



Cement og Beton

Håndbogen om cement, beton og mørtel



aalborgportland

CEMENTIR HOLDING

25. udgave, februar 2023





Cement og Beton

Bogen henvender sig til teknikere, håndværkere og andre som ønsker kortfattet viden om Aalborg Portlands produkter og deres anvendelse til fremstilling af god beton og mørtel.

Bogen er inddelt i tre hovedafsnit om CEMENT, BETON og MØRTEL.

Sidst i bogen findes afsnittet OPSLAG, der indeholder oversigter over Aalborg Portlands produkter, deres egenskaber og deres anvendelse til beton og mørtel. Bogen rundes af med en litteraturoversigt og et stikordsregister.

En mere detaljeret behandling af emnet beton findes i BETON-BOGEN, der med sine 731 sider er det mest omfattende værk om beton på dansk. Der henvises i øvrigt til den digitale håndbog, **www.betonhaandbogen.dk**.

I serien BETON-TEKNIK kan der ligeledes findes uddybende information om betonteknologiske emner i form af enkeltartikler.

BETON-BOGEN og BETON-TEKNIK seriens forskellige publikationer kan downloades på **www.aalborgportland.dk/vidensbase**.

God fornøjelse!

AALBORG PORTLAND A/S

Rørdalsvej 44

Postboks 165

9100 Aalborg

Telefon 9816 7777

Telefax 9810 1186

E-mail: sales@aalborgportland.com

www.aalborgportland.dk

CEMENT

- Cementfremstilling
 - Cementtyper
 - BASIS cement
 - BASIS AALBORG CEMENT
 - RAPID cement / RAPID AALBORG CEMENT
 - AALBORG SOLID cement
 - FUTURECEM cement
 - AALBORG WHITE cement
 - Cementtyper – egenskaber og forskelle
 - Levering og opbevaring af cement
-

BETON

- Beton
 - Fabriksfremstillet eller pladsfremstillet beton
 - Betonens delmaterialer
 - Betonsammensætning
 - Fremstilling af beton
 - Form og forskalling
 - Udstøbning og komprimering
 - Efterbehandling
 - Afformning
 - Betonens egenskaber
 - Betons udseende – kalkudblomstringer
 - Betongulve og slidlag
 - Beton med AALBORG WHITE cement
 - Selvkompakterende beton – SCC
 - Restfugt og selvudtørrende beton
 - Specielle anvendelser af beton
-

MØRTEL

- Muremørtel
 - Murearbejde
-

OPSLAG

- Cement oversigter
 - Beton oversigter
 - Mørtel oversigter
 - Sikkerhedsdatablade
 - Litteraturliste
-

STIKORD

- Stikordsregister
-

CEMENT

• Cement	10
• Cementfremstilling	11
Vådanlæg	12
Semi-tør anlæg	13
• Cementtyper	14
Certificeret cement	17
• BASIS cement	18
• BASIS AALBORG CEMENT	20
• RAPID cement / RAPID AALBORG CEMENT	22
• AALBORG SOLID cement	24
• FUTURECEM cement	26
• AALBORG WHITE cement	28
• Cementtyper – egenskaber og forskelle	30
Trykstyrke	30
Farve	31
Kemisk sammensætning og holdbarhed	32
Kromateksem og ætsning	33
• Levering og opbevaring af cement	34
Løs cement	34
Holdbarhed og opbevaring af pakket cement	35



Cementafsnittet er baseret på den danske/europæiske cementstandard DS/EN 197-1 og DS/EN 197-2, samt DS/INF 135, som er et dansk tillæg til cementstandarden.

Cementfremstilling

Alle cementtyper fremstilles principielt på samme måde, selv om der kan være forskel i udgangsmaterialerne alt efter hvilke egenskaber, cementen skal have.

Cementproduktion består overordnet af tre delprocesser.

Først blandes opslæmmet kridt og fintformalet sand til en ovnslam, hvis sammensætning tilpasses den ønskede cementtype.

Herefter pumpes ovnslammen ind i ovnanlægget, som består af en lang roterovn – et stålrør med ildfast foring. Ovnens har en hældning på nogle få grader, så materialet under rotationen bevæger sig gennem ovnen ned mod brænde zonen.

Under denne proces tørrer slammen ud, og opvarmes til brændingstemperaturen på 1400 – 1500 °C. Undervejs sker der en kalcinering (kuldioxid frigives fra kridtet) ved ca. 800 °C.

Den sidste del af brændingen har karakter af en sintring eller smeltning af materialet. Materialet ruller op som cementklinker i småstensstørrelse, inden det afkøles i en klinkerkøler.

I Danmark anvendes to typer ovnanlæg, som beskrevet i følgende afsnit.

Det sidste trin i processen er formalingen, hvorunder cementklinkerne formales i kuglemøller til den ønskede finhed. Der er forskel på finheden af de forskellige cementtyper, idet finheden bl.a. benyttes til at regulere, hvor hurtigt en cement skal hærde og udvikle styrke. Jo finere formaling, jo hurtigere styrkeudvikling.

Cements kornstørrelse ligger generelt i området 0,001 – 0,050 mm for alle typer.

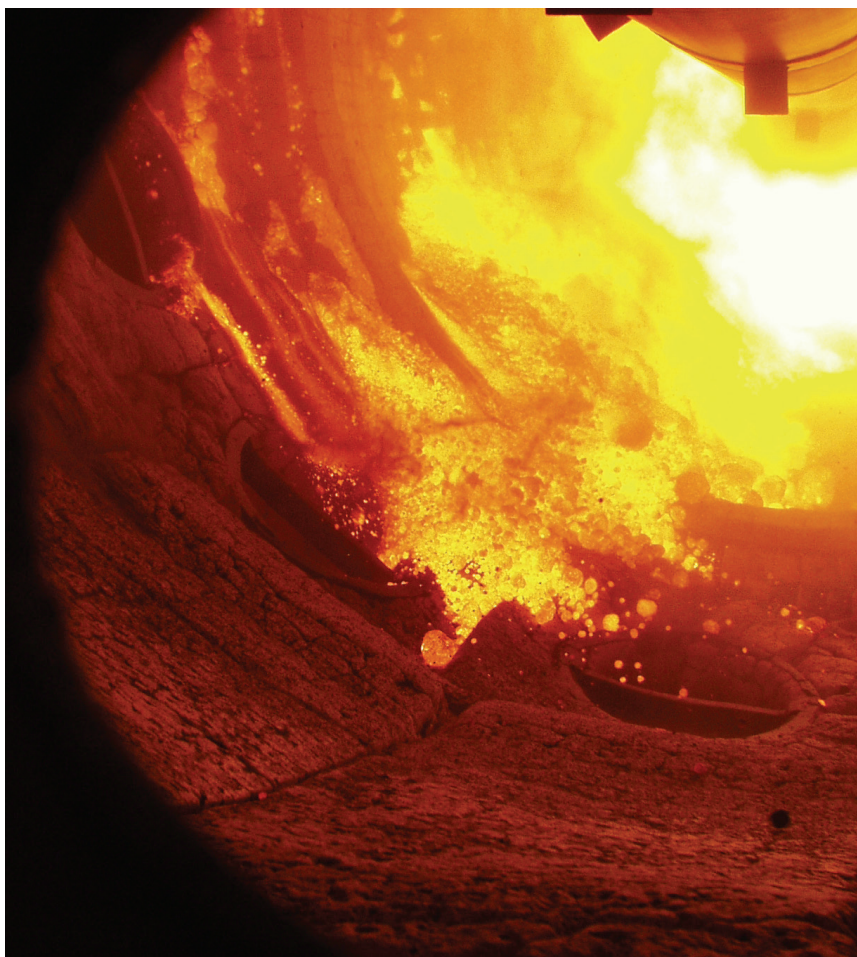
Under formalingen tilsættes endvidere nogle få procent gips for at regulere cementens afbinding og styrkeudvikling.

Til visse cementtyper, som beskrevet senere, tilsættes endvidere en finkornet kalkfiller, calcineret ler eller flyveaske i mængder op til 20 %.

Vådanlæg

I et vådanlæg pumpes ovnslammen direkte ind i den øverste ende af roterovnen, mens brændslet blæses ind og afbrændes i den nederste ende.

Under materialets bevægelse ned gennem ovnen sker der først en udtørring, derefter en kalcinering, før den egentlige brænding umiddelbart før brænde zonen.



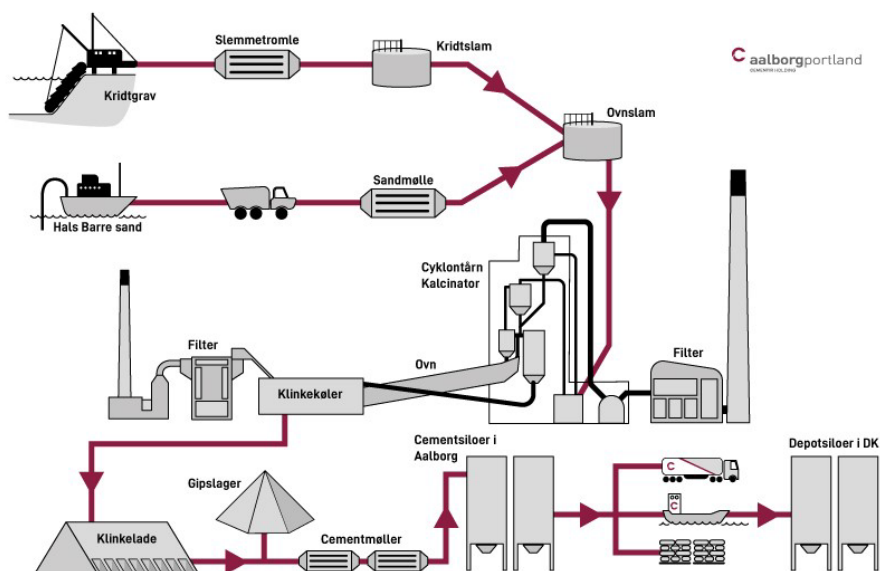
Semi-tør anlæg

Ved det semi-tørre anlæg blæses slammen ind i en tørreknuser, hvor det tørres helt ud og bliver til en pulverformet råblanding.

Råblandingen opvarmes ved passage gennem to såkaldte cykloner, og føres derefter ind i en kalcinator, hvor kalcineringen foregår. Det kalcinerede materiale transporteres derefter ind i en kort roterovn, hvor den endelige klinkerbrænding finder sted.

Aalborg Portlands semi-tør anlæg (én cementovn) har en kapacitet, så det alene kan dække hele det danske forbrug af de almindelige grå cementer.

Energimæssigt har semi-tør anlægget en række fordele. I forhold til vådanlæg er der tale om en større grad af varmegenvinding og et mindre varmeforbrug til fordampning af det vand der er i slammen.



Cementtyper

Aalborg Portland fremstiller 6 cementer, jf. følgende oversigt.

Aalborg Portland cement	Primær anvendelse	Leveringsform			
		25 kg sække	1000 kg BigBags	1500 kg BigBags	Løs vægt
BASIS CEMENT	Betonelementer og betonvarer.		•		•
BASIS AALBORG CEMENT	Alle forekommende beton- og mureopgaver på byggeplads, f.eks. fundamenter og gulve, opmuring, pudsning m.v.	•	•	•	
RAPID CEMENT	Fabriksbeton, betonelementer, betonvarer, gulve, slidlag. Samt som for BASIS AALBORG CEMENT.	•	•	•	•
AALBORG SOLID CEMENT	Anlægskonstruktioner, som broer, vandbygningskonstruktioner m.v.		•	•	•
FUTURECEM CEMENT	Samme anvendelsesområder som BASIS, RAPID og BASIS AALBORG CEMENT, hvor der ønskes et reduceret CO ₂ aftryk.	•	•	•	•
AALBORG WHITE CEMENT	Til hvide eller farvede betonkonstruktioner, f.eks. facader, brystninger, gesimser, kantsten m.v.	•	•	•	•

Som udgangspunkt kan alle cementerne benyttes til enhver beton- eller mureopgave, men der er en grund til, at der produceres 6 forskellige cementer.

Der er således forskelle på de 6 cementer, som gør dem særlig velegnet til bestemte formål. Forskellene vedrører f.eks. styrke og styrkeudvikling, varmeudvikling, kemisk sammensætning (holdbarhed) og farve.

Al cement, som anvendes i Danmark skal være CE-mærket og opfylde kravene i cementstandarden DS/EN 197, samt DS/INF 135, som er et dansk tillæg til standarden.

Heri defineres bl.a. mærkningsreglerne for de forskellige cementtyper, hvoraf der er 5 hovedtyper med i alt 27 undertyper.

I Danmark er der dog kun "etableret egnethed" for 2 hovedtyper med i alt 7 undertyper, jf. DS/EN 206 DK NA. Aalborg Portland producerer begge hovedtyper, men kun 4 undertyper.

Mærkningen indeholder en typebetegnelse, en styrkeklasse og en sulfatbestandighedsmærkning iht. DS/EN 197-1, samt mærkning for alkaliindhold og sulfatbestandighed iht. DS/INF 135.

Cementtype	Cementbetegnelse Styrkeklasse Mærkning
BASIS CEMENT	CEM II/A-LL 52,5 R (LA)
BASIS AALBORG CEMENT	CEM II/A-LL 52,5 N (LA)
RAPID CEMENT	CEM I 52,5 N (MS)(LA)
AALBORG SOLID CEMENT	CEM II/A-V 42,5 N (EA)
FUTURECEM CEMENT	CEM II/B-M (Q-LL) 52,5 N (LA)
AALBORG WHITE CEMENT	CEM I 52,5 R - SR5 (EA)

Betydningen af betegnelser og mærkninger fremgår af skemaet side 16.

Cementbetegnelsen indeholder en typebetegnelse og en styrke klasse iht. DS/EN 197-1 samt mærkning for alkaliindhold og sulfatbestandighed iht. DS/INF 135.

DS/EN 197-1	Typebetegnelse CEM I CEM II/A-LL CEM II/A-V CEM II/B-M	Portlandcement Portlandkalkstenscement – max 20 % kalksten Portlandflyveaskecement – max 20 % flyveaske Portlandkompositcement – max 35 % kalkfyller, calcineret ler mm.	
	Styrkeklasse	2 døgn styrke	28 døgn styrke
	42,5 N 52,5 N 52,5 R	≥ 10 MPa ≥ 20 MPa ≥ 30 MPa	$\geq 42,5$ MPa og $\leq 62,5$ MPa $\geq 52,5$ MPa $\geq 52,5$ MPa
	Sulfatbestandighed CEM I - SR5	Sulfatbestandig portlandcement (indholdet af C_3A i klinker $\leq 5\%$)	
DS/INF 135	Alkaliindhold EA LA MA HA	Ekstra lavt alkaliindhold: $Na_2O\text{-}\alpha kv \leq 0,4 \%$ Lavt alkaliindhold: $Na_2O\text{-}\alpha kv \leq 0,6 \%$ Moderat alkaliindhold: $Na_2O\text{-}\alpha kv \leq 0,8 \%$ Højt alkaliindhold: $Na_2O\text{-}\alpha kv > 0,8 \%$	
	Sulfatbestandighed MS	Moderat sulfatbestandighed: CEM I: Indholdet af C_3A i klinker $\leq 8\%$ CEM II-V: Indholdet af flyveaske $\geq 15\%$	

Eksempel: BASIS cement er en portlandkalkstenscement med højst 20 % kalksten, en 2 døgn styrke på ca. 42 MPa, en 28 døgn styrke på ca. 67 MPa og et alkaliindhold på knap 0,6 %.

Mærkningen af BASIS cement er: CEM II/A-LL 52,5 R [LA].

Certificeret cement

Aalborg Portland har sit kvalitetledelsessystem certificeret hos Bureau Veritas Certification (BVC) efter DS/EN ISO 9001.

Desuden er cementerne produktcertificeret hos BVC, som sikrer, at cementerne er i overensstemmelse med kravene i DS/EN 197-1 med overensstemmelsesvurdering efter DS/EN 197-2.

Alle cementtyper fra Aalborg Portland er CE certificeret:

0615-CPR-9806

– og suppleret med mærkning for alkaliindhold samt sulfatbestandighed iht. DS/INF 135.

Produktcertifikater kan downloades fra www.aalborgportland.dk.

Aalborg Portland er endvidere miljøcertificeret efter DS/EN ISO 14001.

BASIS[®]CEMENT



Produkt

BASIS cement er en portlandkalkstencement, styrkeklasse 52,5 R.

Mærkning: CEM II/A-LL 52,5 R (LA).

BASIS cement er fremstillet ved samformaling af portlandcementklinker og op til 20 % finkornet kalkfiller.

Kvalitet og egenskaber

I nedenstående skema er anført vejledende værdier for de væsentligste egenskaber.

Densitet		Afbinding*	Cementstyrker**			
Bulk kg/m ³	Absolut kg/m ³	Timer	1 døgn	2 døgn	7 døgn	28 døgn
1070	3115	2:10	28	42	56	67

*) iht. DS/EN 196-3, **) iht. DS/EN 196-1

Den aktuelle ydeevnedeklaration kan downloades via www.aalborgportland.dk.

Anvendelse

BASIS cement kan anvendes til beton til alle formål og til alle miljøpåvirkninger.

DS/EN 206 DK NA tillader dog ikke CEM II/A-LL anvendt til svømmebassiner, marine konstruktioner i eksponeringsklasse XS2 og XS3, samt i stærkt aggressivt kemisk miljø svarende til eksponeringsklasse XA3.

BASIS cements hurtige styrkeudvikling gør den ideel til produktion af beton elementer og betonvarer, hvor tidlig afformning og levering er vigtigt.

BASIS cement kan anvendes sammen med mineralske tilsætninger (flyveaske og mikrosilica), med doseringsniveauer som anført i DS/EN 206 DK NA.

Indholdet af finkornet kalkfiller bevirker, at beton med BASIS cement er særlig følsom over for udtørring af den friske beton, og det tilrådes derfor at tildække nyudstøbt beton med plast eller forseglingsmiddel, så hurtigt som muligt, jf. DS 2427.

Levering

BASIS cement leveres i løs vægt i tankbiler, samt i 1000 kg bigbags.

BASIS®AALBORG CEMENT



Produkt

BASIS AALBORG CEMENT er en portlandkalkstencement, styrkeklasse 52,5 N. Mærkning: CEM II/A-LL 52,5 N (LA).

BASIS AALBORG CEMENT er fremstillet ved samformaling af portlandcement-klinker og op til 20 % finkornet kalkfiller.

Kvalitet og egenskaber

I nedenstående skema er anført vejledende værdier for de væsentligste egenskaber.

Densitet		Afbinding*	Cementstyrker**			
Bulk kg/m ³	Absolut kg/m ³	Timer	1 døgn	2 døgn	7 døgn	28 døgn
1100	3120	2:80	19	32	49	58

*) iht. DS/EN 196-3, **) iht. DS/EN 196-1

Den aktuelle ydeevnedeklaration kan downloades via www.aalborgportland.dk.

Anvendelse

BASIS AALBORG CEMENT kan anvendes til beton til alle formål og til alle miljøpåvirkninger.

DS/EN 206 DK NA tillader dog ikke CEM II/A-LL anvendt til svømmebassiner, marine konstruktioner i eksponeringsklasse XS2 og XS3, samt i stærkt aggressivt kemisk miljø svarende til eksponeringsklasse XA3.

BASIS AALBORG CEMENT kan anvendes sammen med mineralske tilsætninger (flyveaske og mikrosilica), med doseringsniveauer som anført i DS/EN 206 DK NA.

Indholdet af finkornet kalkfiller bevirker at beton med BASIS AALBORG CEMENT er særlig følsom over for udtørring af den friske beton, og det tilrådes derfor at tildække nyudstøbt beton med plast eller forseglingsmiddel, så hurtigt som muligt, jf. DS 2427.

BASIS AALBORG CEMENT kan endvidere anvendes til muremørtler, herunder KC-mørtler, til opmuring pudsning m.v.

Levering

BASIS AALBORG CEMENT leveres i 25 kg sække samt i 1000 og 1500 kg bigbags – alle med grøn markering.

RAPID[®]CEMENT / RAPID[®]AALBORG CEMENT



Produkt

RAPID cement er en portlandcement, styrkeklasse 52,5 N.

Mærkning: CEM I 52,5 N (MS) (LA).

RAPID cement er fremstillet ved formaling af portlandcementklinker med tilsætning af op til 5 % kalkfiller.

Kvalitet og egenskaber

I nedenstående skema er anført vejledende værdier for de væsentligste egenskaber.

Densitet		Afbinding*	Cementstyrker**			
Bulk kg/m ³	Absolut kg/m ³	Timer	1 døgn	2 døgn	7 døgn	28 døgn
1160	3140	2:20	23	36	55	67

*) iht. DS/EN 196-3, **) iht. DS/EN 196-1

Den aktuelle ydeevnedeklaration kan downloades via www.aalborgportland.dk.

Anvendelse

RAPID cement kan anvendes til beton til alle formål og til alle miljøpåvirkninger.

RAPID cement er den foretrukne cement til fabriksbeton, men kan som følge af en forholdsvis hurtig styrkeudvikling også anvendes til produktion af beton-elementer og betonvarer.

RAPID cement kan anvendes sammen med mineralske tilsætninger (flyveaske og mikrosilica), med doseringsniveauer som anført i DS/EN 206 DK NA.

RAPID cements lave indhold af kalkfiller bevirker, at den er mindre følsom overfor udtørring af den friske beton end portlandkalkstencement og den anbefales derfor bl.a. til gulve og slidlag. Beton med RAPID cement skal som al anden beton beskyttes mod udtørring iht. DS 2427.

RAPID cement kan endvidere anvendes til muremørtler, herunder KC-mørtler, til opmuring pudsning m.v.

Levering

RAPID cement leveres i løs vægt i tankbiler, under varemærket RAPID AALBORG CEMENT i 25 kg sække samt i 1000 og 1500 kg bigbags – alle med rød markering.

AALBORG SOLID CEMENT



Produkt

AALBORG SOLID cement er en portlandcement, styrkeklasse 42,5 N med lavt alkaliindhold og lav varmeudvikling.

Mærkning: CEM II/A-V 42,5 N (EA).

Kvalitet og egenskaber

I nedenstående skema er anført vejledende værdier for de væsentligste egenskaber.

Densitet		Afbinding*	Cementstyrker**			
Bulk kg/m ³	Absolut kg/m ³	Timer	1 døgn	2 døgn	7 døgn	28 døgn
1100	3050	2:50	8	17	30	56

*) iht. DS/EN 196-3, **) iht. DS/EN 196-1

Den aktuelle ydeevnedeklaration kan downloades via www.aalborgportland.dk.

Anvendelse

AALBORG SOLID cement kan anvendes til alle formål og i alle miljøpåvirkninger, men vælges dog fortrinsvis, hvis der ønskes lav varmeudvikling eller stilles krav om høj sulfatbestandighed.

AALBORG SOLID er baseret på klinker med et C_3A -indhold $\leq 5\%$, og har samtidig et flyveaskeindhold på 15 %. Begge dele bidrager til sulfatbestandigheden.

AALBORG SOLID cement er særligt velegnet til anlægskonstruktioner og andre konstruktioner, der bliver udsat for alkali- og/eller sulfatpåvirkning som f.eks. broer, fundamenter, tunneller, havneanlæg, etc.

AALBORG SOLID cement har en forholdsvis langsom styrkeudvikling, og er derfor ikke velegnet til produktion af betonelementer o.l., hvor der ønskes høje tidlige styrker og hurtig afformning.

AALBORG SOLID cement kan anvendes sammen med mineralske tilsætninger (flyveaske og mikrosilica), med doseringsniveauer som anført i DS/EN 206 NA.

Levering

AALBORG SOLID cement leveres i løs vægt i tankbiler samt i 1000 og 1500 kg bigbags – alle med sort markering.

FUTURECEM® CEMENT



Produkt

FUTURECEM CEMENT er en portlandkompositcement, styrkeklasse 52,5 N med lavt alkaliindhold, som udnytter synergien mellem kalcineret ler og kalkfiller, hvilket gør det muligt at reducere CO₂-udledningen med op til 30%.
Mærkning: CEM II/B-M (Q-LL) 52,5 N (LA).

Kvalitet og egenskaber

I nedenstående skema er anført vejledende værdier for de væsentligste egenskaber.

Densitet		Afbinding*	Cementstyrker**			
Bulk kg/m ³	Absolut kg/m ³	Timer	1 døgn	2 døgn	7 døgn	28 døgn
1050	3020	2:40	16	29	45	63

*) iht. DS/EN 196-3, **) iht. DS/EN 196-1

Den aktuelle ydeevnedeklaration kan downloades via www.aalborgportland.dk.

Anvendelse

FUTURECEM CEMENT kan anvendes til alle beton opgaver og er derfor velegnet til bla. fundamenter, gulve og vægge. Cementen er godkendt i hht. DS/EN 206 DK NA til at kunne anvendes i alle miljøpåvirkninger. FUTURECEM er derfor et mere bæredygtigt alternativ til andre traditionelle cementer og kan samtidigt anvendes i bredt omfang.

FUTURECEM CEMENT er en CO₂-reduceret cement med høj slutstyrke og god bearbejdighed. Denne cement er baseret på en ny patenteret teknologi, som sikrer et reduceret CO₂-aftryk på op mod 30 % i forhold til RAPID cement uden at gå på kompromis med 28 døgns styrken.

FUTURECEM CEMENT har en beige farve i forhold til andre cementer.

Levering

FUTURECEM CEMENT leveres i løs vægt i tankbiler, under varemærket FUTURECEM® i 25 kg sække (svarende til ca. 23 l) med grå/grøn markering samt i 1000 og 1500 kg bigbags med grå markering.

AALBORG WHITE® CEMENT



Produkt

AALBORG WHITE cement er en hvid portlandcement, styrkeklasse 52,5 R med høj sulfatbestandighed og særligt høje 28 døgns styrker.

Mærkning: CEM I 52,5 R - SR5 (EA).

Kvalitet og egenskaber

I nedenstående skema er anført vejledende værdier for de væsentligste egenskaber.

Densitet		Afbinding*	Cementstyrker**			
Bulk kg/m ³	Absolut kg/m ³	Timer	1 døgn	2 døgn	7 døgn	28 døgn
1070	3100	2:25	22	44	60	72

*) iht. DS/EN 196-3, **) iht. DS/EN 196-1

Den aktuelle ydeevnedeklaration kan downloades via www.aalborgportland.dk.

Anvendelse

AALBORG WHITE cement kan anvendes til alle formål og i alle miljøpåvirkninger men vælges dog fortrinsvis, hvis der ønskes en hvid eller lys beton, evt. med henblik på indfarvning.

I visse tilfælde vælges AALBORG WHITE cement dog på grund af dens ekstra lave alkaliindhold og høj sulfatbestandighed, f.eks. hvis der i en elementproduktion er stillet krav hertil.

AALBORG WHITE's meget høje 28 dogn styrke gør den særlig velegnet til højstyrkebeton.

