enkelte cementproducent. Såfremt denne dokumentation ikke er tilgængelig, kan der foretages en afprøvning, f.eks. iht. den tyske SVA testmetode, eller schweizisk SIA 262/1 Appendiks D. Alternativt kan der ved anvendelse af CEM III/A, så længe sulfatindholdet (angivet som SO₄⁻) i jord/grundvand er lavere end 1500 mg/l, tilsættes min. 10% flyveaske (%-del af det totale binderindhold).

h) Hvis der aht. bæredygtighed ønskes benyttet en beton med et lavere binderindhold/fillerindhold kan dette accepteres, såfremt producenten kan eftervise betonens holdbarhed

I tillæg til bindersammensætninger angivet i Tabel 3 gælder følgende:

- CEM II/C-M (S-LL) iht. DS/EN 197-5 kan benyttes til præfabrikerede betonkonstruktioner benyttet til fjernvarme eller skybrud/regnvand inkl. overløbsvand (dvs. regnvand/skybrud med spildevand), uarmerede såvel som traditionelt armerede.
- Tilladte eksponeringsklasser ved brug af CEM II/C-M (S-LL) iht DS/EN 197-5 er angivet i national fastlagte anvendelsesregler, f.eks. tysk 'Zulassung' ([link](#)) eller EAD/ETA certifikat, i begge tilfælde udstedt til den enkelte cementproducent. CEM II/C-M (S-LL) er i udgangspunktet tilladt i alle eksponeringsklasser, dog er det ikke cement fra alle cementproducenter som på nuværende tidspunkt kan benyttes til XF2, XF3 og XF4. Det bemærkes at eksponering mod frost ikke umiddelbart er en bekymring til de jorddækkede konstruktioner, men risikoen for frosteksponeering skal undersøges, jf. Tabel 2.
- Hvis der er risiko for sulfatangreb, ved brug af CEM II/C-M (S-LL) iht DS/EN 197-5, skal sulfatbestandigheden dokumenteres ved afprøvning f.eks. iht. den tyske SVA testmetode, eller schweizisk SIA 262/1 Appendiks D.

Hvis CEM III/A eller CEM II/C-M (S-LL) overholder krav til sulfatbestandighed dokumenteret ved afprøvning som angivet ovenfor, antages det, at cementtypen også er modstandsdygtig overfor overløbsvand (dvs. regnvand/skybrud med spildevand).

Generelt tillades det, at projekterende og udførende må foreslå andre betonsammensætninger end de i Tabel 3 angivne, til HOFORs accept. Såfremt der benyttes andre betonsammensætninger end

Kravspecifikation

angivet i Tabel 3, skal rådgiver opstille krav til max. chloridmigrationskoefficient, afhængig af bindersammensætningen og dæklag, for 100 års levetid, til HOFORs accept. For beton til spildevand gælder specifikt, at krav til BSA beton skal opfyldes, dvs. afprøvning af betonens bestandighed overfor syreangreb (MPA Berlin Brandenburg proceduren). Denne dokumentation skal godkendes af HOFOR, før disse betonsammensætninger må benyttes.

Det bemærkes at FutureCem (CEM II/B-M (Q-LL) 52,5 N) ikke er tilladt til præfabrikerede, traditionelt armerede betonelementer, for den pågældende eksponering (XS3), samt i uarmerede eller traditionelt armerede betonelementer i XA3 jf. DS/EN 206 DK NA.

I udgangspunktet gælder for uarmerede, præfabrikerede betonkonstruktioner at krav til betonsammensætning, se Tabel 3, og afprøvning som givet heri skal overholdes, såfremt krav til levetid er det samme som for armerede konstruktioner, dog undtaget krav til chloridmigrationskoefficient. Den Udførende kan dog foreslå ændringer på case-by-case niveau, som skal godkendes af HOFOR før implementering. Hvis de uarmerede, præfabrikerede betonelementer er "indendørs", dvs. elementer som ikke er udsat for spildevand, høje temperaturer, skybrudsvand, regnvand eller chloridholdigt vand (f.eks. fra grundvand eller tørsaltpåvirkning) tillades også FutureCem (CEM II/B-M (Q-LL) 52,5 N) fra Aalborg Portland, samt CEM II/C-M (S-LL) som alternativ til de i Tabel 3 angivne bindersammensætninger.

For "indendørs" præfabrikerede, traditionelt armerede betonelementer, dvs. elementer som ikke er udsat for spildevand, høje temperaturer, skybrudsvand, regnvand eller chloridholdigt vand (f.eks. fra grundvand eller tørsaltpåvirkning) tillades også FutureCem (CEM II/B-M (Q-LL) 52,5 N) fra Aalborg Portland, samt CEM II/C-M (S-LL) som alternativ til de i Tabel 3 angivne bindersammensætninger. Endvidere lempes dæklagskrav for sådanne "indendørs" betonelementer til 40mm/45mm (minimum/nominelt).

Ved forøget risiko for svovlsyreangreb skal den projekterende i projektspecifik SAB angive yderligere tiltag til beskyttelse af den strukturelle beton. Tiltag kan være offerlag af beton (dvs. et ekstra lag ikke-strukturel beton) eller indvendig foring, se appendix. Ved brug af offerlag kan dette ikke regnes som en del af konstruktionens dæklag.

Hvis der benyttes særlige tilsætningsstoffer i BSA beton, f.eks. for at øge betonens syrebestandighed, skal krav i Tabel 3 stadig overholdes.

Såfremt det nominelle dæklag øges i forhold til værdi angivet i Tabel 3, kan krav til chloridmigrationskoefficienten lempes. Ændringer af krav til chloridmigrationskoefficienten skal godkendes af HOFOR.

Hvis kravet til levetiden er forskelligt fra krav givet heri, kan der i SAB angives lempelser til krav givet heri.

Specifikt for præfabrikerede presrør og boks culverts gælder, at disse kun må vådstøbes.

2.4.2.3 Forprøvning

Forprøvning udføres i henhold til DS/EN 206 samt nationalt annekset for produktionsland, samt som beskrevet i nærværende specifikation. Resultatet af den samlede forprøvning bestående af prøveblandinger skal dokumenteres i prøvningsrapport til HOFOR inden opstart af støbning. Rapporten skal både dokumentere og evaluere de forskellige egenskaber, der er påkrævet af HOFOR

Kravspecifikation

for det pågældende bygværk. HOFOR skal acceptere resultaterne i forprøvningsrapporten før arbejde med permanente, præfabrikerede betonelementer må påbegyndes. For projekter hvor den samlede mængde beton ikke overstiger 50 m³, tillades det at dokumentationen for forprøvningen erstattes helt eller delvist af dokumentation fra tidligere brug af samme betonsammensætning, dog ikke ældre end 12 måneder.

Forprøvningsrapporten kan bestå helt eller delvist af resultater fra produktionen det seneste halve år. Resultater af forprøvningen skal forelægges HOFOR til godkendelse.

For hvert læs skal indholdet af delmaterialer (cement, flyveaske, mikrosilica, pulver, osv.) pr. m³ beton beregnes ud fra doserede mængder og det målte luftindhold. Vand/cementforholdet og indholdet af chlorid, alkalier og SO₃ skal beregnes ud fra de doserede mængder. Indholdet af chlorider og alkalier skal overholde krav i DS/EN 206 inklusiv NA for produktionsland. Indholdet af SO₃ skal overholde kravet angivet i Tabel 3.

Der skal defineres tilstræbte værdier for vand/cementforholdet på mindst 0,02 mindre end maksimumværdierne.

I tillæg til ovenstående krav til forprøvning skal forprøvning som angivet nedenfor foretages.

Forprøvning af chloridmigrationskoefficienten

Krav til forprøvning af chloridmigrationskoefficienten iht. NT Build 492 er givet nedenfor. Disse krav gælder for præfabrikerede betonelementer uafhængigt af deres brug. For BSA beton kan forprøvning af chloridmigrationskoefficienten slås sammen med afprøvning af BSA betonens syrebestandighed, se nedenfor.

Ved forprøvning bestemmes chloridmigrationskoefficienten på cylindriske prøvelegemer med en diameter på 100 mm og en længde på 50 mm fra støbte cylindre (100 mm diameter, 200 mm længde) i henhold til NT Build 492. Chloridmigrationskoefficienten skal bestemmes efter 28 modenhedsdøgn eller efter 56 modenhedsdøgn se Tabel 3. Til hver afprøvning skal der benyttes 3 cylindere.

Cylindre til afprøvning skal støbes som cylindre til bestemmelse af trykstyrken og opbevares 1 døgn ved 20 °C og 99 % RF. Efter afformning lagres cylindrene som beskrevet i DS/EN 12390-2, dvs. i chloridfrit vand med en temperatur på 20°C. Før afprøvningen skæres cylindrene i stykker med en længde på 50 mm. Disse skal lagres i chloridfrit vand med en temperatur på 20°C indtil afprøvning.

Middelværdien af chloridmigrationskoefficienten af de 3 prøver skal ikke være større end værdien anført i Tabel 3 (for BSA beton er det dog strengeste krav af værdierne angivet i Tabel 3 og for afprøvning af BSA betonens syrebestandighed, se ovenfor, som er gældende) efter 28 modenhedsdøgn (eller efter 56 modenhedsdøgn jf. note til Tabel 3) og variationskoefficienten skal ikke overskride 20%.

Resultater af forprøvningen skal forelægges HOFOR til godkendelse.

Hvis resultaterne fra forprøvningen afslører, at der er problemer med at overholde den foreskrevne chloridmigrationskoefficient, skal der undersøges for alternativer for at opnå den foreskrevne betonkvalitet, f.eks. øget indhold af binder, reduceret v/c forhold, tilsætning af MS (op til max 7% af totalt binderindhold) etc.

Kravspecifikation

Forprøvning af mekaniske egenskaber for presrør

For presrør skal nedenstående mekaniske egenskaber af betonen afprøves.

Betonens trykstyrke skal afprøves iht. standarden.

Betonens spaltetrækstyrke skal afprøves på 3 prøvelegemer ved 28 modenhedsdøgn iht. DS/EN 12390-6. Den opnåede spaltetrækstyrke skal dokumenteres og kan benyttes til statistiske beregninger.

Betonens E-modul skal afprøves på 3 prøvelegemer ved 28 modenhedsdøgn iht. DS/EN 12390-13. Det opnåede E-modul skal dokumenteres og kan benyttes til statistiske beregninger.

Forprøvning af BSA betons syrebestandighed

BSA betonens syrebestandighed skal dokumenteres ifm. forprøvning i henhold til MPA Berlin Brandenburg proceduren. 4 prøveemner lagres i 12 uger i H₂SO₄ med pH 3,5. Efterfølgende måles den angrebne dybde. Den gennemsnitlige dybde af det beskadigede område skal være mindre end 1,3 mm.

Derudover, skal følgende krav overholdes:

- Total porøsitet: < 11 vol.-%
- Kumulativ porevolumen: < 40 mm³/g
- Gennemsnitlig porevolumen: < 0,1 µm
- Chloridmigrationskoefficient: ≤ 1.0 x 10⁻¹² m²/s, iht NT Build 492 ved 28 eller 56 modenhedsdøgn

Testprocedurer for ovenstående som givet i MPA Berlin Brandenburg proceduren skal følges. Afprøvning af chloridmigrationskoefficienten kan kombineres med afprøvning med krav angivet i Tabel 3, strengeste krav gælder.

Eftervisning af BSA betonens syrebestandighed er påkrævet før betonsammensætningen kan benyttes til produktion af presrør eller andre præfabrikerede betonelementer til spildevand.

Ved brug af andre afprøvningsmetoder end MPA Berlin Brandenburg proceduren skal disse forelægges HOFOR til godkendelse.

2.4.2.4 Produktionskontrol

Produktionskontrol udføres i henhold til DS/EN 206 samt nationalt annekst for produktionsland med tillæg som beskrevet i nærværende specifikation.

Den forprøvede betonblanding må ikke fraviges uden at HOFOR adviseres på forhånd. Fravigelser uden ny forprøvning er tilladt såfremt følgende grænser overholdes:

- Total pulver, cement ± 20 kg/m³
- Slagge ± 10 kg/m³
- Flyveaske ± 10 kg/m³
- Mikrosilica, vand ± 5 kg/m³
- Tilsætningsstoffer ± 25% (ingen begrænsning for luftindblandende tilsætningsstof)
- Samlet indhold af tilslag ± 5%

Kravspecifikation

- Den friske betons egenskaber dokumenteres at være de samme eller bedre
- Formålet med fravigelsen oplyses og forbedringerne dokumenteres.

Mængderne af ovennævnte delmaterialer skal dokumenteres at opfylde ovenstående krav for betonsammensætninger for hvert læs, hvor der ikke ønskes udført en ny forprøvning. Indholdet af chlorid, alkali og SO₃ skal for hvert læs dokumenteres at overholde kravene angivet i afsnit 2.4.2.3.

Frisk betons egenskaber

Krav og testfrekvenser for den friske beton skal følge DS/EN 206 inkl. Tabel 29 med tilføjelser/fravigelser som angivet i nationalt anneks fra produktionsland ved produktionskontrol.

Hærdnende og hærdnet betons egenskaber

Krav og testfrekvenser for hærdnende og hærdnet beton skal følge DS/EN 206 inkl. Tabel 29 samt med tilføjelser/fravigelser som angivet i nationalt anneks for produktionsland. Tillægskrav er givet nedenfor.

Betonens maksimaltemperatur under hærdning må aldrig overstige 65°C.

Produktionskontrol af chloridmigrationskoefficienten

I forbindelse med produktionskontrol skal chloridmigrationskoefficienten bestemmes på støbte cylindre ved 28 (eller efter 56 modenhedsdøgn jf. note til Tabel 3) modenhedsdøgn i henhold til NT Build 492. Konditionering og afprøvning er som beskrevet under forprøvning af chloridmigrationskoefficienten, se afsnit 2.4.2.3. Minimumsafprøvningsfrekvens for chloridmigrationskoefficienten er 1 prøve á 3 emner fra støbte cylindre pr påbegyndt 200 m³ eller pr måned hvad end der giver den højeste afprøvningsfrekvens. For konstruktioner/projekter, hvor den samlede mængde er mindre end 200 m³ beton, skal der som minimum afprøves 1 prøve á 3 emner. Såfremt den samlede betonmængde til et projekt ikke overstiger 50 m³, tillades det at kravet om afprøvning af 1 prøve á 3 emner erstattes af resultater fra tidligere afprøvning af chloridmigrationskoefficienten af den samme betonsammensætning, når disse resultater ikke er ældre end 12 måneder. Middelværdien af den målte chloridmigrationskoefficient skal overholde krav angivet i Tabel 3 (for BSA beton er det dog strengeste krav af værdierne angivet i Tabel 3 og for afprøvning af BSA betonens syrebestandighed, se ovenfor, som er gældende), og variationskoefficienten skal ikke overskride 20%.

Produktionskontrol af mekaniske egenskaber for presrør

Der er ikke særlige krav til produktionskontrol af betonens trykstyrke, spaltetrækstyrke og E-modul i forbindelse med produktionskontrol ud over krav givet i gældende standarder.

Produktionskontrol af BSA betons syrebestandighed

For BSA beton er produktionskontrol af syrebestandigheden ikke påkrævet såfremt eventuelle fravigelser i betonsammensætningen er inden for tolerancer fastsat ovenfor i dette afsnit. Hvis betonsammensætningen fraviges ud over disse tolerancer, skal BSA betonens syrebestandighed afprøves og dokumenteres som beskrevet under Forprøvning af BSA betons syrebestandighed, se afsnit 2.4.2.3.

2.4.2.5 Kvalitetskontrol

Inspektion af præfabrikerede betonelementer med 100 års levetid skal følge aktuel produktstandard, såfremt en sådan eksisterer, med fravigelser/tillægskrav som givet nedenfor. Det bemærkes, at der i nedenstående er krav der kun er gældende for bestemte typer betonelementer. I så tilfælde er dette

Kravspecifikation

angivet i forbindelse med beskrivelsen af det pågældende krav. For presrør specifikt gælder, at efterbehandling af presrør skal følge krav givet i DS/EN 13369 med fravigelser/tillæg givet nedenfor.

Dæklagsmålinger

Dæklag skal måles med godkendt og kalibreret dæklagsmåler.

For alle præfabrikerede betonelementer, undtagen presrør og segmenter, skal dæklaget måles som følger: Dæklaget skal måles på 10% af den ydre overflade samt 10% af den indre overflade hver dag i løbet af den første måned. Efterfølgende udføres de samme målinger en gang om ugen. Krav til dæklag angivet i Tabel 2 skal overholdes.

For presrør og segmenter skal dæklaget måles som følger: For hvert presrør eller segment skal dæklaget måles i 6 punkter på ydersiden samt 6 punkter på indersiden. Krav til dæklag angivet i Tabel 2 skal overholdes.

Skader og revner på presrør inden installation

Der tillades ikke skader og revner i presrør uafhængigt af deres brug, hverken under produktion eller efterfølgende transport, opbevaring m.m. Presrør med gennemgående revner skal kasseres. Alle presrør skal visuelt inspiceres efter afformning. I tilfælde af skader skal disse dokumenteres og forslag til udbedring skal følge Tysk Merkkblatt "*Sichtbeton*" og "*Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für die Herstellung und Lieferung von Abwasserrohren aus Beton und Stahlbeton*". Som alternativ til disse referencer, kan DS/EN 1504-3 benyttes.

For presrør skal porer/lunker i overfladen større end 15 mm og dybde > 5 mm repareres iht. DS/EN 1504 og betonen skal støbes uden overfladerevner. Alle presrør skal inspiceres mht. porer/lunker. Reparation af betonen skal aftales med HOFOR og må ikke påbegyndes før metodebeskrivelsen er accepteret.

Skulle der opstå en fejl i produktionen, skal der laves en udførlig beskrivelse af fejlen (inkl. fotodokumentation) samt et forslag til reparation.

Revner og skader på tunnelsegmenter inden installation

For tunnelsegmenter skal porer/lunker i overfladen større end 15 mm og dybde > 5 mm repareres iht. DS/EN 1504 og alle tunnelsegmenter skal inspiceres mht. porer/lunker. Der tillades ikke revner i tunnelsegmenter uafhængigt af deres brug, hverken under produktion eller efterfølgende transport, opbevaring m.m. Alle tunnelsegmenter skal visuelt inspiceres inden installation i tunnelen. Tunnelsegmenter med gennemgående revner skal kasseres. I tilfælde af skader skal disse dokumenteres og forslag til udbedring skal følge den udførendes metodebeskrivelse. Denne metodebeskrivelse skal accepteres af HOFOR, og arbejdet må ikke påbegyndes før metodebeskrivelsen er accepteret.

Skulle der opstå en fejl i produktionen, skal der laves en udførlig beskrivelse af fejlen (inkl. fotodokumentation) samt et forslag til reparation, hvis dette vurderes muligt.

Overflade af hærdnet beton – presrør

Presrør må ikke overfladebehandles hverken helt eller delvist, f.eks. med maling, grunder eller tilsvarende. Se endvidere HOFORs kravspecifikation for tunnelering.

Kravspecifikation

2.4.2.6 Transport og opbevaring af presrør

Presrør må tidligst afformes 8 timer efter støbning. Mens presrør er i støbeformen, skal også den øvre endeflade beskyttes mod udtørring samt eventuelle negative indflydelser fra den omgivende temperatur. Efter afforskalling skal presrør opbevares i minimum 64 timer i et kontrolleret klima (lukket afdækning eller klimakammer) med RF > 85%. Temperatur og RF skal dokumenteres 3 gange dagligt.

Presrør må tidligst løftes fra bundringen, når de har opnået en trykstyrke på 35 MPa. Tiden for at opnå denne styrke skal bestemmes og dokumenteres i forbindelse med forundersøgelser. Såfremt sådan dokumentation ikke haves, må presrørene ikke løftes fra bundringen tidligere end 64 timer efter afforskalling. Løft af presrør fra stålmuffe skal tage så kort tid som muligt for at minimere udtørring af presrøret. Ved brug af løfteankre skal betonens opnåede trykstyrke tages i betragtning.

Presrør må ikke flyttes til opbevaring tidligere end 72 timer efter støbning.

Presrør \geq DN 1400 mm må ikke stables.

Som alternativ til ovenstående tillades følgende:

Presrør må tidligst afformes 8 timer efter støbning. Mens presrør er i støbeformen, skal også den øvre endeflade beskyttes mod udtørring samt eventuelle negative indflydelser fra den omgivende temperatur. Efter afformning skal presrør opbevares i minimum 88 timer i et kontrolleret klima (lukket afdækning eller klimakammer) med RF \geq 80%. Temperatur og RF skal dokumenteres 3 gange dagligt.

Presrør må tidligst løftes fra bundringen når de har opnået en trykstyrke på 20 MPa. Tiden for at opnå denne styrke skal bestemmes og dokumenteres i forbindelse med forundersøgelser. Presrørene må dog ikke løftes fra bundringen tidligere end 24 timer efter støbning. Løft af presrør fra bundringen skal tage så kort tid som muligt for at minimere udtørring af presrøret. Ved brug af løfteankre skal betonens opnåede trykstyrke tages i betragtning.

Presrør må ikke flyttes til opbevaring tidligere end 96 timer efter støbning.

2.4.2.7 Transport og opbevaring af tunnelsegmenter

Den udførende skal udarbejde en metodebeskrivelse der bl.a. skal indeholde krav vedrørende transport og opbevaring af tunnelsegmenter. Der henvises til projektspecifik SAB for krav til denne metodebeskrivelse. Metodebeskrivelsen skal accepteres af HOFOR før produktion af tunnelsegmenter kan påbegyndes.

2.5 Traditionel armering - In situ-støbte betonkonstruktioner – 50 års levetid

I det følgende er der fastsat krav til beton til forskellige typer af in situ-støbte, traditionelt armerede konstruktioner for 50 års levetid, f.eks. bygninger eller mindre konstruktioner over jord. Den påkrævede levetid for de enkelte konstruktionselementer specificeres i projektspecifik beskrivelse.

Kravspecifikation

2.5.1 Krav til revner

Angående krav til revner henvises der til TUN 101 eller TUN 102 afhængig af typen af konstruktionselement.

2.5.2 Betonkrav

Det skal specificeres i projektspecifik beskrivelse (SAB), hvilke eksponeringsklasser iht. DS/EN 206, betonen skal udføres til. Afhængigt af eksponeringsklasser følges krav til design, udførelse, betonsammensætning, forprøvning, produktionskontrol mm. som angivet i DS/EN 1992-1-1 og DS/EN 206 inkl. DK NA til disse standarder.

I tillæg til de traditionelle cementtyper iflg. DS/EN 206 inkl. DK NA, tillades desuden at benytte følgende grønnere cementtyper med begrænsninger som angivet nedenfor:

- FutureCem (CEM II/B-M (Q-LL) 52,5 N), iht DS/EN 197-1: Tilladte eksponeringsklasser er angivet i DS/EN 206 DK NA og FutureCem er tilladt i alle eksponeringsklasser på nær XS2, XS3 og XA3.
- CEM II/C-M (S-LL) iht DS/EN 197-5: Tilladte eksponeringsklasser er angivet i national fastlagte anvendelsesregler, f.eks. tysk 'Zulassung' ([link](#)) eller EAD/ETA certifikat, i begge tilfælde udstedt til den enkelte cementproducent. CEM II/C-M (S-LL) er i udgangspunktet tilladt i alle eksponeringsklasser, dog er det ikke cement fra alle cementproducenter som på nuværende tidspunkt kan benyttes til XF2, XF3 og XF4.
- CEM III/A og CEM III/B iht. DS/EN 197-1.

Hvis der i eksponeringsklasse XA2 (eller højere) er risiko for sulfatangreb, skal benyttes sulfatbestandig cement (SR cement). Ved brug af CEM II/C-M (S-LL) eller CEM III/A under disse forhold, skal cementens/betonens sulfatbestandighed dokumenteres, som angivet nedenfor:

- For CEM III/A kan dokumentation være et nationalt certifikat for sulfatbestandighed, f.eks. tysk 'Zulassung' ([link](#)) eller et EAD/ETA-certifikat, i begge tilfælde udstedt til den enkelte cementproducent. Såfremt denne dokumentation ikke er tilgængelig, kan der foretages en afprøvning, f.eks. iht. den tyske SVA testmetode, eller schweizisk SIA 262/1 Appendiks D. Alternativt kan der ved anvendelse af CEM III/A, så længe sulfatindholdet (angivet som SO_4^-) i jord/grundvand er lavere end 1500 mg/l, tilsættes min. 10% flyveaske (%-del af det totale binderindhold).
For CEM II/C-M (S-LL) skal sulfatbestandigheden dokumenteres ved afprøvning f.eks. iht. den tyske SVA testmetode, eller schweizisk SIA 262/1 Appendiks D.

Hvis CEM III/A eller CEM II/C-M (S-LL) overholder krav til sulfatbestandighed dokumenteret ved afprøvning som angivet ovenfor, antages det, at cementtypen også er modstandsdygtig overfor overløbsvand (dvs. regnvand/skybrud med spildevand). For FutureCem (CEM II/B-M (Q-LL)), er det usikkert hvorvidt den er tilstrækkelig modstandsdygtig overfor overløbsvand (dvs. regnvand/skybrud med spildevand). Derfor anbefales det at afprøve FutureCem iht. en af ovenstående testmetoder, såfremt FutureCem ønskes benyttet til konstruktioner udsat for overløbsvand.

Kravspekifikation

Den udførende skal oprette et kvalitetssystem, hvorom det gælder at delmaterialer, færdigblandet beton, betonelementer og andre elementer i det endelige bygværk skal være omfattet af et kvalitetssystem som overholder DS/EN ISO 9001 eller aktuelle produktstandarder.

2.6 Traditionel armering – In situ-støbte betonkonstruktioner – 100 års levetid

For in-situ støbte, traditionelt armerede betonkonstruktioner med en levetid på 100 år, herunder f.eks. boks culverts, tilslutningsbygværker, inner lining til skakte, mm., er krav angivet i nærværende afsnit. Ved banekrydsninger kan der være særlige krav med hensyn til designlevetiden, som skal specificeres i projekt- eller udbudsmaterialet. Der skelnes imellem ydre og indre betonkonstruktionselementer, som beskrevet nedenfor. Krav til indvendige betonkonstruktionselementer er givet i afsnit 2.7.

Den udførende skal oprette et kvalitetssystem, hvorom det gælder at delmaterialer, færdigblandet beton, betonelementer og andre elementer i det endelige bygværk overholder DS/EN ISO 9001 eller aktuelle produktstandarder.

2.6.1 Krav til revner

Angående krav til revner henvises der til TUN 101 eller TUN 102 afhængig af typen af konstruktionselement.

2.6.2 Betonkrav til ydre elementer

Dette afsnit omfatter beton til in situ-støbte konstruktioner med 100 års levetid f.eks. skakte, boks culverts og tilslutningsbygværker, som har kontakt mod jord, grundvand eller havvand på ydersiden. Desuden skal disse konstruktioner designes, så de er holdbare overfor eksempelvis høje temperaturer på indersiden (i forbindelse med fjernvarmetunnel), samt aggressive miljøeksponeringer på indersiden i forskellig grad (i forbindelse med skybrud/regnvands- og spildevandstunneler).

Krav til beton benyttet til in situ-støbte konstruktioner, f.eks. skakte eller lignende, er beskrevet nedenfor. Afhængigt af konstruktionens brug differentieres der i udvalgte krav til betonsammensætning mm.

Kravspecifikation

2.6.2.1 Eksponeringsklasser

Mht. eksponeringsklasser på konstruktionens inderside skelnes der mellem følgende:

- Fjernvarme (høj temperatur på indersiden),
- Skybrud/regnvand (samt regnvand opblandet med spildevand, dvs. overløbsvand), og
- Spildevand (dvs. fælleskloakeret spildevand med/uden regnvand).

Ved fastsættelse af krav til beton til konstruktioner benyttet til spildevand, regnes disse konstruktioner udsat for fælleskloakeret spildevand og der skelnes mellem hhv. begrænset risiko for svovlsyreangreb og forøget risiko for svovlsyreangreb. Svovlsyreangreb af beton forekommer over vandspejlet, hvor H_2S produceret af anaerobe bakterier reagerer med O_2 og producerer H_2SO_4 (svovlsyre). Risikoen for svovlsyreangreb er afhængig af mange faktorer, herunder, pH værdi, temperatur, mængden af ilt. De mest kritiske områder mht. forøget risiko for svovlsyreangreb er, under forudsætning af at der er ilt til stede, bl.a.:

- Pumpeanlæg,
- Indløb/udløb ved skakte,
- Indløb fra trykledninger (offerledninger),
- Indløb af sulfidholdigt spildevand fra bundfaldssystemer samt fra mindre og større industri
- Overløbsbygværker samt andre bygværker hvor der er turbulens

Kravene til beton på ydersiden er fastsat ud fra de mest aggressive forhold, som det vurderes konstruktionerne kan udsættes for udvendigt. Med dette refereres der til påvirkning af f.eks. sulfat og chlorid i jord/grundvand i Københavnsområdet. Det er for designet antaget, at f.eks. chlorid- og sulfat-eksponeringen for alle præfabrikerede betonelementer er den højest mulige i Københavnsområdet, dvs. eksponeringsklasse XS3 og XA2. Såfremt eksponeringen mht. chlorid er lavere end XS3, kan den projekterende foreslå lempelser i krav til dæklag og/eller chloridmigrationskoefficienten på ydersiden. Såfremt eksponeringen mht. sulfat-eksponering er lavere end XA2, kan den projekterende foreslå lempelser i krav til betonsammensætning, f.eks. cementtype. Sådanne lempelser skal godkendes af HOFOR for hvert enkelt projekt, og må kun foretages på baggrund af forundersøgelser af jord/grundvand for det relevante projekt. Forundersøgelser af jord/grundvand skal som minimum følge anvisninger givet i HOFORs kravspecifikation for jordbundsundersøgelser til anlægsarbejde.

For konstruktioner der ikke er i kontakt med jord/grundvand (indvendige elementer), se afsnit 2.7. Antagelser omkring den aktuelle eksponering skal godkendes af HOFOR for hvert enkelt projekt.

Kravene til betonens sammensætning for et givent element bestemmes af de mest aggressive eksponeringsforhold på ydersiden og indersiden.

Krav til eksponeringsklasser, dæklag m.m. afhængigt af betonkonstruktionens brug er givet i Tabel 4. Krav til dæklag gælder alle indvendige og udvendige flader af eksponerede overflader, samt i hele udstrækningen af et betonelement eller en rørføring/ledningsstrækning.

Kravspecifikation

Tabel 4 Krav til eksponeringsklasser og dæklag for in situ-støbte, traditionelt armerede konstruktioner afhængigt af disses brug.

Emne	Krav		
	Fjernvarme	Skybrud Regnvand	Spildevand
Temperatur (indvendig)	~ 50°C	Op til 20°C	Op til 20°C
Eksponeringsklasse, chlorid (udvendig)	XS3	XS3	XS3
Eksponeringsklasse, sulfat (udvendig)	XA2	XA2	XA2
Eksponering, spildevand, max. (indvendig)	Ej relevant	Overløbsvand (XA2/XA3) ^{c)}	Rent spildevand: 1. Begrænset risiko for svovlsyreangreb (XA3), eller 2. Forøget risiko for svovlsyreangreb (>XA3).
Eksponeringsklasse, karbonatisering, max. (indvendig)	XC4	XC4	XC4
Frosteksponering	Ikke eksponeret ^{a)}	Ikke eksponeret ^{a)}	Ikke eksponeret ^{a)}
Nominelt dæklag ^{b)}	85 mm	85 mm	85 mm
Minimum dæklag ^{b)}	75 mm	75 mm	75 mm
Udvendig membran	Se afsnit 3.5	Se afsnit 3.5	Se afsnit 3.5

^{a)} Såfremt konstruktionerne er udsat for frost/tø eksponering, skal betonen overholde krav til luftindblanding samt luftporesystem eller frost/tø bestandighed som angivet i DS/EN 206 DK NA Anneks F. For konstruktionsdele, der kun udsættes midlertidigt for frost under udførelse, skal alene krav til luftindblanding i den friske beton iht. DS/EN 206 DK NA Anneks F overholdes.

^{b)} Såfremt dæklag ikke overholdes reduceres designlevetiden afhængigt af betonkvaliteten.

^{c)} Hvorvidt eksponeringen er XA2 eller XA3 skal bestemmes specifikt for det pågældende projekt.

Som angivet i Afsnit 1.1, gælder det for spildevandsprojekter, at rådgiveren for det pågældende projekt skal fastlægge, hvorvidt der er forøget risiko for svovlsyreangreb af betonen eller ej.

Såfremt der benyttes udvendig membran, kan krav til dæklag, som angivet i Tabel 4, reduceres med 15 mm. Reduktion af dæklag skal godkendes af HOFOR.

Kravspecifikation

2.6.2.2 Betonsammensætning

HOFORs specifikke krav til betonsammensætning for in situ-støbte, traditionelt armerede betonkonstruktioner (ydre elementer) er angivet i Tabel 5. Det bemærkes at krav til tilladte bindersammensætninger er givet i enheden "vægt-% af binderindhold", og ikke som "vægt-% af cementindhold". Beton benyttet til in situ-støbte betonkonstruktioner med 100 års levetid skal opfylde krav givet i DS/EN 206 og DS/EN 13670 samt DS 2427 inklusiv de tilføjelser og eventuelle ændringer, der er i nedenstående afsnit.

For konstruktioner til spildevand skal designet i videst muligt omfang undgå områder med høj turbulens, risiko for aflejring mm. for at undgå forøget risiko for svovlsyreangreb af beton. Hvorvidt der er forøget risiko for svovlsyreangreb, skal fastlægges i projektspecifik SAB.

Ved spildevandseksposering skal der altid benyttes en syrebestandig betonsammensætning, BSA (**B**eton som er bestandig mod **Syre**Angreb) beton, uanset om der er begrænset eller forøget risiko for svovlsyreangreb. For spildevand angiver Tabel 5 mulige bindersammensætninger til BSA beton. I tillæg til krav for BSA beton som givet i Tabel 5, skal BSA betonens bestandighed overfor syreangreb dokumenteres eller verificeres. Betonens bestandighed overfor syreangreb kan verificeres ved afprøvning (MPA Berlin Brandenburg proceduren), se særskilt afsnit med krav hertil nedenfor, eller som alternativ til ny afprøvning af betones bestandighed overfor syreangreb (MPA Berlin Brandenburg proceduren), kan dette dokumenteres med data fra tidligere afprøvning af samme betonsammensætning (MPA Berlin Brandenburg proceduren) til HOFORs accept. Endelig tillades det for BSA beton, at benytte tidligere af HOFOR godkendte betonsammensætninger.

Beton skal opfylde alle krav, givet i Tabel 5. Afprøvning af beton (forprøvning og produktionskontrol) skal udføres som beskrevet i europæiske standarder inkl. relevante DK NA, med tillæg/fravigelser som givet i denne specifikation. Der henvises til afsnit 2.9.1 for krav til delmaterialer.

Kravs specifikation

Tabel 5 Krav til bindersammensætning mm. for in situ-støbte traditionelt armerede betonkonstruktioner (ydre elementer) afhængigt af deres brug.