AALBORG WHITE cement kan anvendes sammen med mineralske tilsætninger (flyveaske og mikrosilica), med doseringsniveauer som anført i DS/EN 206 DK NA, men tilsætning af flyveaske vil dog medføre at betonen bliver grå.

AALBORG WHITE cement kan endvidere anvendes til fremstilling af hvide eller indfarvede muremørtler, herunder KC-mørtler, til opmuring pudsning m.v.

Levering

AALBORG WHITE cement leveres i løs vægt i tankbiler, i 25 kg sække samt i 1000 og 1500 kg bigbags – alle med blå markering.

Cementtyper – egenskaber og forskelle

Trykstyrke

Cementens trykstyrke er en af de vigtigste egenskaber, og den måles efter en standardiseret metode, så forskellige cementer kan sammenlignes.

En beton, som fremstilles med en cement med høj trykstyrke vil alt andet lige også opnå højere trykstyrke end med en cement med lav trykstyrke.

Betons trykstyrke vil herudover afhænge af en række andre parametre, især v/c-forhold og luftindhold, se mere herom i afsnittet om beton.

Aalborg Portlands cementer er alle styrkeklasse 52,5, undtagen AALBORG SOLID cement, som er styrkeklasse 42,5.

Hvis man anvender en cement med lav trykstyrke, kan betonens trykstyrke øges ved at sænke v/c-forholdet, dvs. øge cementindholdet.

Hvis en beton skal fremstilles i en ønsket styrkeklasse, skal der f.eks. tilsættes ca. 15 % mere cement, hvis der anvendes AALBORG SOLID cement (styrkeklasse 42,5) end hvis der anvendes RAPID cement (styrkeklasse 52,5).

Da beton ofte fremstilles ud fra et krav til trykstyrken, har cementens styrkeegenskaber også betydning for den samlede økonomi, og cementens pris og styrke bør derfor altid vurderes samlet.

I Danmark tilstræbes generelt cementer med høje styrker, da det giver den bedste samlede økonomi.

RAPID cement har en 28 døgns styrke på ca. 67 MPa og en 1 døgns styrke på ca. 23 MPa. Det sikrer gode tidlige såvel som sene styrker i beton, og RAPID cement anvendes derfor til byggepladsopgaver, muremørtler (KC-mørtler), fabriksbeton, betonelementer, belægningssten o.l.

BASIS cement er udviklet med henblik på særlig hurtig styrkeudvikling ved fremstilling af betonelementer, belægningssten o.l., hvor hurtig afformning og levering er afgørende. BASIS cement har derfor en 1 døgns styrke på ca. 28 MPa, hvilket er 20 - 40 % højere end Aalborg Portlands øvrige cementer i styrkeklasse 52,5. 28 døgns styrken er på niveau med RAPID cement, CA. 67 MPa.

BASIS cement har mærkningen "R" for 2 døgns styrker over 30 MPa.

BASIS AALBORG CEMENT er en grovere formålet variant af BASIS cement, og har derfor ikke så hurtig styrkeudvikling. I forhold til RAPID cement er såvel 1 døgn som 28 døgn styrkerne ca. 15 % lavere.

FUTURECEM cement er udviklet med henblik på at reducere CO₂-aftrykket af beton.

FUTURECEM cement har en 28 døgn styrke på ca. 63 MPa og en 1 døgn styrke på ca. 16 MPa. Det sikrer gode sene styrker og rimelige tidlige styrker i beton.

FUTURECEM cement anvendes primært til byggepladsopgaver, muremørtler (KC-mørtler) og fabriksbeton, og kan også anvendes til betonelementer, belægningssten o.l. Det kræver dog lidt højere hærdetemperaturer, alternativt længere hærdetid for at opnå samme afformningsstyrke, som f.eks. med RAPID cement.

FUTURECEM cement gør det således muligt at reducere CO₂-aftrykket i det meste betonbyggeri.

AALBORG SOLID cement er styrkeklasse 42,5. Styrkerne efter 1 og 28 døgn er ca. 8 hhv. 56 MPa, hvilket i forhold til RAPID er 65 % hhv. 15 % lavere. De lavere styrker skyldes hensynet til andre egenskaber, herunder lav varmeudvikling.

AALBORG WHITE cement har 1 døgn styrke på 22 MPa, ca. som RAPID cement, og 28 døgn styrke på ca. 72 MPa, hvilket er 10 - 25 % højere end de øvrige cementer i styrke klasse 52,5. AALBORG WHITE cement har mærkningen "R" for 2 døgn styrker over 30 MPa.

Farve

Aalborg Portlands cementer er, som de fleste cementer, grå, undtagen AALBORG WHITE, som er hvid.

Der er tale om nuancer af grå, og selvom det sjældent er farven, som er grundlaget for valg af en grå cement, bør man være opmærksom på, at der er farveforskelle mellem RAPID, BASIS, FUTURECEM og AALBORG SOLID cement.

Beskrivelse af farve er en kompliceret sag og sædvanligvis angives farven af cement blot ved refleksionen, som angiver den procentdel af lyset, som reflekteres ved en måling på tørt pulver.

Refleksionen af de forskellige cementer fremgår af nedenstående skema, og som udgangspunkt vil forskelle på 1 - 2 % i refleksion være synlig med det blotte øje.

Cementtype	Refleksion
BASIS CEMENT	35
BASIS AALBORG CEMENT	35
RAPID CEMENT	31
AALBORG SOLID CEMENT	26
FUTURECEM CEMENT	36
AALBORG WHITE CEMENT	86

Man bør derfor ikke skifte cementtype i betonblandinger, som støbes mod hinanden og som skal være ens.

Der er imidlertid en række andre faktorer, som har betydning for farven, især v/c-forhold og hærdebetingelser. Sandets farve har f.eks. også indvirkning på betonens farve.

I afsnittene Betons udseende og Beton med AALBORG WHITE cement på side 101 og 117 er udseende og farve nærmere omtalt.

Kemisk sammensætning og holdbarhed

Cementklinker består af i alt 4 forskellige klinkerminerale, som dannes under brændingen.

De cementkemiske betegnelser for disse er C_3S , C_2S , C_3A og C_4AF , og i skemaet herunder er anført cementernes typiske indhold af disse 4 klinkerminerale.

Indhold i %	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
BASIS CEMENT	68	10	8	11
RAPID CEMENT	68	10	8	11
FUTURECEM CEMENT	68	10	8	11
AALBORG SOLID CEMENT	50	30	5	13
AALBORG WHITE CEMENT	79	13	5	1

*Cementernes klinkerandel er mellem 70 og 95%.

Der er især to forhold ved cements kemiske sammensætning, som har betydning for en betons holdbarhedsmæssige egenskaber.

Alkaliindholdet har betydning for risikoen for alkaliselreaktioner, hvis tilsat inde-

holder reaktiv kisel (porøst flint). Det er en fordel med så lavt alkaliindhold som muligt.

Aalborg Portlands cementer har generelt lavt alkaliindhold, men AALBORG SOLID cement og AALBORG WHITE cement har et ekstra lavt alkaliindhold, $\leq 0,4$ %, og disse cementer klassificeres derfor som type EA (ekstra lavt alkaliindhold). De øvrige cementer har alle et alkaliindhold $\leq 0,6$ %, og klassificeres som type LA (lavt alkali-indhold).

Der er sjældent krav om type EA, men type LA er et almindeligt forekommende krav til broer, tunneler o.l. Herudover er der krav til det samlede alkaliindhold i beton, som udsættes for moderate og aggressive miljøpåvirkninger.

Cementers sulfatbestandighed er bestemt af indholdet af klinkermineralet C_3A . Her skiller AALBORG WHITE cement sig også ud, som type SR5, hvilket iht. EN197-1 henviser til en sulfatbestandig portlandcement med et C_3A -indhold på ≤ 5 %.

RAPID cement betegnes som moderat sulfatbestandig, (MS), iht. DS/INF 135, mens BASIS cement og BASIS AALBORG CEMENT begge betegnes som ikke sulfatbestandig.

Herudover kan et indhold af kalkfiller i kombination med sulfat i omgivelserne medføre en særlig form for sulfatnedbrydning – thaumasitdannelse, hvilket også er årsag til, at BASIS cementerne ikke bør anvendes i omgivelser med højt sulfatindhold.

Generelt er der ikke problemer med nedbrydning på baggrund af sulfat i Danmark, men til broer, tunneler, havnebyggeri o.l. er der tradition for at foreskrive en sulfatbestandig cement.

Kromateksem og ætsning

Alle Aalborg Portland cementer har et lavt indhold af vandopløselig cromat, ≤ 2 mg pr. kg cement. Dette sikrer, at brugere, som er i daglig kontakt med cement og beton, ikke udvikler kromateksem. Denne lidelse var for 30 år siden ikke ualmindelig blandt murere og betonstøbere, men efter indførelse af chrom-neutraliseringsprocessen i begyndelse af 80'erne er lidelsen stort set elimineret i den danske cement- og betonbranche.

Frisk beton er stærk basisk, og ved langvarig kontakt med frisk beton vil der derfor være risiko for ætsningsskader. Det sker typisk i forbindelse med, at bukser eller andet tøj bliver vædet af betonen, og påvirker huden i flere timer. Kortvarig kontakt (op til ½ time) vil sjældent medfører egentlige ætsningsskader, men hvis tøjet bliver vådt ved kontakt med frisk beton, bør det skiftes med det samme. I tilfælde af ætsningsskader søges læge. Hvis man får cement eller beton i øjnene, skal der skylles grundigt med rent vand og søges læge. Se i øvrigt sikkerhedsdatablad side 148.

Levering og opbevaring af cement

Løs cement

Med tankbiler leveres op til 40 tons cement pr. læs. En tankbil kræver plads hos modtageren og det er nødvendigt, at pladsen er indrettet til det. Hvis pladsforholdene er trange, kan man ofte klare sig ved at føre cementrøret ud til et sted, hvor bilerne kan komme til.

Tankene tømmes ved hjælp af trykluft, idet en kompressor på tankbilen blæser cementen direkte op i forbrugerens silo med et tryk på ca. 2 bar.

Derfor må siloen forsynes med et filter, som skal sikre mod støvgener og farligt overtryk i siloen. Det er Aalborg Portlands erfaring, at de bedste driftsmæssige forhold opnås, hvor filtrene er rigeligt dimensionerede (30 m² filterareal), og hvor rensning sker automatisk. Andre former for udluftning kan ikke anbefales.

Der skal være installeret overtryksventil, der reagerer, således at overtrykket i siloen ikke kan overstige 0,5 bar.

Kundens cementsilo bør kunne rumme mindst 50 tons. Hvis døgnforbruget forventes at overstige 25 tons, skal siloen dog kunne rumme mindst 2 døgns maksimalt forbrug.

Kontakt Aalborg Portland for råd og vejledning, hvis du ønsker levering af løs cement. Aalborg Portland rådgiver gerne med hensyn til indretning af siloer på forbrugsstedet,



så aflæsning af cement kan foregå på den mest praktiske og hurtigste måde.

Holdbarhed og opbevaring af pakket cement

Cement skal opbevares tørt. Anbring ikke sækkene direkte på jorden eller gulvet eller op ad ydervægge. Sækkene kan f.eks. opbevares på paller. Der bør være ventileret under pallerne, så fugtighed ikke kan samle sig her.

Et cementlagers gulv, vægge og loft skal til enhver tid være tørre. Hold vinduer og døre lukkede, så træk ikke kan tilføre sækkene fugt.

Ved lang tids opbevaring kan cement vise tendens til klumpdannelse, forlænget afbindingstid og forringede styrker. Hvis klumperne kan knuses med et let tryk med fingrene har cementen ikke taget skade i nævneværdig grad.

Anvend ikke cement, der er "stenløben", dvs. at klumperne er blevet til stenhårde knolde.

Samtidig er der risiko for, at virkningen af kromneutraliseringen forringes. Virkningen af kromneutraliseringen garanteres for sække på paller med ubrudt folie i 10 måneder, herefter i 2 måneder ved hensigtsmæssig opbevaring. Cement bør derfor ikke opbevares længere end højst nødvendigt.

Cement, der har været opbevaret længe, skal før brugen undersøges, f.eks. ved prøvestøbninger, hvorunder afbinding og hærdning kontrolleres.



BETON

• Beton	38	• Betonens egenskaber	87
Betonkvalitet	40	Betons bearbejdelighed	87
Normer og standarder for beton	40	Betons styrke	89
• Fabriksfremstillet eller pladsfremstillet beton	46	Betons holdbarhed	91
Fabriksfremstillet beton	46	Betons deformationer	96
Pladsfremstillet beton	48	Krybning	99
• Betonens delmaterialer	49	• Betons udseende – kalkudblomstringer	101
Cement	49	Mekanismer	101
Tilslagsmaterialer – sand og sten	50	Afhjælpning	104
Vand	51	• Betongulve og slidlag	106
Flyveaske og mikrosilica	52	Slidlags- og afretningsmørtel	112
Tilsætningsstoffer	53	• Beton med AALBORG WHITE cement	117
Opbevaring af materialer	54	Hvid beton	117
• Betonsammensætning	56	Indfarvet beton	118
Valg af betonkvalitet – indledende overvejelser	56	Blanding og udstøbning	119
Materialevalg	58	• Selvkompakterende beton – SCC	120
Proportionering	60	• Restfugt og selvudtørrende beton	122
• Fremstilling af beton	68	Restfugt og betonkvalitet	122
Dosering af materialer efter vægt	68	Selvudtørring	123
Betonsammensætning efter rumfang	69	Reparationsarbejder	125
Blanding og transport	74	• Specielle anvendelser af beton	126
Varm beton	75	Fliser, belægningssten og rør	126
• Form og forskalling	77	Glasfiberbeton	127
Formens klargøring	78	Letbeton	127
Armering	79	Tung beton	127
• Udstøbning og komprimering	79		
• Efterbehandling	81		
Udtørningsbeskyttelse	81		
Temperatur og hærdehastighed	83		
Tidlig frysning	84		
Temperaturforskelle	85		
• Afformning	86		
Efterfølgende udtørningsbeskyttelse	87		

Betonafsnittet er udarbejdet iht. DS/EN 1992-1-1, DS/EN 206 DK NA, DS/EN 206, DS 2427 og DS/EN 13670.

Beton

Beton er på én gang både et simpelt materiale, som enhver kan fremstille, og samtidig et meget kompliceret materiale, som kræver stor viden at udnytte optimalt.

Beton fremstilles af portlandcement, vand og tilslag (sand og sten) og er et materiale med enestående formbarhed, styrke og holdbarhed, hvis det fremstilles korrekt. Blandingen af cement og vand (cementpasta) kan opfattes som en tokomponent lim eller binder, som hærder og binder tilslagspartiklerne sammen i en fast struktur.

Den hærdnede betons egenskaber afhænger af de anvendte materialer, af den valgte sammensætning og af udstøbnings- og hærdforholdene.

Beton repræsenterer altså – alt efter materialevalg, sammensætning og udførelse – et uendeligt spektrum af kvaliteter, spændende fra den svageste sokkelbeton eller klaplag til den bedste betonkvalitet, som f.eks. anvendt til Storebæltsforbindelsen. Her var betonen designet til at holde i mindst 100 år, selv under de mest aggressive påvirkninger.

Kunsten består i at vælge den rigtige kvalitet til det aktuelle formål.

Materialeprisen vil i nogen grad afhænge af kvaliteten, men prisforskellen mellem en god og en dårlig beton er relativ beskeden, og konsekvensen ved at vælge en "for dårlig" betonkvalitet vil være langt større udgifter i det lange løb, end ved at vælge en "for god" betonkvalitet.

Det gælder derfor om at vælge en betonkvalitet, som med rimelig sikkerhed kan modstå de påvirkninger, betonen forventes udsat for.

Betonens holdbarhed har en væsentlig samfundsmæssig interesse på grund af dens meget store anvendelse. Man ønsker at sikre en rimelig levetid for de konstruktioner, som beton indgår i, og byggemyndighederne opstiller derfor gennem Bygningsreglementet samt normer og standarder krav til betonen.

Krav og regler i materialestandarder for beton er behandlet i afsnittet "Normer og standarder for beton", og danner, sammen med Aalborg Portlands mere end 130 års erfaringer med fremstilling og anvendelse af portlandcement, grundlaget for de anbefalinger, som vi giver i de følgende afsnit.

Herudover er der i konstruktionsnormerne omfattende regler, som skal sikre konstruktioner og bygninger mod brud eller kollaps. Indholdet heri er specialviden for bygningskyndige rådgivere og er kun kort omtalt.

Der findes endvidere en række specielle anvendelser, f.eks. fliser og belægningssten, tagsten, rør m.v., som er omhandlet af helt andre standarder, og som også forudsætter specialviden og ofte særligt produktionsudstyr. Disse anvendelser er kort omtalt under "Specielle anvendelser af beton", side 126.

Betonkvalitet

Styrke og holdbarhed er naturligvis væsentlige kvaliteter og egenskaber ved betonen, men for entreprenøren er bearbejdelighed en mindst ligeså vigtig egenskab (betonens evne til at udstøbes, komprimeres, pudses, glittes m.v.).

For arkitekt og/eller bygherre er betonoverfladernes udseende og egenskaber en vigtig parameter (struktur, overflade, farve m.v.).

Normer og standarder tager primært hånd om styrke og holdbarhed. De definerer også bearbejdelighed samt metoder til at måle bearbejdeligheden. Bearbejdeligheden er imidlertid i høj grad et mellemværende mellem betonproducent og entreprenør.

Normer og standarder stiller derimod ingen krav til udseendet af den færdige konstruktion. Her er det et spørgsmål om at tilfredsstille bygherrens forventninger, som bør afspejle den forventede kvalitet ved almindelig god håndværksmæssig praksis.

Udseendet og skuffede forventninger hertil udgør nok hovedparten af de tvister, som opstår mellem bygherre og entreprenør. Entreprenøren bør derfor være opmærksom på, at bygherrens forventninger står i et rimeligt forhold til den forventede kvalitet. Referencer i form af prøvestøbninger eller eksisterende bygninger kan være et nyttigt grundlag for en fælles opfattelse af den forventede kvalitet af det færdige byggeri. Disse forhold bør afklares tidligt i byggeprocessen.

Normer og standarder for beton

Det meste af den beton, som anvendes i Danmark, blandes og udstøbes i en blød plastisk, ofte letflydende konsistens, og det er normer og standarder for denne betontype, som er behandlet i dette afsnit.

I betonnormen DS/EN 1992-1-1 og DS/EN 1992-1-1 DK NA, i materialestandarderne DS/EN 206 og DS/EN 206 DK NA samt i udførelsesstandarden DS/EN 13670 og DS 2427 er der opstillet krav til de nøgleparametre, som har betydning for betonens kvalitet.

DS/EN 206 er den fælleseuropæiske materialestandard for beton, medens DS/EN 206 DK NA er en dansk tillægsstandard, som kun gælder i Danmark.

Kravene er knyttet til miljøpåvirkninger, som igen dækker over forskellige kombinationer af eksponeringsklasser. Miljøpåvirkninger og eksponeringsklasser er et udtryk for de påvirkninger, som betonen forventes at blive udsat for ved en given anvendelse.

Miljøpåvirkninger er et nyt begreb, svarende til de såkaldte miljøklasser, som har været anvendt i Danmark siden 1970'erne, mens eksponeringsklasserne er indført i forbindelse med det fælles europæiske normsystem.

Skemaet herunder giver en oversigt over miljøklasser, påvirkninger og eksempler på indplacering af typiske bygningsdele.

Oversigt over miljøpåvirkninger og typiske bygningsdele.

Miljø-påvirkning	Beskrivelse	Typiske konstruktioner
Passiv	Tørt miljø, hvor korrosion ikke forekommer	Konstruktioner i indendørs tørt miljø, jorddækkede fundamenter i lav eller normal sikkerhedsklasse
Moderat	Fugtigt miljø, hvor der ikke er risiko for frostpåvirkning i kombination med vandmætning, og hvor der ikke i nævneværdig grad kan tilføres alkalier og/eller klorider til betonoverfladen	Fundamenter delvis over terræn, jorddækkede fundamenter i høj sikkerhedsklasse, udvendige vægge, facader og søjler, udvendige bjælker med konstruktiv beskyttet overside, altanbrystninger, installationskanaler, ingeniørgange, elevatorgruber, konstruktionsdele i svagt aggressivt grundvand
Aggressiv	Fugtigt miljø, hvor der kan tilføres alkalier og/eller klorider til betonoverfladen, eller hvor der forekommer kraftig fugtbelastning med risiko for vandmætning i kombination med frostpåvirkning	Udvendige dæk og bjælker uden konstruktiv beskyttet overside, støttemure, lyskasser, udvendige trapper, kælderydevægge delvis over terræn samt kanaler og gruber og andre konstruktionsdele i moderat aggressivt grundvand
Ekstra aggressiv	Fugtigt miljø, hvor der enten tilføres eller ophobes store mængder alkalier og/eller klorider ved betonoverfladen	Altangange, altanplader og altankonsoller, parkeringsdæk, svømmebade, søjler og kantbjælker på broer, marine konstruktioner i splashzone

Eksponeringsklassernes betydning fremgår kort af følgende skema.

Nærmere definition kan læses i DS/EN 206.

Oversigt over eksponeringsklasser

X0	Ingen risiko for korrosion – ingen armering eller meget tørt
XC1, XC2, XC3, XC4	Risiko for korrosion forårsaget af karbonatisering
XD1, XD2, XD3	Risiko for korrosion forårsaget af andre klorider end havvand
XS1, XS2, XS3	Risiko for korrosion forårsaget af klorider fra havvand
XF1, XF2, XF3, XF4	Risiko for frost-/tø skader med eller uden tøsalt
XA1, XA2, XA3	Risiko for kemisk nedbrydning, f.eks. sulfat, syre m.v.

Stigende tal angiver stigende aggressivitet.

Eksponeringsklasserne skal formelt defineres, men i praksis er de indeholdt i de eksempler, som den danske tillægsstandard (DS/EN 206 DK NA) opstiller for sammenhæng mellem miljøpåvirkninger og eksponeringsklasser.

Sammenhæng mellem miljøpåvirkninger og eksponeringsklasser

Miljøpåvirkninger	Passiv	Moderat	Aggressiv	Ekstra Aggressiv
Eksponeringsklasser	X0	XC2	XD1	XD2
	XC1	XC3	XS1	XD3
		XC4	XS2	XS3
		XF1	XF2	XF4
		XA1	XF3	XA3
			XA2	

Skemaet viser, at en beton til moderat miljøpåvirkning vil opfylde kravene i eksponeringsklasserne XC2, XC3, XC4, XF1 og XA1. Tilsvarende kan skemaet f.eks. benyttes til at afgøre, at den korrekte miljøpåvirkning i tilfælde af eksponeringsklasserne XC4, XS2 og XF3 er aggressiv miljøpåvirkning.

Med udgangspunkt i miljøpåvirkninger og eksponeringsklasser opstiller standarderne krav til betonen, som skal sikre en holdbar beton under de påvirkninger, betonen forventes at blive udsat for i den pågældende miljøpåvirkning og eksponerings klasse.

Nedenfor er vist en oversigt over de væsentligste krav, som stilles til beton i de forskellige miljøpåvirkninger.

Væsentligste krav til beton iht. DS/EN 1992-1-1 DK NA, DS/EN 206, DS/EN 206 DK NA samt DS 2427

	Miljøpåvirkninger			
	Passiv	Moderat	Aggressiv	Ekstra Aggressiv
Cementindhold	–	$\geq 150 \text{ kg/m}^3$	$\geq 150 \text{ kg/m}^3$	$\geq 150 \text{ kg/m}^3$
v/c-forhold	–	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$	$\leq 0,40$
Fillerindhold	–	–	$\geq 375 \text{ kg/m}^3$	$\geq 375 \text{ kg/m}^3$
Styrkeklasse	$\geq \text{C12}^{1)}$	$\geq \text{C30}$	$\geq \text{C35}$	$\geq \text{C40}$
Luft i frisk beton Luft i hærdnet beton	–	$\geq 4,5 \text{ vol-\%}$	$\geq 4,5 \text{ vol-\%}$ $\geq 3,5 \text{ vol-\%}$	$\geq 4,5 \text{ vol-\%}$ $\geq 3,5 \text{ vol-\%}$
Frostbestandighed	–	God	God	God
Afstandsfaktor	–	–	$\leq 0,20 \text{ mm}$	$\leq 0,20 \text{ mm}$
Tilslagsklasse Sand/Sten	P/P	A ¹⁾ /M	A/A	E/E
Alkaliindhold	–	$\leq 3,0 \text{ kg/m}^3$	$\leq 3,0 \text{ kg/m}^3$	$\leq 3,0 \text{ kg/m}^3$
Kloridindhold – slap armering	$\leq 0,40 \%$ af binder	$\leq 0,20 \%$ af binder	$\leq 0,20 \%$ af binder	$\leq 0,20 \%$ af binder
Max FA / C - forhold	–	0,33	0,33	0,33
Max MS / C - forhold	–	0,11	0,11	0,11
Varighed af udtørnings- beskyttelse	$\geq 12 \text{ m.-}$ timer	$\geq 36 \text{ m.-}$ timer	$\geq 120 \text{ m.-}$ timer	$\geq 120 \text{ m.-}$ timer
Dæklag på armering (tolerancetillæg 5 mm)	$\geq 10 (+5)$ mm	$\geq 20 (+5)$ mm	$\geq 30 (+5)$ mm	$\geq 40 (+5)$ mm

1) klasse M sand er ikke defineret.

2) m.-timer = modenhetstimer (se side 83)

Styrkekravet er et mindstekrav, og der kan til konkrete opgaver være stillet krav om højere styrker af hensyn til konstruktionens bæreevne, slidstyrke m.v.

Alle kravene i skemaet er vigtige, men v/c-forholdet er den enkeltparameter, som har størst betydning for betonens holdbarhed.

V/c-forholdet beregnes som indholdet af vand i forhold til indholdet af cement, begge på vægtbasis (kg).

Betonens styrkeklasse skal vælges blandt styrkeklasserne i nedenstående skema, idet styrkeklasse C8/10 kun må anvendes til uarmeret beton i passiv miljøklasse.

Styrkeklasserne udtrykker betonens karakteristiske styrke, defineret som en 5 % fraktil – fck. Dokumentation af trykstyrken skal i Danmark foretages på Ø150 × 300 mm eller Ø100 × 200 mm cylindre. Ved måling af trykstyrken på en 150 mm terning, vil man på grund af de geometriske forskelle måle ca. 25 % højere styrke end på en Ø150 × 300 mm cylinder – deraf forskellene i skemaet. I Danmark benyttes sædvanligvis kun betegnelser for cylinderstyrken.

Styrkeklasser iht. DS/EN 206

Trykstyrkeklasse	Mindste karakteristiske cylinderstyrke MPa	Mindste karakteristiske terningstyrke MPa
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105	90	105
C100/115	100	115

I DS/EN 1992-1-1 tillades styrkeklasser op til C90.