Emne	Krav		
	Fjernvarme	Skybrud / Regnvand	Spildevand
Maksimum ækvivalent v/c forhold	0,40	0,40	0,40
Tilladte bindersammensætninger [vægt-% af binderindhold] ^{b)}	1) CEM I + 10-30% FA + 0-7% MS, eller 2) CEM III/A + 0-7% MS ^{d)} , eller 3) CEM III/B + 0-7% MS,	1) CEM I + 10-30% FA + 0-7% MS, eller 2) CEM III/A + 0-7% MS ^{d)} , eller 3) CEM III/B + 0-7% MS,	1) CEM I + 10-30% FA + 0-7% MS, eller 2) CEM III/A ^{c)} + 0-20% FA + 0-7% MS ^{d)} , eller 3) CEM III/B + 0-7% MS,
Maksimum chloridmigrationskoefficient for armeret beton afhængig af bindersammensætning [$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$] ^{a)}	1) 8,0 2) 2,0 3) 2,0	1) 10,0 2) 4,0 3) 2,0	1) 10,0 2) 2,0 3) 2,0
Maksimum SO ₃ indhold	4,0% af binderindhold	4,0% af binderindhold	4,0% af binderindhold

^{a)} Krav til chloridmigrationskoefficienten er fastsat dels på baggrund af erfaring, dels på basis af modellering ifølge fib Bulletin 34. Chloridmigrationskoefficienten skal testes iht. NT Build 492 ved 28 modenhedsdøgn (eller 56 for bindersammensætninger med FA \geq 20% af binderindhold). Konditionering og forberedelse af prøvemønstre iht. forskrifter givet i NT Build 492. Krav til chloridmigrationskoefficienten (og samhørende afprøvning) er kun gældende for beton med traditionel armering (sort stangarmering).

^{b)} FA er flyveaske og MS er mikrosilica

^{c)} Minimum 40% GGBS af totalt binderindhold

^{d)} Hvis der er risiko for sulfatangreb skal sulfatbestandigheden af CEM III/A dokumenteres ved tysk 'Zulassung' ([link](#)) eller et EAD/ETA-certifikat, i begge tilfælde udstedt til den enkelte cementproducent. Såfremt denne dokumentation ikke er tilgængelig, kan der foretages en afprøvning, f.eks. iht. den tyske SVA testmetode, eller schweizisk SIA 262/1 Appendix D. Alternativt kan der ved anvendelse af CEM III/A, så længe sulfatindholdet (angivet som SO₄⁻) i jord/grundvand er lavere end 1500 mg/l, tilsættes min. 10% flyveaske (%-del af det totale binderindhold).

Kravspecifikation

I tillæg til bindersammensætninger angivet i Tabel 5 gælder følgende:

- CEM II/C-M (S-LL) iht. DS/EN 197-5 kan benyttes til in-situ støbte betonkonstruktioner benyttet til fjernvarme eller skybrud/regnvand, uarmerede såvel som traditionelt armerede.
- Tilladte eksponeringsklasser ved brug af CEM II/C-M (S-LL) iht. DS/EN 197-5 er angivet i national fastlagte anvendelsesregler, f.eks. tysk 'Zulassung' ([link](#)) eller EAD/ETA certifikat, i begge tilfælde udstedt til den enkelte cementproducent. CEM II/C-M (S-LL) er i udgangspunktet tilladt i alle eksponeringsklasser, dog er det ikke cement fra alle cementproducenter som på nuværende tidspunkt kan benyttes til XF2, XF3 og XF4. Det bemærkes at eksponering mod frost ikke umiddelbart er en bekymring til de jorddækkede konstruktioner, men risikoen for frosteksposering skal undersøges, jf. Tabel 4.
- Hvis der er risiko for sulfatangreb, ved brug af CEM II/C-M (S-LL) iht. DS/EN 197-5, skal sulfatbestandigheden dokumenteres ved afprøvning f.eks. iht. den tyske SVA testmetode, eller schweizisk SIA 262/1 Appendiks D.

Hvis CEM III/A eller CEM II/C-M (S-LL) overholder krav til sulfatbestandighed dokumenteret ved afprøvning som angivet ovenfor, antages det, at cementtypen også er modstandsdygtig overfor overløbsvand (dvs. regnvand/skybrud med spildevand).

Generelt tillades det, at projekterende og udførende må foreslå andre betonsammensætninger end de i Tabel 5 angivne, til HOFORs accept. Såfremt der benyttes andre betonsammensætninger end angivet i Tabel 5, skal rådgiver opstille krav til max. chloridmigrationskoefficient, afhængig af bindersammensætningen og dæklag, for 100 års levetid, til HOFORs accept. For beton til spildevand gælder specifikt, at krav til BSA beton skal opfyldes, dvs. afprøvning af betonens bestandighed overfor syreangreb (MPA Berlin Brandeburg proceduren). Denne dokumentation skal godkendes af HOFOR, før disse betonsammensætninger må benyttes.

Det bemærkes at FutureCem (CEM II/B-M (Q-LL) 52,5 N) ikke er tilladt til in-situ støbte, traditionelt armerede betonelementer, for den pågældende eksponering (XS3), samt i uarmerede eller traditionelt armerede betonkonstruktioner i XA3 jf. DS/EN 206 DK NA.

I udgangspunktet gælder for uarmerede, in-situ støbte betonkonstruktioner at krav til betonsammensætning, se Tabel 5, og afprøvning som givet heri skal overholdes, såfremt krav til levetid er det samme som for armerede konstruktioner, dog undtaget krav til chloridmigrationskoefficient. Den udførende kan dog foreslå ændringer på case-by-case niveau, som skal godkendes af HOFOR før implementering. Hvis de uarmerede, in-situ støbte betonkonstruktioner er "indendørs", dvs. elementer som ikke er udsat for spildevand, høje temperaturer, skybrudsvand, regnvand eller chloridholdigt vand (f.eks. fra grundvand eller tørsaltpåvirkning) tillades også FutureCem (CEM II/B-M (Q-LL) 52,5 N) fra Aalborg Portland, samt CEM II/C-M (S-LL) som alternativ til de i Tabel 5 angivne bindersammensætninger.

Ved forøget risiko for svovlsyreangreb skal den projekterende i projektspecifik SAB angive yderligere tiltag til beskyttelse af den strukturelle beton. Tiltag kan være offerlag af beton (dvs. et ekstra lag ikke-strukturel beton) eller indvendig foring, se appendix. Ved brug af offerlag kan dette ikke regnes som en del af konstruktionens dæklag.

Hvis der benyttes særlige tilsætningsstoffer i BSA beton, f.eks. for at øge betonens syrebestandighed, skal krav i Tabel 5 stadig overholdes.

Kravspecifikation

Såfremt det nominelle dæklag øges i forhold til værdi angivet i Tabel 5, kan krav til chloridmigrationskoefficienten lempes. Ændringer af krav til chloridmigrationskoefficienten skal godkendes af HOFOR.

Specielt for beton til spildevandskonstruktioner gælder, at der for konstruktionsbeton beskyttet mod direkte spildevandseksponering af betonbanket, som er min. 50 cm tyk, ikke skal designes for spildevand, men der kan benyttes beton iht. skybrud/regnvand.

Til mindre banketter (typisk ikke tykkere end et par cm), kan der som alternativ til beton benyttes specialmørtel til HOFORs accept. Brug af specialmørtel, giver dog ikke tilladelse til at lempe krav til den underliggende konstruktionsbeton. Til større, uarmerede banketter, dvs. benching, gælder krav til uarmeret beton som angivet ovenfor. Dog kan den udførende foreslå ændringer på case-by-case niveau, som skal godkendes af HOFOR før implementering.

2.6.2.3 Forprøvning

Forprøvning udføres i henhold til DS/EN 206 samt DS/EN 206 DK NA med tillæg som i nærværende specifikation. Resultatet af den samlede forprøvning bestående af prøveblandinger samt prøvestøbninger skal dokumenteres i prøvningsrapport til HOFOR inden opstart af støbning af permanente konstruktioner/konstruktionsdele. Rapporten skal både dokumentere og evaluere de forskellige egenskaber, der er påkrævet af HOFOR for det pågældende bygværk. HOFOR skal acceptere resultaterne i forprøvningsrapporten før støbning af permanente in situ-støbte betonkonstruktioner må påbegyndes. For projekter hvor den samlede mængde beton ikke overstiger 50 m³, tillades det at dokumentationen for forprøvningen erstattes helt eller delvist af dokumentation fra tidligere brug af samme betonsammensætning, dog ikke ældre end 12 måneder.

Forprøvning skal udføres eller dokumenteres for hver enkelt betontype (betonsammensætning).

For hvert læs skal indholdet af delmaterialer (cement, flyveaske, mikrosilica, pulver, osv.) pr. m³ beton beregnes ud fra doserede mængder og det målte luftindhold. Vand/cementforholdet og indholdet af chlorid, alkalier og SO₃ skal beregnes ud fra de doserede mængder. Indholdet af chlorider og alkalier skal overholde krav i DS/EN 206 inklusiv DS/EN 206 DK NA. Indholdet af SO₃ skal overholde kravet angivet i Tabel 5.

Der skal defineres tilstræbte værdier for vand/cementforholdet på mindst 0,02 lavere end maksimumværdierne.

I tillæg til ovenstående krav til forprøvning skal forprøvning som angivet nedenfor foretages.

Forprøvning af chloridmigrationskoefficienten

Krav til forprøvning af chloridmigrationskoefficienten iht. NT Build 492 er givet nedenfor. Såfremt der ikke benyttes traditionel armering (sort stangarmering), er det ikke påkrævet at afprøve chloridmigrationskoefficienten. For BSA beton kan forprøvning af chloridmigrationskoefficienten slås sammen med afprøvning af BSA betonens syrebestandighed, se nedenfor.

Ved forprøvning bestemmes chloridmigrationskoefficienten på cylindriske prøvelegemer med en diameter på 100 mm og en længde på 50 mm fra støbte cylindre (100 mm diameter, 200 mm længde) i henhold til NT Build 492. Chloridmigrationskoefficienten skal bestemmes efter 28 modenhedsdøgn (eller 56 modenhedsdøgn, jf. note til Tabel 5). Til hver afprøvning skal der bruges 3 prøvelegemer.

Kravspecifikation

Cylindre til afprøvning skal støbes som cylindre til bestemmelse af trykstyrken og opbevares 1 døgn ved 20 °C og 99 % RF. Efter afformning lagres cylindrene som beskrevet i DS/EN 12390-2, dvs. i chloridfrit vand med en temperatur på 20°C. Før afprøvningen skæres cylindrene i stykker med en længde på 50 mm. Disse skal lagres i chloridfrit vand med en temperatur på 20°C indtil afprøvning.

Middelværdien af chloridmigrationskoefficienten af de 3 prøver skal ikke være større end værdien anført i Tabel 5 (for BSA beton er det dog strengeste krav af værdierne angivet i Tabel 5 og for afprøvning af BSA betonens syrebestandighed, se ovenfor, som er gældende) efter 28 modenhedsdøgn (eller 56 modenhedsdøgn, jf. note til Tabel 5) og variationskoefficienten skal ikke overstige 20%.

Resultater af afprøvningerne skal forelægges HOFOR til accept.

Hvis resultaterne fra forprøvningen afslører, at der er problemer med at overholde den foreskrevne chloridmigrationskoefficient, skal der undersøges for alternativer for at opnå den foreskrevne betonkvalitet, f.eks. ved valg af anden cementtype eller producent, øget indhold af binder, reduceret v/c forhold, tilsætning af mikrosilica (op til max 7% af totalt binderindhold) etc.

Forprøvning af BSA betons syrebestandighed

BSA betonens syrebestandighed skal dokumenteres ifm. forprøvning i henhold til MPA Berlin Brandenburg proceduren. 4 prøveemner lagres i 12 uger i H₂SO₄ med pH 3,5. Efterfølgende måles den angrebne dybde. Den gennemsnitlige dybde af det beskadigede område skal være mindre end 1,3 mm.

Derudover, skal følgende krav overholdes:

- Total porøsitet: < 11 vol.-%
- Kumulativ porevolumen: < 40 mm³/g
- Gennemsnitlig porevolumen: < 0,1 µm
- Chloridmigrationskoefficient: ≤ 1.0 x 10⁻¹² m²/s, iht NT Build 492 ved 28 eller 56 modenhedsdøgn

Testprocedurer for ovenstående som givet i MPA Berlin Brandenburg proceduren skal følges. Afprøvning af chloridmigrationskoefficienten kan kombineres med afprøvning med krav angivet i Tabel 5, strengeste krav gælder.

Eftervisning af BSA betonens syrebestandighed er påkrævet før betonsammensætningen kan benyttes til produktion af presrør eller andre præfabrikerede betonelementer til spildevand.

Ved brug af andre afprøvningsmetoder end MPA Berlin Brandenburg proceduren skal disse forelægges HOFOR til godkendelse.

Prøvestøbning

Såfremt der skal udføres prøvestøbning, er dette angivet i projektspecifik beskrivelse. Udformning inkl. geometri af prøvelegemet skal accepteres af HOFOR før prøvestøbning kan påbegyndes.

Ved prøvestøbning gælder følgende krav:

Der skal udstøbes et stort prøvelegeme, som er repræsentativt for den færdige konstruktion, bestående af f.eks. minimum en del af skaktens væg og bundplade med samling mellem delene.

Kravspecifikation

Til prøvestøbningen skal der anvendes samme udstyr, mandskab, samt udførsels- og støbemetode, som anvendes under produktionen. Så vidt muligt bør prøvestøbningen udføres med samme mandskab som anvendes under produktion.

Ved prøvestøbningen skal der anvendes den aktuelle transportmetode samt den maksimale transporttid, der garanteres af producenten for den pågældende betontype.

Det skal demonstreres til HOFORs godkendelse, at betonen kan transporteres, udstøbes, vibreres, afrettes, efterbehandles etc. samt at armering og afstandsklodser omstøbes tilfredsstillende, og at den anvendte betontype ikke udviser separationstendenser. Herudover skal prøvestøbningen dokumenteres, i hvor stort omfang vibrering kan tillades ved støbepauser o.l. Det skal dokumenteres, at krav til dækklag for alle overflader overholdes.

Mindst 2x3 stk. Ø100 mm borekerner skal udbores af prøvelegemet til nedenstående målinger:

- En luftporeanalyse i henhold til DS/EN 480-11 til 28 modenhedsdøgn (kun for beton udsat for frost), minimum 3 borekerner
- Måling af chloridmigrationskoefficienten til 28 modenhedsdøgn (eller 56 modenhedsdøgn, jf. anvisning angivet i Tabel 5), på minimum tre prøvelegemer iht. NT Build 492. Dette krav gælder kun for traditionel armeret (sort stangarmering) beton.

Desuden skal der i forbindelse med støbningen af prøvelegemet udstøbes minimum 3 cylindre pr. betontype til måling af chloridmigrationskoefficienten til 28 modenhedsdøgn, der udføres iht. NT Build 492 og som beskrevet i afsnit om forprøvning af chloridmigrationskoefficienten ovenfor.

Det skal ved prøvestøbningen eller ved beregning dokumenteres, at de planlagte foranstaltninger, inkl. valg af betonsammensætning, støbeprogram, eventuel køling af beton m.m. er egnede til at sikre opfyldelse af de stillede temperaturkrav i betonen, se afsnit 3.4.4.2, under de vejrforhold, der med rimelighed kan forventes at forekomme.

Beregning af betonens temperaturlstande og modenhedsudvikling skal foretages på baggrund af målinger af betonens varmeudvikling målt ved adiabatisk eller semiadiabatisk kalorimetri.

Valg af udstyr til måling af betonens temperatur, herunder program for målingens udførelse, antal placeringer af målesteder samt journalføring af måleresultaterne, skal forelægges HOFOR til accept.

Viser resultaterne fra prøvestøbningen, at den forlangte betonkvalitet ikke opnås, skal delmaterialer, blandingsforhold, materiel eller udførelsesteknik ændres og nye forprøvninger og prøvestøbninger udføres indtil den forlangte kvalitet opnås.

De ved prøvestøbningen opnåede resultater danner referencegrundlag for betonkvaliteten i bygværket.

Forprøvningsrapport inkl. resultater fra prøvestøbning (stort prøvelegeme) skal forelægges HOFOR til accept før påbegyndelse af permanente støbninger.

2.6.2.4 Produktionskontrol

Produktionskontrol udføres i henhold til DS/EN 206 samt DS/EN 206 DK NA, med tillæg som i nærværende specifikation.

Kravspecifikation

Den forprøvede betonblanding må ikke ændres uden at HOFOR adviseres på forhånd. Fravigelser uden ny forprøvning er tilladt såfremt følgende grænser overholdes:

- Total pulver, cement $\pm 20 \text{ kg/m}^3$
- Slagge $\pm 10 \text{ kg/m}^3$
- Flyveaske $\pm 10 \text{ kg/m}^3$
- Mikrosilica, vand $\pm 5 \text{ kg/m}^3$
- Tilsætningsstoffer $\pm 25\%$ (ingen begrænsning for luftindblandende tilsætningsstof)
- Samlet indhold af tilslag $\pm 5\%$
- Den friske betons egenskaber dokumenteres at være de samme eller bedre
- Formålet med fravigelsen oplyses og forbedringerne dokumenteres.

Mængderne af ovennævnte delmaterialer skal dokumenteres at opfylde ovenstående krav for betonsammensætninger for hvert læs, hvor der ikke ønskes udført en ny forprøvning. Indholdet af chlorid, alkali og SO_3 skal for hvert læs dokumenteres at overholde kravene angivet i afsnit 2.6.2.3.

Produktionskontrol af delmaterialer

Den udførende skal for hver påbegyndt 1.000 m^3 beton i entreprisen udtage følgende repræsentative delmaterialeprøver:

- 10 kg cement
- 10 kg slagge
- 10 kg flyveaske
- 10 kg mikrosilica
- 10 kg sand
- 20 kg sten pr fraktion pr type
- 10 kg af øvrige delmaterialer med undtagelse af drikkevand.