Dokumentation af styrken kan ske på flere måder, jf. DS/EN 206 og DS/EN 206 DK NA. En enkel metode refereres kort her:

Mindste prøvningsfrekvens ved dokumentation af trykstyrke

	Mindste prøvningsfrekvens	
	Første 50 m ³	Efterfølgende produktion
Indledende - (indtil mindst 35 prøver)	3 prøver	1 pr. 200 m ³ – dog mindst 2 pr. produktionsuge

* En produktionsdag er defineret som en dag, hvor der produceres mindst 20 m³ jf. DS/EN 206 DK NA .

Ved indledende produktion vurderes prøverne i grupper på 3.

Krav til styrkeresultater – indledende produktion

Krav til gennemsnit og enkeltresultater	
Krav til gennemsnit af de 3 resultater (MPa)	Krav til hver enkelt af de 3 resultater (MPa)
$X_3 \geq f_{ck} + 4$	$X_i \geq f_{ck} - 4$

Kravet til gennemsnittet medfører, at betonens middelstyrke skal ligge 4 MPa + et passende tillæg over den karakteristiske styrke. Tillægget skal sikre producenten, at betonen godkendes, da halvdelen af betonen ellers vil blive kasseret. Tillægget vælges typisk som 1 - 3 MPa, afhængig af styrke klassen.

En beton i styrkeklasse 20 vil derfor typisk skulle produceres med en middelstyrke på mindst 26 MPa.

De øvrige metoder, som ikke refereres her, tillader anvendelse af dokumenteret spredning eller variationskoefficient, hvilket i en produktion af høj ensartethed vil føre til lavere styrkekrav.

Fabriksfremstillet eller pladsfremstillet beton

Beton kan enten fremstilles på byggepladsen eller være fabriksfremstillet. Valget indeholder såvel tekniske som praktiske og økonomiske overvejelser.

Med tekniske overvejelser tænkes primært på mulighederne for at fremstille beton af den krævede kvalitet og ikke mindst at kunne dokumentere dette.

For beton i normal og skærpet kontrolklasse skal produktionskontrollen vurderes og overvåges af et godkendt certificeringsorgan. Det vil normalt indebære, at fabriksfremstillet beton vil være påkrævet.

Når man fremstiller beton på byggeplads er der ofte ingen, eller kun ringe sikkerhed for, at den ønskede kvalitet opnås, og dokumentation foreligger i praksis sjældent. Det vil sædvanligvis kun være ved meget store projekter, man vil kunne opfylde krav til produktionsudstyr, kontrol mm.

De økonomiske overvejelser bør, udover materiale- og lønomkostninger, også indeholde en vurdering af byggeriets varighed og samlede økonomi.

Fabriksfremstillet beton

Når man bestiller fabriksfremstillet beton er der en række oplysninger, som er vigtige for, at den korrekte beton kan leveres. Det er kundens ansvar at formulere de rigtige krav.

Oplysningerne bør omfatte følgende:

- **Betonmængder (m³)**
- **Betonens anvendelse**
- **Miljøpåvirkning – evt. eksponeringsklasser**
- **Leveringssted og tidspunkt**
- **Konsistens (sætmål, udbredelsesmål etc.)**
- **Største stenstørrelse**
- **Evt. cementtype**
- **Karakteristisk trykstyrke**
- **Krav til v/c-tal**
- **Krav til luftindhold**
- **Tilslagskvalitet (Klasse P, M, A eller E)**



Hvis en moderat, aggressiv eller ekstra aggressiv miljøpåvirkning er specificeret i projektet, vil de sidste fire krav være givet ved miljøpåvirkningen. Eventuelle krav om højere styrke, bedre stenkvalitet og andre tillægskrav i forhold til miljøpåvirkningens krav skal naturligvis altid oplyses.

Det er herefter betonleverandørens ansvar, at de stillede krav overholdes, herunder dokumentationen for det.

Med de mange nye begreber og krav, kan selv erfarne håndværkere komme i tvivl, og det vil i sådanne tilfælde altid være tilrådeligt at drøfte det med betonleverandøren.

Af samme grund er det en god regel altid at oplyse betonleverandøren om betonens anvendelse. Derved kan leverandøren vurdere, om der er overensstemmelse mellem anvendelsen og de stillede krav.

Herudover er der en række praktiske forhold, som tilkørsels- og aflæsningsforhold, som skal være i orden.

Ved mange opgaver kan det være hensigtsmæssigt at få betonen leveret med en bil med transportbånd, at benytte en betonpumpe eller evt. en mindre pumpe monteret på betonbilen.

Pladsblandet beton

Fremstilles betonen på byggepladsen, er det nødvendigt med en vis indsigt i betontechnologi. Til nogle formål, som f.eks. fundamenter, klaplag o.l., er behovet begrænset, men til andre formål er det nødvendigt med et noget større kendskab.

I de efterfølgende afsnit er der en gennemgang af de væsentligste overvejelser i forbindelse med valg af materialer og betonrecept.

Med denne viden kan betonen principielt godt fremstilles i den ønskede kvalitet på byggepladsen. For at opfylde gældende normer og standarder skal der dog foreligge omfattende dokumentation af materialer, recepter, afvejede mængder samt af betonens egenskaber.

Ved blanding efter rumfang vil den krævede dokumentation ikke kunne opfyldes, og denne fremgangsmåde kan derfor kun benyttes ved sekundære opgaver, mindre reparationer o.l.

Der er i afsnittet Betonsammensætning efter rumfang, side 69 en beskrivelse af fremgangsmåden herfor.



Betonens delmaterialer

Cement

Cementkvaliteten har betydning for betonens egenskaber, og der skal altid benyttes en certificeret cement. Alle Aalborg Portlands produkter er CE-certificeret. Certificeret cement opfylder gældende standarder samt en række supplerende krav, herunder en neutralisering af kromatindholdet, som sikrer brugeren mod kromateksem ("cement-eksem").

Aalborg Portlands cementer kan anvendes i samtlige miljøpåvirkninger, dog tillader DS/EN 206 DK NA ikke anvendelse af portlandkalkstenscementer, herunder BASIS cement og BASIS AALBORG CEMENT i forbindelse med visse marine konstruktioner, svømmebade samt miljøer med særlige kemiske påvirkninger, svarende til eksponeringsklasserne XS2, XS3 og XA3.

Der henvises i øvrigt til cementafsnittet.



Tilslagsmaterialer – sand og sten

Tilslagsmaterialer til beton skal også være CE-mærkede og deklarerede svarende til de miljøpåvirkninger (P, M, A eller E), de kan anvendes i.

Tilslagsmaterialer kategoriseres ofte efter, om de stammer fra grusgrav (bakkematerialer), fra havet (sømaterialer), eller fra nedknust klippe (ofte gran-itskærver).

Søsten er sædvanligvis af bedre kvalitet end bakkesten, men det er ikke en entydig kvalitetsbetegnelse, fordi såvel bakkematerialer som sømaterialer kan være af vidt forskellige kvaliteter. Det er alene klassifikationen i P, M, A og E, som definerer tilslagsmaterialernes holdbarhedsmæssige egenskaber.

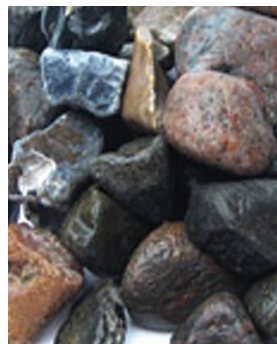
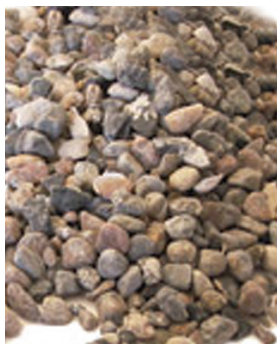
Tilslagsmaterialerne inddeles i fint tilslag – eller sand – med kornstørrelse under 4 mm og groft tilslag – eller sten – med kornstørrelse over 4 mm.

Stenene inddeles sædvanligvis i de tre fraktioner:

4-8 mm (perlesten)

8-16 mm (ærtesten)

16-32 mm (nøddesten),



Andre fraktioneringer forekommer dog også.

I danske grusforekomster findes en del flint. Tæt flint giver ingen problemer, men porøst og reaktivt flint kan forårsage frostska-der samt alkalikiselreak-tioner, jf. afsnit om holdbarhed side 91.

Det er sædvanligvis porøse flintpartikler, som forårsager både frostska-der og alkalikiselreaktioner, og det er derfor vigtigt at undgå porøst flint i alle miljøpåvirkninger, bortset fra passiv, hvor det tørre miljø sikrer, at nedbryd-ningsmekanismerne ikke forekommer.

DS/EN 206 DK NA stiller derfor bl.a. krav til det maksimale indhold af alka-lireaktivt materiale samt lette korn i tilslaget.

Tilslagets indhold af klorid og alkali skal kendes af hensyn til klorid- og alkaliregn skabet for betonen, jf. kravene hertil.

Herudover er tilslagets kornkurve og kornform samt densitet og absorption af betydning for betonen.

Kornkurven er af betydning, fordi sammensætningen af tilslaget ofte sker på grundlag af erfaringsmæssige kornkurver for det samlede tilslag.

Et velgraderet tilslag bestående af afrundede korn vil kunne pakkes bedre end et enskornet tilslag bestående af kantede korn. Dette er en af årsagerne til, at sømaterialer ofte foretrækkes frem for bakkematerialer og skærver.

Materiale under 1/4 mm betegnes filler, og mængden af filler har, sammen med v/c-forholdet, betydning for betonens tæthed overfor vand, jf. afsnit om holdbarhed på side 91.

Kendskab til densiteten er nødvendig for at kunne beregne hvor meget tilslaget fylder i betonen, og absorptionen er vigtig, fordi det vand, som absorberes i tilslaget, ikke indgår i beregning af v/c-forholdet.

Tilslag til beton skal opfylde DS/EN 12620.

Vand

Vand af drikkevandskvalitet er velegnet til beton. Der er dog mulighed for at benytte andet grundvand, genbrugsvand eller fersk vand fra søer m.v., blot alkali- og kloridindholdet kendes, så betonens alkali- og kloridregnskab kan opstilles.

Havvand eller brakvand bør ikke anvendes.

Vand til fremstilling af beton skal opfylde DS/EN 1008.

Flyveaske og mikrosilica – Type II tilsætninger

Disse materialer har puzzolan-egenskaber. De reagerer med calciumhydroxid i det basiske miljø, der optræder i betonen, og bidrager til øget styrke og tæthed. Puzzolaner har endvidere en gavnlig virkning mht. alkalikiselreaktioner, idet puzzolaner reagerer med alkalierne og binder disse i reaktionsprodukterne.

Flyveaske og mikrosilica må medregnes i v/c-forholdet med aktivitetsfaktorerne 0,5 for flyveaske hhv. 2,0 for mikrosilica.

$$v/c_{\text{ækv.}} = \frac{V}{C + 0,5 \times FA + 2,0 \times MS}$$

V, C, FA og MS er forkortelser for effektivt vand, cementindhold, flyveaskeinhold og mikrosilicaindhold angivet i kg.

Cementen er en forudsætning for puzzolanernes reaktioner. Uden cement vil de ikke reagere. Der er derfor øvre grænser for indholdet af flyveaske og mikrosilica i forhold til cementindholdet, jf. skema side 43.

Anvendelse af flyveaske er meget udbredt inden for betonindustrien, men anvendes sjældent ved betonfremstilling på byggeplads.

Mikrosilica har været anvendt i stor udstrækning i perioden 1980 - 2005, men de senere år har tilgængeligheden været meget begrænset. Prisen har været tilsvarende høj, hvilket har medført, at mikrosilica kun anvendes i mindre omfang i dag.

Mikrosilica – og især flyveaske – reagerer meget langsommere end cement, og det er derfor særligt vigtigt at sikre gode hærdeforhold (udtørningsbeskyttelse), når disse materialer anvendes.

Flyveaske og mikrosilica til betonfremstilling skal opfylde kravene i DS/EN 450-1 og -2 og hhv. DS/EN 13263-1 og -2.

Tilsætningsstoffer

Tilsætningsstoffer er en fællesbetegnelse for en række kemiske stoffer, som ved små doseringer har en stor indvirkning på betonens egenskaber.

De to væsentligste grupper er luftindblandende og plastificerende tilsætningsstoffer, hvor den sidste gruppe igen opdeles i almindelige plastificeringsstoffer og superplastificeringsstoffer.

Formålet med at indblande luft i betonen er at gøre cementpastaen frostsikker. Al udendørs beton, som udsættes for vand og frost, skal fremstilles med et luftindhold på mindst 4,5 %. Betonens naturlige luftindhold er typisk 1 - 2 %.

Hvis der indblandes luft i betonen, bør luftindholdet altid kontrolleres.

Luftindblandingsmidler virker ved at nedsætte vandets overfladespænding og derved gøre det lettere at danne små stabile luftbobler i betonen under blandingen. Det er luftbobler med en diameter under 0,3 mm, som tilstræbes.

Luftindblanding forbedrer frostbestandigheden, men reducerer trykstyrken, idet trykstyrken typisk reduceres med 4 - 5 % pr. % indblandet luft.

Plastificeringsstofferne påvirker overfladekræfterne mellem cementkorn og vand, og gør det muligt at reducere vandindholdet og/eller forbedre bearbejdigheden af betonen.

Herudover findes en række andre tilsætningsstoffer, som f.eks. betonklæbere, acceleratorer eller retardere, vandafvisende, ekspanderende m.fl.

Anvendelse af tilsætningsstoffer kan være medvirkende til at forbedre betonens egenskaber. For at opnå den rette virkning, er det vigtigt, at leverandørens anvisninger følges.

Tilsætningsstoffer skal opfylde kravene i DS/EN 934-2.



Opbevaring af materialer

Det er vigtigt, at materialerne opbevares, så de ikke forurenes eller ødelægges.

For cementens vedkommende er det vigtigt, at den opbevares tørt. Det er vigtigt af hensyn til cementens styrkeegenskaber samt for at sikre, at kromneutraliseringen er effektiv, så kromateksem kan undgås.

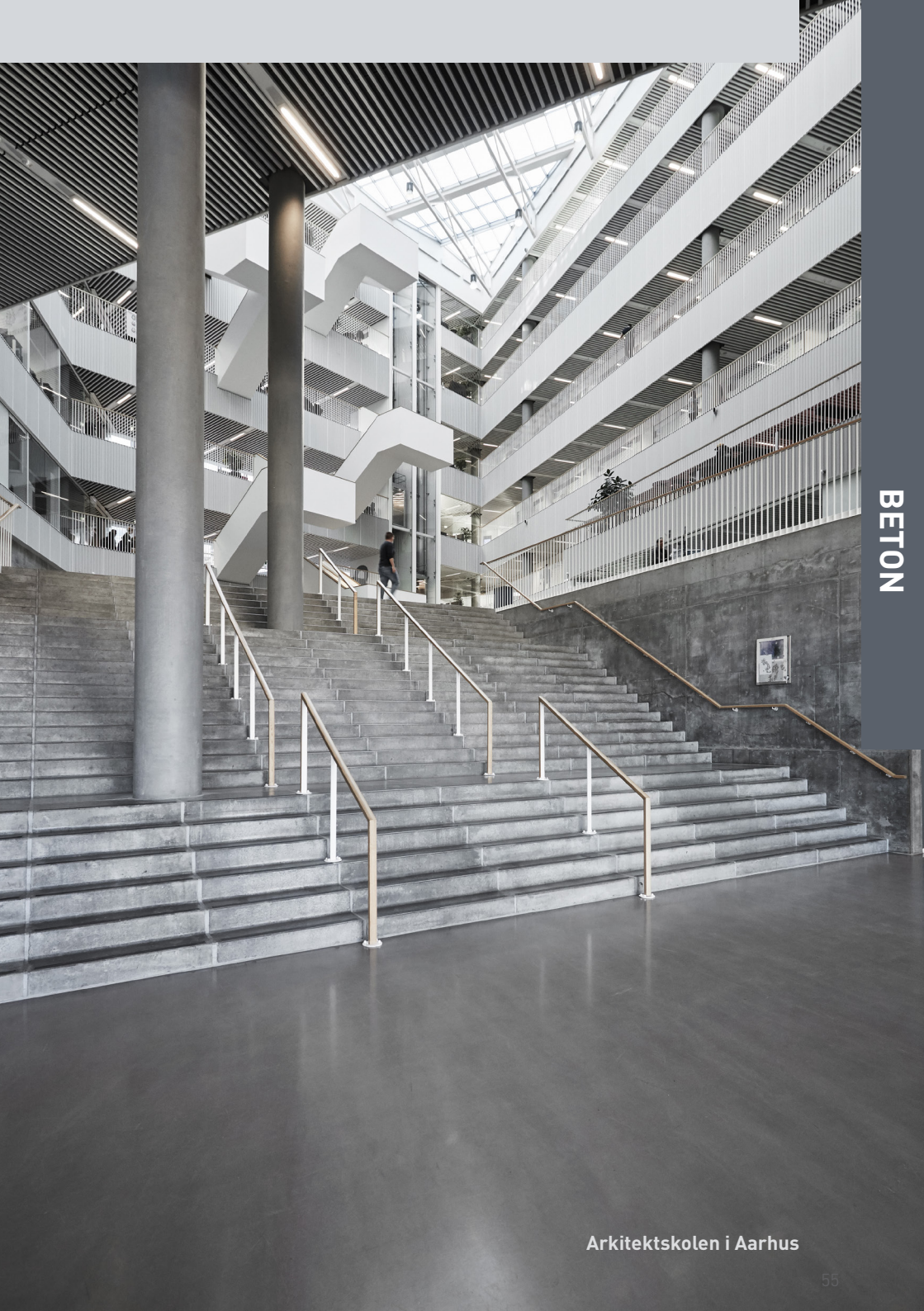
Cement i sække opbevares bedst på paller indendørs, så der ikke trænger fugt op fra jord eller gulv. Cement kan dog opbevares udendørs under presenning i 1 - 2 uger, blot luften kan cirkulere under presenningen.

Løs cement vil til gengæld kunne opbevares i en tæt silo i lang tid.

Tilslagsmaterialerne skal opbevares, så de ikke blandes eller forurenes. Under vinterforhold bør det ved tildækning sikres, at materialerne ikke udsættes for frost, så der opstår klumpdannelser.

Hvis der anvendes tilsætningsstoffer, er det vigtigt, at disse opbevares frostfrit i en tydelig mærket emballage, så forvekslinger undgås.





BETON

Betonsammensætning

I dette afsnit gennemgås processen fra de indledende overvejelser om valg af betonkvalitet over udvælgelse af delmaterialer til proportionering af den valgte betonsammensætning. Delafsnittene er opbygget som en generel gennemgang af delprocesserne efterfulgt af et eksempel, som illustrerer anvendelsen i praksis.

Valg af betonkvalitet – indledende overvejelser

Overvej følgende forhold inden betonen sammensættes.

- Valg af miljøpåvirkning, herunder hvilke eksponeringsklasser betonen forventes udsat for i den færdige konstruktion, jf. side 41.

Hvis betonen f.eks. vil blive udsat for fugt og frost og/eller påvirkes af klorider fra tørsalt, havvand o.l., er der tale om en moderat (M), aggressiv (A) eller ekstra aggressiv (E) miljøpåvirkning. I disse tilfælde vil en række krav være givet, når miljø påvirkningen er fastlagt. Det gælder f.eks. krav til v/c-forhold, trykstyrke, evt. luftindblanding, samt tilslagskvaliteten (M, A eller E), jf. side 43.

- Overvej om betonen i udførelsesperioden kan blive udsat for påvirkninger, som kan være kritiske, typisk i forbindelse med vinterforhold og frost, hvor der for at undgå frostskeer skal stilles supplerende krav til betonstyrken, luftindblanding og stenkvalitet.

- Bearbejdigheden skal afpasses efter udstøbningsmetode og komprimeringsudstyr. Hvis betonen f.eks. skal komprimeres med stav- eller bjælkevibrator, bør der vælges et sætmål i området 60 - 150 mm.

En sådan beton vil kunne udstøbes med bånd, kranspand eller trillebør, og for de lidt blødere konsistenser, vil betonen også kunne sammensættes, så den kan pumpes.

Alternativt kan der vælges en selvkompakterende beton (SCC), som kun kræver et minimum af bearbejdning. Se nærmere herom i afsnittet Selvkompakterende beton på side 120.

– Man bør som hovedregel vælge så stor stenstørrelse som muligt. Valget vil bl.a. afhænge af konstruktionen. Af hensyn til udstøbningen bør der ikke anvendes sten større end $1/4 - 1/3$ af konstruktionens mindste tykkelse. Tilsvarende bør største stenstørrelse tilpasses armeringens dæklag og afstanden mellem armeringsjernene, så disse kan omstøbes korrekt. Det er i praksis sjældent muligt at benytte sten større end 32 mm, og til mange formål vælges største stenstørrelse 16 mm eller i visse tilfælde 8 mm. Til selvkompakterende beton foretrækkes 16 mm, da det giver mindre risiko for separation.

Endelig benyttes også cementmørtler med største kornstørrelse 2 - 4 mm til slidlag o.l. – men kun til lagtykkelser op til ca. 30 mm.

– Styrkekrav i miljøpåvirkningerne M, A og E vil ofte være tilstrækkelige, men til nogle formål kan det være nødvendigt at skærpe styrkekravet. Det gælder

f. eks. spændbeton, pæle til ramning m.m.

I passiv miljøpåvirkning gælder styrkekravet på 12 MPa for armeret beton, og skal blot sikre en mindste kvalitet, som kan beskytte armeringen mod korrosion.

For bærende konstruktioner vil den projekterende ingeniør have forudsat en styrkeklasse ved dimensionering af konstruktionen. Denne styrkeklasse skal som minimum opnås, da det er en forudsætning for konstruktionens bæreevne og sikkerhed.

For uarmeret beton i passiv miljøpåvirkning kan der godt vælges styrkeklasse 8 MPa, men til mange formål vil der være behov for at vælge en højere styrkeklasse. Det gælder f.eks. for gulve, som udsættes for slid, hvor man typisk vil vælge fra 20 - 35 MPa, alt efter forventet slidpåvirkning. Betonens styrkeklasse refererer til 28 dogn styrken, men i visse tilfælde kan der også være ønsker eller krav til den tidlige styrkeudvikling. Det gælder f.eks. ved elementproduktion, hvor man afformer efter 16 - 18 timer, og hvor styrkekravet på det tidspunkt kan variere fra 10 - 30 MPa, størst for spændbeton.

Se endvidere skema side 144 for valg af styrkeklasse samt skema side 108 for valg af styrkeklasse til betongulve.

Materialevalg

Medmindre der stilles særlige krav til cementtypen i projektet vælges FUTURECEM cement, RAPID cement eller BASIS cement.

Hvis man ønsker det lavest mulige CO₂-aftryk, er FUTURECEM cement det rigtige valg.

Særlige krav vil typisk optræde i forbindelse med broer, vandbygningskonstruktioner o.l., hvor man ofte kræver en cementtype, som er sulfatbestandighed. Dette kan kun opfyldes med AALBORG SOLID cement eller AALBORG WHITE cement.

Sidstnævnte vælges dog primært, hvis man ønsker en hvid eller meget lys beton, evt. i kombination med indfarvning. Se afsnittet om Beton med AALBORG WHITE cement, side 117.

Tilsætningsstoffer

Tilsætningsstoffer benyttes til langt det meste beton, som anvendes i Danmark. Plastificeringsstoffer findes efterhånden i flere kategorier, men til beton i det plastiske konsistensområde vælges ofte en traditionel "sort plast" baseret på lignosulfonat. Til selvkompakterende beton vælges en superplast af nyere type. Sidstnævnte kan dog også anvendes til plastisk beton.

Luftindblanding er et krav til beton, som udsættes for fugt og frost, men ofte vælges det af hensyn til bearbejdéligheden at blande lidt luft (3 - 4 %) i beton til passiv miljøklasse, som ikke udsættes for frost.

Sædvanligvis vælges plastificerings- og luftindblandingsmiddel fra samme leverandør.

Tilslagsmaterialer

Tilslagsmaterialerne skal vælges i en klasse fastlagt ved miljøpåvirkningen P, M, A eller E. Tilslagsklassen alene giver dog ikke nogen entydig beskrivelse af tilslagsets egenskaber. Den sikrer blot tilslagsets holdbarhedsmæssige egenskaber.

Tilslagets kornform, kornkurver, herunder fillerindhold og pakningsmæssige egenskaber vil have stor betydning for betonens sammensætning og brugs-egenskaber.

På grund af v/c-forholdets betydning med såvel direkte som indirekte (styrke) krav, er betonens vandbehov en nøgleparameter. Når v/c-forholdet er givet, vil vandbehovet nemlig være afgørende for betonens cementindhold.

Vandbehovet angiver det antal kg eller liter frit vand, som en beton skal indeholde for at opnå den ønskede bearbejdelighed.

Mange faktorer vil influere på vandbehovet, herunder luftindblanding, graden af plastificering, anvendelse af flyveaske og mikrosilica, største stenstørrelse og tilslagskvaliteten generelt.

Afrundede tilslagsmaterialer vil have lavere vandbehov end kantede og knuste materialer, og kornstørrelsesfordelingen vil også påvirke betonens vandbehov.

Stenfraktionerne leveres sædvanligvis i rene fraktioner, 4 - 8 mm, 8 - 16 mm og 16 - 32 mm, og deres kornform og størrelse kan umiddelbart vurderes visuelt. Indholdet af knust materiale kan også være oplyst fra leverandøren.

Sandets kornstørrelsesfordeling spænder over intervallet fra 0 - 4 mm eller 0 - 2 mm, og det er vanskeligt at se på sand, hvilke egenskaber det har, herunder kornform og kornstørrelser.

Sandets kornform vil sammen med kornstørrelsesfordelingen have stor betydning for dets indflydelse på betonens vandbehov.

Leverandøren deklarerer en middeldkornkurve med et tilhørende interval, men der foreligger sjældent oplysninger om kornformen.

Forskellige sandtyper kan medføre forskelle i betonens vandbehov på 10 - 20 liter/m³ beton, hvilket vil påvirke cementforbruget med op til 50 kg/m³ ved de laveste v/c-forhold.

Sandkvaliteten kan derfor have stor betydning for de samlede omkostninger til fremstilling af betonen.

Proportionering

Proportionering af en beton består grundlæggende af to delopgaver:

- **Sammensætning af kitmassen (cement, puzzolaner, vand og luft)**
- **Sammensætning af tilslaget**

Som regel beregnes først kitmassens sammensætning og volumen, og efterfølgende tilslagsmængderne, så tilslaget udgør det resterende volumen op til 1 m³. Tilslaget fordeles herunder på de valgte fraktioner af sand og sten, så der opnås en "erfaringsmæssigt passende kornkurve".

Fremgangsmåden er beskrevet i det følgende og belyst ved et eksempel.

Sammensætning af kitmassen

Kitmassens sammensætning afhænger af v/c-forholdet og vandindholdet, som sammen bestemmer cementindholdet.

Herudover vil der altid være et vist luftindhold i betonen, og endelig kan en vis andel af cementen substitueres med flyveaske eller mikrosilica inden for de tilladte grænser i DS/EN 206 og DS/EN 206 DK NA.