Prøverne opbevares efter aftale med HOFOR indtil afleveringen.

Produktionskontrol af luftindhold

For konstruktioner, udsat for frost, måles luftindholdet samt konsistensen af den friske beton på betonfabrik ved hver prøveudtagning for trykstyrke dog mindst én gang pr dag. Ved levering udtages prøver på pladsen i samme omfang. Ved anvendelse af pumpe skal målingerne foretages efter pumpning.

For konstruktionsdele, der kun udsættes midlertidigt for frost under udførelse, skal luftindholdet i den friske beton under produktionskontrol ligeledes bestemmes.

Produktionskontrol af styrke

Antallet af udtagne prøver til styrkebestemmelse skal følge DS/EN 206. Udtagning af prøver foretages på betonfabrikken og udføres iht. DS/EN 12390-3.

Såfremt det på grundlag af de udtagne prøver ikke er muligt at dokumentere, at styrkekravet er opfyldt, er det pågældende kontrolafsnit afvigende, medmindre udførende ved prøvning af udborede cylindre af konstruktionsbeton kan eftervise, at konstruktionsbetonen har en karakteristisk styrke på mindst 90 % af den krævede karakteristiske styrke. Denne prøvning sker for udførendes regning. Prøvningen udføres ved udboring af 6 kerner senest 3 arbejdsdage efter, at afprøvningen af de støbte cylindre viser, at styrkekravet ikke er opfyldt.

Kravspecifikation

Kernerne udbores i henhold til DS/EN 12504-1, idet højde/diameter-forholdet skal være 200/100 mm. Såfremt højden på grund af konstruktionens udformning ikke kan blive 200 mm, tillades undtagelsesvis mindre højder, dog minimum 150 mm. Udboringsstederne fastlægges efter aftale med HOFOR.

Afhængigt af konstruktionsbetonens modenhed for det pågældende kontrolafsnit, udføres følgende:

- Under 28 døgns modenhed: Kernerne trykprøves i vandmættet tilstand, når de har opnået en modenhed svarende til 28 døgn
- Over 28 døgns modenhed: Kernerne trykprøves straks efter vandmættet tilstand er opnået, jf. kravene til opbevaring inden prøvning i DS/EN 12504-1.

Styrkekravet anses for opfyldt, såfremt trykstyrkernes middelværdi, beregnet i henhold til DS/EN 206 eller DS/EN 206 DK NA, opfylder kravene i projektmaterialet.

Prøvningsprogrammet skal på forhånd accepteres af HOFOR.

Produktionskontrol af chloridmigrationskoefficienten

I forbindelse med produktionskontrol skal chloridmigrationskoefficienten bestemmes på støbte cylindre ved 28 modenhedsdøgn (eller 56 modenhedsdøgn, jf. note til Tabel 5) i henhold til NT Build 492. Konditionering og afprøvning er som beskrevet under forprøvning af chloridmigrationskoefficienten, se afsnit 2.6.2.3. Minimumsafprøvningsfrekvens for chloridmigrationskoefficienten er 1 prøve á 3 emner fra støbte cylindre pr. påbegyndt 200 m³ eller pr. måned, hvad end der giver den højeste afprøvningsfrekvens. For konstruktioner/projekter, hvor den samlede betonmængde er under 200 m³, skal der som minimum afprøves 1 prøve á 3 emner. Såfremt den samlede betonmængde til et projekt ikke overstiger 50 m³, tillades det at kravet om afprøvning af 1 prøve á 3 emner erstattes af resultater fra tidligere afprøvning af chloridmigrationskoefficienten af den samme betonsammensætning når disse resultater ikke er ældre end 12 måneder. Middelværdien af den målte chloridmigrationskoefficient skal overholde krav angivet i Tabel 5 (for BSA beton er det dog strengeste krav af værdierne angivet i Tabel 5 og for afprøvning af BSA betons syrebestandighed, se ovenfor, som er gældende), og variationskoefficienten skal ikke overskride 20%.

Produktionskontrol af BSA betons syrebestandighed

For BSA beton er produktionskontrol af syrebestandighed ikke påkrævet såfremt eventuelle fravigelser i betonsammensætningen er inden for tolerancer fastsat ovenfor i dette afsnit. Hvis betonsammensætningen fraviges ud over disse tolerancer, skal BSA betons syrebestandighed afprøves og dokumenteres som beskrevet under Forprøvning af BSA betons syrebestandighed, se afsnit 2.6.2.3.

2.7 Betonkrav til indvendige elementer

Dette afsnit omfatter beton til konstruktioner, der skal have en levetid på 100 år, men som ikke er udsat for spildevand, høje temperaturer, skybrudsvand, regnvand eller chloridholdigt vand (f.eks. fra grundvand eller tørsaltpåvirkning). Eksempler på dette kunne være indvendige konstruktionsdele i skaktkonstruktioner, såsom indre trappeskakte, indre teknikrum etc.

Kravspecifikation

2.7.1 Eksponeringsklasser

Krav til eksponeringsklasser og dæklag for indvendige konstruktioner er givet i Tabel 6.

Tabel 6 Krav til eksponeringsklasser og dæklag for indvendige, in situ-støbte eller præfabrikerede traditionelt armerede betonkonstruktioner med krav til 100 års levetid.

Emne	Krav
Eksponeringsklasse, karbonatisering	XC4
Frosteksponering	Ikke eksponeret
Nominelt dæklag ^{a)}	50
Minimum dæklag ^{a)}	40
Yderligere beskyttelse / indvendig foring	Ej relevant

^{a)} Såfremt dæklag ikke overholdes reduceres designlevetiden afhængigt af betonkvaliteten.

Det præciseres, at krav til dæklag er gældende for alle sider af konstruktionen eller dele deraf.

2.7.2 Betonsammensætning

Krav til betonsammensætning for indvendige betonkonstruktioner, armerede såvel som uarmerede, som defineret ovenfor er angivet i Tabel 7. Det bemærkes at krav til tilladte bindersammensætninger er givet i enheden "vægt-% af binderindhold", og ikke som "vægt-% af cementindhold".

Beton skal opfylde alle krav givet i Tabel 7. Afprøvning skal udføres som beskrevet i DS/EN 206 samt DS/EN 206 DK NA. Der henvises til Afsnit 2.9.1 for krav til delmaterialer.

Tabel 7 Krav til bindersammensætning mm. for indvendige betonelementer med krav til 100 års levetid.

Emne	Krav
Maksimum ækvivalent v/c forhold	0,50
Tilladte bindersammensætninger [vægt-% af binderindhold] ^{a) b)}	CEM I + 0-30% FA + 0-7% MS
Maksimum SO ₃ indhold	4,0% af binderindhold
^{a)} Der tillades også bindersammensætninger som angivet i Tabel 3 ^{b)} FA er flyveaske og MS er mikrosilica	

For indvendige, in-situ støbte eller præfabrikerede traditionelt armerede betonelementer, dvs. elementer som ikke er udsat for spildevand, høje temperaturer, skybrudsvand, regnvand eller

Kravspecifikation

chloridholdigt vand (f.eks. fra grundvand eller tørsaltpåvirkning) tillades også FutureCem (CEM II/B-M (Q-LL) 52,5 N) fra Aalborg Portland, samt CEM II/C-M (S-LL) som alternativ til de i Tabel 7 angivne bindersammensætninger.

2.7.3 Forprøvning

Forprøvning udføres i henhold til DS/EN 206 samt DS/EN 206 DK NA med tillæg som i nærværende specifikation. Resultatet af den samlede forprøvning bestående af prøveblandinger skal dokumenteres i prøvningsrapport til HOFOR inden opstart af støbning af permanente konstruktioner/konstruktionsdele. Rapporten skal både dokumentere og evaluere de forskellige egenskaber, der er påkrævet af HOFOR for det pågældende bygværk. HOFOR skal acceptere resultaterne i forprøvningsrapporten før støbning af permanente in situ-støbte betonkonstruktioner må påbegyndes.

Forprøvning skal udføres eller dokumenteres for hver enkelt betontype (betonsammensætning). For projekter hvor den samlede mængde beton ikke overstiger 50 m³, tillades det at dokumentationen for forprøvningen erstattes helt eller delvist af dokumentation fra tidligere brug af samme betonsammensætning, dog ikke ældre end 12 måneder.

For hvert læs skal indholdet af delmaterialer (cement, flyveaske, mikrosilica, pulver, osv.) pr. m³ beton beregnes ud fra doserede mængder og det målte luftindhold. Vand/cementforholdet og indholdet af chlorid, alkalier og SO₃ skal beregnes ud fra de doserede mængder. Indholdet af chlorider og alkalier skal overholde krav i DS/EN 206 inklusiv DS/EN 206 DK NA. Indholdet af SO₃ skal overholde kravet angivet i Tabel 7.

Der skal defineres tilstræbte værdier for vand/cementforholdet på mindst 0,02 lavere end maksimumværdierne.

2.7.4 Produktionskontrol

Produktionskontrol udføres i henhold til DS/EN 206 samt DS/EN 206 DK NA, med tillæg som i nærværende specifikation.

Den forprøvede betonblanding må ikke ændres uden at HOFOR adviseres på forhånd. Fravigelser uden ny forprøvning er tilladt såfremt følgende grænser overholdes:

- Total pulver, cement ± 20 kg/m³
- Slagge 10 kg/m³
- Flyveaske ± 10 kg/m³
- Mikrosilica, vand ± 5 kg/m³
- Tilsætningsstoffer $\pm 25\%$ (ingen begrænsning for luftindblandende tilsætningsstof)
- Samlet indhold af tilslag $\pm 5\%$
- Den friske betons egenskaber dokumenteres at være de samme eller bedre
- Formålet med fravigelsen oplyses og forbedringerne dokumenteres.

Kravspecifikation

Mængderne af ovennævnte delmaterialer skal dokumenteres at opfylde ovenstående krav for betonsammensætninger for hvert læs, hvor der ikke ønskes udført en ny forprøvning. Indholdet af chlorid, alkali og SO₃ skal for hvert læs dokumenteres at overholde kravene angivet i afsnit 2.7.3.

Produktionskontrol af delmaterialer
Den udførende skal for hver påbegyndt 1.000 m³ beton i entreprisen udtage følgende repræsentative delmaterialeprøver:

- 10 kg cement
- 10 kg flyveaske
- 10 kg slagge
- 10 kg mikrosilica
- 10 kg sand
- 20 kg sten pr fraktion pr type
- 10 kg af øvrige delmaterialer med undtagelse af drikkevand.

Prøverne opbevares efter aftale med HOFOR indtil afleveringen.

Produktionskontrol af styrke
Antallet af udtagne prøver til styrkebestemmelse skal følge DS/EN 206. Udtagning af prøver foretages på betonfabrikken og udføres iht. DS/EN 12390-3.

Såfremt det på grundlag af de udtagne prøver ikke er muligt at dokumentere, at styrkekravet er opfyldt, er det pågældende kontrolafsnit afvigende, medmindre udførende ved prøvning af udborede cylindre af konstruktionsbeton kan eftervise, at denne har en karakteristisk styrke på mindst 90 % af den krævede karakteristiske styrke. Denne prøvning sker for udførendes regning. Prøvningen udføres ved udboring af 6 kerner senest 3 arbejdsdage efter, at de støbte cylindre viser, at styrkekravet ikke er opfyldt.

Kernerne udbores i henhold til DS/EN 12504-1, idet højde/diameter-forholdet skal være 200/100 mm. Såfremt højden på grund af konstruktionens udformning ikke kan blive 200 mm, tillades undtagelsesvis mindre højder, dog minimum 150 mm. Udboringsstederne fastlægges efter aftale med HOFOR.

Afhængigt af konstruktionsbetonens modenhed for det pågældende kontrolafsnit, udføres følgende:

- Under 28 døgns modenhed: Kernerne trykprøves i vandmættet tilstand, når de har opnået en modenhed svarende til 28 dogn
- Over 28 døgns modenhed: Kernerne trykprøves straks efter vandmættet tilstand er opnået, jf. kravene til opbevaring inden prøvning i DS/EN 12504-1.

Styrkekravet anses for opfyldt, såfremt trykstyrkens middelværdi, beregnet i henhold til DS/EN 206 eller DS/EN 206 DK NA, opfylder kravene i projektmaterialet.

Prøvningsprogrammet skal på forhånd accepteres af HOFOR.

Kravspecifikation

2.8 Betonkrav – Sekantpæle og slidsevægge

2.8.1 Midlertidige sekantpæle og slidsevægge

HOFOR har ikke særskilte krav til beton for sekantpæle og slidsevægge som alene fungerer som midlertidige konstruktioner. For midlertidige sekantpæle og slidsevægge tillades alle cementtyper iht. DS/EN 197-1 eller DS/EN 197-5.

2.8.2 Permanente sekantpæle og slidsevægge

Dette afsnit omhandler beton til sekantpæle og slidsevægge, der påtænkes anvendt som del af permanente konstruktioner, som udgangspunkt op til 100 års levetid. Afhængigt af det strukturelle design (rund, rektangulær eller caterpillar), kan permanente sekantpæle udføres uarmeret, traditionelt armeret, stålfiberarmeret eller hybridarmeret. Permanente slidsevægge kan kun udføres som traditionelt armeret. Den udførende skal overholde krav givet i EFFC/DFI Best Practice Guide samt TUN 102 idet DS/EN 1536 og DS/EN 1538 ikke er tilstrækkelige for hhv. sekantpæle og slidsevægge.

2.8.2.1 Eksponeringsklasser

Krav til eksponeringsklasser for permanente sekantpæle og slidsevægge er givet i Tabel 8.

Der er ved fastsættelse af krav til dæklag, betonsammensætning mm. ikke skelnet til konstruktionernes brug, dvs. fjernvarme skybrud/regnvand eller spildevand, da det er antaget at de permanente sekantpæle og slidsevægge kun er i kontakt med jord /grundvand. Det er for designet antaget, at f.eks. chlorid- og sulfat-eksponeringen for alle konstruktioner i kontakt med jord er den højest mulige i Københavnsområdet, dvs. eksponeringsklasse XS3 og XA2.

Tabel 8 Krav til eksponeringsklasser for permanente sekantpæle og slidsevægge.

Emne	Krav
	Armerede sekantpæle og slidsevægge
Eksponeringsklasse, chlorid (udvendig)	XS3
Eksponeringsklasse, sulfat (udvendig)	XA2
Frosteksponering	Ikke eksponeret ^{a)}
^{a)} Såfremt konstruktionerne er udsat for frost/tø eksponering, skal betonen overholde krav til luftindblanding samt luftporesystem eller frost/tø bestandighed som angivet i DS/EN 206 DK NA Anneks F. For konstruktionsdele, der kun udsættes midlertidigt for frost under udførelse, skal alene krav til luftindblanding i den friske beton iht. DS/EN 206 DK NA Anneks F overholdes.	

Kravspecifikation

2.8.2.2 Betonsammensætning

Betonsammensætningen samt dækklag for traditionelt armerede og hybridarmerede, permanente sekantpæle samt traditionelt armerede slidsevægge skal opfylde kravene som beskrevet i Tabel 9. Stålfiberarmerede, permanente sekantpæle skal opfylde kravene som beskrevet i Tabel 9, på nær krav til dækklag. Uarmerede sekantpæle skal opfylde kravene som beskrevet i Tabel 9, på nær krav til dækklag, men bindersammensætninger tilladt for eksponeringsklasse XA2 i DS EN 206 DK NA (Tabel F.1) tillades også.

Det bemærkes at krav til tilladte bindersammensætninger er givet i enheden "vægt-% af binderindhold", og ikke som "vægt-% af cementindhold".

Tabel 9 Krav til bindersammensætning, dækklag mm. for traditionelt armerede, permanente sekantpæle og slidsevægge.

Emne	Krav
	Armerede sekantpæle og slidsevægge
Maksimum ækvivalent v/c forhold	0,45
Tilladte bindersammensætninger [vægt-% af binderindhold]	CEM I + 10-30% FA + 0-7% MS, eller CEM I + 36-80% GGBS + 0-7% MS
Maksimum SO ₃ indhold	4,0% af binderindhold
Nominelt dækklag ^{a)}	110 mm
Minimum dækklag ^{a)}	90 mm
^{a)} Såfremt dækklag ikke overholdes, reduceres designlevetiden afhængigt af betonkvaliteten.	

I tillæg til de traditionelle cementtyper iflg. DS/EN 206 inkl. NA, tillades desuden at benytte følgende grønne cementtype til armerede sekantpæle/slidsevægge såvel som uarmerede sekantpæle med begrænsninger som angivet nedenfor:

- CEM II/C-M (S-LL) iht DS/EN 197-5: Tilladte eksponeringsklasser er angivet i national fastlagte anvendelsesregler, f.eks. tysk 'Zulassung' ([link](#)) eller EAD/ETA certifikat, i begge tilfælde udstedt til den enkelte cementproducent. CEM II/C-M (S-LL) er i udgangspunktet tilladt i alle eksponeringsklasser, dog er det ikke cement fra alle cementproducenter som på nuværende tidspunkt kan benyttes til XF2, XF3 og XF4.

Hvis der i eksponeringsklasse XA2 (eller højere) er risiko for sulfatangreb, skal benyttes sulfatbestandig cement (SR cement). Ved brug af CEM II/C-M (S-LL) eller CEM III/A under disse forhold, skal cementens/betonens sulfatbestandighed dokumenteres, som angivet nedenfor:

- For CEM III/A kan dokumentation være et nationalt certifikat for sulfatbestandighed, f.eks. tysk 'Zulassung' ([link](#)) eller et EAD/ETA-certifikat, i begge tilfælde udstedt til den enkelte

Kravspecifikation

cementproducent. Såfremt denne dokumentation ikke er tilgængelig, kan der foretages en afprøvning, f.eks. iht. den tyske SVA testmetode, eller schweizisk SIA 262/1 Appendix D. Alternativt kan der ved anvendelse af CEM III/A, så længe sulfatindholdet (angivet som SO_4^{2-}) i jord/grundvand er lavere end 1500 mg/l, tilsættes min. 10% flyveaske (%-del af det totale binderindhold).

- For CEM II/C-M (S-LL) skal sulfatbestandigheden dokumenteres ved afprøvning f.eks. iht. den tyske SVA testmetode, eller schweizisk SIA 262/1 Appendix D.

Permanente sekantpæle og slidsevægge skal udføres uden defekter. For armerede sekantpæle og slidsevægge må lækager med vandgennemsvivning kun forekomme gennem fuger (uarmerede), og vandindtrængningen skal overholde projektspecifikke krav. For uarmerede sekantpæle tillades lækager med vandgennemsvivning gennem beton så længe vandindtrængningen overholder projektspecifikke krav. Der henvises til Afsnit 2.9.1 for krav til delmaterialer.

Betonsammensætningen og egenskaberne af den friske beton, såsom betonens reologi, konsistens, bearbejdelse og afbindingstid skal bestemmes og evalueres af udførende, således at betonens egenskaber er egnede til udstøbning med tremie, og at kravene til sekantpæle eller slidsevægge uden defekter med det påkrævede dæklag opnås.

2.8.2.3 Bøjningsmekaniske egenskaber af stålfiberarmeret beton

Der henvises til Afsnit 2.11.2.3.

2.8.2.4 Prøvning

Afprøvning af permanente sekantpæle og slidsevægge skal bestå af følgende:

- Forprøvning – prøveblandinger og prøvestøbninger fra blandedanlæg
- Forprøvning – fuldskala prøvestøbning(er) og
- Produktionskontrol

Forprøvning udføres i henhold til DS/EN 206 samt DS/EN 206 DK NA med tillæg som i nærværende specifikation. Resultatet af den samlede forprøvning bestående af prøveblandinger skal dokumenteres i prøvningsrapport til HOFOR inden opstart af støbning. Rapporten skal både dokumentere og evaluere de forskellige egenskaber, der er påkrævet af HOFOR for det pågældende bygværk. Arbejde med permanente sekantpæle eller slidsevægge må først påbegyndes når HOFOR har accepteret resultaterne i forprøvningsrapporten.

Forprøvning – prøveblandinger og prøvestøbninger fra blandedanlæg

Der skal udføres et program for prøveblandinger for at bestemme de reologiske egenskaber på en række overvejede betonblandinger og for at udarbejde passende acceptkriterier til demonstration af overensstemmelse (deklarerede krav) og for accept på pladsen. Forprøvningen skal inkludere karakterisering af reologien for frisk beton, inklusive parametre som foreslået i EFFC/DFI Best Practice Guide sammen med bestemmelse af den hærdnede betons egenskaber. Disse bør som minimum indeholde:

- Luftindhold
- Flydespænding
- Plastisk viskositet
- Bleeding

Kravs-specifikation

- Densitet
- Temperatur
- Konsistens, flydesætmål, sætmål
- Udvikling af de reologiske egenskaber over tid

For ovenstående skal der bestemmes egnede acceptkriterier (deklarerede krav) for at eftervise overensstemmelse og til accept på pladsen. Den udførende skal fremvise foreslåede testmetoder til HOFOR accept.

Såfremt der benyttes stålfiberarmering, skal forprøvning gældende de bøjningsmekaniske egenskaber af stålfiberarmeret beton udføres med beton blandet på det aktuelle betonværk som benyttes til produktion af stålfiberarmeret beton. Der henvises til afsnit 2.11.2.3 for krav til testmetoder samt afprøvningsfrekvens.

Der skal udføres et prøveprogram for blandedanlæg for at verificere betonens karakteristika og for at bekræfte acceptkriterierne (deklarerede værdier). Prøveblandinger fra blandedanlæg skal dokumenteres fuldstændigt ud fra afprøvning af alle krævede egenskaber for frisk og hærdnet beton og i overensstemmelse med EFFC/DFI Best Practice Guide.

Produktionskontrol

Produktionskontrol under udførelse af arbejdet skal udføres for at sikre at egenskaberne for frisk og hærdnet beton er indenfor de givne og deklarerede krav. Udover kravene, som er givet i DS/EN 206 og DS/EN 206 DK NA, hvor disse er anvendelige, skal følgende afprøvninger, som angivet i Tabel 10, udføres:

Tabel 10 Krav til test af friske betonegenskaber for permanente sekantpæle og slidsevægge i forbindelse med produktion.

Egenskab	Krav	Testmetode	Hyppighed
			Produktion
Luftindhold	Min. 4,5%, max. 8,5%, Deklareret værdi	DS/EN 12350-7	En test for hver 3 læs, men ikke mindre end én gang pr. produktionsdag ^{a)}
Bearbejdighed	Deklareret værdi	DS/EN 12350-2 DS/EN 12350-5	En inspektion for hvert læs ^{a)}
Temperatur	Registreres	ASTM C 1064	En inspektion for hvert læs ^{a)}
Bleeding	Deklareret	DS/EN 480-4	I tvivlstilfælde ved visuel inspektion

^{a)} Ikke overensstemmende læs skal forkastes. Hvis en bil med læs har stået i mere end 40 min skal prøvningen gentages.

Kravspecifikation

I tillæg til afprøvning af den friske betons egenskaber som krævet ovenfor, skal den hærdnede betons egenskaber afprøves i henhold til DS/EN 206 og DS/EN 206 DK NA hvor anvendeligt. Hvis der benyttes stålfiberarmering eller hybridarmering, skal produktionskontrollen også omfatte afprøvning dækkende fiberfordeling og bøjningstrækstyrke med testmetoder samt afprøvningsfrekvens. Der henvises til afsnit 2.11.2.3.

2.9 Generelle krav

2.9.1 Delmaterialer

Generelt gælder følgende krav til delmaterialer benyttet til al beton omfattet af denne kravspecifikation for beton.

2.9.1.1 CEM I

CEM I skal opfylde krav i DS/EN 197-1 med tillægskrav som angivet i Tabel 11. Krav givet i Tabel 11 gælder kun såfremt CEM I ikke benyttes sammen med flyveaske og/eller slagge. Vurdering af cementens overensstemmelse med kravene i DS/EN 197-1 skal følge DS/EN 197-2.

Tabel 11 Tillægskrav til CEM I

Materiale/egenskab	Krav	Testmetode
Maksimum C ₃ A indhold	8,0%	DS/EN 196-2
Maksimum ækvivalent alkali indhold	0,6%	DS/EN 196-21

2.9.1.2 CEM II/A-S

CEM II/A-S skal opfylde krav i DS/EN 197-1 med tillægskrav som angivet i Tabel 12. Vurdering af cementens overensstemmelse med kravene i DS/EN 197-1 skal følge DS/EN 197-2.

Tabel 12 Tillægskrav til CEM II/A-S

Materiale/egenskab	Krav	Testmetode
MgO i slagge	Max. 18,0 %	DS/EN 196-2
Ækvivalent Na ₂ O ^{a)}	Max. 0,95 %	DS/EN 196-2
^{a)} Ækvivalent Na ₂ O skal beregnes som Na ₂ O + 0,58 K ₂ O og enheden skal være masseprocent (%).		

Det er tilladt for producenten at blande CEM I og slagge til et produkt der opfylder krav til CEM II/A-S som givet i DS/EN 197-1. I så tilfælde skal CEM I opfylde krav i DS/EN 197-1 og slagge opfylde krav givet i DS/EN 15167-1 & -2. Hvis der er risiko for sulfatangreb skal sulfatbestandigheden af CEM II/A-

Kravspecifikation

S dokumenteres ved tysk 'Zulassung' ([link](#)) eller et EAD/ETA-certifikat, i begge tilfælde udstedt til den enkelte cementproducent. Såfremt denne dokumentation ikke er tilgængelig, kan der foretages en afprøvning, f.eks. iht. den tyske SVA testmetode, eller schweizisk SIA 262/1 Appendiks D. Såfremt der benyttes et sådant produkt, skal krav som givet i Tabel 12 overholdes for det samlede, blandede produkt.

Hvis der er risiko for sulfatangreb og CEM II/A-S blandes med yderligere tilsætningsstoffer, f.eks. flyveaske, skal sulfatbestandigheden også dokumenteres for dette samlede produkt.

2.9.1.3 CEM III/A

CEM III/A skal opfylde krav i DS/EN 197-1 med tillægskrav som angivet i Tabel 13. Vurdering af cementens overensstemmelse med kravene i DS/EN 197-1 skal følge DS/EN 197-2.

Tabel 13 Tillægskrav til CEM III/A

Materiale/egenskab	Krav	Testmetode
MgO i slagge	Max. 18,0 %	DS/EN 196-2
Ækvivalent Na ₂ O ^{a)}	Max. 0,95 % (slaggeindhold < 50 %) 1,10 % (slaggeindhold ≥ 50 %)	DS/EN 196-2
^{a)} Ækvivalent Na ₂ O skal beregnes som Na ₂ O + 0,58 K ₂ O og enheden skal være masseprocent (%).		

Det er tilladt for producenten at blande CEM I og slagge til et produkt der opfylder krav til CEM III/A som givet i DS/EN 197-1. I så tilfælde skal CEM I opfylde krav i DS/EN 197-1 og slagge opfylde krav givet i DS/EN 15167-1 & -2. Hvis der er risiko for sulfatangreb skal sulfatbestandigheden af CEM III/A dokumenteres ved tysk 'Zulassung' ([link](#)) eller et EAD/ETA-certifikat, i begge tilfælde udstedt til den enkelte cementproducent. Såfremt denne dokumentation ikke er tilgængelig, kan der foretages en afprøvning, f.eks. iht. den tyske SVA testmetode, eller schweizisk SIA 262/1 Appendiks D. Alternativt kan der ved anvendelse af CEM III/A, så længe sulfatindholdet (angivet som SO₄⁻⁻) i jord/grundvand er lavere end 1500 mg/l, tilsættes min. 10% flyveaske (%-del af det totale binderindhold). Såfremt der benyttes et sådant produkt, skal krav givet i Tabel 13 overholdes for det samlede, blandede, produkt.

Kravspecifikation

2.9.1.4 CEM III/B

CEM III/B skal opfylde krav i DS/EN 197-1 med tillægskrav som angivet i Tabel 14. Vurdering af cementens overensstemmelse med kravene i DS/EN 197-1 skal følge DS/EN 197-2.

Tabel 14 Tillægskrav til CEM III/B

Materiale/egenskab	Krav	Testmetode
MgO i slagge	Max. 18,0 %	DS/EN 196-2
Ækvivalent Na ₂ O ^{a)}	Max. 1,10 %	DS/EN 196-2
^{a)} Ækvivalent Na ₂ O skal beregnes som Na ₂ O + 0,58 K ₂ O og enheden skal være masseprocent (%).		

Det er tilladt for producenten at blande CEM I og slagge til et produkt der opfylder krav til CEM III/B som givet i DS/EN 197-1. I så tilfælde skal CEM I opfylde krav i DS/EN 197-1 og slagge opfylde krav givet i DS/EN 15167-1 & -2. Såfremt der benyttes et sådant produkt skal krav givet i Tabel 14 overholdes for det samlede, blandede, produkt.

2.9.1.5 Flyveaske

Flyveaske skal opfylde krav i DS/EN 450-1. Brug af biokulflyveaske tillades ikke til konstruktioner designet til 100 års levetid. Biokulflyveaske som opfylder krav givet i DS/EN 206 DK NA Anneks I tillades til konstruktioner designet til 50 års levetid samt midlertidige sekantpæle og slidsevægge.

Til bestemmelse af ækvivalent v/c forhold indgår flyveaske med k-værdien angivet i nationalt anneks for produktionsland.

2.9.1.6 Mikrosilica

Mikrosilica skal opfylde krav i DS/EN 13263-1.

Til bestemmelse af ækvivalent v/c forhold indgår mikrosilica med k-værdien, k = 2,00.

2.9.1.7 Tilslag

Prøveudtagning af tilslag skal overholde kravene i DS/EN 932-1.

Sand

Sand, undtagen til beton for presrør (se nedenfor), skal opfylde krav til miljøpåvirkning "Ekstra Aggressiv" som angivet i DS/EN 206 DK NA med fravigelser som angivet i Tabel 15. For beton til uarmerede betonkonstruktioner til fjernvarme eller skybrud/regnvand tillades sand til miljøklasse "Passiv" som angivet i DS/EN 206 DK NA.

Kravspecifikation

Tabel 15 Tillægskrav til sand til beton (undtagen presrør).

Materiale/egenskab	Krav	Testmetode
Sortering	GF85	Iht. DS/EN 12620
Maksimum indhold af materiale < 0,063 mm	3,0% (kategori f ₃)	DS/EN 933-1
Maksimum indhold af organiske urenheder	Lysere farve	DS/EN 1744-1
Maksimum udtørringssvind	0,050%	DS/EN 1367-4

Sand benyttet til beton til presrør skal opfylde krav til miljøpåvirkning "Ekstra Aggressiv" (eksponeringsklasser XD2, XD3, XS3, XF4 og XA3) i nationalt annekst til EN 206 for produktionsland, med fravigelser som angivet i Tabel 16. Krav givet i Tabel 16 er gældende for hver kornkurve.

For beton til miljøpåvirkning "Passiv", tillades brug af genanvendt tilslag iht. afsnit E.3.3 i DS/EN 206 DK NA.

Tabel 16 Tillægskrav til sand til beton til presrør.

Materiale/egenskab	Krav	Testmetode
Maksimum indhold af materiale < 0.063 mm	3,0% (kategori f ₃)	DS/EN 933-1
Maksimum indhold af organiske urenheder	Lysere farve	DS/EN 1744-1
Maksimum udtørringssvind	0,050%	DS/EN 1367-4
Maksimumkrav til alkaliskel-reaktivitet. ^{a)}	E I	Som beskrevet i " <i>Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton</i> "
^{a)} Beton fremstillet i Danmark skal følge DS/EN 206 DK NA mht. afprøvning for alkaliskelreaktivitet.		

Sten

Sten, undtagen til beton for presrør (se nedenfor), skal opfylde krav til "Ekstra Aggressiv" som angivet i DS/EN 206 DK NA med fravigelser som angivet i Tabel 17. For beton til uarmerede betonkonstruktioner til fjernvarme eller skybrud/regnvand tillades sten til miljøpåvirkning "Passiv" som angivet i DS/EN 206 DK NA.

Kravs-specifikation

Tabel 17 Tillægskrav til sten til beton (undtagen presrør).

Materiale/egenskab	Krav	Testmetode
Sortering	G _c 85/20 eller G _c 90/15	Iht. DS/EN 12620
Maksimum indhold af materiale < 0,063 mm	1,5% (kategori f _{1,5})	DS/EN 933-1
Maksimum indhold af organiske urenheder	Lysere farve	DS/EN 1744-1
Maksimum absorption	1,0%	DS/EN 1097-6
Maksimum udtørringssvind	0,075%	DS/EN 1367-4
Maksimum stenstørrelse	64 mm afhængigt af armeringsintensiteten	

For beton til miljøpåvirkning "Passiv", tillades brug af genanvendt tilslag iht. afsnit E.3.3 i DS/EN 206 DK NA.

Sten til beton for presrør skal opfylde krav til miljøpåvirkning "Ekstra Aggressiv" (eksponeringsklasser XD2, XD3, XS3, XF4 og XA3) i nationalt annekst til EN 206 for produktionsland, med fravigelser som angivet i Tabel 18. Krav givet i Tabel 18 er gældende for hver kornkurve.

Maksimum stenstørrelse til presrør og boks culverts er 16 mm.

Tabel 18 Tillægskrav til sten til beton til presrør.

Materiale/egenskab	Krav	Testmetode
Maksimum indhold af materiale < 0.063 mm	1,5% (kategori f _{1,5})	DS/EN 933-1
Maksimum indhold af organiske urenheder	Lysere farve	DS/EN 1744-1
Maksimum absorption	1,0%	DS/EN 1097-6
Maksimum udtørringssvind	0,075%	DS/EN 1367-4

2.9.1.8 Vand

Vand benyttet til blandevand, køling, vask og køling af tilslag samt efterbehandling skal være rent drikkevand og opfylde krav givet i DS/EN 1008. Det tillades ikke at bruge genbrugsvand.

2.9.1.9 Tilsætningsstoffer

Tilsætningsstoffer skal opfylde krav angivet i DS/EN 934-2. Kvalitetskontrollen af tilsætningsstoffer skal overholde kravene angivet i DS/EN 934-6.

Kravspecifikation

2.9.1.10 Levering og opbevaring af delmaterialer

De dage, hvor der leveres beton i henhold til nærværende bestemmelser, skal der udføres kontrol af at samtlige delmaterialer opbevares i henhold til de stillede krav.

Der skal føres journal over ovenstående kontrolprocesser.

2.9.2 Frisk betons egenskaber

Krav og testfrekvenser for den friske beton skal følge relevante krav i nærværende kravspecifikation for den pågældende beton/konstruktionstype, DS/EN 206 inkl. Tabel 29 med tilføjelser/fravigelser som angivet i DS/EN 206 DK NA ved forprøvning og produktionskontrol.

2.9.3 Hærdnende og hærdnet betons egenskaber

Krav og testfrekvenser for hærdnende og hærdnet beton skal følge relevante krav i nærværende kravspecifikation for den pågældende beton/konstruktionstype, DS/EN 206 inkl. Tabel 29 med tilføjelser/fravigelser som angivet i DS/EN 206 DK NA.

2.10 Stålfiberarmering – Præfabrikerede betonelementer – 50 års levetid

For præfabrikerede betonelementer med stålfiberarmering designet til 50 års levetid henvises til krav angivet i afsnit 2.11 for præfabrikerede betonelementer med stålfiberarmering til 100 års levetid. Der skelnes således ikke imellem 50 og 100 års levetid for præfabrikerede stålfiberarmede betonelementer.