Første trin i sammensætningen af kitmassen er derfor at fastlægge v/c-forholdet, som dels kan være givet ved et direkte krav (miljøpåvirkning M, A og E), dels ved et indirekte krav fra den foreskrevne styrkeklasse (betonens karakteristiske styrke). Det laveste af de to v/c-forhold skal vælges.

I miljøpåvirkning M, A og E er der direkte krav til v/c-forholdet. Der skal dog vælges et v/c-forhold lidt lavere, for at sikre, at v/c-forholdet under produktionen ikke overskrider kravet som følge af de variationer, der altid vil optræde i en betonproduktion.

Sædvanligvis vælges et v/c-forhold 0,02 - 0,03 lavere end kravet. F.eks. vælges ofte et v/c-forhold på 0,42 i aggressiv miljøpåvirkning, hvor kravet er max. 0,45.

Styrkekravet medfører tilsvarende et indirekte krav til v/c-forholdet, som f.eks. fastlægges ved hjælp af Bolomey's formel, som vist i det følgende.

Ved valg af den tilstræbte styrke skal der imidlertid også indbygges en passende sikkerhed i forhold til styrkeklassen, som beskrevet tidligere. Der skal således produceres med en tilstræbt styrke, som er højere, end den styrke, som tallet i styrkeklassen angiver.

Det medfører, at der ofte tilstræbes en proportioneringsstyrke, som ligger 5 - 7 MPa højere end betonens styrkeklasse. Ved en meget ensartet betonproduktion, kan dette tillæg dog reduceres.

Når proportioneringsstyrken er fastlagt kan det nødvendige v/c-forhold bestemmes ud fra Bolomey's formel, se nærmere herom i afsnittet Betons styrke, side 89.

Ved omskrivning af formelen kan v/c-forholdet beregnes som:

$$v/c = \frac{1}{\frac{F_c}{K \times (1 - 0,045 \times (a - a_0))} + \alpha}$$

Hvor F_c er betonens trykstyrke (proportioneringsstyrken)

K er en konstant, som afhænger af cementtypen og terminen

α er en konstant, som afhænger af cementtypen og terminen

a_0 er det naturlige luftindhold (typisk 1 - 2 %)

a er det aktuelle luftindhold

Når cementtypen og termin (typisk 28 døgn) er valgt, findes K og α i skemaet på side 90, og når luftindholdet a også er valgt, kan v/c-forholdet beregnes.

Hvis der anvendes flyveaske og/eller mikrosilica, kan disse materialer indregnes i v/c-forholdet, som beskrevet i afsnittet Flyveaske og mikrosilica – Type II tilsætninger side 52, hvor flyveaske og mikrosilica indregnes ved k-værdi metoden med aktivitetsfaktorerne 0,5 hhv. 2,0. Disse faktorer gælder for v/c-forhold i relation til holdbarhed.

Ved vurdering af 28 døgns trykstyrken kan flyveaske ligeledes forventes at have en aktivitetsfaktor på ca. 0,5, mens der for mikrosilica kan regnes med en højere faktor, ca. 3.

Når v/c-forholdet er fastlagt enten på grundlag af miljøpåvirkningens krav eller på grundlag af et styrkekrav (det laveste v/c-forhold vælges), mangler der kun vandindholdet for at kunne beregne cementindholdet.

$$\text{Cementindhold} = \frac{\text{Vandindhold}}{\frac{v}{c} - \text{forhold}}$$

Den vandmængde, der er nødvendig for at opnå en ønsket konsistens vil afhænge af flere faktorer, herunder tilslagsmaterialerne, graden af plastificering og luftindblanding etc. Vandindholdet må derfor bero på et kvalificeret skøn, hvis der ikke i forvejen er erfaring med de aktuelle tilslagsmaterialer og tilsætnings stoffer.

For en beton med største stenstørrelse 16 mm og sætmål 100 mm vil vandbehovet (det effektivt vandindhold) typisk ligge i intervallet 140 - 180 liter vand/m³, afhængig af sand- og stenkvaliteten, brug af tilsætningsstoffer m.m.

Hvis materialerne er kantede og/eller enskornede vil vandbehovet ligge i den høje ende, omvendt hvis materialerne er mere afrundede og/eller velgraderede.

Det er for sandet man finder de største forskelle, og det kan være vanskeligt at vurdere, om et sand er kantet eller afrundet. Herudover har dosering og type af luft og plastificering betydning for vandbehovet.

Ved justering af sætmål kan det som udgangspunkt forventes, at en ændring i vandindholdet på 2 liter/m³, vil medføre en ændring af sætmålet på ca. 10 mm.

Hvis stenstørrelsen ændres, kan man forvente en reduktion af vandbehovet på ca. 5 l/m³, ved at øge stenstørrelsen fra 16 til 32 mm. Tilsvarende må der påregnes en øgning af vandbehovet på ca. 10 l/m³ ved at reducere stenstørrelsen fra 16 til 8 mm – forudsat at stenene i øvrigt er sammenlignelige mht. kornform, overfladetekstur etc.



Støbningen af fundament med FUTURECEM.

En betonproportionering vil altid skulle følges op med en prøveblanding. Først herefter vil vandbehovet kendes med sikkerhed.

Når sand- og stenmaterialer samt doseringsniveau for luftindblanding og plastificering er valgt, kan der i praksis regnes med samme vandindhold for at opnå en given konsistens - uanset v/c-tal og styrkeklasse. I det følgende eksempel er fremgangsmåden ved sammensætning af kitmassen vist.

Eksempel

Der ønskes sammensat en beton i styrkeklasse 20 til passiv miljøpåvirkning, sætmål 100 mm, og største stenstørrelse 16 mm.

Der er ikke v/c-tals krav i passiv miljøpåvirkning, men styrkekravet vil medføre et indirekte krav til v/c-tallet.

For at opnå en styrkeklasse 20 (karakteristisk 5 % - fraktil), skal der tilstræbes en middelstyrke, som ligger et stykke over. Der er forskellige metoder til at dokumentere styrkeklassen på, men for en ny recept skal middelstyrken typisk ligge 5 - 7 MPa over styrkeklassen, jf. side 45. Der tilstræbes derfor en middelstyrke på 26 MPa.

Der forudsættes ikke specielle krav til cementtypen, så der vælges enten FUTURECEM, BASIS eller RAPID cement (her vælges RAPID). Af hensyn til bearbejdigheden vælges at indblende 3 - 4 % luft (ikke et krav i passiv miljøklasse).

Det nødvendige v/c-tal kan nu beregnes som vist på side 61, idet konstanterne for 28 dogn styrken for RAPID cement findes i tabellen side 90.

$$v/c = \frac{1}{\frac{26}{30 \times (1 - 0,045 \times (3,5 - 1,0))} + 0,5} = 0,68$$

Tilslagsmaterialerne i det tænkte eksempel forudsættes at være lidt kantede, men med passende dosering af plastificerings- og luftindblandingsmiddel skønnes vandindholdet at kunne begrænses til ca. 160 l/m³.

Cementindhold kan derfor beregnes som:

$$\text{Cementindhold} = \frac{\text{Vandindhold}}{v/c - \text{forhold}} = 160/0,68 = 235 \text{ kg/m}^3.$$

Hvis der anvendes flyveaske, vil dette kunne erstatte noget af cementen.

Her vælges at erstatte 15 kg cement med 30 kg flyveaske, svarende til en aktivitetstæthedsfaktor på 0,50. Flyveasken udgør knap 14 % af cementmængden.

Betonen vil nu indeholde 220 kg RAPID samt 30 kg flyveaske, i alt 250 kg pulver.

Dernæst vælges doseringsniveau for plastificerings- og luftindblandingsmiddel. For plastificeringsstoffer vælges sædvanligvis et doseringsniveau midt i leverandørens anbefalede interval, hvilket for almindelig sort plast (lignosulfonat) typisk er 0,3 - 1,0 % af pulverbemængden. Her vælges 0,7 % af pulverbemængden, svarende til 0,7 % af 250 kg = 1,75 kg.

Er doseringen for lav, opnås for ringe effekt af plastificeringen. I tilfælde af en for høj dosering kan det give problemer med retardering og øget luftindhold (uønsket grov luft).

Doseringsniveauet for luftindblandingsmiddel er vanskeligt at forudsige. Leverandørens anbefalede interval er naturligvis retningsgivende, men det er ofte et meget bredt interval, netop fordi så mange parametre spiller ind. Det gælder f.eks. restkul i flyveaske, ler og filler i sand og sten, det anvendte plastificeringsstof, betonens konsistens, blandeudstyr m.v.

Den rigtige dosering er naturligvis den, som giver det ønskede luftindhold, og kan kun fastlægges ved en prøveblanding, eller med erfaring og kendskab til de aktuelle materialer og produktionsforhold.

Doseringsniveauet vil dog typisk være lavere end for plastificering. Her skønnes 0,2 % af pulverbemængden, svarende til 0,2 % af 250 kg = 0,50 kg.

Det vand, som er indeholdt i tilsætningsstofferne skal modregnes i betonens vandindhold. Her vil der være indeholdt knap 2 liter vand i tilsætningsstofferne, og betonens øvrige vandindhold reduceres derfor til 158 kg/m³.

I nyere styringer til blandeanlæg foretages denne korrektion automatisk, ligesom der automatisk korrigeres for frit vand i tilslag, hvis fugtindholdet er kendt.

Herefter kan kitmassens sammensætning og samlede volumen pr. m³ beton beregnes, jf. følgende skema. Heraf fremgår endvidere de forudsatte densiteter for materialerne.

Volumen af et materiale beregnes som mængde/densitet med enheden m³ men ofte foretrækkes dog enheden liter = mængde/densitet × 1000.

Beregning af kitmassens sammensætning

Materiale	Densitet kg/m ³	Mængde kg/m ³ beton	Volumen liter/m ³ beton
RAPID CEMENT	3140	220	70,1
Flyveaske	2200	30	13,6
Vand	1000	158	158
Plastificering	1040	1,8	1,7
Luftindblandingsstof	1005	0,5	0,5
Luft – 3,5 %	-	-	35
Total i kitmasse		415	278,9

Hermed er kitmassens sammensætning og volumen fastlagt. Den udgør ca. 279 liter af den samlede m³ beton og tilslaget skal derfor fylde de resterende ca. 721 liter.

Sammensætning af tilslag

Tilslaget sammensættes af fraktioner af forskellige partikelstørrelser, således at de mindre partikler udfylder de hulrum, som optræder mellem de større partikler.

I dette eksempel er der valgt største stenstørrelse 16 mm (8-16 mm ærtesten).

Betonen kan godt fremstilles med en 0 - 4 mm sand og denne sten alene, men normalt vil man foretrække at supplere med en 4 - 8 mm perlesten. Det gælder især, hvis der er tale om en 0 - 2 mm sand.

Ved største stenstørrelse 32 mm (16 - 32 mm nøddesten) skal der suppleres med mindst en af mellemfraktionerne - helst begge.

Til de fleste formål kan vejledende kornkurver benyttes som grundlag for at sammensætte tilslaget, men pakningsmæssige overvejelser vil også være relevante, jf. Beton-Teknik: *Pakningsberegninger som hjælpemiddel ved betonproportionering*.

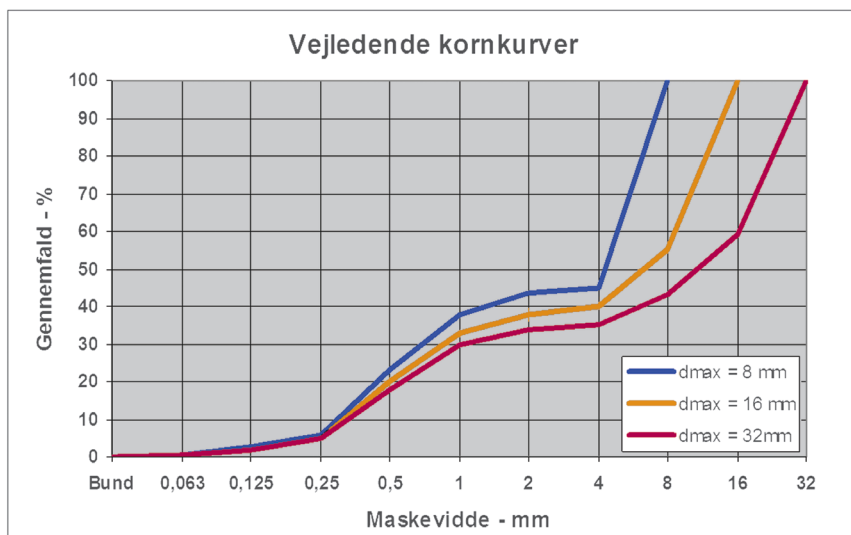
Kornkurver er pr. definition på vægtbasis, og fordelingen mellem de enkelte fraktioner angives derfor som regel også på vægtbasis.

Fysisk set er det dog volumenforholdene, der styrer materialernes indbyrdes pakning og samspil, så der kan også argumenteres for at angive fordelingen på volumenbasis.

Hvis densiteten er den samme for alle fraktioner, fører de to metoder til samme resultat.

I nedenstående figur er vist vejledende kornkurver (på vægtbasis) for største stenstørrelse 8, 16 og 32 mm.

Vejledende kornkurver for største stenstørrelser 8, 16 og 32 mm



Hvis betonen er luftindblandet, stenene afrundede og sandet finkornet, vælges sandprocenten (gennemfaldet på 4 mm sigten) evt. lidt lavere (3 - 5 %) end vist på kornkurverne i figuren.

Ved lavt luftindhold, kantede sten og groft sand vælges tilsvarende en sandprocent som er 3 - 5 % højere end vist på figuren.

For største stenstørrelse 16 mm vil en sandprocent i intervallet 35 - 45 % være passende, og i eksemplet vælges en sandprocent på 40 %.

Mellemfraktionen 4 - 8 mm tilsættes typisk i mængder på 10 - 20 % af den samlede mængde tilslag. Her vælges 15 %, hvilket efterlader 45 % til 8 - 16 mm fraktionen.

Hvis fordelingen ønskes på vægtbasis, beregnes den samlede tilslagsmængde først efter beregning af en middeldensitet.

Middeldensiteten for tilslaget beregnes her til 2589 kg/m^3 , og med et tilslagsvolumen på 721 liter, kan den samlede tilslagsmængde derfor beregnes som $0,721 \times 2589 = 1867 \text{ kg}$, som fordeles efter den valgte fordeling. Herefter kan den samlede betonsammensætning beregnes.

Materiale	Densitet kg/m^3	Mængde kg/m^3 beton	Volumen liter/m^3 beton
RAPID CEMENT	3160	220	70,1
Flyveaske	2200	30	13,6
Vand	1000	158	158
Plastificering	1040	1,8	1,7
Luftindblandingsstof	1005	0,5	0,5
Luft – 3,5 %	-	-	35
Sand - 40 %	2610	747	286,1
Sten 4 - 8 mm - 15 %	2590	280	108,1
Sten 8 - 16 mm - 45 %	2570	840	326,8
Total for betonen	-	2277	999,9*

*)Decimalafvigelsen skyldes afrundingsfejl.

Herefter foretages en eller flere prøveblandinger, hvorved vandbehov og dosering af tilsætningsstoffer (især luftindblanding) samt tilslagsfordeling kan vurderes og evt. justeres.

Kornkurven kan evt. beregnes for det samlede tilslag (ikke vist her), men det er betonens brugsegenskaber og ikke kornkurven, som er afgørende for en evt. justering af tilslagsfordelingen. Kornkurven er blot et hjælpemærktøj.

På side 144 er vist en række vejledende receptforslag til forskellige formål.

Fremstilling af beton

Når betonsammensætningen er fastlagt, kan betonen produceres.

Dosering af materialer efter vægt

Materialerne skal doseres/afmåles med et udstyr, som sikrer at følgende tolerancer til veje- og doseringsnøjagtighed overholdes på vægtbasis.

Krav til veje- og doseringsnøjagtighed for doseringsudstyr

Materialer	Vejenøjagtighed	Doseringsnøjagtighed
Cement og vand	$\pm 1,0 \%$	$\pm 3 \%$
Tilsætninger	$\pm 1,0 \%$	$\pm 5 \%$ / $\pm 3 \%^*$
Tilslag	$\pm 1,0 \%$	$\pm 3 \%$
Tilsætningsstoffer	$\pm 1,0 \%$	$\pm 5 \%$

*) Ved doseringer under hhv. over 5 % af cementmængden.

Vejenøjagtighed er et udtryk for vejestyrrets evne til at veje korrekt.

Doseringsnøjagtighed udtrykker vejestyrrets evne til at dosere de tilstræbte mængder.

Faste materialer skal som udgangspunkt doseres efter vægt, men andre metoder kan benyttes, hvis tolerancerne i ovenstående skema kan dokumenteres overholdt.

Det er i praksis ikke muligt at volumendosere cement og tilslag med de krævede tolerancer, og metoden beskrevet i afsnittet Betonsammensætning efter rumfang er derfor ikke i overensstemmelse med DS/EN 206 DK NA.

Vand og andre flydende delmaterialer kan doseres såvel efter vægt som volumen, og stadig overholde doseringstolerancerne i skemaet.

Ved proportioneringen forudsættes det, at tilslaget er vandmættet og overfladetørt (v.o.t.). Det vil sige, at det indeholder den mængde fugt, som kan absorberes inde i partiklerne, men ingen fri vand på overfladen.

Under produktionsforhold vil tilslaget imidlertid ofte indeholde mere vand end svarende til v.o.t., og dette vand skal modregnes i vandtilsætningen samt i den mængde tilslag som skal afvejes.

Eksempel – fortsat

I eksemplet skal der doseres 747 kg sand (som v.o.t.).

Hvis det forudsættes, at sandets absorption er oplyst af leverandøren til 0,6 %, og der ved udtørring af en sandprøve er målt et indhold af total fugt i sandet (inkl. absorptionsvandet) på 4,8 % skal der korrigeres for følgende indhold af frit vand.

$$\text{Frit vand i sand} = \frac{\quad}{1,006} \times (0,048 - 0,006) \approx 31 \text{ kg frit vand}$$

Det medfører derfor jf. eksemplet, at der skal afvejes 31 kg ekstra af det fugtige sand, altså 778 kg for at opnå de 747 kg v.o.t. sand. Tilsvarende skal vandtilsætningen reduceres med 31 kg til 127 kg. Samme procedure gennemføres for de øvrige tilslagsmaterialer.

Bemærk at fugtindholdet i tilslag altid udtrykkes på basis af det tørre tilslag.

Korrektionen går ikke altid samme vej. Stenene kan i tørre perioder være så tørre, at de ikke engang indeholder den fugt, som kan absorberes.

De fleste blandesystemer korrigerer automatisk for fugtindholdet, men det forudsætter naturligvis, at fugtindhold og absorption er kendt. Fugten kan måles på stikprøvebasis eller ved online fugtmålere i tilslagssiloerne.

Doseringsrækkefølgen for blødstøbt beton bør sædvanligvis være tilslag samt blandevand (finvand tilbageholdes) efterfulgt af cement og tilsætningsstoffer. I praksis sker en stor del af doseringen dog næsten samtidig.

Ved tørstøbt beton (betonvarer) doseres sædvanligvis først tilslag og cement, som tørblendes kortvarigt inden vand og evt. tilsætningsstoffer doseres. Tørblandetiden bør være 20 - 30 sek.

Betonsammensætning efter rumfang

Betonens delmaterialer doseres sædvanligvis ved vejning. Det er en forudsætning for at overholde reglerne for doseringsnøjagtighed i gældende normer og standarder. Flydende delmaterialer kan dog afmåles efter volumen eller rumfang.

Ved mindre opgaver, f.eks. af gør-det-selv karakter, vælges ofte at afmåle alle materialer efter rumfang. Der kan sagtens fremstilles god beton ved denne fremgangsmåde, men det er en langt mere usikker metode. Derfor kan der forventes langt større variationer i betonkvaliteten, end ved vægtdosering. Sidst i dette afsnit er der en gennemgang af årsagerne til den store usikkerhed.

Blandingsforslag efter rumfang

Der er i nedenstående skema blandingsforslag efter rumfang til forskellige formål.

Blandingsforhold for beton

BASIS, RAPID, FUTURECEM eller AALBORG WHITE cement	Blandingsforhold efter rumfang		Forbrug pr. m ³ beton				Forventet trykstyrke
Anvendelse	Cement: sand : sten	Cement: støbe-mix	Cement kg	Sand m ³	Sten m ³	Støbe-mix m ³	MPa
Betongulve udsat for kraftigt slid. Gulve i stier og båse. Vægge og gulve udsat for vandtryk.	1:1,5:2,5	1 : 3,5	360	0,5	0,8	1,1	40
Betongulve med almindeligt slid. Udendørs konstruktioner.	1:2:3	1 : 4	300	0,5	0,8	1,1	30
Gulve til lettere færdsel. Underbeton til slidlag, klinker o.l. Indendørs konstruktioner.	1:2,5:3,5	1 : 5	260	0,6	0,8	1,2	25
Fundamenter i større bygninger. Udstøbning i fundamentblokke.	1:3:4	1 : 6	220	0,6	0,8	1,2	20
Fundamenter til parcelhuse.	1:3,5:5	1 : 7	190	0,6	0,8	1,2	12
Klaplag, renselag.	1:4:6	1 : 8	160	0,6	0,8	1,2	8

Forudsætningerne for tabellen er, at der anvendes materialer af god kvalitet, at der tilsættes ca. 170 l vand pr. m³ (inklusiv fri fugt i tilslag), at afmåling og blanding foretages omhyggeligt, og at der i øvrigt udøves god håndværksmæssig praksis.

Et blandingsforhold efter rumfang angiver forholdet som cement : sand : sten.

Rumfangsblandingsforholdet 1 : 2 : 3, betyder således, at der f.eks. skal afmåles:

1 spand cement : 2 spande sand : 3 spande sten

Vandet tilsættes herefter til den ønskede konsistens.

Blandingsforhold kan også være angivet på vægtbasis. Hvis det ikke fremgår, om blandingsforholdet er på vægt- eller volumenbasis, skal dette afklares, da der er stor forskel på vægt- og volumenforhold.

Hvis tilslaget tilsættes som støbemix (en blanding af sand og sten), anføres blandingsforholdet tilsvarende som f.eks. 1 : 4 (cement : støbemix).

Ved slidlagsmørtler, som ikke indeholder sten anføres blandingsforholdet f.eks. som 1 : 3 (cement : sand). Der er i nedenstående skema blandingsforslag for slidlag og afretningsmørtler.

Blandingsforhold for slidlag og afretningsmørtel

BASIS, RAPID, FUTURECEM eller AALBORG WHITE cement	Blandingsforhold		Forbrug pr. m ³ beton		Forventet trykstyrke
	Efter vægt Cement: sand	Efter rumfang Cement: sand	Cement kg	Sand m ³	
Anvendelse					MPa
Kælder, garage	1 : 4	1 : 3,25	370	1,30	20
Afretningslag til anden belægning. Slidlag i fodergange	1 : 3,5	1 : 3	410	1,20	25
Industrihaller Lagerhaller	1 : 3	1 : 2,5	460	1,20	30
Slidlag i stier og båse	1 : 2,5	1 : 2	540	1,20	35

Slidlagsmørtler bør kun anvendes ved lagtykkelser op til ca. 30 mm, ved større lagtykkelser bør der benyttes slidlagsbeton med f.eks. 4 - 8 mm perlesten.

Fremgangsmåde ved afmåling

For at sikre størst mulig ensartethed af betonen, er det vigtigt, at materialerne afmåles i veldefinerede rumfangsmål, f.eks. i spande, baljer eller anden form for fast volumen. Afmåling med skovl medfører langt større usikkerhed.

Hvis det er muligt at tilpasse blandingens størrelse, så det passer med hele sække cement, kan usikkerheden ved dosering af cementen stort set elimineres. Det vil dog kun være muligt ved forholdsvis store blandemaskiner.

Vandet bør også afmåles i spande eller lignende. Dosering med vandslange er for unøjagtigt. Man kan med fordel skyde sig ind på den nødvendige vandmængde i løbet af de første blandinger, og så afmåle og tilsætte denne vandmængde til de følgende blandinger.

Vær opmærksom på, hvis fugten i tilslagsmaterialerne ændrer sig, da det vil gøre det nødvendigt at justere mængden af tilsat vand.

Tilstræb en så ensartet konsistens som muligt, og vælg ikke en blødere beton end svarende til sætmål 100 - 120 mm. Der kan godt anvendes tilsætningsstoffer (luft og plastificering), men det kræver en helt anden doseringsnøjagtighed, f.eks. ved hjælp af måleglas el. lign.

Omregning af recept på vægtbasis til rumfangsforhold

Der er i det følgende eksempel vist hvorledes en recept på vægtbasis kan omregnes til en recept efter rumfangsforhold.

Eksempel

Der skal blandes beton til et gulv, som udsættes for almindeligt slid.

Der vælges en beton i styrkeklasse 25 – passiv miljöpåvirkning, med en sammensætning, som vist i skemaet på næste side.

De ønskede mængder i kg (kolonne 2) omregnes først (i kolonne 4) til et rumfang eller "bulkvolumen" (kolonne 5) som:

$$\text{Bulkvolumen} = \text{Vægt} / \text{Bulkdensitet}$$

Efterfølgende normeres (i kolonne 6) bulkvolumenerne i forhold til cementens bulkvolumen, hvilket gøres ved division af bulkvolumenerne for sand og sten med cementens bulkvolumen.

Materi- aler	Vægt kg/m ³	Bulk- densitet kg/m ³	Beregning af bulk- volumen	Bulk- volumen m ³	Normering	Blandings- forhold (normeret)
Cement	300	1100	300/1100	0,27	{0,27/0,27}	1,0
Sand	740	1300	740/1300	0,57	0,57/0,27	2,1
Sten	1130	1500	1130/1500	0,75	0,75/0,27	2,8

Rumfangsblandingsforholdet beregnes således til 1 : 2,1 : 2,8 (cement : sand : sten). I praksis kan decimalværdierne ikke håndteres, og afrundes derfor til et blandingsforhold på: 1 : 2 : 3.

Hvis tilslaget tilsættes som støbemix (blanding af sand og sten), vil sandet fylde i hulrummet mellem stenene, og støbemixens bulkvolumen kan tilnærmet beregnes som:

$$\text{Bulkvolumen af støbemix} = \text{bulkvolumen af sand og sten} \times 0,85$$

I eksemplet findes således:

$$\text{Bulkvolumen af støbemix} = (2,1 + 2,8) \times 0,85 = 4,3$$

Der vælges f.eks. 1 : 4, hvilket er lidt på den sikre side.

Vær opmærksom på, hvis der anvendes støbemix, at stenindholdet i støbemixen bør være mindst 50 %. Hvis der er for meget sand, vil vandbehovet og v/c-forholdet blive højere, og styrken dermed blive lavere.

Usikkerheder ved rumfangsafmåling

Når materialerne afmåles efter rumfang, er det materialernes bulkdensitet, som er afgørende for den mængde der bliver afmålt. Bulkdensiteterne kan variere en del for de forskellige materialer, hvilket er den væsentligste årsag til den store usikkerhed ved rumfangsafmåling.

Aalborg Portlands cementer har alle en middel bulkdensitet på ca. 1100 kg/m³, men alt efter hvordan cementen har været opbevaret og er blevet håndteret under afmålingen, vil den typisk variere mellem ca. 1000 og 1200 kg/m³. Det medfører en usikkerhed på op mod ± 10 %.

Det samme gør sig gældende for tilslaget – især sandet. Sandets bulkdensitet vil også afhænge af opbevaring og håndtering, men herudover vil den afhænge af sandets finhed, kornkurve og ikke mindst fugtindhold. Variationer eller usikkerheder på op mod $\pm 15\%$ kan forekomme.

Stenenes bulkdensitet vil variere noget mindre, typisk op til $\pm 10\%$.

Vandet kan, som nævnt, afmåles med rimelig nøjagtighed i en spand eller lignende, men der er sædvanligvis ingen kontrol af det vand, som tilføres med tilslaget.

Sandet kan typisk indeholde 3 - 4 % fri fugt, hvilket betyder, at der pr. m³ beton kan tilføres op til 30 kg vand via sandet. For stenene er det typisk op til 20 kg vand pr. m³ beton.

Unøjagtighederne ved rumfangsafmåling ligger et stykke over kravene til veje- og doseringsnøjagtigheden i DS/EN 206 og DS/EN 206 DK NA, og dokumentation for de afmålte mængder (kg) foreligger ikke. Beton fremstillet ved rumfangsafmåling er derfor ikke i overensstemmelse med de nævnte standarder, og bør derfor kun benyttes ved sekundære opgaver, mindre reparationer o.l.

Blanding og transport

Den samlede blandetid efter at alle materialer er doseret, bør ifølge DS/EN 206 DK NA være mindst 60 sek. for en tvangsblender og 90 sek. for en industriel fritfaldsblander.

For små fritfaldsblandere (muremesterblandere) bør blandetiden være op til 5 minutter.

Når betonen er færdigblandet transporteres den til udstøbningsstedet. Transport over korte afstande kan ske med kranspand, conveyer, transportbånd, trillebør, pumpe o.l. Transport over længere afstande bør ske med roturvogn for at undgå, at betonen afblandes eller separerer.



Varm beton

Hvis betonens hærkning skal fremskyndes, kan det f.eks. ske ved at hæve temperaturen i betonen, se betydningen heraf side 83.

Hvis betonens udstøbningsstemperatur hæves vil det samtidig accelerere cementens varmeudvikling, og balancen mellem varmeudvikling og varmetab til omgivelser vil derfor forrykkes til fordel for varmeudviklingen og medføre stigende temperaturer i betonen.

Hvis betonen er meget kold ($< 5\text{ °C}$), kan der under vinterforhold være risiko for at betontemperaturen falder til under frysepunktet, inden betonens hærkning for alvor når at komme i gang – selv om formen er isoleret. Det vil medføre frostskafer på betonen, jf. afsnit om tidlig frysning på side 84.

Betonens udstøbningsstemperatur vil være et samspil mellem temperatur, mængde og varmfylde af de materialer, som betonen blandes af. Blandings-temperaturen kan beregnes som vist i nedenstående skema, som også viser de forudsatte varmfyldere for de forskellige materialer.

Beregning af blandingstemperatur

Materialer	Mængde M kg/m ³	Varmefylde c kJ/kg/°C	Varme- kapacitet M × c kJ/m ³ /°C	Temperatur °C	Energi* (M × c × T) kJ/m ³
Cement	250	0,75	188	50	9375
Tilslag	1900	0,80	1520	5	7600
Vand i tilslag	60	4,19	251	5	1257
Vand	90	4,19	377	60	22626
Sum	2300		2336		40858
Beregnet		$2336 / 2300$ = 1,02		$40858 / 2336$ = 17,5	

*) Referencetemperatur 0 °C.

Princippet består i at beregne (i 4. kolonne) hver enkelt materiales bidrag til den samlede varmekapacitet af betonen (mængde $\times$ varmekapacitet), samt (i 6. kolonne) dets bidrag til den samlede energimængde i betonen (mængde $\times$ varmekapacitet $\times$ temperatur).

Betonens varmekapacitet kan herefter beregnes som varmekapacitet / rumvægt og betonens temperatur som energimængde / varmekapacitet.

Vand er i kraft af en høj varmekapacitet en effektiv varmebærer, men da mængderne er små, er det begrænset, hvor meget temperaturen kan hæves med varmt vand alene.

Der kan suppleres med opvarmning af tilslagsmaterialer i siloer eller tilsætning af damp i blanderen. Damp er den mest effektive måde at tilføre varme på, og benyttes især på betonelementfabrikker, hvor man ønsker at accelerere hærdningen, så afformningen kan ske allerede efter 16 - 18 timer. Her er udstøbnings temperaturer på 30 - 35 °C eller højere ikke usædvanlige.

Damps fortætningsvarme er ca. 2260 kJ/kg, som afsættes i betonen.

Ved at erstatte 10 kg varmt vand i eksemplet med 10 kg damp (godt 100 °C), vil temperaturen hæves ca. 10 °C.

Høje udstøbnings temperaturer er imidlertid ikke uden omkostninger. Fordampningen øges væsentligt, så hurtig udtørningsbeskyttelse er vigtig. Herudover bliver cementpastaens porestruktur grovere ved høje hærdetemperature, og udstøbnings temperaturer over 30 - 35 °C bør ikke benyttes ved aggressiv og ekstra aggressiv miljøpåvirkning.

Ved støbning af massive konstruktioner kan der i sommerperioden være ønske om at sænke betontemperaturen. I praksis vil vanding af tilslagsmaterialerne være den nemmeste måde at sænke betontemperaturen på, hvorved denne typiske kan sænkes med ca. 3-4 °C .

Køling af betonen kan f.eks. også ske med is, hvor smeltevarmen på ca. 330 kJ/kg vil sænke temperaturen med ca. 1½ °C ved erstatning af 10 kg vand med 10 kg is. Det er vigtigt, at isen ikke tilsættes i for store stykker, da den skal nå at smelte under blandingen.

Indføring af flydende kvælstof i roterbilen er en anden og meget effektiv metode til køling af beton, men det kræver forsigtighed, både med hensyn til person-sikkerhed og med hensyn til betonen.

Form og forskalling

Formen skal sikre, at den friske beton holdes på plads under udstøbningen, så konstruktionen får den ønskede geometri. Med blødstøbt beton hærder betonen i formen, indtil den nødvendige afformningsstyrke er opnået, hvorefter formen fjernes eller betonkonstruktionen løftes ud af formen (betonelementer).

Ved tørstøbt beton (fliser, rør o.l.) opnås ved en meget kraftig komprimering et så stabilt emne, at det umiddelbart kan afformes. Denne teknik stiller helt specielle krav til form- og komprimeringsudstyr, og er ikke yderligere omtalt her.

Forme fremstilles sædvanligvis af træ eller stål. Hvis man anvender frisk ubehandlet træ, kan der være risiko for, at saft fra træet påvirker hærdningen i betonoverfladen og medfører skjolder og andre uforudsigelige effekter. Frisk ubehandlet træ bør derfor forbehandles med en kalk- eller natronlud før første støbning. En ny stålform bør også mættes grundigt med formolie inden brug.

Ofte vil mindre forskelle mellem den første støbning i en ny form og de efterfølgende støbninger ikke kunne undgås.

Formbarheden i frisk tilstand ved en simpel proces er en af betonens vigtigste og blandt arkitekter værdsatte egenskaber. Hvis der f.eks. er ønske til særlige overfladestrukturer, kan det ske ved indlæg af plast, gummimatricer o.l. i formen. Det er bogstaveligt talt kun fantasien, der sætter grænser.

Blødstøbt beton opfører sig under udstøbning og vibrering som en væske, og med en densitet på knap 2500 kg/m^3 ($2\frac{1}{2}$ gange vands densitet), vil trykket på formsiderne kunne blive ganske stort.

Formtrykket vil afhænge af støbehøjde og -hastighed, betonens egenskaber, herunder anvendte plastificeringsstoffer, temperaturforhold etc. Et kompliceret samspil, som i visse tilfælde kan medføre hydrostatisk tryk i hele støbehøjden – f.eks. ved selvkompakterende beton. Ved en 4 meter høj støbning vil der således kunne forekomme formtryk i bunden svarende til en 10 meter vandsøjle eller 100 kN/m^2 .

Formen skal dimensioneres for disse belastninger, som enhver anden konstruktion, dog med lempelige partialkoefficienter (sikkerhedsfaktorer).

Ved de fleste opgaver anvendes derfor systemforskallinger, som systemets leverandør har udviklet med dimensioneringsregler og -tabeller. I tvivlstilfælde bør forholdene altid drøftes med formleverandøren eller den ingeniør, som har dimensioneret formen.

Formens klargøring

Klargøring af formen er en vigtig del af processen – såvel mht. formens styrke og stivhed som mht. kvalitet og overfladefinish.

Formen skal være tæt i samlingerne, så cementpastaen ikke løber ud og efterlader stenreder i betonen (også når formtrykket stiger under udstøbningen).

Ethvert mærke eller ujævnhed i formoverfladen vil give et tilsvarende aftryk i betonoverfladen. Formens overfladekvalitet skal derfor modsvare støbeopgavens karakter, alt efter om der f.eks. er tale om en skjult kældervæg eller en synlig facade.

For at sikre slip mellem beton og form ved afformning skal der påføres en formolie eller andet slipmiddel.

Af hensyn til såvel betonen som arbejdsmiljøet bør man anvende produkter udviklet til formålet, og følge leverandørens brugsanvisning, herunder de sikkerhedsmæssige forskrifter.

Brug aldrig tilfældige olieprodukter som slipmiddel.

Formolien påføres med sprøjte eller kost i et tyndt jævnt lag. Lad olien sidde lidt og tør evt. overskydende olie af med en fnugfri klud. Oliemængden på en helt glat overflade (stål, lakeret finer o.l.) er passende, når man ved at trække en finger hen over formen stort set ikke sætter spor i olien, men blot får en tynd oliefilm på fingerspidsen.



Sørg for at støv og andre urenheder ikke sætter sig i olielaget efter påføringen, da det kan misfarve betonoverfladen.

Armering

Hvis konstruktionen er armeret, skal olie på armeringen undgås, da det vil forringe vedhæftningen mellem armering og beton.

Armeringen udformes enten som en færdig enhed, der placeres i formen, eller den opbygges på stedet, i begge tilfælde efter at formolien er påført.

Armeringsmængde og type skal følge angivelserne på tegningen, og herudover er det vigtigt at sikre det foreskrevne dæklag, som er afgørende for beskyttelsen mod korrosion.

Dæklaget sikres ved montering af afstandsholdere. Type, antal og indbyrdes afstand vil afhænge af armeringsdimensionerne og armeringens opbygning, og bør fremgå af tegningsmaterialet.

Vær opmærksom på, at støv og flager af rust kan sætte sig i formolien og misfarve overfladen. Risikoen vil være størst ved opbygning af armering i formen til en vandret støbning, hvor bindetråd og andet, som tabes, vil ligge i formen.

Udstøbning og komprimering

Ved vandrette støbninger fordeles betonen jævnt inden den vibreres med vibrator.

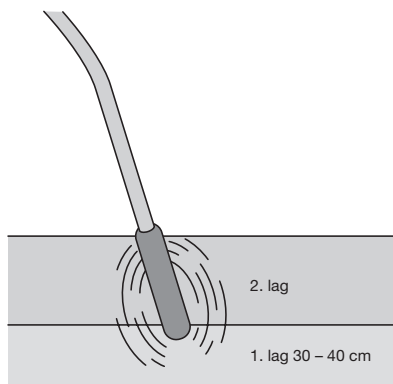
Fordelingen kan ske med pumpe, kranspand o.l. samt skovle og skrabere. Fordeling af betonen ved hjælp af vibrationerne fra vibratoren bør ikke benyttes, da det vil medføre risiko for separation og inhomogeniteter, som stenreder og cementslam.

Ved vandrette støbninger af lagtykkelser op til ca. 20 cm bør der anvendes bjælkevibrator eller formvibratoren (betonelementproduktion), og ved større tykkelser tillige stavvibrator.



Vibreringen skal foretages systematisk, f.eks. ved at bjælkevibratoren trækkes langsomt hen over betonoverfladen. Der skal være en passende lille mængde beton foran vibratoren (4 - 5 cm formet som en pølse), og hastigheden skal afpasses så den indkapslede luft vibreres op, og efterlader betonoverfladen med en tæt og ensartet finish bagved bjælkevibratoren.

Ved lodrette støbninger fyldes betonen i formen i 30 - 40 cm tykke lag, som vibreres med stavvibrator, inden næste lag udstøbes. Vibratoren skal helst stikkes lidt ned i det forrige lag, så der opnås den bedst mulige sammenstøbning mellem lagene. Vibreringstider på 10 - 15 sek. vil ofte være passende.



Vibratorstaven trækkes langsomt op, så hullet efter vibratoren fyldes med en homogen beton.

Afstanden mellem nedstik skal afpasses vibrator størrelse og betonens bearbejdelse, så der opnås en passende overlappning, typisk 6 - 8 × diameter.

Ved vibrering af vægge og andre lodrette støbninger bør vibratorstavens diameter ikke overstige 1/5 af vægtykkelsen.

Der må ikke vibreres i dæklaget mellem form og armering, ligesom man bør undgå længerevarende kontakt mellem vibrator og armering.

Betonens sætmål og vibratorens effekt skal være tilpasset hinanden, så man opnår den ønskede komprimering, herunder også så man undgår overvibrering. Risikoen for sidstnævnte vil være forholdsvis stor for sætmål over 120 - 150 mm, og man bør i stedet overveje at anvende selvkomprimerende beton (SCC) og undlade vibrering. Der er i publikationen "Vibrering med stavvibrator" en detaljeret vejledning i anvendelse af en sådan.

SCC i lodrette støbninger vibreres ikke, og SCC til gulve komprimeres sædvanligvis ved en "jutning", bestående af svage pulserende bevægelser med en såkaldt "jutter", se under afsnittene Betongulve, side 106 og Selvkomprimerende beton side 120.

Ved vibrering med formvibratoren, vil antal og placering af formvibratoren afhænge af formens opbygning. Placering og effekt skal tilpasses formens stivhed og dynamiske egenskaber. Det er et større emne, som ikke behandles her.

Efterbehandling

Hvis betonen tørrer ud, vil hærdningen og styrkeudviklingen gå i stå, og det er derfor vigtigt, at vandet bevares i betonen, indtil den har opnået en passende hærdningsgrad.

Herudover vil fordampning af vand fra den friske beton medføre et svind, som kan forårsage plastiske svindrevner i betonen. Revner som ofte vil være grove, og som kan være gennemgående eller med tiden udvikle sig til gennemgående revner, når udtørringssvindet udvikler sig over tid.

Udtørringen af den friske beton afhænger dels af de klimatiske forhold, temperatur, luftfugtighed og vindforhold, samt af betonens overfladetemperatur.

Formen beskytter betonen mod udtørring, men frie overflader skal beskyttes med plastfolie, presenning el. lign.

Hvis man ønsker at undgå mærker fra plastfolie på overfladen kan man benytte forseglingsmidler, som påsprøjtes overfladen. Forseglingsmidler er ikke så effektive som plastfolie (kravet er en effektivitet på 75 %), så under kraftigt udtørrende forhold, kan det være hensigtsmæssigt at supplere med en plastfolie, når betonen er afbundet. Herudover kan det være vanskeligt at sikre at forseglingsmidlet påføres ensartet og i korrekt mængde, især under forhold med kraftig blæst.

Forseglingsmidler er ofte voksbaseerede, og hvis betonoverfladen efterfølgende skal males eller påføres anden belægning, kan det medføre problemer med vedhæftning til overfladen, og vil kræve en omhyggelig afrensning, f.eks. slibning, slyngrensning eller sandblæsning.

Vandlagring vil sjældent være en mulighed, men vedvarende vanding kan til tider anvendes. Skiftende opfugtning og udtørring bør undgås.

Tør luft og vind samt høj betontemperatur giver stor fordampning, men det kan være vanskeligt at fornemme hvor kraftig udtørringen er. Derfor har udførelsesstandarden DS 2427 indført krav, som skal sikre betonen mod skadelig udtørring. Kravene definerer dels seneste tidspunkt for udtørningsbeskyttelse, dels tidligste tidspunkt for fjernelse af denne, jf. nedenstående skema.

Seneste tidspunkt for etablering af udtørningsbeskyttelse

Betonens indhold, X af FA+MS i vægt-% af C+FA+MS	Betonens indhold Y af MS i vægt-% af C+FA+MS	Vejledende tidsrum for etablering af udtørningsbeskyttelse
$X > 15$ $15 \geq X > 5$ $5 \geq X$	$Y > 5$ $5 \geq Y > 0$ $Y = 0$	1 time 2 timer 4 timer

Forkortelser: C= cementindhold (CEM I), ved anvendelse af BASIS cement (CEM II/A-LL) og FUTURECEM cement (CEM II/B_M (Q-LL)) gælder kravene i tabellens første række. FA=flyveaskeindhold, MS=mikrosilikaindhold.

Passiv	Moderat	Aggressiv	Ekstra aggressiv
≥ 12 m.-timer	≥ 36 m.-timer	≥ 120 m.-timer	≥ 120 m.-timer

Tidligste tidspunkt for fjernelse af udtørningsbeskyttelse

Kravet i ovenstående skema er anført i modenhetstimer ("m.-timer" – omtales efterfølgende), som er indført for at tage højde for temperaturens indflydelse på hærdnings hastigheden.

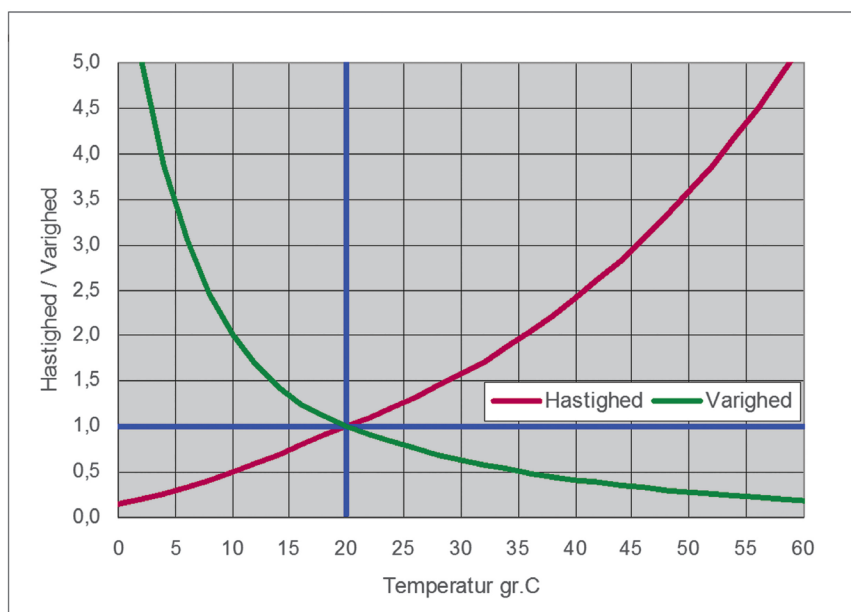
DS 2427 giver endvidere mulighed for at basere kravene til udtørningsbeskyttelse på fordampet vandmængde fra den friske beton hhv. hærdningsgraden af den hærdnede beton.

Temperatur og hærdehastighed

Betonens temperatur under hærningen er vigtig af flere årsager. Temperaturen har stor indflydelse på, hvor hurtigt cement reagerer med vand, og dermed hvor hurtigt betonen hælder.

Nedenstående figur viser sammenhæng mellem betontemperatur og hærnings hastighed hhv. varighed (den reciprokke af hastigheden). Reference-temperaturen er 20 °C, hvor hastighed og varighed er defineret til 1,0.

Betontemperaturens betydning for hærdehastighed og varighed.



Figuren viser, at man ved f.eks. 10 °C har en hastighed på 0,5 og en tilsvarende varighed på 2,0. Betonen hælder altså kun halvt så hurtigt ved 10 °C som ved 20 °C, og det varer dermed dobbelt så lang tid at opnå en given styrke.

Ved højere temperaturer vil processen tilsvarende accelereres, hvilket bl.a. udnyttes ved betonelementproduktion, hvor betonens temperatur ofte vil nå op på 30 - 50 °C. Ved knap 36 °C forløber hærningen således dobbelt så hurtigt som ved 20 °C, og den nødvendige afformningsstyrke kan derfor opnås på den halve tid.

Hvis betonen f.eks. hærder i 2 døgn ved 10 °C, vil den have opnået en modenhed på 1 modenhedsdøgn (2 døgn $\times$ 0,5) eller 24 modenhedstimer.

I visse sammenhænge benyttes i stedet betegnelsen "hærededøgn".

Betontemperaturen vil variere under hærdeforløbet, dels fordi cementen udvikler varme under hærdningen, dels fordi der udveksles varme med omgivelserne.

Det er derfor hærdehastigheden og modenhedsbegrebet, som er mest anvendelig i praksis, idet modenheden kan beregnes trinvist ved at inddele temperaturforløbet i perioder med hver deres middeltemperatur (det kan varigheden ikke).

For et temperaturforløb, som lidt groft kan tilnærmes med 8 timer ved 20 °C, 10 timer ved 26 °C og 12 timer ved 30 °C, vil modenheden efter de i alt 30 timer være:

$$M = 8 \times 1,0 + 10 \times 1,3 + 12 \times 1,6 = 40 \text{ modenhedstimer}$$

Betonen vil derfor have opnået samme styrke efter de 30 timer, som hvis betonen var hærdet ved 20 °C i 40 timer.

Tidlig frysning

Tidlig frysning er en anden problemstilling med temperaturen som betydende faktor. Hvis betonen fryser tidligt i hærdeforløbet, vil der være risiko for, at den fryser i stykker, også selv om betonen er fremstillet med lavt v/c-tal, luftindblanding etc.

Når betonen fryser, vil den del af blandevandet, som ikke allerede er reageret med cementen fryse og udvide sig ca. 10 %. Er der ikke plads i betonens pore system til denne udvidelse vil isdannelsen medføre et tryk, som vil "frostsprænge" betonen. Forholdene omkring tidlig frysning er bl.a. beskrevet detaljeret i SBI Anvisning 125: Vinterstøbning af beton.

Det gælder, at jo lavere v/c-tal, jo mindre modenhed er nødvendig, før betonen er frostsikker. Beton i styrkeklasse 30 eller højere vil som regel være frostsikker inden for det første modenhedsdøgn. Tilsvarende gælder, at betonen som regel vil være frostsikker, når den har opnået en trykstyrke på 10 MPa.

Anvendelse af "varm" beton med udstøbningstemperaturer på 15 - 20 °C samt afdækning med isolerende måtter, vil ofte kunne holde betonen frostfri, indtil den har opnået den nødvendige modenhed til at være frostsikker.

For slanke konstruktioner med tykkelser op til 20 cm, vil der være behov for en kraftig isolering, f.eks. 50 mm vintermåtter, men ved kraftigere konstruktioner vil isoleringen ofte kunne reduceres til 20 mm skummåtter og ved konstruktions tykkelser over 40 - 50 cm kan skummåtternes tykkelse reduceres til 10 mm.

Anvendes en for kraftig isolering vil det hæve betontemperaturen unødvendigt, og der vil kunne gå lang tid inden isoleringen kan fjernes uden at påføre konstruktionen et temperaturchok.

Temperaturforskelle

En anden grund til at interessere sig for temperaturen i betonen under hærdningen er risikoen for temperaturspændinger som følge af temperaturforskelle i konstruktionen. Som andre materialer vil beton udvide sig, når temperaturen stiger, og trække sig sammen når temperaturen falder.

Betonens varmeudvidelseskoefficient er $10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, og det vil f.eks. betyde, at hvis en 10 meter lang uarmeret væg afkøles fra $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ til $-10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (i alt $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$), vil den forsøge at trække sig sammen svarende til:

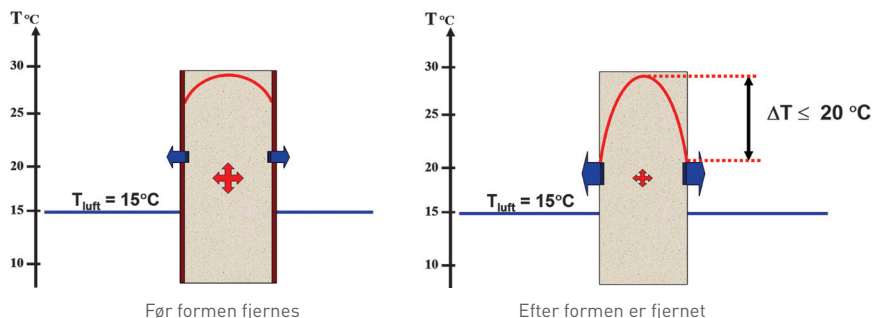
$$\text{Sammentrækning} = 10000 \text{ mm} \times 30 \text{ }^{\circ}\text{C} \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} = 3 \text{ mm}$$

Hvis væggen forhindres heri, f.eks. fordi den er fastholdt i enderne, vil det medføre trækspændinger i væggen, som vil overstige betonens trækstyrke og derfor medføre revner. Med en passende armering vil man dog kunne undgå grove revner og i stedet få fine ubetydelige revner.

Stål har næsten samme varmeudvidelseskoefficient som beton, hvilket er medvirkende til at stål og beton arbejder så godt sammen.

Under betonens hærkning vil temperaturen som regel være lavere ude ved overfladen end inde i betonen. F.eks. kan der i forbindelse med afformning opstå så store temperaturforskelle mellem overfladen og betonens indre, at der opstår revner i overfladen. Betonen i overfladen vil forsøge at trække sig sammen som følge af afkølingen, men forhindres i at gøre det af betonen inde i konstruktionen, som endnu er varm. For denne type af temperaturforskelle regnes sædvanligvis med, at en temperaturskel mellem overflade og det indre på mere end $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ vil medføre revnedannelse, jf. figuren på næste side.

De fleste problemstillinger omkring udtørningsbeskyttelse og temperaturforhold er behandlet i Beton-Teknik serien: *Efterbehandling af beton, samt Hærdeteknologi*.



Herudover kan der opstå temperaturforskelle ved støbning mod eksisterende kold beton, f.eks. ved støbning af en væg på en bundplade. Her er forholdene mere komplicerede, men ofte tilstræber man at begrænse temperaturforskellen mellem ny og gammel beton til 12 - 15 °C.

Der er tale om komplicerede, men veldefinerede processer og problemstillinger, som kan simuleres med god nøjagtighed ved hjælp af edb-programmer.

Program met **AP TempSim**, som er udviklet af Aalborg Portland, simulerer således både temperatur og temperaturforskelle, modenhed, styrke og frostsikkerhed. Yderligere information om AP TempSim kan rekvireres via www.aalborgportland.dk.

Afformning

Når betonen har opnået den nødvendige styrke, kan formen fjernes, jf. dog ovenstående afsnit om temperaturforskelle.