2.11 Stålfiberarmering – Præfabrikerede betonelementer – 100 års levetid

Det tillades at benytte stålfiberarmering til præfabrikerede elementer til skakte eller tunnelsegmenter til borede tunneller. Såfremt det ønskes at bruge stålfibre til andre præfabrikerede betonelementer med 100 års levetid, skal dette accepteres af HOFOR.

Kravspecifikation

2.11.1 Krav til revner

Revner i præfabrikerede stålfiberarmerede betonelementer tillades ikke. Ved revner forstås alt større end mikrorevner. Såfremt der opstår revner i et stålfiberarmeret betonelement før det installeres, dvs. i forbindelse med produktion, håndtering, opbevaring og/eller transport skal det kasseres. Hvis der alligevel opstår revner, skal den udførende udarbejde en metodebeskrivelse for udbedring af revner opstået under eller efter installation af betonelementet til HOFORs accept.

2.11.2 Betonkrav

2.11.2.1 Eksponeringsklasser

Mht. eksponeringsklasser på konstruktionens inderside skelnes der mellem følgende:

- Fjernvarme (høj temperatur på indersiden),
- Skybrud/regnvand (samt regnvand opblandet med spildevand, dvs. overløbsvand), og
- Spildevand (dvs. fælleskloakeret spildevand med/uden regnvand).

Ved fastsættelse af krav til beton til konstruktioner benyttet til spildevand, regnes disse konstruktioner udsat for fælleskloakeret spildevand og der skelnes mellem hhv. begrænset risiko for svovlsyreangreb og forøget risiko for svovlsyreangreb. Svovlsyreangreb af beton forekommer over vandspejlet, hvor H₂S produceret af anaerobe bakterier reagerer med O₂ og producerer H₂SO₄ (svovlsyre). Risikoen for svovlsyreangreb er afhængig af mange faktorer, herunder, pH værdi, temperatur, mængden af ilt. De mest kritiske områder mht. forøget risiko for svovlsyreangreb er, under forudsætning af at der er ilt til stede, bl.a.:

- Pumpeanlæg,
- Indløb/udløb ved skakte,
- Indløb fra trykledninger (offerledninger),
- Indløb af sulfidholdigt spildevand fra bundfaldssystemer samt fra mindre og større industri
- Overløbsbygværker samt andre bygværker hvor der er turbulens

Kravene til beton på ydersiden er fastsat ud fra de mest aggressive forhold, som det vurderes konstruktionerne kan udsættes for udvendigt. Med dette refereres der til påvirkning af f.eks. sulfat i jord/grundvand i Københavnsområdet. For stålfiberarmerede betonkonstruktioner er sulfat i jord/grundvand afgørende for fastsættelse af krav til betonsammensætning da de stålfiberarmerede betonelementer antages at være immune overfor stålfiberkorrosion. Derfor er der ikke angivet eksponeringsklasser mht. chlorid (XS/XD) eller karbonatisering (XC). Det er for designet antaget, at f.eks. og sulfat-eksponeringen for alle præfabrikerede betonelementer er den højest mulige i Københavnsområdet, dvs. eksponeringsklasse XA2. Såfremt eksponeringen mht. sulfat-eksponering er lavere end XA2, kan den projekterende foreslå lempelser i krav til betonsammensætning, f.eks. cementtype. Sådanne lempelser skal godkendes af HOFOR for hvert enkelt projekt, og må kun foretages på baggrund af forundersøgelser af jord/grundvand for det relevante projekt.

Forundersøgelser af jord/grundvand skal som minimum følge anvisninger givet i HOFORs kravspecifikation for jordbundsundersøgelser til anlægsarbejde.

Kravspecifikation

Kravene til betonens sammensætning for et givent element bestemmes af de mest aggressive eksponeringsforhold på ydersiden og indersiden.

Krav til eksponeringsklasse afhængigt af brugen af præfabrikerede, stålfiberarmerede betonelementer er givet i **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.**

Tabel 19 Krav til eksponeringsklasser, afhængigt af brugen af præfabrikerede, stålfiberarmerede betonelementer

Emne	Krav		
	Fjernvarme	Skybrud / Regnvand	Spildevand
Eksponeringsklasse mht. sulfat (udvendig)	XA2	XA2	XA2
Eksponering mht. spildevand (indvendig)	Ej relevant	Overløbsvand (XA2/XA3) ^{b)}	Rent spildevand: 1. Begrænset risiko for svovlsyreangreb (XA3), eller 2. Forøget risiko for svovlsyreangreb (>XA3).
Frosteksponering	Ikke eksponeret ^{a)}	Ikke eksponeret ^{a)}	Ikke eksponeret ^{a)}

^{a)} Såfremt betonelementerne er udsat for frost/tø eksponering, skal betonen overholde krav til luftindblanding samt luftporesystem eller frost/tø bestandighed som angivet i DS/EN 206 samt nationalt annekst for produktionsland. For konstruktionsdele, der kun udsættes midlertidigt for frost under udførelse, skal alene krav til luftindblanding i den friske beton iht. DS/EN 206 samt nationalt annekst for produktionsland overholdes

^{b)} Hvorvidt eksponeringen er XA2 eller XA3 skal bestemmes specifikt for det pågældende projekt.

Som angivet i Afsnit 1.1, gælder det for spildevandsprojekter at rådgiveren for det pågældende projekt skal fastlægge, hvorvidt der er forøget risiko for svovlsyreangreb af betonen eller ej.

2.11.2.2 Betonsammensætning

Krav til betonsammensætningen for stålfiberarmeret beton uden traditionel armering er angivet i **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** afhængigt af konstruktionens brug. Dosering af stålfibre skal være tilstrækkelig således at de bøjningsmekaniske egenskaber, som angivet i designet kan opnås, f.eks. ifølge design per *fib* Model Code 2010 afsnit 5.6. Det bemærkes, at krav til tilladte bindersammensætninger er givet i enheden "vægt-% af binderindhold", og ikke som "vægt-% af cementindhold".

For præfabrikerede stålfiberarmerede betonelementer til spildevand skal designet i videst muligt omfang undgå områder med høj turbulens eller risiko for aflejringer for at undgå forøget risiko for svovlsyreangreb af beton. Hvorvidt der er forøget risiko for svovlsyreangreb, skal fastlægges i projektspecifik SAB.

Kravspecifikation

Ved spildevandseksponering skal der altid benyttes en syrebestandig betonsammensætning, BSA (Beton som er bestandig mod **SyreAngreb**) beton, uanset om der er begrænset eller forøget risiko for svovlsyreangreb. For spildevand angiver **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** mulige bindersammensætninger til BSA beton. I tillæg til krav for BSA beton som givet i **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.**, skal BSA betonens bestandighed overfor syreangreb dokumenteres eller verificeres. Betonens bestandighed overfor syreangreb kan verificeres ved afprøvning (MPA Berlin Brandenburg proceduren), se særskilt afsnit med krav hertil nedenfor, eller som alternativ til ny afprøvning af betones bestandighed overfor syreangreb (MPA Berlin Brandenburg proceduren), kan dette dokumenteres med data fra tidligere afprøvning af samme betonsammensætning (MPA Berlin Brandenburg proceduren) til HOFORs accept. Endelig tillades det for BSA beton, at benytte tidligere af HOFOR godkendte betonsammensætninger.

Beton skal opfylde alle krav, givet i **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** Afprøvning af beton (forprøvning og produktionskontrol) skal udføres som beskrevet i europæiske standarder inkl. nationale tillæg for produktionslandet, med tillæg/fravigelser som givet i denne specifikation. Der henvises til afsnit 2.9.1 for krav til delmaterialer.

Tabel 20 Krav til bindersammensætning mm. afhængigt af brugen af præfabrikerede, stålfiberarmede betonelementer

Emne	Krav		
	Fjernvarme	Skybrud / Regnvand	Spildevand
Tilladte bindersammensætninger [vægt-% af binderindhold] ^{c)}	1) CEM I + 0-30% FA + 0-7% MS, eller 2) CEM III/A + 0-7% MS ^{a)} , eller 3) CEM III/B + 0-7% MS, eller 4) CEM II/A-S + 20% FA + 0-7% MS	1) CEM I + 0-30% FA + 0-7% MS, eller 2) CEM III/A + 0-7% MS ^{a)} , eller 3) CEM III/B + 0-7% MS, eller 4) CEM II/A-S + 20% FA + 0-7% MS	1) CEM I + FA + MS (FA+MS >30% & FA/MS = 2.75/1 - masseforhold), eller 2) CEM III/A ^{b)} + 0-20% FA + 0-7% MS ^{a)} , eller 3) CEM III/B + 0-7% MS, eller 4) CEM II/A-S + 20% FA + 6% MS
Maksimum ækvivalent v/c forhold	0,40	0,40	0,40
Maksimum SO ₃ indhold	4,0% af binderindhold	4,0% af binderindhold	4,0% af binderindhold
^{a)} Hvis der er risiko for sulfatangreb skal sulfatbestandigheden af CEM III/A dokumenteres ved tysk 'Zulassung' (link) eller et EAD/ETA-certifikat, i begge tilfælde udstedt til den enkelte cementproducent. Såfremt denne dokumentation ikke er			

Kravspecifikation

Emne	Krav		
	Fjernvarme	Skybrud / Regnvand	Spildevand
tilgængelig, kan der foretages en afprøvning, f.eks. iht. den tyske SVA testmetode, eller schweizisk SIA 262/1 Appendix D. Alternativt kan der ved anvendelse af CEM III/A, så længe sulfatindholdet (angivet som SO ₄ ⁻) i jord/grundvand er lavere end 1500 mg/l, tilsættes min. 10% flyveaske (%-del af det totale binderindhold). ^{b)} Minimum 40% GGBS af totalt binderindhold ^{c)} FA er flyveaske, GGBS er højvovns slagge og MS er mikrosilica			

I tillæg til bindersammensætninger angivet i **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** gælder følgende:

- CEM II/C-M (S-LL) iht. DS/EN 197-5 kan benyttes til præfabrikerede betonkonstruktioner benyttet til fjernvarme eller skybrud/regnvand.
- Tilladte eksponeringsklasser ved brug af CEM II/C-M (S-LL) iht DS/EN 197-5 er angivet i national fastlagte anvendelsesregler, f.eks. tysk 'Zulassung' ([link](#)) eller EAD/ETA certifikat, i begge tilfælde udstedt til den enkelte cementproducent. CEM II/C-M (S-LL) er i udgangspunktet tilladt i alle eksponeringsklasser, dog er det ikke cement fra alle cementproducenter som på nuværende tidspunkt kan benyttes til XF2, XF3 og XF4. Det bemærkes at eksponering mod frost ikke umiddelbart er en bekymring til de jorddækkede konstruktioner, men risikoen for frosteksponeering skal undersøges, jf. Tabel 2.
- Hvis der er risiko for sulfatangreb, ved brug af CEM II/C-M (S-LL) iht DS/EN 197-5, skal sulfatbestandigheden dokumenteres ved afprøvning f.eks. iht. den tyske SVA testmetode, eller schweizisk SIA 262/1 Appendix D.

Hvis CEM III/A eller CEM II/C-M (S-LL) overholder krav til sulfatbestandighed dokumenteret ved afprøvning som angivet ovenfor, antages det, at cementtypen også er modstandsdygtig overfor overløbsvand (dvs. regnvand/skybrud med spildevand).

Generelt tillades det, at udførende må foreslå andre betonsammensætninger end de i **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** angivne, til HOFORs accept. For beton til spildevand gælder specifikt, at krav til BSA beton skal opfyldes, dvs. afprøvning af betonens bestandighed overfor syreangreb (MPA Berlin Brandenburg proceduren). Denne dokumentation skal godkendes af HOFOR, før disse betonsammensætninger må benyttes.

For FutureCem (CEM II/B-M (Q-LL)), er det usikkert hvorvidt den er tilstrækkelig modstandsdygtig overfor overløbsvand (dvs. regnvand/skybrud med spildevand). Derfor anbefales det at afprøve FutureCem iht. en af ovenstående testmetoder, såfremt FutureCem ønskes benyttet til konstruktioner udsat for overløbsvand.

For "indendørs" præfabrikerede, stålfiberarmerede betonelementer, dvs. elementer som ikke er udsat for spildevand, høje temperaturer, skybrudsvand, regnvand eller chloridholdigt vand (f.eks. fra grundvand eller tørsalt påvirkning) tillades FutureCem (CEM II/B-M (Q-LL) 52,5 N) fra Aalborg Portland, samt CEM II/C-M (S-LL) som alternativ til de i **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** angivne bindersammensætninger.

Kravspecifikation

Ved forøget risiko for svovlsyreangreb skal den projekterende i projektspecifik SAB angive yderligere tiltag til beskyttelse af den strukturelle beton. Tiltag kan være offerlag af beton (dvs. et ekstra lag ikke-strukturel beton) eller indvendig foring, se appendix.

Hvis der benyttes særlige tilsætningsstoffer i BSA beton, f.eks. for at øge betonens syrebestandighed, skal krav i **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** stadig overholdes.

Såfremt der benyttes stålfiberarmering sammen med traditionel armering (såkaldt 'hybridarmering') skal krav til betonsammensætning, dæklag mm. som angivet i Tabel 2, Tabel 3, samt tilhørende afsnit overholdes.

2.11.2.3 Bøjningsmekaniske egenskaber af stålfiberarmeret beton

Minimumskrav til styrkeklassen af stålfiberarmeret beton til præfabrikerede stålfiberarmede betonelementer skal angives af rådgiver. Krav til bøjningstrækstyrke og duktilitet af stålfiberarmeret beton skal følge det strukturelle design, og være specificeret iht. *fib* Model Code 2010. Krav til den tidlige styrkeudvikling af stålfiberarmeret beton, hvilket er relevant for f.eks. afforskalling, håndtering mm. af betonelementer skal fremgå af det strukturelle design.

Afprøvning af bøjningstrækstyrken og duktiliteten skal følge DS/EN 14651:2005+A1 2007, og afprøvning skal udføres ved 28 modenhedsdøgn. Krav til min. prøvningsomfang, dvs. min. afprøvningsfrekvens samt min. antal prøvelegemer for bøjningstrækstyrken samt duktiliteten er angivet i særskilte afsnit nedenfor.

Den karakteristiske bøjningstrækstyrke skal bestemmes i henhold til DS/EN 1990 Annex D.7 *Statistisk bestemmelse af en enkelt egenskab*. For $n \geq 6$, hvor n er antallet af prøvelegemer, kan log-normal fordeling benyttes. Til eftervisning af resultater i forprøvningen, skal k_n for ukendt variationskoefficient, V_x , benyttes, se **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.**. Til eftervisning af resultater i produktionsfasen skal k_n for kendt variationskoefficient, V_x , benyttes, se **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.**

Tabel 21 Værdier af k_n for 5% karakteristiske værdier

n	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	∞
V_x kendt	2,31	2,01	1,89	1,83	1,80	1,77	1,74	1,72	1,68	1,67	1,64
V_x ukendt	-	-	3,37	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

Med henvisning til *fib* Model Code 2010 fastlægges de bøjningsmekaniske egenskaber af stålfiberarmeret beton ud fra følgende to parametre:

- Den karakteristiske bøjningstrækstyrke i anvendelsesgrænsetilstanden, f_{R1k} , og
- Den karakteristiske bøjningstrækstyrke i brudgrænsetilstanden, f_{R3k}

Ved resultater opnået efter afprøvning i henhold til DS/EN 14651 angiver f_{R1k} den karakteristiske residual bøjningstrækstyrke for $CMOD = 0.5$ mm, og f_{R3k} angiver den karakteristiske residual bøjningstrækstyrke for $CMOD = 2.5$ mm. De bøjningsmekaniske egenskaber af stålfiberarmeret beton

Kravspecifikation

angives ved et tal efterfulgt af et bogstav. Talværdien angiver styrkeintervallet for f_{R1k} og bogstavet (a-e) angiver forholdet f_{R3k}/f_{R1k} .

Der henvises endvidere til *fib* Model Code 2010 vedrørende klassifikation af de bøjningsmekaniske egenskaber.

2.11.2.4 Forprøvning

Såfremt der benyttes hybridarmering, skal krav til forprøvning samt produktionskontrol som angivet for traditionelt armeret beton se Afsnit 2.4 følges. Dog skal afprøvning af chloridmigrationskoefficienten udføres på særskilt fremstillede prøveemner med samme betonsammensætning men uden stålfibre. Desuden skal bøjningsmekaniske egenskaber for stålfiberarmeret beton afprøves.

For stålfiberarmeret beton uden traditionel armering skal forprøvning udføres i henhold til DS/EN 206 samt nationalt annekset for produktionsland, samt som beskrevet i nærværende specifikation. Resultatet af den samlede forprøvning bestående af prøveblandinger skal dokumenteres i prøvningsrapport til HOFOR inden opstart af støbning. Rapporten skal både dokumentere og evaluere de forskellige egenskaber, der er påkrævet af HOFOR. HOFOR skal acceptere resultaterne i forprøvningsrapporten før arbejde med permanente stålfiberarmede betonelementer må påbegyndes.

Forprøvningsrapporten kan bestå helt eller delvist af resultater fra produktionen det seneste halve år.

For hvert læs skal indholdet af delmaterialer (cement, flyveaske, mikrosilica, pulver, osv.) pr. m³ beton beregnes ud fra doserede mængder og det målte luftindhold. Vand/cementforholdet og indholdet af chlorid, alkalier og SO₃ skal beregnes ud fra de doserede mængder. Indholdet af chlorider og alkalier skal overholde krav i DS/EN 206 inklusive NA for produktionsland. Indholdet af SO₃ skal overholde kravet angivet i **Fejl! Henvissningskilde ikke fundet..**

Der skal defineres tilstræbte værdier for vand/cementforholdet på mindst 0,02 mindre end maksimumværdierne.

I tillæg til ovenstående krav til forprøvning skal forprøvning som angivet nedenfor foretages.

Forprøvning specifikt gældende de bøjningsmekaniske egenskaber af stålfiberarmeret beton skal udføres med beton blandet på det aktuelle betonværk som benyttes til produktion af stålfiberarmede og/eller hybridarmede betonelementer.

Kravs specifikation

Krav til testmetoder samt afprøvningsfrekvens er givet i **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet..**

Tabel 22 Krav til acceptkriterier (krav) og min. afprøvningsfrekvens ved forprøvning af stålfiberarmeret og hybridarmeret beton

Testmetode	Min. afprøvningsfrekvens	Krav
	Forprøvning	
3-punkt bøjning (bøjningstrækstyrke) DS/EN 14651	Min. tre støbte bjælker per sats	Karakteristisk værdi skal overholde strukturelt design
Fiberfordeling (frisk beton), DS/EN 14721	Min. en gang per sats	Variation: 20% for enkelt test, samt 10% fra gennemsnitsværdien af tre repræsentative tests
Fiberfordeling, visuel/optælling (hærdnet beton)	Min. tre bjælker fra 3-punkts bøjning samt et betonelement (kerner eller gennemskæring).	Bestemmes ved forprøvning

Forprøvning af BSA betons syrebestandighed

BSA betonens syrebestandighed skal dokumenteres ifm. forprøvning i henhold til MPA Berlin Brandenburg proceduren. 4 prøveemner lagres i 12 uger i H₂SO₄ med pH 3,5. Efterfølgende måles den angrebne dybde. Den gennemsnitlige dybde af det beskadigede område skal være mindre end 1,3 mm.

Derudover, skal følgende krav overholdes:

- Total porøsitet: < 11 vol.-%
- Kumulativ porevolumen: < 40 mm³/g
- Gennemsnitlig porevolumen: < 0,1 µm
- Chloridmigrationskoefficient: ≤ 1.0 x 10⁻¹² m²/s, iht NT Build 492 ved 28 eller 56 modenhedsdøgn

Testprocedurer for ovenstående som givet i MPA Berlin Brandenburg proceduren skal følges. Afprøvning af chloridmigrationskoefficienten skal udføres på særskilte betonemner støbt uden stålfibre.

Eftervisning af BSA betonens syrebestandighed er påkrævet før betonsammensætningen kan benyttes til produktion af præfabrikerede betonelementer til spildevand.

Ved brug af andre afprøvningsmetoder end MPA Berlin Brandenburg proceduren skal disse forelægges HOFOR til godkendelse.

Kravspekifikation

2.11.2.5 Produktionskontrol

Produktionskontrol udføres i henhold til DS/EN 206 samt nationalt annekst for produktionsland med tillæg som beskrevet i nærværende specifikation.

Den forprøvede betonblanding må ikke fraviges uden at HOFOR adviseres på forhånd. Fravigelser uden ny forprøvning er tilladt såfremt følgende grænser overholdes:

- Total pulver, cement $\pm 20 \text{ kg/m}^3$
- Slagge $\pm 10 \text{ kg/m}^3$
- Flyveaske $\pm 10 \text{ kg/m}^3$
- Mikrosilica, vand $\pm 5 \text{ kg/m}^3$
- Tilsætningsstoffer $\pm 25\%$ (ingen begrænsning for luftindblandende tilsætningsstof)
- Samlet indhold af tilslag $\pm 5\%$
- Den friske betons egenskaber dokumenteres at være de samme eller bedre
- Formålet med fravigelsen oplyses og forbedringerne dokumenteres.

Mængderne af ovennævnte delmaterialer skal dokumenteres at opfylde ovenstående krav for betonsammensætninger for hvert læs, hvor der ikke ønskes udført en ny forprøvning. Indholdet af chlorid, alkali og SO_3 skal for hvert læs dokumenteres at overholde kravene angivet i Afsnit 2.11.2.4.

Frisk betons egenskaber
Krav og testfrekvenser for den friske beton skal følge DS/EN 206 inkl. Tabel 29 med tilføjelser/fravigelser som angivet i nationalt annekst fra produktionsland ved produktionskontrol.

Hærdnende og hærdnet betons egenskaber
Krav og testfrekvenser for hærdnende og hærdnet beton skal følge DS/EN 206 inkl. Tabel 29 samt med tilføjelser/fravigelser som angivet i nationalt annekst for produktionsland. Tillægskrav er givet nedenfor.

Betonens maksimaltemperatur under hærdning må aldrig overstige 65°C .

Produktionskontrol af bøjningsmekaniske egenskaber
Produktionskontrol af stålfiberarmeret beton til præfabrikerede stålfiberarmerede og/eller hybridarmerede betonelementer for fiberfordeling og bøjningstrækstyrke skal følge testmetoder samt afprøvningsfrekvens som givet i **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet..**

Kravspecifikation

Tabel 23 Krav til acceptkriterier (krav) og min. afprøvningsfrekvens ved produktionskontrol af præfabrikeret stålfiberarmeret og hybridarmeret beton

Testmetode	Min. afprøvningsfrekvens	Krav
	Produktionskontrol	
3-punkt bøjning (bøjningstrækstyrke) DS/EN 14651	Min. tre støbte bjælker per dag i den første måned. Min. tre støbte bjælker per uge i den anden måned. Efter dette, og så længe acceptkriterier overholdes min. tre støbte bjælker per måned. Ved uoverensstemmelse genstartes ovenstående afprøvningsfrekvens.	Karakteristisk værdi skal overholde strukturelt design
Fiberfordeling (frisk beton), DS/EN EN 14721	Min. en vilkårlig test per dag, samt ved satse hvorfra der støbes cylinder (trykstyrke)	Variation: 20% for enkelt test, samt 10% fra gennemsnitsværdien af tre repræsentative tests
Fiberfordeling visuel/optælling (hærdnet beton)	Min. en gang per uge i den første måned (min. tre bjælker fra 3-punkts bøjning samt et betonelement (kerner eller gennemskæring)). Såfremt der ikke er afvigelser, og så længe dette er tilfældet, kan afprøvningsfrekvensen ændres til en gang per måned.	Bestemmes ved forprøvning

Produktionskontrol af BSA betons syrebestandighed

For BSA beton er produktionskontrol af syrebestandigheden ikke påkrævet såfremt eventuelle fravigelser i betonsammensætningen er inden for tolerancer fastsat ovenfor i dette afsnit. Hvis betonsammensætningen fraviges ud over disse tolerancer, skal BSA betonens syrebestandighed afprøves og dokumenteres som beskrevet under Forprøvning af BSA betons syrebestandighed, se afsnit 2.11.2.4.

2.11.2.6 Kvalitetskontrol

Inspektion af præfabrikerede stålfiberarmede betonelementer med 100 års levetid skal følge nedenstående.

Revner og skader på præfabrikerede stålfiberarmede betonelementer

Der tillades ikke revner i præfabrikerede stålfiberarmede betonelementer uafhængigt af deres brug, hverken under produktion eller efterfølgende transport, opbevaring m.m. Alle præfabrikerede stålfiberarmede betonelementer skal visuelt inspiceres inden installation. Præfabrikerede stålfiberarmede betonelementer med gennemgående revner skal kasseres. For tunnelsegmenter

Kravsifikation

skal porer/lunker i overfladen større end 15 mm og dybde > 5 mm repareres iht. DS/EN 1504 og alle tunnelsegmenter skal inspiceres mht. porer/lunker. I tilfælde af skader skal disse dokumenteres og forslag til udbedring skal følge den udførendes metodebeskrivelse. Denne metodebeskrivelse skal accepteres af HOFOR, og arbejdet må ikke påbegyndes før metodebeskrivelsen er accepteret.

Skulle der opstå en fejl i produktionen, skal der laves en udførlig beskrivelse af fejlen (inkl. fotodokumentation) samt et forslag til reparation.

2.11.2.7 Transport og opbevaring af præfabrikerede stålfiberarmerede betonelementer

Den udførende skal udarbejde en metodebeskrivelse der bl.a. skal indeholde krav vedrørende transport og opbevaring af tunnelsegmenter. Der henvises til projektspecifik SAB for krav til denne metodebeskrivelse. Metodebeskrivelsen skal accepteres af HOFOR før produktion af præfabrikerede stålfiberarmerede betonelementer kan påbegyndes.

2.11.2.8 Reparation af installerede præfabrikerede stålfiberarmerede betonelementer

Den udførende skal udarbejde en manual for reparation af installerede præfabrikerede stålfiberarmerede betonelementer, dvs. i tilfælde af defekter. Denne manual skal godkendes af HOFOR før installation påbegyndes. Manualen skal bl.a. indeholde beskrivelse af de forventelige (gængse) skadestyper samt beskrivelse af tilladte reparationsmetoder og reparationsmaterialer.

Alle våde revner, uanset revnevidde og længde skal repareres iht. reparationsmanualen.

Den udførende skal føre en log med alle udførte reparationsarbejder (type, placering, reparationsmetode benyttet osv.) som skal overleveres til HOFOR ved projektoverdragelse.

2.12 Stålfiberarmering – In-situ-støbte betonkonstruktioner – 50 års levetid

For in-situ-støbte betonelementer med stålfiberarmering designet til 50 års levetid henvises til krav angivet i afsnit 2.13 for in situ støbte betonelementer med stålfiberarmering til 100 års levetid. Der skelnes således ikke imellem 50 og 100 års levetid for in situ-støbte stålfiberarmerede betonelementer.

Kravspekifikation

2.13 Stålfiberarmering – In-situ-støbte betonkonstruktioner – 100 års levetid

Dette afsnit angiver krav til in situ støbte, stålfiberarmede betonkonstruktioner til 100 års levetid.

2.13.1 Krav til revner

Revner i stålfiberarmede betonkonstruktioner tillades ikke i SLS. Ved revner forstås alt større end mikrorevner. Hvis der alligevel opstår revner, skal den udførende udarbejde en metodebeskrivelse for udbedring af revner til HOFORs accept.

2.13.2 Betonkrav

Såfremt der benyttes stålfiberarmering sammen med traditionel armering (såkaldt 'hybridarmering') skal krav til betonsammensætning, dæklag, forprøvning, prøvestøbning, produktionskontrol mm. som angivet i afsnit 2.6.2 følges. Det bemærkes, at krav til chloridmigrationskoefficienten skal verificeres med betonemner støbt uden stålfibre. Desuden skal der ikke udbores kerner til afprøvning af chloridmigrationskoefficienten ifm. en eventuel prøvestøbning.

Såfremt der ikke benyttes traditionel armering sammen med stålfiberarmering, henvises der til krav angivet i afsnit 2.11.2, samt nedenstående krav til prøvestøbning i forbindelse med forprøvning.

Kravspecifikation

3 Udførelse

3.1 Mål og tolerancer

Der henvises generelt til HOFORs øvrige kravspecifikationer vedrørende bestemte konstruktionstyper samt DS/EN 13670 og DS 2427. Hvis ikke andet er angivet for den bestemte konstruktionstype i anden kravspecifikation eller i udbudsdokumenterne, gælder generelt følgende:

- De enkelte bygningsdele skal placeres efter målafsætningslinjer og -planer, jf. gældende DS/EN normer, så fejlphobninger undgås.
- Alle mål skal overholdes med en nøjagtighed, der svarer til god håndværksmæssig udførelse under hensyntagen til målets størrelse.
- Specifikke krav skal angives på tegninger.
- Ved toleranceangivelser er anvendt principperne i gældende DS/EN normer. Basismålene er de mål, der er angivet på tegningerne. Ved placeringsmål anvendes målet til den nærmeste kendte modullinje som basismål, medmindre andet fremgår af tegningen. Tolerancerne (T) er afhængig af målsætningslinjens længde (M):
 - $T = \pm 5 \text{ mm}$, for $M < 2,4 \text{ m}$
 - $T = \pm 8 \text{ mm}$, for $2,4 \text{ m} < M < 9,6 \text{ m}$
 - $T = \pm 12 \text{ mm}$, for $M > 9,6 \text{ m}$

Tolerancen for koter er $\pm 10 \text{ mm}$.

3.2 Form

DS/EN 13670 samt DS 2427 er gældende.

Formsystem vælges svarende til kravene i den pågældende opgave. Den projekterende skal med sine angivelser af formsystem tage hensyn til omfanget af manuel håndtering, ergonomiske belastninger og fremkommelighed. Den projekterende skal være i stand til at anvise adgangs- og flugtveje til hver enkelt delproces.

Normalt skal der anvendes glatte forme (både plader og systemforme). Andre typer forme må kun anvendes efter aftale med HOFOR.

Formene skal opstilles sikkert afstivet og skal være dimensioneret til forventet dynamisk støbetryk. Vær særlig opmærksom ved anvendelse af vibreringsfri beton.

Særlig opmærksomhed skal rettes mod øget hydrostatisk tryk til stede under brugen af vibreringsfri beton. Den udførende skal være opmærksom på, at der kan kræves en risikoanalyse, når der benyttes vibreringsfri beton. Risikoanalysen skal i så tilfælde udarbejdes af den udførende og accepteres af HOFOR.

Udsparingskasser for huller, der senere skal udstøbes, skal forsynes med receslister, så der efterfølgende kan monteres kvællende fugebånd.

Kravspecifikation

Udsparingskasser i vægge skal forsynes med det nødvendige antal støberør, der sikrer udstøbning under kassen, samt evakuering af luft.

Formene skal være så tætte, at der ikke kan forekomme mørtelgennemsivning i et omfang, så der opstår grove sandstriber.

Inden formene lukkes, skal støbeskel være afrenset, rengjorte og inspiceret af tilsynet og HOFOR, se afsnit 3.4.3 for krav til støbeskel. Det yderste lag af den eksisterende beton skal være vandmættet og overfladetør inden udstøbning. Om vinteren skal formen opvarmes og anvendelse af varmt vand og/eller andre vinterforanstaltninger, se Afsnit 3.4.5.1, kan komme i betragtning.

Alle formflader af ubehandlet træ skal vandes grundigt før støbningen, dog må der ikke stå blankt vand i formen når støbningen påbegyndes.

Ved bygværker til vakuum eller til konstruktioner udsat for vandtryk må der ikke anvendes gennemgående udtagelige clampsjern. I stedet anvendes spyd med indstøbningsdel eller lignende.

Der skal være så få støbeskel som muligt. Støbeskel, udover de på tegningerne viste/anviste, må kun forekomme efter accept fra HOFORs .

Frie kanter skal være affasede min. 25x25 mm, f.eks. ved at ilægge trekantlister i formen.

3.2.1 Kontrol

Inden formen lukkes kontrolleres placering af udsparinger, fugebånd, strittere, også iborede, trekantlister, støbehøjder etc.

Efter lukning og opspænding af forme, skal de indvendige mål kontrolleres og dokumenteres inden udstøbning.

Dækklag kontrolleres og dokumenteres inden udstøbning.

Opspænding, understøtninger, formlåse og tilspænding af clampsjern mv. kontrolleres inden udstøbning.

3.3 Armering

DS/EN 10080, DS/EN 13670 samt DS 2427 er gældende.

Armering skal så vidt muligt udføres ved anvendelse af præfabrikerede bure eller net. Dette gøres for at begrænse den manuelle håndtering af armeringsjern mest muligt. Præfabrikeret armering kan ske fra leverandøren eller på byggepladsen i særligt indrettede arbejdsområder som tilgodeser de ansattes ergonomi og hvor de arbejder beskyttet mod vejrliget.

Den projekterende skal i sine angivelser beskrive hvorvidt de enkelte armeringsjern i de projekterede størrelser må håndteres manuelt.

Kravspecifikation

Armeringen skal bindes, så den er sikkert fastholdt under støbning.

Svejste net kan anvendes. Armeringsafstand er minimum 100 mm, maksimum 200 mm for lodrette konstruktioner (vægge) og 150 mm for vandrette konstruktioner (dæk, bundplader etc.). For at forebygge snubleulykker skal der under udlægning af armering i vandrette konstruktioner skal der etableres gangveje til og fra arbejdsstederne med dertil egnede gangplader

Der skal anvendes afstandsholdere, der sikrer det nødvendige dæklag. Afstandsholdere skal kunne tåle enhver påvirkning, de kommer ud for under arbejdets udførelse, uden at de beskadiges eller vælter. Krav til afstandsklodser er givet i afsnit 3.3.1.

Alle frie armeringsender, som udgør en risiko for personskade, skal sikres med ”propper”, buk af endejern eller tilsvarende, frem til støbning.

Strittere skal holdes fri for betonrester etc. helt frem til omstøbning.

Der skal udføres supplerende revnearmering ved udsparinger og huller.

Alle frie rande skal lukkes med U-bøjler.

Armeringen skal renholdes.

I forbindelse med fundamentsjord, skal der sikres, at der er kontinuitet i armeringen, idet der skal udføres potentieludledning/ jording til udføringsplader for fundamentsjord jf. HOFORs kravspecifikation for EI og SRO.

3.3.1 Afstandsklodser

Afstandsklodser skal overholde kravene i BS 7973-1. Afstandsklodser skal være af beton eller mørtel med samme type delmaterialer og med samme eller bedre holdbarhedsegenskaber end den omkringliggende beton. For permanente sekantpæle tillades dog afstandsklodser af rustfri stål eller plastik (dog kun af HDPE), se billede nedenfor. Ved brug af plastikafstandsklodser ved sekantpæle, skal udførende fremlægge dokumentation, til HOFORs accept, for at de benyttede plastikafstandsklodser har tilstrækkelig robusthed under installering af armering. For permanente slidsevægge tillades afstandsklodser af rustfri stål eller robuste wheel spacers i plastik (dog kun af HDPE), se billede nedenfor, i tillæg til afstandsklodser af beton eller mørtel, med krav som angivet ovenfor.