Ved afformning skal betonstyrken være tilstrækkelig til, at betonkonstruktionen kan klare sig i det pågældende stadie, herunder at bære de aktuelle laster, undgå nedbøjninger, afformningskader, etc., jf DS/EN 13670.

De fleste lodrette støbninger vil således kunne afformes efter 1 - 2 hærdedøgn, afhængig af betonens styrkeklasse.

De fleste bøjningspåvirkede konstruktioner vil sædvanligvis kunne afformes efter 3 - 7 hærdedøgn afhængig af spændvidden. Betonen har da typisk opnået 40 - 70 % af 28 døgns styrken – beton med flyveaske dog lidt mindre.

I praksis kan der være specifikke forhold, som stiller krav om højere styrker, især for de bøjningspåvirkede konstruktioner. Her er det ikke alene bæreevne, men også deformation i form af nedbøjning, som skal vurderes.

Specielt vil der ved tidlig belastning være risiko for en øget og vedvarende nedbøjning som følge af krybning. Forholdene vil være mest kritisk ved store spændvidder, og bør vurderes af en ingeniør el. lign.

Ved betonelementproduktion sker afformning allerede efter 14 - 20 timer. Dette er muligt, dels fordi man anvender meget stærke betoner (30 - 45 MPa) dels fordi man har mulighed for at opvarme beton og omgivelser, så hærdningen sker hurtigere. Ved støbning af forspændte betonelementer tilstræber man f.eks. styrker på 30 - 35 MPa efter blot 16 - 18 timer.

Efterfølgende udtørningsbeskyttelse

Formen beskytter betonen mod udtørring, og hvis den fjernes inden betonen har opnået den modenhed, som kravene i DS 2427 stiller til udtørningsbeskyttelse under de forskellige miljøpåvirkninger, skal der foretages en efterfølgende tildækning, eller på anden måde sikres, at betonen ikke tørrer ud.

Betons egenskaber

Betons bearbejdelighed

I frisk tilstand kan cementpastaens rolle sammenlignes med et smøremiddel, som sikrer bevægeligheden af tilslagspartiklerne, så betonen kan bearbejdes.

Cementpasta består i sig selv af partikler, som smøres af vandet, men som følge af partiklernes finhed, den kemiske aktivitet og de overfladekræfter, som optræder mellem cement og vand, kan det i praksis opfattes som en væske.

Jo lettere bearbejdelig betonen ønskes, desto mere og/eller bedre smørende cementpasta er der behov for. Cementpastaens smørende egenskaber er et samspil mellem v/c-forhold og eventuelle tilsætningsstoffer. Da cement og tilsætningsstoffer er de dyreste materialer i betonen, vil en lettere bearbejdelig beton alt andet lige også være dyrere.

Betonens bearbejdelighed måles som regel enten som sætmål eller som ud-bredelsesmål.

Sætmålet måles med en 30 cm høj keglestubformet metalcylinder (se figur næste side), som fyldes med beton i 3 lag, som hver stødes 25 gange med en 16 mm afrundet stålstang. Derefter løftes metalcylinderen langsomt op, og det stykke som beton keglen derefter synker sammen (målt fra toppen) er betonens sætmål og angives i mm.

Jo lavere sætmål desto mindre bearbejdelig beton og jo mere energi skal der anvendes til at komprimere betonen.

DS/EN 206 definerer en række sætmålsklasser, samt mulighed for at specificere et tilstræbt sætmål. Sidstnævnte mulighed er den, som benyttes i Danmark.

Når sætmålet er specificeret, skal følgende tolerancer overholdes af betonproducenten.



Tolerancer for konsistens bestemt ved sætmål

Specificeret sætmål	≤ 40 mm	50 - 90 mm	≥ 100 mm
Tilladt tolerance	± 10 mm	± 20 mm	± 30 mm

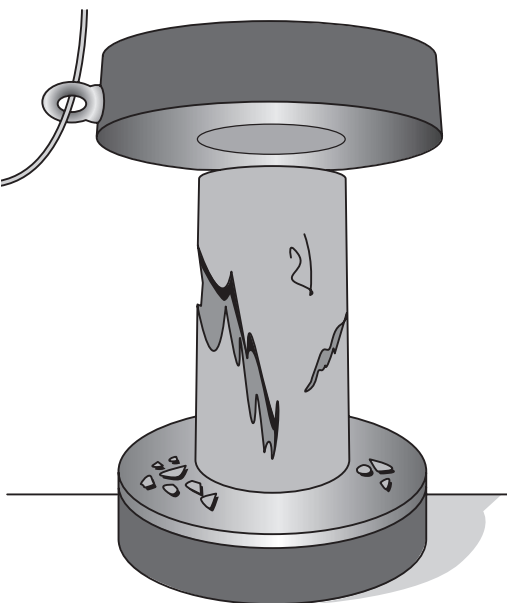
Metoden er ikke velegnet ved sætmål over ca. 200 mm, og man bør i stedet anvende udbredelsesmål, eller "flydesætmål", som anvendes mest i Danmark.

Flydesætmålet måles ved at anbringe sætmålskeglen på et ikke-sugende underlag, fylde betonen i og langsomt løfte keglen. Flyde sætmålet angives herefter som den middeldiameter, som betonen flyder ud til.

Flydesætmålet er især velegnet til selvkompakterende beton, som kræver et minimum eller slet ingen bearbejdning. Flydesætmålet vil sædvanligvis ligge i intervallet 550 - 700 mm, alt efter opgaven. Læs mere i afsnittet om Selvkompakterende beton side 120.

Tolerancerne for flydesætmål er ± 50 mm.

Cement og vand vil begynde at reagere, så snart betonen er blandet, og betonen vil gradvist miste bearbejdigheden, og i løbet af nogle få timer være afbundet. Betonen skal derfor fremstilles i en lidt blødere konsistens, så den har den ønskede bearbejdighed på brugstidspunktet. Sædvanligvis vil betonen kunne anvendes i op til et par timer efter den er blandet.



Betons styrke

En af betonens vigtigste egenskaber er trykstyrken. Betonens rene trækstyrke er væsentlig lavere (5 - 10 % af trykstyrken) og udnyttes kun sjældent i forbindelse med konstruktioners bæreevne. (Trækstyrken er herefter ikke yderligere beskrevet.)

Styrken vil være betinget af det svageste led, altså den svageste af de to komponenter (tilslag og cementpasta), samt af en evt. vekselvirkning mellem de to.

Danske tilslagsmaterialer har sædvanligvis højere styrke end cementpastaen, og betonens styrke vil derfor være bestemt af cementpastaens styrke, herunder dens vedhæftning til tilslaget.

Cementpastaens styrke afhænger af dens porøsitet, som igen afhænger af vand/cement-forholdet og hærdningsgraden.

Måles styrken ved samme termin f.eks. 28 hærdedøgn, vil der tilnærmelsesvis også være opnået samme hærdningsgrad. Dette fører derfor til den sammenhæng mellem v/c-forhold og styrke, som f.eks. fremgår af Bolomeys formel.

$$F_c = K \times \left(\frac{1}{v/c} - \alpha \right)$$

Hvor F_c er betonens trykstyrke

K er en konstant, som afhænger af cementtypen og terminen

v/c er masse-forholdet mellem vand og cement

α er en konstant, som afhænger cementtypen og terminen

Formlen viser, at lavere v/c-tal (lavere porøsitet) medfører højere styrke.

Til vejledende brug kan værdierne i følgende skema benyttes for Aalborg Portlands cementer.

Vejledende konstanter til Bolomeys for

Cementtyper	Termin døgn	K	α
BASIS CEMENT	1	17	0,9
	7	26	0,6
	28	30	0,5
RAPID CEMENT	1	13	0,9
	7	24	0,6
	28	30	0,5
AALBORG SOLID CEMENT	1	5	0,9
	7	13	0,6
	28	25	0,5
FUTURECEM CEMENT	1	9	0,9
	7	20	0,6
	28	28	0,5
AALBORG WHITE	1	14	1,0
	7	28	0,8
	28	35	0,7
BASIS AALBORG CEMENT	1	13	1,0
	7	24	0,7
	28	29	0,6

Tilslagskvaliteten har en vis indflydelse på konstanterne i skemaet, især K-værdien. De anførte værdier er baseret på klasse A sand samt klasse M søsten. For granit af god kvalitet kan der forventes op til 10 % højere slutstyrker. Det skyldes bl.a. bedre vedhæftning i kraft af granittens ru overflade.

Herudover er granits elasticitetsmodul (stivhed) ikke så høj som for f.eks. flint, hvilket medfører en mere ensartet spændingsfordeling i beton med granit end i en tilsvarende beton med overvejende flintesten.

For klasse P materialer med mange svage porøse korn kan der tilsvarende forventes en reduktion af styrken på 5 - 10 %.

Formlen forudsætter et naturligt luftindhold i betonen på 1 %. Hvis luftindholdet øges, vil porøsiteten i cementpastaen også øges, og trykstyrken af betonen derved reduceres.

Betydningen af et øget luftindhold kan tilnærmes med 4 - 5 % styrkereduktion pr. %-point øget luftindhold.

Denne sammenhæng kan f.eks. indbygges i Bolomeys udvidede formel, se fx Beton-Bogen, som:

$$F_c = K \times \left(\frac{1}{\frac{v}{c}} - \alpha \right) \times (1 - 0,045 \times (a - a_0))$$

Hvor a_0 er det naturlige luftindhold (her forudsat til 1 %)
 a er det aktuelle luftindhold

Hvis luftindholdet a f.eks. øges med 3 %, vil det medføre en reduktion af styrken på knap 15 %. Korrektionen giver god overensstemmelse op til et luftindhold på 6-8 %, herefter vil styrkereduktionen gradvis blive større.

Betons holdbarhed

Sammen med betonens styrke er holdbarheden den vigtigste egenskab af den hærdnede beton.

Miljøpåvirkningerne defineres af tilstedeværelsen af vand, risiko for frost samt alkalier og klorider, idet det er disse 4 ydre påvirkninger, som er afgørende for, hvilke nedbrydningsmekanismer der kan true betonens holdbarhed.

De væsentligste nedbrydningsmekanismer er alkalikiselreaktioner, frost/tø samt armeringskorrosion. Disse nedbrydningsmekanismer, samt en række andre af mindre betydning, forudsætter alle tilstedeværelse af vand samt transport af vand og/eller aggressive stoffer ind i betonen. Betonens tæthed er derfor den vigtigste parameter i relation til dens holdbarhed.

Der kan være tale om tæthed overfor forskellige væsker eller gasser, som kan trænge ind i betonen. F.eks. vand, som kan indeholde klorider, alkalier, sulfater etc., eller kuldioxid (CO_2), som er indeholdt i atmosfærisk luft.

Tæthed af god beton er generelt vanskeligt at måle, dels fordi det er så små stofmængder, der trænger ind i betonen, dels fordi der ofte sker kemiske reaktioner mellem det indtrængende stof og cementpastaen, f.eks. i tilfælde af vand, kuldioxid m.m. Derfor kniber det ofte med pålidelige talværdier for betons tæthed.

Det gælder dog generelt, at jo lavere v/c-forhold, jo tættere beton. Kravene i normer og standarder til v/c-forholdet er derfor indført for at sikre betonens tæthed over for aggressive stoffer. Kravene er overvejende bygget på empiriske erfaringer med betons holdbarhed i praksis. Udover v/c-forholdet har den samlede mængde filler (materiale $\leq 0,25$ mm) betydning for tætheden, hvorfor der også stilles krav hertil.

Tæthed over for vand er væsentlig i forbindelse med betons holdbarhed, men også i forbindelse med en række bygværkers funktion er tæthed over for vand vigtig (f.eks. kældre, bassiner, tanke etc.).

DS/EN 206 DK NA har derfor defineret to niveauer af tæthed over for vand.

En beton kan forudsættes at være fugttæt (ingen vandtryk), når den opfylder kravet til moderat miljøklasse ($v/c \leq 0,55$) og samtidig indeholder mindst 375 kg filler pr. m^3 .

Egentlig vandtæthed (med vandtryk) kan forudsættes, hvis betonen opfylder kravene til aggressiv miljøklasse ($v/c \leq 0,45$) og samtidig indeholder mindst 375 kg filler pr. m^3 , hvoraf det ækvivalente cementindhold mindst udgør 300 kg pr. m^3 . Det ækvivalente cementindhold beregnes som cementindholdet + $k \times$ mængderne af type II tilsætninger (flyveaske, mikrosilica, etc.).

Alkalikiselreaktioner

Alkalikiselreaktioner er betegnelsen for de ekspansive reaktioner, der kan opstå mellem alkalier (natrium og kalium) og reaktivt kisel (porøst flint) i tilslaget.

Alkalierne stammer dels fra cement og andre delmaterialer dels fra omgivelserne i form af natriumklorid fra tørsalt og havvand. For at begrænse alkali-indholdet fra starten tillades højest 3 kg Na_2O -ækv. pr. m^3 (ved 60 % mørtel), når betonen fremstilles (gælder miljøpåvirkninger M, A og E).

Na_2O -ækv. beregnes ud fra de opløselige Na- og K- forbindelser i betonen. Beregningen sker på grundlag af molvægte. Omregning fra K_2O til Na_2O -ækv. sker f.eks. ved multiplikation med 0,67.

Reaktiv flint er porøst flint af forskellig type, som findes i tilslagsmaterialerne, og som i det stærkt basiske miljø i betonen opløses og reagerer med alkalierne (og calcium) under dannelse af en gel, som afhængig af forholdene kan ekspandere og opbygge et indre tryk, som langsomt "sprænger" både tilslagspartiklen og den omkringliggende cementpasta eller mørtel.

Porøst reaktivt flint er lyst og vil ofte blive forvekslet med kalksten.

Hvis den reaktive flintepartikel ligger tæt på betonoverfladen, i forhold til dens størrelse, vil det som regel give sig udslag i en "pop-out", hvor et kegleformet mørtelstykke sprænges af. Dette er mest udtalt for de lidt større partikler (stenfraktionen og de lidt større sandkorn).

Hvis de reaktive partikler ligger dybere i betonen, vil nogle få partikler ikke udgøre et problem, men hvis antallet af partikler bliver for stort, vil partiklerne efterhånden ligge så tæt på hinanden, at de ekspansive kræfter overlapper og forstærker hinanden. Betonen mellem partiklerne begynder derved at revne og ødelægges fuldstændig.

For at begrænse risikoen herfor er der øvre grænser for det tilladte indhold af porøst flint i tilslagsmaterialerne.

I sandfraktionen tillades således højst 2 % reaktivt flint i miljøpåvirkning M og A, hhv. 1 % i E. Sandet kan dog også vurderes ved måling af "mørtelprisme ekspansion" og "kemisk svind".

I stenfraktionen kan flintesten bestå af en tæt og sund kerne med en skorpe af porøst flint. Kravene til stenene er derfor mere komplicerede, jf. DS/EN 206 DK NA.

Betingelsen for, at alkalikiselreaktionerne udvikler sig, er udover tilstedeværelsen af alkalier og reaktivt kisel, at der er vand til stede, og at der sker en transport af vand og alkalier frem til de reaktive partikler. En tæt beton vil derfor også begrænse eller forsinke risikoen for alkalikiselreaktioner.

Frostskader

Frostskader kan opstå, hvis betonen vandmættes og fryser, og skyldes vandets udvidelse på ca. 10 %, når det omdannes fra vand til is. Selv den stærkeste beton kan ikke modstå trykket, som isdannelsen medfører. Cementpastaen og dermed betonen vil gradvist ødelægges ved gentagne frost/tø-påvirkninger.

Forholdsreglerne mod dette er bl.a. krav til v/c-tallet og dermed betonens tæthed. Det sikrer, at vandopsugningen sker langsommere, og at risikoen for kritisk vandmætning derfor er mindre. Hvis betonen ikke er helt vandmættet, og der er plads til ekspansionen af det vand, der fryser i betonen, vil der ikke opstå frostskader.

Herudover er kravet om luftindblanding det væsentligste tiltag mod frostskader.

De kemisk iblandede luftporer er også med til at begrænse vandopsugningen, men virker herudover som små "ekspansionsbeholdere", som aflaster trykket, når vandet i betonen fryser. De iblandede luftporer, som typisk tilstræbes i størrelser under 0,25 mm i diameter, er mindre tilbøjelige til at vandmættes end betonens øvrige poresystem.

Udover at sikre frostbestandigheden af cementpastaen, er det vigtigt at sikre, at betonen ikke indeholder frostfarligt tilslag overvejende i stenfraktionen.

De partikler, som er frostfarlige, er stort set de samme porøse flintepartikler, som kan forårsage alkalikiselreaktioner. De vandmættes let og kan derfor forårsage frostsprængere (pop-outs), som til forveksling ligner skaderne fra alkalikiselreaktioner i stenpartikler nær overfladen.

Tilstedeværelsen af tøsalt forværrer risikoen for frostskeer væsentligt. Dels bevirker saltet, at betonoverfladen holdes mere fugtig, hvilket øger risikoen for kritisk vandmætning, dels kan salt bevirke, at isdannelsen sker hurtigere som følge af underafkøling. Strør man f.eks. salt på en isbelagt betonoverflade, vil temperaturen kunne falde pludseligt helt ned til -10 til -15 °C, hvilket også kan bevirke en hurtig isdannelse med større risiko for, at betonen ikke kan modstå ekspansionen.

Armeringskorrosion

Armeringskorrosion er den sidste af de tre vigtigste nedbrydningsmekanismer. Når armeringsstål er omstøbt af beton, vil stålet i kraft af det basiske miljø i betonen være passiveret – dvs. stålet er stabilt, nærmest at betragte som et ædelt metal, og vil som udgangspunkt ikke korrodere, selvom der var ilt og vand til stede.

Der er to mekanismer, som med tiden kan ændre på dette gunstige forhold.

Luftens kuldioxid vil med tiden trænge ind i betonen og reagere med den calciumhydroxid, som er årsagen til det basiske miljø i betonen. Denne proces betegnes karbonatisering. Dermed vil pH falde, og med tiden vil karbonatiseringen brede sig som en front ind til armeringen, som derved ikke længere er passiveret.

Først herefter vil armeringen kunne begynde at korrodere, stadig under forudsætning af, at der er fugt og ilt til stede. Korrosionen vil dog kun udvikle sig langsomt, hvis v/c-tal og dæklag er valgt i overensstemmelse med standarderne.

Ved at vælge en passende tæt beton (lavt v/c-tal) og en passende tykkelse af dæklaget, kan denne proces i praksis kontrolleres fuldt ud, og betonens levetid kan stort set designes efter behov.

Når det en gang i mellem volder problemer alligevel, skyldes det typisk, at dæklaget ikke er udført som foreskrevet (armeringen har forskubbet sig under udstøbningen), dårlig omstøbning af armeringen, at der er opstået revner i dæklaget eller lignende.



Den anden mekanisme, som kan ødelægge stålets passivering, er indtrængende klorider. Hvis kloridkoncentrationen omkring armeringen overskrider en kritisk grænse, vil passiveringen ophæves, og der vil være risiko for korrosion.

Korrosion i tilfælde af for høj kloridkoncentration vil ofte have karakter af grubetæring dvs. pletvis meget kraftig korrosion, som kan udgøre en stor risiko for konstruktionens levetid. Kloridinitieret korrosion vil derfor sædvanligvis udgøre en større risiko end korrosion som følge af karbonatisering, og kravene til betonkvalitet og dæklag er derfor skærpede, hvis omgivelserne indeholder klorider.

De hyppigste kloridkilder er tørsalt og havvand.

Betonens delmaterialer indeholder endvidere små mængder klorid, og der er i DS/EN 206 krav i form af øvre grænser til hvor meget klorid, betonen må indeholde, når den fremstilles. Jo mindre kloridindhold betonen har fra starten, jo længere tid vil det vare før indtrængende klorider bringer kloridkoncentrationen op på den kritiske grænse.

Der findes ikke en fast kritisk kloridkoncentration, idet denne afhænger af en række parametre, som ikke alle er veldefinerede. Den vil dog næsten altid ligge i området under 1 % af cementindholdet.

Betons deformationer

Som andre byggematerialer reagerer betonen på ændringer i fugt, temperatur, og belastninger ved at den deformerer sig. Der er tale om meget små deformationer, men dog af en størrelse, så der må tages hensyn til dem for at undgå revnedannelser og uacceptable nedbøjninger af konstruktionerne.

Udtørringssvind

Når beton hærdet og efterfølgende tørrer ud, vil der opstå et svind, som får betonen til at trække sig sammen. Hvis betonen udsættes for udtørring, mens den endnu er plastisk (de første 6 - 10 timer), betegner man det deraf følgende svind som plastisk svind. Det er det efterfølgende svind, som betegnes udtørringssvind eller blot svind.

Plastisk svind bør undgås ved midlertidig udtørningsbeskyttelse, jf. afsnittet om Efterbehandling, side 81.

De fleste betonkonstruktioner vil på et eller andet tidspunkt tørre ud til ligevægt med omgivelsernes fugt, og der vil derfor altid forekomme et udtørringssvind af en eller anden størrelse.

Udtørringssvindet vil typisk være af størrelsesordenen 0,5 ‰. Størrelse og udvikling vil afhænge af betonsammensætningen, men det er omgivelserne og udtørningsforholdene, som medfører de største forskelle i størrelsen af svindet.

Det er cementpastaen, som svinder, og det er cementpastaens vandindhold, som er den styrende faktor. Jo højere vandindhold i den friske beton, jo større udtørringssvind. Tilsvarende vil tilslagsmaterialerne søge at modvirke svindet, så jo højere indhold af tilslag, jo mindre svind.

Betonens vandindhold vil bl.a. afhænge af største stenstørrelse, men forskellen i svindet for beton med f.eks. 16 mm og 32 mm sten er dog ret begrænset.

En cementmørtel uden sten vil derimod have et betydeligt højere vandindhold og et betydeligt lavere indhold af tilslag og dermed også større svind end en beton med sten.

Betonens konsistens justeres sædvanligvis med vand, og en blød beton vil i så fald også have et lidt større svind end en stiv beton. Hvis konsistensen i stedet justeres med et plastificeringsstof, vil det derimod ikke påvirke betonens svind.

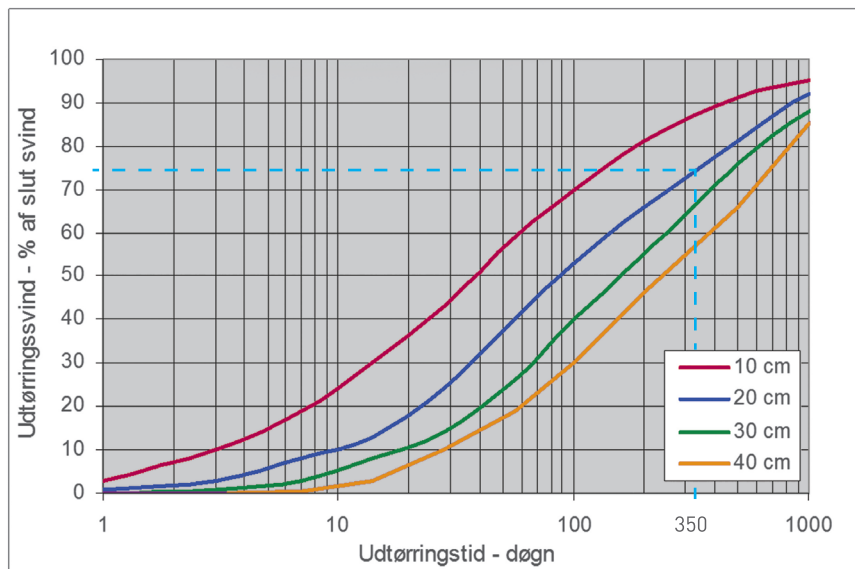
I selvkompakterende beton (SCC) opnås den gode bearbejdelighed ved anvendelse af højeffektive superplastificeringsstoffer, og SCC kan normalt fremstilles med samme vandindhold som en plastisk beton. Svindet i SCC er derfor heller ikke større end i sætmålsbeton.

Når betonen afformes eller udtørningsbeskyttelsen fjernes, er det omgivelserne og betonens tæthed, som styrer udtørningsforløbet.

Udtørring til omgivelserne vil ske langsommere for en stærk og tæt beton end for en svag og porøs beton. Til gengæld vil der i den stærke beton være mindre fugt, som skal transporteres væk, fordi det højere cementindhold har bundet en større del af vandet i reaktionsprodukter. Den selvudtørring, som dette medfører, vil ske i løbet af få uger. Dette princip udnyttes bl.a. i selvudtørrende beton, se side 122.

Udtørringen til omgivelserne vil derimod vare måneder eller år, afhængig af betonlagets tykkelse og betonens tæthed. Det er ikke muligt at angive simple og samtidig nøjagtige metoder til at forudsige svindets udvikling, men nedenstående figur kan benyttes som vejledende for svindets tidsmæssige udvikling i en hhv. 10, 20, 30 og 40 cm tyk betonplade med dobbeltsidig udtørring.

Vejledende oversigt over udtørringssvindets tidsmæssige forløb



Dimensionen i figuren er den såkaldte ækvivalente radius, som ved dobbeltsidig udtørring af en plade er pladens tykkelse. Ved ensidig udtørring af en plade er det den dobbelte pladetykkelse, og ved 4-sidig udtørring af en kvadratisk søjle er det den halve kantlængde. Se mere i Beton-Bogen.

For en 10 cm tyk betonplade med ensidig udtørring (20 cm graf i figuren), vil 75 % af udtørringssvindet være udviklet efter ca. 350 døgn – altså ca. 1 år.

Hvis betonpladen er 10 m lang, vil slutsvindet være ca. 0,5 ‰ af 10 m, svarende til 5 mm, og svindet efter 1 år vil derfor være knap 4 mm.

Svindet er en delvis reversibel proces, dvs. at betonen sveller lidt igen, hvis den fugtes op. På grund af den langsomme proces, vil svindbevægelserne set over dage og uger være yderst begrænset, men på årsbasis kan der godt optræde en vis bevægelse som følge af variationer i luftens fugtighed.

For indendørs konstruktioner er den tørre periode vinter og forår, mens sommer og efterår udgør den fugtige periode.

Temperaturbevægelser

Med en temperatur- eller varmeudvidelseskoefficient på ca. $1,0 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, vil en 10 m lang betonplade, som afkøles $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ trække sig stykket ΔL sammen, hvor ΔL beregnes som:

$$\Delta L = 10000 \text{ mm} \times 20 \text{ }^{\circ}\text{C} \times 1,0 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} = 2 \text{ mm}$$

Hvis ikke betonen har mulighed for frit at trække sig sammen, vil det medføre spændinger, og i værste fald revnedannelse.

Lastbetingede deformationer

Beton har en vis elasticitet, udtrykt ved elasticitetsmodulet E-modulet, og når betonen påføres en belastning, vil den derfor deformeres en lille smule.

E-modulet afhænger af betonsammensætningen, især v/c-tallet (styrken) samt mængden og typen af tilslag.

Jo stærkere beton, jo højere E-modul, og jo højere indhold af tilslag og jo større stivhed tilslaget har, jo højere E-modul.