Kravspecifikation

Afstandsklodsernes dimensioner skal vælges så kravene til de nominelle dæklag overholdes, se krav til nominelle dæklag afhængig af konstruktionstype som angivet i denne kravspecifikation. Afstandsklodserne skal have en udformning, som sikrer imod, at de vælter i formen, og sikrer at betonen kan udstøbes uden risiko for stenreder.

Udførende skal ved hjælp af prøvestøbninger påvise, at afstandsklodserne overholder ovennævnte krav, herunder BS 7973-1. Afstandsklodsernes kvalitet og vedhæftningen mellem afstandsklodserne og den omkringliggende beton skal godkendes af HOFOR ved undersøgelse af planslib fra udborede kerner. Det tillades ikke at overgangen mellem afstandsklodser og omkringliggende beton er fuldstændig gennemrevnet.

3.3.2 Fibre

Anvendelse af stålfibre er tilladt som angivet heri, se Afsnit 2.10 - 2.13.

3.3.3 .Kontrol

- Armeringen skal kontrolleres visuelt og dokumenteres for rust og anden forurening.
- Armeringsafstande og -placering kontrolleres og dokumenteres.
- Armeringsdiameter kontrolleres og dokumenteres.

Kontrolafsnit og hyppighed aftales med HOFOR.

3.4 Støbearbejde – udførelse

Generelt skal udførelse ske i henhold til DS/EN 13670 samt DS 2427 medmindre andet er nævnt i nærværende specifikation eller TUN 101 og TUN 102. Det skal, for hvert projekt, undersøges om præfabrikerede betonelementer kan benyttes i stedet for in-situ støbte betonelementer. Dette inkluderer også filigranelementer såfremt betonsammensætning, dæklag, afprøvning samt testresultater etc. opfylder krav i denne specifikation svarende til den ønskede levetid og den aktuelle eksponeringsklasse.

3.4.1 Generelt

Støbeprogram samt planlagte støbeafsnit skal forevises HOFOR 5 arbejdsdage inden planlagt støbning.

Den udførende skal føre journal for hver støbning. Journalen skal indeholde alle relevante oplysninger angående støbningen. Disse er som minimum:

- Tidspunkt for påbegyndt og afsluttet støbning
- Støbt betonmængde pr. time
- Evt. afbrydelser og forstyrrelser
- Angivelse af placering af den beton, hvorfra der er udtaget prøver
- Vejrlig under støbning

Kravspecifikation

3.4.2 Støbning

Der skal anvendes rør eller strømpe ved faldhøjder større end 1,0 m. Generelt bør faldhøjden ikke overstige 1,0 m.

Den maksimalt tilladelige støbehøjde, bortset fra sekantpæle og slidsevægge, er 4.0 m.

Maksimal tilladelig støbelængde for vægge, herunder støbning mod indfatningsvægge, er 20 meter

Beton skal anvendes inden afbinding er påbegyndt. Der må ikke tilsættes retarder eller lignende på pladsen.

Vibrering skal ske kontrolleret og i et tempo, der sikrer mod separering af betonen, samtidig med betonen komprimeres som forudsat. Betonen må ikke flyttes vandret i formen.

Størrelsen af støbningen og støbetakten skal nøje overvejes afhængigt af den aktuelle fastholdelse fra den tidligere støbte (hærdnede) betondel, for at minimere risikoen for gennemgående hærderevner. Dette gælder især ved støbning af inderforing imod sekantpæle eller slidsevægge eller andre konstruktionsdele.

Det skal overvejes ved dybe skakte og skakte med grundvandsbelastning at installere et dræn (platonplade) eller membran for at undgå at der trænger vand ind mellem inderforing og ydre konstruktion (f.eks. sekantpæle) under støbningen.

Den udførende skal udarbejde en plan for håndtering af uforudsete stop under støbningen med henblik på at sikre kvaliteten af det støbte arbejde.

Støbning af sekantpæle og slidsevægge. se TUN 102

3.4.3 Støbeskel

Støbeskel skal placeres som vist på tegningerne. Støbeskel omfatter også fuger mellem præfabrikerede og in situ-støbte sektioner.

Støbeskel skal forsynes med fugebånd i reces.

Før støbningen genoptages skal betonoverfladen fugtes med vand af samme kvalitet, som er anvendt til betonblandingen og på en sådan måde, at når støbningen genoptages, er overfladen vandmættet og overfladetør.

Krav til overfladekvaliteten i støbeskel for konstruktioner udsat for vandtryk er OK-1 svarende til at grove tilslag blotlægges til en dybde på 5 til 10 mm ved maksimal stenstørrelse på 25 mm. Det anbefales, at den ønskede overflade opnås ved brug af en passende retarder samt efterfølgende spuling af overfladen.

For øvrige konstruktioner er kravet til støbeskel at disse skal udformes som OK-2, svarende til at cementslamlaget fjernes og porerne fremstår åbne.

Figureerne nedenfor viser, til inspiration, eksempler på et OK-1 støbeskel.

Kravspecifikation



Kravsifikation

3.4.4 Efterbehandling

Beton skal beskyttes mod kritisk udtørring i hærdeperioden.

Beskyttelse mod udtørring skal udføres som beskrevet i afsnit 8.5 i DS 2427, Tabel 2427-3.

Efterbehandlingen med hensyn til beskyttelse mod udtørring kan for overflader mod form ske ved, at formen bliver siddende, indtil den krævede modenhed er opnået. Såfremt afformning finder sted, inden betonen har opnået den krævede modenhed, skal der senest 1 time efter afformningen etableres beskyttelse med vanddamp-tætte plastpresenninger eller svær plastfolie af alle afformede overflader. Samlinger skal udføres tætte, og tildækningsmaterialerne skal fastholdes effektivt til betonoverfladen også under vindpåvirkning. Alternativt kan anvendes påsprøjtning af betonforseglingssmiddel.

Ved brug af forseglingssmiddel skal det dokumenteres, at dette ikke medfører skader på betonen, misfarvning af betonen eller reduceret vedhæftning af evt. membran. Der tillades ikke brug af forseglingssmiddel på støbeskel.

Betonforseglingssmiddel skal have en vandtilbageholdelsesevne i 3 døgn på mindst 75 %, i henhold til TI-B 33 og skal være voksbaseret.

Såfremt fordampningsforholdene ikke vurderes på grundlag af de aktuelle forhold, skal beskyttelsen etableres inden 1 time efter støbning. Beskyttelsen skal, om nødvendigt, etableres midlertidigt inden afretning foretages.

Efterbehandlingen kan, for frie overflader, ske ved tildækning som for overflader mod form.

Beskyttelsen mod udtørring skal opretholdes i henhold til Tabel 2427-4 i DS 2427 for den respektive miljøklasse.

Maskinglitning må kun udføres, når vejrforholdene er til det. Som alternativ kan anvendes slibning.

Alle frie kanter skal affases maskinelt, hvis ikke der er anvendt trekantlister eller lign. i forarbejdet.

Clampshuller skal lukkes vandtæt efter leverandørens anvisning. Inden prop- og clampshuller udsættes, oprives siderne f.eks. med en stålbørste, således at der skabes en ru overflade.

3.4.4.1 Kontrol

Den udførende skal føre journal, der for hvert støbeafsnit angiver alle for efterbehandlingen relevante forhold som:

- Tidspunkt for støbningens påbegyndelse og afslutning
- Formmaterialets art og type
- Vejrliget under efterbehandlingen (nedbør, vind, lufttemperatur, solindfald og relativ fugtighed)
- Den friske betons temperatur
- Afformningstidspunkt
- Efterbehandlings art og varighed.

Herudover skal betonens temperaturer fra støbningstidspunktet registreres i et antal punkter i hvert støbeafsnit til konstatering af, om de stillede krav til maksimaltemperatur og maksimaltemperaturdifferencer, se afsnit 3.4.4.2, er opfyldt i hele støbeafsnittet.

Kravspecifikation

Ovennævnte kontrol skal sikre, at hærdningsforløbet forløber som forventet. Såfremt der konstateres afvigelser i hærdeudviklingen, skal den udførende foretage foranstaltninger, således at kravene kan overholdes.

De trufne foranstaltninger skal meddeles HOFOR og journalføres.

Arbejdsoperationer, der er afhængige af betonens hærdningsudvikling og styrke, må først iværksættes, når den udførende har dokumenteret, at den nødvendige modenhed er opnået.

I journalen skal endvidere noteres på hvilket tidspunkt og af hvem, inspektionerne er udført.

3.4.4.2 Temperaturkrav og revner

Betonens temperatur under hærdningen må ikke overstige 65 °C, medmindre det kan dokumenteres at en højere temperatur ikke har nogen negativ indflydelse på betonens egenskaber for den pågældende betonsammensætning.

Gennemgående revner tillades ikke for konstruktioner udsat for vandtryk. Gennemgående revner kan opstå i den unge beton som følge af tvang (temperatur og/eller svind af beton). I den hærdede beton kan gennemgående revner opstå pga. af last eller tvang (temperatur og/eller svind af beton). Risikoen for gennemgående revner i den unge beton skal nøje vurderes enten ved at begrænse temperaturforskellen mellem den hærdede og hærdnende beton og/eller optimering af støbesektioner.

For at minimere risikoen for hærde revner i den unge beton kan følgende tommelfingerregler for temperaturkrav benyttes:

- Temperaturforskellen under betonens hærdning mellem et konstruktionstværsnits middeltemperatur og overfladetemperatur må ikke overstige 15 °C. Hvor temperaturprofilen kan antages at være parabolisk, kan denne temperaturgrænse erstattes med en grænse på 20 °C for den maksimale temperaturforskel mellem midte og overflade (i dybde 10 mm).
- I støbeskel gælder at forskellen mellem gennemsnitstemperaturen af det nyligt støbte (hærdnende beton) og gennemsnitstemperaturen af det tidligere støbte (hærdnet beton) element ikke bør overstige 15 °C under hærdningen.

Som alternativ til ovenstående tommelfingerregler, kan der udføres temperatur-spændingsanalyser. For at overholde krav til temperaturdifferencer mellem en ny og en gammel konstruktion, må der påregnes køling af beton med kølerør, opvarmning af tidligere støbt beton, isolering af beton, mm.

3.4.4.3 Hærdnet beton, overflader

Den udførende skal straks meddele HOFOR, såfremt der ved afformningen viser sig fejl på betonoverfladerne eller i bygværkets geometri. Synlige betonoverflader skal fremtræde ensartede i kulør og overfladekarakter, uden misfarvninger og uden skæmmende ujævnheder.

Grater etc. afslibes, hvor der er mulighed for menneskelig kontakt efterfølgende, dvs. typisk indvendige flader. Desuden skal kanter være affasede.

Før ophugninger og reparationer af fejl udføres, skal der udarbejdes en procedure, som beskriver omfang og reparationsmetode. Proceduren skal forelægges HOFOR til accept. Fejl skal udbedres hurtigst muligt.

Kravspecifikation

3.4.4.4 Reparation og injicering

Reparationer samt injicering af utætte revner samt bøjningsrevner over de tilladte revnevidder, se Kravspecifikation for skakte, skal udføres i henhold til henholdsvis DS/EN 1504-3 og DS/EN 1504-5. Til revne injicering skal benyttes et af følgende materialer afhængig af revnevidden, fugtforhold, evt. vandgennemstrømning, og bevægelser.

- Tokomponent PUR,
- Acryl med høj pH værdi, eller
- Epoxy.

Utætheder, f.eks. ved støbeskel, skal også injiceres som angivet ovenfor.

Revneinjicering må kun udføres af et erfarent firma med dokumenteret erfaring fra tilsvarende konstruktioner.

Injiceringsfirma eller organisation må kun påbegynde arbejde på pladsen efter HOFORs skriftlige accept.

3.4.5 Specielle udførselskrav

3.4.5.1 Vinterstøbning

Ved støbning under vinterforhold, lufttemperatur under 5°C, skal det sikres at skadelig frysning af betonen ikke indtræder.

For foranstaltninger i forbindelse med vinterstøbninger henvises endvidere til SBI-anvisning 125.

Formene og nyudstøbte betonflader skal isoleres passende til lufttemperatur. Der skal udarbejdes en hærdesimulering, der danner grundlag for aftale af tiltag, der gør vinterstøbning mulig.

Såfremt det er nødvendigt, skal formen være opvarmet.

Temperatur af forskalling, form og armering skal være over frysepunktet.

Der må ikke være is og sne i formene, heller ikke på armeringen.

Ved støbning mod eksisterende konstruktioner skal temperaturen i støbeskellet overvåges, og den eksisterende beton opvarmes til nogenlunde samme temperatur som den friske beton.

3.4.5.2 Specielt for betonarbejder i vandværker

Der henvises til kravspecifikation VAM101

3.4.5.3 Specifikke udførelseskrav for dæk og gulve

Gulve bør udføres uden pudslag. Fald indbygges i gulv/bundpladen. Overfladen skal være glat som glittet med stålbræt. Glitningen kan udelades, hvis gulvet i stedet slibes. Slebet overflade er at foretrække, da denne er stærkere/mere holdbar end glitning. Frie overflader bør støvbindes.

Kravspecifikation

Dæk skal udformes med fald på overside, således at vand kan dræne af. På jorddækkede konstruktioner skal det overvejes, om yderligere fugtsikring (membran eller lign.) er nødvendig. Dæk må om nødvendigt kondensisoleres.

For vandværker gælder i øvrigt specielt at:

Vægge, lofter, søjler og bjælker skal være glatte med lukket overflade, eksempelvis malede / overfladebehandlet.

Gulve i procesrum skal udføres med en skridfast epoxybehandling i en farve efter nærmere aftale. Gulve i mandskabsrum skal være klinkebelagte med hulcant mod vægge og hjørner. Klinker skal være syrefaste og med lukkede overflade. Klinker skal være skridfaste i våd stand. Gulve i kældre udføres som betongulve med støvbinder.

3.4.6 Kvalitetskontrol

Kontrol af beton skal ske iht. DS/EN 206 og DS/EN 13670 samt DS/EN 206 DK NA og DS 2427, samt i øvrigt som beskrevet i nærværende specifikation.

3.4.6.1 Dækklag

Dækklaget skal måles på 10% af overfladen på en konstruktionsdel og efter aftale med HOFOR. Krav til dækklag angivet i denne kravspecifikation for den pågældende konstruktionstype skal overholdes.

3.5 Udvendige membraner

Skakte og lignende skal forsynes med vandtæt membran, hvis angivet på tegningerne. Udvendig membran anvendes kun, hvis specificeret i det relevante projekt.

Liste over mulige membrantyper er listet i Tabel 24, for yderligere beskrivelser af membranarbejder henvises til Bilag 2 Membraner.

Tabel 24 Membrantyper

Materiale/egenskab	Krav	Anvendelsesområde
Plastfolie med opdeling i felter og injektionsmulighed	Plastfolie kan være PVC, polyolefine eller polyethylen.	Plastfolie membraner, der skal anvendes på overflader, hvortil der ikke er adgang efter støbningen, skal monteres på underlaget, før støbningen udføres.
Selvklæbende membraner til påføring efter støbning	Membranen består af en HDPE folie kombineret med et polymer-modificeret bitumenlag, der kan koldklæbes til underlaget.	Der findes flere typer bitumenbaserede membraner, der kan monteres på en ren og tør betonoverflade ved klæbning

Kravspecifikation

Materiale/egenskab	Krav	Anvendelsesområde
Membraner, der hæfter til frisk beton	<p>Membraner, der er forsynet med et trykfølsomt klæbelag.</p> <p>Membran af polyethylen / polypropylen, der er forsynet med et netværk, på den side der vender mod betonen.</p> <p>Membran af PVC eller HDPE forsynet med T-formede ribber, som sikrer mekanisk vedhæftning til betonen</p>	Der findes flere membrantyper, der placeres før støbningen, og som hæfter til betonen efter at denne er hærdnet.
Bitumenplademembraner	Plader fremstilles af polymermodificeret bitumen og armeres med indstøbt polyestervæv.	Bitumenplademembraner kan anvendes på væggene og toppladen.
Påsprøjtede membraner	Påsprøjtede membraner udføres typisk af acryl- eller polyurethanbaserede materialer.	Påsprøjtede membraner omfatter systemer, hvor membranen påføres ved sprøjtning og hærder på stedet

Kravspecifikation

4 Indberetning og dokumentation

Som sluddokumentation skal leveres:

- "Som-udført" tegninger og øvrig anlægssdokumentation i henhold til HOFORs Kravspecifikation ANL 101 med tilhørende bilag
- GIS registrering og opmåling iht. HOFORs kravspecifikation OPM1 med tilhørende bilag
- Betonrecepter og følgesedler
- Journaler udført for alle støbninger og efterbehandling per støbeafsnit (jf. afsnit 3.4.1 Generelt og Efterbehandling)
- Armeringscertifikat samt følgesedler
- Kontrolplaner og tegninger med påførte kontroller

Kravspecifikation

Appendix, konstruktioner til spildevand – alternative tiltag ved forøget risiko for syreangreb

For konstruktioner til spildevand, hvor der er forøget risiko for svovlsyreangreb, kan der som alternativ til eftervisning af betonens bestandighed overfor forøget risiko for svovlsyreangreb benyttes følgende alternative tiltag for at beskytte betonkonstruktionen. Disse tiltag kan enten være:

- Foring med HDPE eller GRP, eller
- Offerlag af beton

Såfremt der benyttes indvendig foring med enten HDPE eller GRP skal der i den projektspecifikke "Særlige Arbejdsbeskrivelse" (SAB) fastlægges krav til materialer, udførelse, etc. til denne, til HOFORs accept

Såfremt der benyttes offerlag, skal offerlaget udføres med beton som opfylder krav til spildevand og tykkelsen af offerlaget skal fastsættes i SAB på baggrund af ekspertvurdering. Ved brug af offerlag kan dette ikke regnes som en del af konstruktionens dæklag.