En stærk beton med et højt indhold af flint (stor stivhed) vil medføre en beton med et højt E-modul. Granit, som er blødere men styrkemæssigt og holdbarhedsmæssigt er et fremragende tilslag medfører en beton med lidt lavere E-modul og dermed mindre stivhed.

Til de fleste praktiske formål (beregning af nedbøjning), benyttes de sammenhænge mellem styrke og E-modul, som er anført i DS/EN 1992-1-1, jf. nedenstående skema.

Betons sekant E-modul afhængig af trykstyrken (cylinder)

f_{ck} - MPa (cyl.)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60
E_{cm} MPa $\times 10^3$	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39

For korttidslast regnes med 70 % af E_{cm} .

En 5 meter høj betonsøjle i styrkeklasse 45 (E-modul 36.000 MPa), som belastes svarende til en spænding på 12 MPa, vil således deformeres:

$$\varepsilon = 12/36.000 = 0,00033 = 0,33\%$$

Sammentrykningen af søjlen Δh vil således være:

$$\Delta h = 5000 \text{ mm} \times 0,00033 = 1,7 \text{ mm}$$

Søjlen bliver altså 1,7 mm kortere på grund af belastningen, men hvis lasten fjernes igen efter kort tid, vil søjlen opnå sin oprindelige længde igen.

Ved langvarig belastning vil der opstå en blivende deformation som følge af krybning.

Krybning

Krybning kendes fra de fleste materialer, og er betegnelsen for en blivende deformation pga. en ydre belastning.

Betons krybning er en ganske kompliceret sag, men det er især to forhold, man skal være opmærksom på.

Jo tidligere betonen belastes og jo højere belastning desto større krybning. Herudover vil belastning i kombination med udtørring øge krybningen.

Ved at sikre, at betonen er velhærdet dvs. høj styrke og tæthed inden belastningen påføres, kan man reducere krybningen betragteligt.

Krybning har især betydning for bjælkers langtidsnedbøjning, og der henvises i øvrigt til DS/EN 1992-1-1's regler for beregning af langtidsdeformationer.

Eksempel

En 200 meter høj pylon til en hængebro skal vurderes for last-, svind- og temperaturbetingede deformationer.

Der er anvendt en beton styrkeklasse 45 (E-modul 36.000 MPa), som belastes svarende til en middel trykspænding på 15 MPa.

Udtørringssvindet er vurderet til 0,5 ‰ og temperaturen forudsættes at variere fra -10 °C til 30 °C.

Lastbetinget deformation = $200.000 \text{ mm} \times 15 \text{ MPa} / 36.000 \text{ MPa} = 83 \text{ mm}$

Udtørringssvind = $200.000 \text{ mm} \times 0,5 \text{ ‰} = 100 \text{ mm}$

Temperaturbevægelser = $200.000 \text{ mm} \times 40 \text{ °C} \times 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ °C}^{-1} = 80 \text{ mm}$

Den største del af lasten stammer fra egenvægten af broen, og den lastbetingede deformation vil derfor overvejende være permanent. Hertil kommer et bidrag fra krybningen, som ikke er indregnet.

Udtørringssvindet vil udvikles over flere år og ender med at være permanent (stort tværsnit).

Temperaturbevægelserne vil derimod variere over året (døgnvariationerne vil være yderst begrænsede).

I forhold til pylonens højde på udstøbningstidspunktet, vil den i kolde perioder være ca. 260 mm lavere, når svindet er færdigudviklet efter en årrække.



Betons udseende – kalkudblomstringer

Betonoverflader er, som mange naturmaterialer, karakteristiske ved et nuanceret farvespil, som sammen med de ubegrænsede muligheder for form og overfladestruktur gør beton til et unikt byggemateriale ikke blot strukturelt, men i høj grad også arkitektonisk.

Betonens naturlige nuancer skyldes små forskelle i overfladens kapillarporøsitet, og især forskelle i, hvorledes disse porøsiteter fyldes med kalkholdige reaktionsprodukter, primært calciumkarbonat (CaCO_3).

Selvom det i høj grad er i producentens interesse at undgå kalkudblomstringer, kender de fleste producenter af betonelementer, belægningssten og andre betonprodukter til problemet.

Kalkudblomstringer har eksisteret så længe, man har bygget med beton og kalkmørtel, og det er måske snarere en gåde, at man som regel undgår kalkudblomstringer, end at de forekommer en gang imellem.

Mekanismer

Kalkudblomstringer er, som navnet indikerer, kalkforbindelser, som trænger ud af betonen og aflejres på overfladen.

Når cement reagerer med vand og danner de primære reaktionsprodukter (calciumsilikathydrater), er der et overskud af calcium, som aflejres som calciumhydroxid (Ca(OH)_2) i kapillarporerne.

Uanset cementtype vil der altid dannes calciumhydroxid i rigelige mængder, og risikoen for kalkudblomstringer vil være til stede for alle cementer.

Calciumhydroxid er opløseligt i vand, og hvis en forholdsvis ny betonoverflade er våd gennem længere tid, kan calciumhydroxiden nær overfladen opløses og transporteres ud i vandfilmen på overfladen, hvor den kan reagere med luftens kuldioxid (CO_2) og danne det tungtopløselige calciumkarbonat (CaCO_3) der er den kemiske betegnelse for kalkudblomstringer.

Hærdebetingelserne i de første døgn har stor betydning for risikoen for kalkudblomstringer. De ideelle hærdeforhold for at undgå problemet, vil være temperaturer over 15 - 20 °C (gerne 20 - 30 °C), høj luftfugtighed (80 - 95 % RF) uden kondens, samt højt indhold af kuldioxid i luften.

Temperatur og fugtighed giver gode hærdeforhold, og når overfladen ikke er våd, bliver calciumhydroxiden inde i betonen, hvor den gradvist reagerer med luftens kuldioxid (karbonatiserer) og danner tungtopløseligt calciumkarbonat.

Når overfladen efterfølgende udsættes for vand vil det karbonatiserede lag besværliggøre transport af calciumhydroxid til overfladen, og dermed gøre den meget mere robust overfor kalkudblomstringer. Et karbonatiseringslag på blot $\frac{1}{10}$ mm regnes at give en væsentlig beskyttelse.

Hvis betonen derimod tørrer tidligt ud i overfladen vil hærningen her gå i stå, og overfladen vil blive mere porøs. Da der samtidig vil være uhydratiseret cement og da karbonatiseringen af det calciumhydroxid, som er dannet, ikke vil ske ved lav fugtighed, kan der være stor risiko for kalkudblomstringer, når overfladen senere udsættes for fugt.



Karbonatiseringen er en naturlig del af betonens hærdning, og kalkudblomstringer vedrører kun de yderste mm eller mindre af overfladen, og har ingen betydning for betonens holdbarhed.

Hvis man ønsker at minimere risikoen for kalkudblomstringer, er gode hærdforhold (temperatur og fugt) derfor det første man bør fokusere på, idet man derved samtidig opnår de bedste styrke- og holdbarhedsegenskaber.

Et lavt v/c-tal vil sædvanligvis være en fordel, fordi betonen bliver tættere, men ved meget lave v/c-tal kan der forekomme en del uhydratiseret cement, som kan forårsage kalkudblomstringer, når overfladen atter bliver våd.

Overdreven brug af formolie kan retardere overfladen, og øge risikoen for kalkudblomstringer.

Når efterhærdningen sker på udendørs lagerplads eller på byggeplads, er man underlagt det lunefulde danske vejr, og det er især i vinterhalvåret, man oplever problemer med kalkudblomstringer.

Det skyldes flere faktorer, som alle virker i uheldig retning. Betonen hærdner langsommere ved de lave temperaturer, og den indre karbonatisering, som kan gøre overfladen robust overfor kalkudblomstringer, går helt i stå ved temperaturer under 5°C.

Samtidig vil overfladen oftere være våd i længere perioder, og opløseligheden af calciumhydroxid er herudover højere ved lave temperaturer.

Der er reelt kun to muligheder for at gardere sig mod problemerne i vinterhalvåret, enten at forbedre forhærdningen, eller at beskytte betonen på lager- eller byggeplads mod vand.

Tilsætning af stearater til betonen har vist sig at mindske risikoen for kalkudblomstringer. De formodes at virke ved, at deres vandafvisende egenskaber gør det vanskeligere at opfugte poresystemet, hvorved transporten af calciumhydroxid fra betonens indre til overfladen mindskes.

Efterbehandling af overfladen med siloxan el. lign. kan have samme virkning. Det bedste resultat opnås, hvis man venter nogle døgn med påføringen.

Afhjælpning

Tiden læger alle sår – med lidt hjælp fra vejr og vind, også når det gælder kalk-udblomstringer. I mange situationer vil det bedste slutresultat opnås, hvis man lader tidens tand klare problemerne.

Selv om kalkudblomstringerne er tungtopløselige i vand vil de med tiden opløses, ikke mindst fordi regnvand ofte er lidt surt, hvilket øger opløseligheden.

Kalkudblomstringer på udendørs belægninger vil sædvanligvis forsvinde i løbet af et års tid eller to.

Processen kan evt. fremskyndes ved at drysse skarpt sand ud på overfladen.

For facader med lette kalkudblomstringer, som udsættes for vejr og vind, vil det som regel også give det bedste resultat at afvente udviklingen. Hvis der er tale om meget kraftige kalkudblomstringer, kan de fjernes ved afsyring.

Syren skal være så svag som muligt. Anvendes en for stærk syre vil den opløse såvel kalkudblomstringerne som cementpastaens reaktionsprodukter. Saltsyre, som er den hyppigst anvendte, bør fortyndes med vand 1: 20.

Der findes en række produkter på markedet til at fjerne kalkudblomstringer, alle baseret på syre. Nogle af dem kan være lettere at "styre" end f.eks. saltsyre.

Ved afsyringen fjernes også det beskyttende calciumkarbonatlag umiddelbart under overfladen. Derfor er det vigtigt, at afsyringen foretages under vejrforhold, som giver mindst mulig risiko for nye kalkudblomstringer. Det vil sige i sommermånederne under stabile vejrforhold.

Inden afsyringen skal overfladen vandmættes, så de opløste kalkforbindelser (og klorider) ikke suges ind i betonen. Det vil være lettest at udføre afsyringen på en vandret flade, og ved lodrette flader er det vigtigt at begynde afsyringen for neden. Brug en blød kost.

Når området er afsyret skylles det grundigt med vand, og resultatet kan vurderes, når overfladen er tør.

Om nødvendigt gentages behandlingen – det giver bedre resultat end anvendelse af en stærkere syre.

Lav en prøve på et mindre synligt område. Det er dog vigtigt, at afsyringen foretages på "hele områder". Kalkudblomstringer kan ikke "pletrensnes".



BETON

Betongulve og slidlag

Forud for en gulvstøbning er der en række valg, der skal træffes. Det drejer sig om gulvets opbygning, betonkvalitet, evt. armering, feltstørrelser, overflade-tolerancer etc. Alle disse overvejelser er behandlet i Beton-Teknik:

Gulvkonstruktioner af beton og i det følgende gennemgås kun forhold med direkte relation til betonen og udførelsen.

Valg af feltstørrelser

Når betonen i et gulv hærdet og efterfølgende tørrer ud, vil der, som nævnt under Betons deformationer, opstå et svind, som får betonen og dermed gulvpladen til at trække sig sammen. Betonens udtørringssvind vil typisk være af størrelsesordenen 0,5 ‰.

Denne sammentrækning vil friktionen mod underlaget forsøge at hindre, og der opstår derved trækspændinger i gulvpladen. Ved små gulvfelter vil betonens trækstyrke kunne overvinde friktionen, og feltet vil trække sig lidt sammen og efterlade en revne mellem gulvets kanter og sidebegrænsningerne.

Ved større gulvfelter vil trækspændingerne efterhånden kunne overskride betonens trækstyrke, og gulvet vil derfor revne et eller flere steder, afhængig af felternes størrelse.

Sædvanligvis kan man for uarmerede gulve arbejde med feltstørrelser op til en kant længde på 5 - 6 meter uden at risikere revner. Forholdene er dog komplicerede med flere betydende parametre, herunder underlagets beskaffenhed, betonens svind, evt. armering samt udtørringsforholdene.

Underlaget har stor betydning, idet der f.eks. vil være stor forskel på friktionen mod et underlag af komprimeret stabilgrus og et underlag af isolering med en folie på oversiden.

Stabilgruset vil således medføre væsentlig større friktion end isolering med plastfolien. Derfor vil man alt andet lige kunne arbejde med større feltstørrelser mod et glat eftergiveligt underlag end mod et stift underlag med stor friktion.

I førstnævnte tilfælde kan kantlængder på 5 - 6 meter være i overkanten, og i sidstnævnte tilfælde kan kantlængder på 8 - 10 meter gå godt selv for uarmerede gulve. For at gulvet er armeret tilstrækkeligt mht. svindrevner, skal arme ringsprocenten være mindst 0,2 - 0,3 %.

Feltindelingen bør herudover tilpasses placering af søjler og vægge samt andre konstruktive forhold.

For sætmålsbeton etableres feltindelingen ved, at man udstøber gulvet i baner med en bredde svarende til den ønskede feltstørrelse, og efterfølgende skærer de tværgående fuger med samme afstand. Skæringen skal ske inden betonens svind (hærdningssvind samt udtørringssvind) bliver for stort, oftest inden for det første døgn.

Selvkomprimerende beton (SCC) vil sædvanligvis udvikle et svind af samme størrelsesorden, som en tilsvarende sætmålsbeton, og der kan derfor benyttes samme feltstørrelser. Med SCC støbes gulvet sædvanligvis i én arbejds gang, og pladefelterne opskæres både på langs og på tværs til den ønskede feltstørrelse.

Samme fremgangsmåde benyttes dog også, når gulvet udlægges med en såkaldt "Laser Screed" som ved hjælp af laser lys styrer højde og tolerancer uden brug af ledere.

Hvis søjler o.l. omstøbes, er det vigtigt at etablere bevægelsesmulighed omkring søjlen, evt. suppleret med armering, da søjlen ellers vil initiere revnedannelser i gulvet.

Valg af betonkvalitet

Hvis betonen ønskes udstøbt på traditionel vis ved komprimering med en bjælkevibrator, bør der vælges en beton med et sætmål på højst 100 - 120 mm.

Med en blødere beton vil risikoen for overvibrering og separation øges væsentligt ikke mindst med de meget effektive vibratorer, som benyttes i dag.

Hvis man ønsker en lettere udstøbelig beton, bør man i stedet overveje SCC, som bearbejdes let med en "jutter".

Til gulve, som udsættes for kraftigt slid, vælger man ofte at anvende største stenstørrelse 16 mm. Dette giver mindre risiko for afskalninger og knusning af det mørtellag, som dækker stenene i overfladen.

I SCC er stenstørrelsen ligeledes ofte begrænset til en 16 mm sten, som giver mindre risiko for separation.

Betonens styrkeklasse og stenkvalitet skal modsvare de slidpåvirkninger, som gulvet forventes udsat for. I skemaet herunder ses forslag til valg af styrkeklasse og stenklasse.

Valg af betons styrkeklasse til gulve

Gulvtype	Eksempler	Styrkeklasse	Stenklasse
Gulve udsat for kraftigt slid	Tung industri, staldgulve	35 - 40	A eller E (evt. granit)
Gulve udsat for normalt slid	Let industri, garager og maskinhuse	25 - 30	M eller A
Gulve udsat for let slid, samt gulve som underlag for anden belægning.	Boliger og kontorer med tynde belægninger	20 - 25	P eller M

Selvom gulvets placering formelt er i passiv miljøklasse, vælges ofte en bedre stenkvalitet til gulve som udsættes for normalt eller kraftigt slid. Stenkvaliteten har stor betydning for gulvets slidstyrke, idet eventuelle lette og svage stenpartikler på grund af opdrift vil have tendens til at ophobes i gulvets overside. Disse svage sten vil ofte knuses under brug og forårsage skader på gulvet.

Udendørs belægninger i det fri bør altid udføres i mindst aggressiv miljøpåvirkning, da høj fugtbelastning samt anvendelse af tørsalte må forudses i kombination med frost. DS/EN 206 DK NA's krav til beton i aggressiv miljøpåvirkning skal derfor opfyldes, herunder tilslagskvalitet, luftindblanding, v/c-tal og styrkeklasse (35 MPa).

Udstøbning og komprimering

Betonen fordeles jævnt med bånd eller pumpe, samt skovle og skrabere, inden den vibreres med bjælkevibrator. Ved støbninger af lagtykkelser over ca. 20 cm, bør der suppleres med en stavvibrator.

Herudover kan der være behov for stavvibrering op mod sidebegrænsninger og støbeskel, da bjælkevibratoren er mindre effektiv i disse områder.

Vibreringen skal foretages systematisk, og bjælkevibratoren trækkes langsomt hen over betonoverfladen, med en passende lille mængde beton foran vibratoren (4 - 5 cm formet som en pølse). Hastigheden afpasses så den indkapslede luft vibreres op, og efterlader betonoverfladen tæt og ensartet bagved bjælkevibratoren.

Betonens sætmål og vibratorens effekt skal være tilpasset hinanden, så man opnår den ønskede komprimering, herunder også så man undgår overvibrering. Risikoen for sidstnævnte vil være forholdsvis stor for sætmål over 120 - 150 mm.

SCC til gulve komprimeres sædvanligvis ved en "jutning", bestående af svage pulserende bevægelser med en såkaldt "jutter", se billede.

SCC må ikke vibreres.



Pudsning og glitning

Når betonen har opnået en passende grad af afbinding vil overfladen kunne bearbejdes ved pudsning eller glitning. For små gulve kan det ske med håndkraft, men for større gulve vil der skulle benyttes tallerken- og vingeglitter. Det rette tidspunkt at påbegynde glitningen kan kun vurderes af fagfolk med erfaringer med det pågældende udstyr.

Det er vigtigt, at der ikke sker en for kraftig udtørring af overfladen, som derved kan danne skind, og virke som om den er klar til at blive pudset eller glittet, selvom betonen længere nede i gulvet stadig er for blød.

Hvis det sker, vil der være risiko for problemer med tolerancerne til overfladen, idet betonen under pudsningen vil kunne begynde at arbejde som en blød mosebund, som gynger op og ned i takt med pudsemaskinens bevægelser hen over gulvet.

Herudover vil det kunne medføre "vabler" og lagdeling i overfladen, som når gulvet tages i brug, vil resultere i afskalning af et tyndt lag finmørtel i overfladen.

Sædvanligvis køres der først over med en "tallerken" for at jævne og lukke overfladen og for at sikre et passende mørtellag i overfladen til den afsluttende glitning med vingeglitteren. Til visse formål kan man evt. nøjes med maskinpudsningen med tallerken, f.eks. med SCC.

Vingeglitteren påfører overfladen en kraftig vibrerende påvirkning, afhængig af dens vægt og vinkel på vingerne. Risikoen for at betonen nede i betonlaget bearbejdes, og derved bliver blød igen (som mosebund) er størst for de tunge selvkørende vingeglittere.

Hvis udtørningsforholdene er ugunstige, kan det være nødvendigt at påføre en midlertidig udtørningsbeskyttelse, når betonen er udstøbt. Der findes forselingsmidler, som kan påføres den friske beton umiddelbart efter udstøbning, og som senere kan glittes ned i overfladen

Udtørningsbeskyttelse

Når den afsluttende glitning er færdig, skal overfladen hurtigst muligt beskyttes mod yderligere udtørring. Afdækning med plastfolie er mest effektivt, og folien kan sædvanligvis rulles ud på et maskinglittet gulv uden at medføre nævneværdige mærker eller skjolder. Alternativt kan overfladen påføres et forseglingsmiddel, evt. suppleret med en plastfolie dagen efter.

Skæring af fuger

Hvis feltstørrelserne skal etableres ved skæring af tværgående fuger (med SCC og "Laser Screed" også langsgående), er det vigtigt, at skæringen foretages inden betonens svind forårsager revnedannelse. Det tidlige svind vil især være hydratiseringssvind, som er størst det første døgn. Begyndende selvudtørring vil optræde for stærke betoner, og hvis betonen ikke er afdækket, vil svind som følge af udtørring til omgivelserne også optræde. Det bør dog undgås ved udtørningsbeskyttelse.

Der kan også optræde et termisk svind, som skyldes, at betonen opvarmes lidt det første døgn af cementens hærdevarme. Når gulvet derefter køler af, vil det medføre en sammentrækning.

Generelt bør fugerne skæres inden for det første modenhedsdøgn, for at undgå revner pga. hydratiseringssvind og termisk svind. Hvis gulvet støbes den ene dag, vil skæring tidlig næste morgen ofte være passende. For tidlig skæring vil medføre, at sten rykkes ud af fugen, og for de svagere betoner kan det være nødvendigt at vente lidt længere inden skæring.

Fugerne skal skæres til en dybde af mindst $1/4 - 1/3$ af betonlagets tykkelse, for at sikre, at revnerne opstår i fugerne. For et dobbeltarmeret gulv skal den øverste armering brydes i fugen. For et enkelt 5-6 mm armeringsnet kan armeringen godt føres gennem fugen.

Slibning af overfladen

I visse tilfælde, f.eks. ved anvendelse af SCC, undlades den afsluttende glitning, og der foretages i stedet en senere slibning af gulvets overflade.

Formålet er at undgå ventetiden frem til glitningen, som især for de blødere betoner og i kolde perioder kan være flere timer.

Slibningen bør foretages, så snart betonen har den fornødne styrke i overfladen. Tidspunktet vil derfor især afhænge af betonkvalitet og hærdeforhold.

Ofte vil slibning efter 2 - 3 hærdedøgn være passende.

Slidlags- og afretningsmørtel

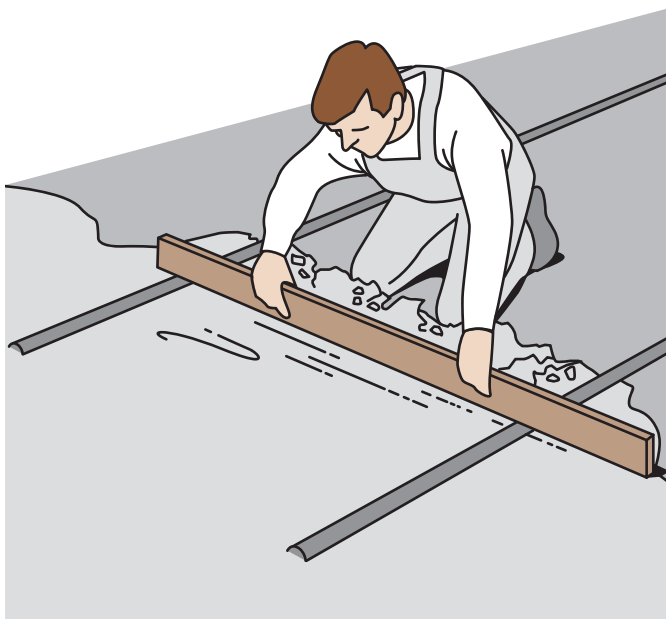
Valget af en tolagsløsning er sædvanligvis kun en fordel ved mindre gulvfelter, f.eks. i stalde, hvor opdeling i stier og båse samt mængden af indstøbt inventar kan gøre det vanskeligt at udstøbe gulvet med de ønskede tolerancer i ét lag.

Netop i stalde vælges slidlag også, fordi det giver et mere jævnt slid, uden sten i overfladen, som kan genere dyrene.

Ordet slidlagsmørtel bruges ofte lidt i flæng for begge anvendelser, men med betegnelsen slidlag menes som regel en stærk cementmørtel med god slidstyrke som afsluttende overflade, se nærmere s. 145.

Afretningsmørtel er betegnelsen for cementmørtel til udjævning af ujævnheder og mindre niveauforskelle, f.eks. som underlag for fliser, tæpper, vinyl o.l. Disse behøver ikke samme høje slidstyrke, som et slidlag.

Slidlag- og afretningsmørtel kan leveres som fabriksfremstillet beton i ønskede styrke- og miljøklasser, eller som færdige tørprodukter, som kun skal tilsættes vand på byggepladsen. Endelig kan de også fremstilles på stedet af cement, sand og vand – samt evt. tilsætningsstoffer.



Tørmørtlerne kan endvidere leveres som flydemørtel eller til spartling i varierende lagtykkelser, f.eks. til spartling af etageadskillelser fremstillet af dækelementer.

For disse produkter henvises til leverandørens datablad og brugsanvisning.

Materialeforbruget af en slidlagsmørtel er relativ begrænset, og ofte vælger man derfor at fremstille mørtlen på byggepladsen. Selv ved større opgaver kan den samlede mængde ikke leveres færdigblandet, på én gang, da det vil give problemer med at få mørtlen anvendt inden den binder af, især for de stærke slidlagsmørtler.

Ved en tolagsløsning vil der altid være en vis risiko for vedhæftningsproblemer mellem de to lag. Det skyldes bl.a. udtørringssvindet, som er væsentlig større for en cementmørtel end for en beton. Herudover er betonens svind allerede delvist udviklet, når slidlagsmørtlen lægges. Det differenssvind, som derved opstår, vil medføre forskydningsspændinger mellem de to lag, og hvis disse spændinger ikke kan overføres af forskydningsstyrken i sammenstøbningen, vil slidlaget slippe underbetonen og revne. Ofte vil problemet udvikle sig under brug, så det meste af gulvet med tiden bliver skrukt.

Risikoen for vedhæftningssvigt mellem underbeton og slidlag kan minimeres væsentligt med følgende forholdsregler:

- Underbetonens styrke bør (ved stærke slidlag) mindst være 20 MPa, og der skal ved afdækning eller lignende sikres gode hærdeforhold for underbetonen, så overfladestyrken af denne bliver størst mulig. Vedhæftningen bliver aldrig bedre end underbetonens overfladestyrke.
- Overfladen af underbetonen skal være så ru som muligt, så den størst mulige overflade og bedst mulig mekanisk vedhæftning sikres. Det kan f.eks. opnås ved en kostning med en stiv kost af den nyudstøbte underbeton.
- Slidlagets tykkelse bør være 20 - 30 mm. Tykkelsen kan godt vælges mindre, dog ikke under 10 mm, blot man er ekstra påpasselig med udtørningsbeskyttelsen af slidlaget. Hvis tykkelsen øges, vil svindkræfterne øges og dermed risikoen for svigtende vedhæftning. Forholdene vil være mest kritiske, hvis der vælges en meget stærk slidlagsmørtel kombineret med stor tykkelse af slidlaget. Hvis der er behov for større tykkelser, bør der i stedet anvendes en slidlagsbeton med 8 mm sten.

- Udstøbning af slidlaget bør ske så tidligt som muligt efter at underbetonen er udstøbt, f.eks. dagen efter. Jo tidligere, jo mere "restreaktivitet" vil der være i den cement, der er i underbetonen, og jo bedre kemisk binding vil der opnås mellem underbeton og slidlag.
- Opfugtning af underlaget vil være nødvendig, især hvis underbetonen har ligget nogle dage inden slidlaget lægges. Hvis underbetonen er tør, vil den udtørre slidlaget, som derved opnår dårligere styrke og vedhæftning.

Underbetonen vandes derfor grundigt – f.eks. dagen før, og beskyttes mod udtørring frem til slidlaget kan lægges. Underbetonen skal være mørk og fugtig, men der må ikke stå frit vand på overfladen.

- Svumning af underbetonen kan være nødvendigt, hvis slidlagsmørtlen fremstilles i en tør jordfugtig konsistens. Der vil da ofte være for lidt overskudspasta i mørtlen til at skabe den fulde vedhæftning til underbetonen. Svumningen foretages med en cementmørtel 1 cement : 1 sand i en tyktflydende konsistens. Svumningen skal foretages i takt med udstøbning af slidlaget, og må ikke tørre ud. Der skal arbejdes "vådt i vådt".

Svummemørtlens klæbeevne kan evt. forbedres ved tilsætning af en betonklæber eller -binder. Leverandørens brugsanvisning skal i så fald følges.

- Afdækning af slidlaget er vigtigt, dels for at sikre gode hærdebetingelser og størst mulig styrke af slidlaget, dels for at begrænse det tidlige udtørringssvind. Hvis udtørringssvindet udskydes, vil mørtlens styrke og vedhæftning til underbetonen bedre kunne overføre svindspændingerne.

En afdækningsperiode på 5 - 7 hærdedøgn vil ofte være passende.

Hvis disse forholdsregler tages, vil der være gode muligheder for at undgå problemer med vedhæftningen mellem underbeton og slidlag.

For de færdige tørmørtler kan der gælde specielle forhold, og leverandørens brugsanvisning bør altid følges.

I skemaet side 71 er anført forslag til slidlags- og afretningsmørtler til forskellige formål.

BETON

Tuborg Nord i Hellerup



BETON

432 Park Avenue i Manhattan, New York



Beton med AALBORG WHITE® CEMENT

AALBORG WHITEcement er en hvid cement, som primært anvendes pga. dens farve. Den anvendes til fremstilling af hvid eller lys beton og puds, evt. i kombination med indfarvning.

Anvendelsesområderne spænder over puds, terrazzo, belægningssten, beton-facader, insitu støbte vægge m.v.

Teknisk set adskiller AALBORG WHITE cement sig ikke fra grå portlandcement – bortset fra farven. De krav og principper, man arbejder efter, er også de samme.

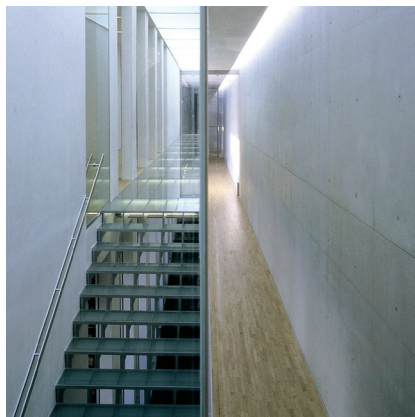
Når der vælges en hvid eller lys indfarvet beton af æstetiske årsager, vil der være mere opmærksomhed på udseendet, og forventningerne hertil vil ofte være højere end til grå beton.

Hvid beton er mere sart over for smuds og forureninger under fremstillingen, og derfor er det særligt vigtigt at være omhyggelig under hele processen.

Hvid beton

Når der er ønske om helt hvid beton, skal man også være opmærksom på farven af de øvrige delmaterialer. Tilslagsmaterialerne skal være lyse eller hvide som f.eks. kvarts eller marmor. Det gælder især sandet, men stenene vil også kunne påvirke farven, og derfor anbefales det at bruge sten af marmor el. lign.

Selv små mængder af tilsætningsstoffer kan påvirke farven, så derfor skal der anvendes lyse eller klare tilsætningsstoffer



Indfarvet beton

Den hvide farve er det bedste udgangspunkt for indfarvning af beton, fordi farverne vil fremstå klarere og renere end med en grå udgangsfarve. Det gælder også for mørke farver, og selv sort beton kan med fordel fremstilles med AALBORG WHITE cement.

Indfarvning kan ske med forskellige typer farvepigmenter, hvoraf de mest anvendte er jernoxider, i farverne sort, rød, gul og forskellige brune og beige nuancer. Herudover findes blå og grønne farvepigmenter af forskellige typer.

Farvepigmenter til beton skal udover at være lysægte også være cement- eller kalkægte, dvs. de skal bevare farven ved høj pH-værdi. Hvis ikke, falmer farven inde i betonen, og konstruktionen vil ikke længere være gennemfarvet.

Doseringsniveau vælges efter leverandørens anvisninger, men vil sædvanligvis skulle fastlægges ved forsøg.

Typiske doseringer vil være 4 - 6 % af cementmængden, og for de fleste farvepigmenter vil der opnås mætning ved en dosering på 6 - 8 % af cementmængden.

Toning i form af okkerfarvet sand har været anvendt til flere større projekter, bl.a. til Parken i København og Elefanthuset i Københavns Zoologiske have.

Flyveaske anvendes sædvanligvis ikke sammen med hvid cement. Hvis der ønskes lyse grålige nuancer, vælger man i stedet at blande den hvide cement med 5 - 15% grå cement.



Blanding og udstøbning

Hvid beton er sart over for selv små mængder forurening under blanding og udstøbning. Det er derfor vigtigt, at al doserings-, transport- og blandeudstyr er rent, og ikke indeholder rester af grå cement eller grå beton. Blander og transportudstyr skal altid vaskes inden produktion af hvid beton startes.

Man skal også være påpasselig med formolie. Den skal være klar eller hvid, og kun påføres i et tyndt ensartet lag, som aftørres inden støbning.

Undgå at støv eller løs rust drysser ned på formsiden og sætter sig i olien.

Hvis overfladen skal pudses eller glittes, skal det ske med plast- eller plastbeklædt værktøj. Stålværktøj vil ved intensiv glitning afsætte et tyndt lag jern, som kan misfarve betonoverfladen.

Udterringsbeskyttelse med forseglingsmiddel bør kun benyttes efter en indledende afprøvning, ellers afdækkes med en ren plastfolie.

Kalkudblomstringer kan forekomme på al beton, og er ikke mere udtalt med AALBORG WHITE cement end med grå cement.

Hvis betonen er hvid, giver det sjældent anledning til de store problemer, da kalkudblomstringerne også er hvide.

På indfarvet beton kan der opstå farvevariationer som følge af kalkudblomstringer. På grå beton opfattes det i højere grad som en naturlig del af de grå nuancer. Se mere herom i afsnittet Kalkudblomstringer, side 101.



Selvkompakterende beton – SCC

Selvkompakterende beton (SCC – Self-Compacting Concrete) er betegnelsen for meget letbearbejdelig beton, der i forhold til traditionel plastisk beton (sætmålsbeton) kræver meget lidt bearbejdning i forbindelse med udstøbningen, i visse sammenhænge slet ingen.

Fordelene ved SCC er mange, men forbedring af arbejdsmiljøet er nok den væsentligste. Vibrationer, rystelser og støj reduceres markant i forhold til traditionelle betonstøbninger. Herudover vil der som regel, i kraft af mindre lønomkostninger, kunne skabes god økonomi i at anvende selvkompakterende beton, også selvom materialeprisen kan være lidt højere.

Beton med flydesætmål over ca. 550 mm vil typisk omtales som selvkompakterende beton. Den øvre grænse vil ligge omkring 700 - 750 mm.

Som ved al anden betonproduktion er det vigtigt, at betonens bearbejdighed og udstøbningsprocessen er tilpasset hinanden.

Ved betonelementproduktion, hvor transporttiden er kort og udstøbningsforholdene veldefinerede, kan der typisk anvendes højere flydesætmål end ved fabriksbetonproduktion.

Det er vanskeligere for fabriksbetonleverandøren at tilpasse betonen de små, men ikke altid ubetydelige forskelle, som forskellige entreprenører praktiserer under udstøbningen. Sammen med varierende transporttider medfører dette behov for mere robuste allround betoner typisk med et flydesætmål op til 600 - 650 mm.

SCC skal som al anden beton opfylde en række krav til styrke, v/c-tal, tilslagskvalitet etc. Grundlæggende sammensættes SCC efter de samme principper, som man benytter ved proportionering af almindelig blødstøbt beton. Det er således de samme parametre der justeres på, når en SCC beton sammensættes.

For SCC's vedkommende er der blot tale om en beton med specielle krav til den friske beton, idet den på samme tid både skal være ekstremt letbearbejdelig og udvise stabilitet under transport og udstøbning.

Et godt udgangspunkt for fremstilling af en stabil SCC-beton er et kemisk indblandet luftindhold på ca. 5-7 %. Dette opnås bedst ved at tilsætte luftindblandingsmidlet før tilsætning af superplast i blandeprocessen.

Som regel foretrækkes sten i klasse A med største stenstørrelse 16 mm til SCC. Større sten øger risikoen for separation og blokering under udstøbning.

SCC skal komprimeres alene ved tyngdekraftens hjælp, evt. suppleret med en meget let bearbejdning af overfladen, en såkaldt jutning.

Hvis koncentrationen af sten er for høj, vil der kunne opstå blokeringer mellem stenene indbyrdes eller i forhold til armeringsjern, og betonen vil ikke opnå den "selvkompaktering", som er hele grundlaget for SCC.

Stenmængden vil være passende, når stenenes indbyrdes afstand i betonen tillader, at betonen flyder/deformerer uden, at stenene blokerer for bevægelsen.

I SCC vil stenmængden derfor typisk være 50 - 100 kg lavere end i en tilsvarende sætmålsbeton, hvor risikoen for blokeringer er mindre, idet vibratoren vil kunne nedbryde eventuelle blokeringer. Sandprocenten vælges derfor typisk 3 - 5 % højere end vist i kornkurverne på side 66.

Hvis stenmængden bliver for høj, vil det medføre dårligere/langsommere flydeegenskaber og risiko for blokering, og hvis stenmængden bliver for lav vil risikoen for separation med en mørtelrig overflade øges.

Det vil også i SCC være en fordel at tilsætte 10 - 15 % af det samlede tilslag som en 4 - 8 mm fraktion (helst ikke for skarpkantet). Det gælder i særdeleshed, hvis sandet, som det ofte er tilfældet, kun indeholder få procent over 2 mm.

Sandets fillerindhold bør ikke være for lavt, gerne 15 - 20 %, og indholdet af cement og flyveaske bør være af størrelsesordenen 375 - 400 kg/m³.

SCC er endvidere behandlet i Beton-Teknik: *Selvkomprimerende beton - SCC*.

Restfugt og selvudtørrende beton

Ved byggerier, hvori der indgår betongulve med fugtfølsomme belægninger, er betonens restfugt en vigtig egenskab.

Udtørring af hærdnet beton er en langsom og vanskelig forudsigelig proces, og det er vanskeligt at måle den relative fugtighed i betonen, ikke mindst i praksis. Temperaturen har således stor betydning for den relative fugtighed i betonen og det er sjældent muligt at måle ved f.eks. 20 °C, som sædvanligvis er reference-temperaturen.

Selvom måling af restfugt kan være behæftet med stor usikkerhed, bør man altid fortage kontrolmålinger, med udstyr, man har erfaringer med.

Restfugt og betonkvalitet

Stærke betoner er meget tætte, og udtørringen af det overskydende vand (rest-fugt) sker derfor kun langsomt. Svagere betoner er mindre tætte, men indeholder til gengæld mere overskydende vand, så selv om fugten har lettere ved at undslippe, tager det lang tid pga. den større vandmængde.

Meget svage og porøse betoner vil sjældent være løsningen, da der af andre årsager ønskes gode og holdbare betoner. Det er derfor mere nærliggende at tilstræbe mindst mulig eller slet ingen restfugt i den hærdnede beton, f.eks. ved anvendelse af selvudtørrende beton.

Betydningen af betonsammensætningen, især vand/cement-forholdet er illustreret i det efterfølgende eksempel, idet vandets forskellige faser i betonen indledningsvis omtales.

Cementen binder under hydratiseringen ca. 25 % af sin vægt som kemisk bundet vand i hydratiseringsprodukterne, som beskrevet i Hærdeteknologi I. Dette vand er ikke-fordampligt ved temperaturer under 100 °C.

Herudover adsorberes der på hydratiseringsprodukternes overflader en vandmængde svarende til ca. 15 % af cementens vægt. Dette vand er principielt fordampligt, men først ved lave damptryk i betonens poresystem, eller ved stigende temperatur på op til ca. 100 °C.

Den samlede tilsatte vandmængde minus ca. 40 % af cementmængden vil derfor findes som kapillarvand, og vil opføre sig som vand normalt gør. Der vil således opretholdes en relativ luftfugtighed (RF) i betonens poresystem på tæt ved 100 %, indtil kapillarvandet er udtørret til omgivelserne.

Eksempel

En beton med 150 l vand og 215 kg cement pr. m^3 (v/c 0,70) vil efter et par måneder indeholde $150 - (215 \times 0,40) = 64$ liter frit vand pr. m^3 .

Tilsvarende vil en beton med 150 l vand og 333 kg cement pr. m^3 ($v/c = 0,45$) indeholde $150 - (333 \times 0,40) = 17$ liter frit vand pr. m^3 .

Det absorberede vand i tilslaget vil også bidrage til poresystemets fugtighed, og en forskel i absorption på klasse A materialer og klasse P materialer på 2 % er ikke ualmindelig.

Det betyder, at der med ca. 1800 kg tilslag pr. m^3 kan være en forskel på 36 kg vand, som skal transporteres ud af betonen før fugtigheden falder under 100 %. Absorptionsvandet kan altså udgøre et væsentligt bidrag til den restfugt, der skal udtørre til omgivelserne.

For konstruktioner, hvor lav restfugt er afgørende, bør der derfor anvendes tilslag med lav absorption – typisk klasse A materialer.

Endelig er der risikoen for, at der kan tilføres fugt udefra i byggeperioden. Det kan få konsekvenser senere i byggeriet, hvis det overses.

Selvudtørring

Ved at sænke v/c -forholdet til 0,40 eller lavere kan tilstedeværelsen af frit vand helt elimineres, idet betonen er selvudtørrende. Jo lavere v/c -forhold, jo hurtigere vil det frie vand være opbrugt, og jo lavere fugtighed vil der være i betonen.

Tilsætning af mikrosilica har ved de fleste undersøgelser vist sig at have en gunstig indflydelse på dette forløb. For beton med mikrosilica og lavt v/c -tal ($< 0,35 - 0,40$), vil man som følge af selvudtørring kunne nå ned på 80-85 % relativ fugtighed i betonen.

I modsætning til udtørring til omgivelserne af overskydende vand, kan selvudtørringsforløbet forudsiges med større sikkerhed. Fugttransport, som ellers er det dominerende bidrag til usikkerheden, er uden betydning ved selvudtørring.

Ved udtørring til omgivelserne kan man ved opvarmning og affugtning påvirke udtørringshastigheden, men ved betontykkelser på 10-15 cm, er der en meget lang transportvej til overfladen. Selvudtørring sker derimod overalt i betonen, og afhænger for en given beton kun af modenheten, det vil sige af tid og temperatur.

En anden fordel ved de selvudtørrende og meget tætte betoner er, at en evt. restfugt vil afgives så langsomt, at det vil kræve minimal ventilation eller permeabilitet i belægningen, for at den afgivne fugt kan slippe væk, uden at fugten ophobes. Dette kan f.eks. udnyttes ved trægulve, hvor der stilles meget skrappe krav til betonens restfugt.

Selvudtørrende betoner vil rent materialemæssigt være lidt dyrere end traditionelle betoner, men i forhold til de forsinkelser af byggeprocessen, som man dermed undgår, er denne merudgift i de fleste tilfælde uden betydning.



Reparationsarbejder

Ved reparationsarbejder er det vigtigt at fastlægge skadesårsagen, så skaden ikke opstår igen efter reparationen. Det er altafgørende for resultatet, at der sker en omhyggelig afrensning og borthugning af al skadet beton, og at den rengjorte overflade fremstår så ru som muligt.

Ved valg af reparationsbeton bør største stenstørrelse vælges så stor som muligt, dog højst $\frac{1}{3}$ af reparationslagets tykkelse. Styrken af reparations betonen skal vælges, så den svarer til styrken af den beton som repareres, evt. en styrkeklasse højere.

Der findes på markedet en række produkter til reparationsformål. Som hovedregel bør cementbaserede produkter anvendes til reparation af beton og man bør kun anvende kunststofbaserede produkter, hvor der er tale om en afsluttende overfladebehandling.

Den gamle beton skal være fugtig inden reparationsbetonen påstøbes. Vedhæftningen mellem gammel og ny beton kan evt. forbedres ved at foretage en svumning af overfladen med en lind cementmørtel (1 del cement : 1 del sand). Tilsætning af en betonbinder til svummemørtlen kan yderligere forbedre vedhæftningen.

Det er meget vigtigt, at betonen udstøbes "vådt i vådt" i den påsmurte svummemørtel. Når reparationen er foretaget, er det vigtigt at beskytte betonen mod udtørring med plastfolie el.lign., som beskrevet tidligere.



Specielle anvendelser af beton

Det meste af den beton, som anvendes i Danmark, blandes og udstøbes i en blød plastisk (ofte letflydende) konsistens, men der findes en række andre anvendelser, som kræver specialviden, og derfor kun omtales kort.



Fliser, belægningssten og rør

Fliser, belægningssten, rør o.l. fremstilles på grundlag af en meget stiv og lidt-bearbejdelig beton, såkaldt jordfugtig beton. Denne beton udstøbes og komprimeres i specialmaskiner, som under et højt og vibrerende tryk komprimerer betonen til et tæt og formstabilt produkt, som umiddelbart kan afformes. Herefter kan produktet stilles til hærkning, hvor det i løbet af få døgn opnår meget høj styrke og tilsvarende god holdbarhed.

Glasfiberbeton

Glasfiberbeton er en anden betontype, hvor en letbearbejdelig cementpasta eller cementmørtel sprøjtes med stor kraft mod en form, samtidig med at der i strålen tilføres meget fine glasfibre, som armerer emnet. Der er fortrinsvis tale om tyndvæggede emner til beklædningsplader, altanbrystninger, havemøbler m.v., og i kraft af glasfibrene og emnets dimensioner opnås en høj grad af elasticitet og en god bøjningsstyrke.

Letbeton

Letbeton kan fremstilles efter forskellige principper. Fælles for dem alle er, at der indbygges et større volumen af porøsiteter/luft i betonen, og derved opnås en lav densitet eller rumvægt. Den mest almindelige metode er at erstatte sand og/eller sten med lette porøse tilslag og dermed reducere betonens densitet.

Derved kan opnås densiteter i området 600 kg/m^3 (typisk letklinkerblokke) over $1200 - 1800 \text{ kg/m}^3$ (typisk letbetonelementer) og op til 2000 kg/m^3 , som er nedre grænse for den traditionelle beton.

Alternativt kan porøsiteten skabes ved en udvikling af brint i betonen (en fin-mørtel), som derved hæver som gærbrød, og kan opnå densiteter helt ned til 300 kg/m^3 . Dette princip betegnes porebeton.

Generelt gælder det for letbeton, at styrkerne er tilsvarende lave.

Tung beton

Tung beton anvendes især i forbindelse med strålingsbeskyttende konstruktioner ved røntgenanlæg på sygehuse o.l. Herudover kan det ved anvendelse af beton til ballastformål være ønskelig med høj densitet og mindre volumen.

Ved fremstilling af tung beton benyttes tunge tilslagsmaterialer, f.eks. magnetit eller anden jernmalm. Metallisk jern kan også benyttes, f.eks. stålkugler, udstansningsaffald o.l.

Med jernmalm, som findes i densiteter op til ca. 5200 kg/m^3 kan der fremstilles beton med en densitet op til ca. 4300 kg/m^3 , med stålkugler op til ca. 5500 kg/m^3 .

MØRTEL

• Muremørtel	130
Valg af cement til KC mørtler	132
Blandingsforhold	132
• Murearbejde	134
Opmuring	134
Afsyring	134
Fugning	135
Pudsning og filtsning	135
Nyttige muretips	136

Muremørtel

Murværk er underlagt normen for murværkskonstruktioner DS/EN 1996-1-1 samt det danske tillæg DS/EN 1996-1-1 DK NA. Herudover beskriv DS/EN 998-2 reglerne for fabriksfremstillet mørtel til opmuring og pudsning.

Fabriksfremstillet mørtel er typisk tørmørtler, der kun skal tilsættes vand på byggepladsen.

De kan være funktionsmørtler, med deklarerede egenskaber (åbningstid, styrke etc.) eller de kan være receptmørtler fremstillet efter en bestemt recept, f.eks. KC-mørtler.

Det er producentens ansvar, at de deklarerede egenskaber og sammensætninger opnås, og disse mørtler er ikke yderligere behandlet her, idet der henvises til producentens brugsanvisning.

Fabriksfremstillet muremørtel skal være CE-mærket iht. EN 998-2.

Byggepladsfremstillet muremørtel vil være receptmørtler, typisk KC-mørtler.

De benyttede delmaterialer (cement, sand, kalkmørtel) skal være CE mærket, men den færdige mørtel skal/kan ikke være CE mærket.

En receptmørtel er fremstillet efter en bestemt recept, f.eks. en kalkcement-mørtel (KC-mørtel). Betegnelsen KC 35/65/650 angiver således et vægtblandings-forhold på 35 andele kalkhydrat, 65 andele cement og 650 andele tørt sand.

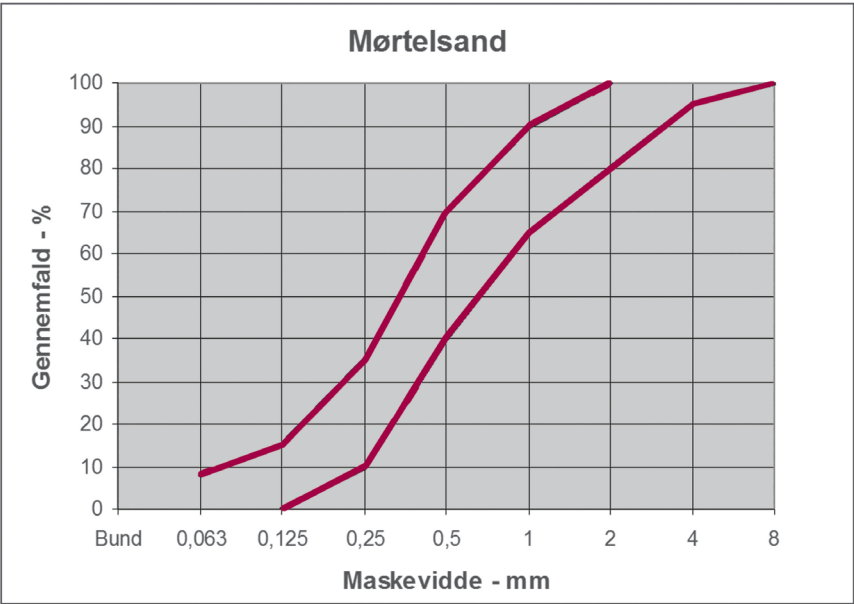


DS/EN 1996-1-1 DK NA anfører vejledende konservative styrkeegenskaber for en række recept-mørtler, jf. nedenstående skema.

Vejledende styrker for receptmørtler, jf. DS/EN 1996-1-1 DK NA

Receptmørtel	Trykstyrke MPa	Bøjningstrækstyrke MPa
KC 60/40/850	ML 0,8	0,2
KC 50/50/700	MC 0,9 / ML 1,8	0,5
KC 35/65/650	MC 2,0	0,6
KC 20/80/550	MC 4,5	1,5

Betegnelserne ML og MC angiver om mørtlens primære bindemiddel er kalk (ML) eller cement (MC). Forudsætningen for skemaet er, at delmaterialerne opfylder visse krav i DS/EN 1996-1-1 DK NA, herunder at cementen er mindst styrkeklasse 42,5, og at sandets kornkurve ligger i intervallet vist i nedenstående figur.



Grænsekurver for sand til receptmørtel

Valg af cement til KC-mørtler

Mørtlens indhold af kalkhydrat bidrager stort set ikke til styrkeudviklingen under vinterforhold, så cementens bidrag kan være afgørende.

Med hensyn til frostbestandighed, vil det derfor være en fordel ved at benytte RAPID AALBORG CEMENT eller BASIS AALBORG CEMENT om vinteren. Det allervigtigste er dog, at murstenene opbevares tørt og frostfrit, så de kan suge så meget vand ud af mørtlen, at den bliver frostsikker. Det relativt lave cement indhold, der er i en KC-mørtel, kan ikke i sig selv gøre mørtlen frostsikker.

Efter opmuring skal murværket beskyttes mod regn og sne indtil tagkonstruktion og udhæng er etableret. Derved sikres et lavt fugtindhold i fugerne, så de ikke fryser i stykker, hvis der kommer frost.

Cementen til en facade bør købes på én gang. For at undgå farvevariation er det vigtigt, at de forskellige blandinger udføres med samme sandmateriale og med ensartet vandindhold.

Blandingsforhold

Receptmørtler kan være fabriksfremstillede (tørmørtel, hvis cement indgår) eller fremstillet på byggeplads.

Fabriksfremstillede receptmørtler skal som funktionsmørtlerne kun tilsættes vand på byggepladsen.

Byggepladsfremstillet KC mørtel fremstilles på basis af en kalktilpasset mørtel, dvs. en kalkmørtel med et kalkindhold, som svarer til kalkindholdet i den ønskede receptmørtel. En KC 35/65/650 kan således fremstilles af en 5,1 % kalkmørtel $(35/(35+650) \times 100 \%)$.

En KC 35/65/650 opnås derefter ved tilsætning af 65 vægtandele cement til 685 vægtandele tør kalkmørtel (650 andele sand og 35 andele kalkhydrat).

I praksis vil kalkmørtlen som regel være våd, og ved afvejning skal der således korrigeres for mørtlens vandindhold.

Det er imidlertid sjældent, at materialerne afmåles ved vejning. De afmåles i stedet efter rumfang, idet materialernes bulkdensitet benyttes til et omregnet volumen-forhold. Denne fremgangsmåde har været benyttet siden KC mørtlen blev opfundet, men reglerne i DS/EN 1996-1-1 DK NA foreskriver, at tørmassen af det enkelte delmateriale kun må afvige 5 % fra det tilstræbte indhold.

Dette krav vil vanskeligt kunne overholdes ved afmåling efter rumfang.

Kalkindholdet i forhold til sandet vil være afvejet fra mørtelværkets side, men cementen vil ikke kunne doseres med en nøjagtighed på 5 % ved volumen dosering.

Blandingsforhold for forskellige KC-mørtler

Anvendelse	Miljø- klasse	Mørteltype	Anvendt kalkmørtel	Blandingsforhold efter vægt cement : kalk- mørtel	Blandingsforhold efter vægt kg cement pr. 100 l mørtel	Blandingsforhold efter rumfang cement : kalkmørtel
Ikke bærende murværk. Indvendig puds.	Passiv	KC 60 / 40 / 850	6,6 %	1 : 26	6,4	1 : 19
Bærende murværk.	Moderat	KC 50 / 50 / 700	6,6 %	1 : 17	9,8	1 : 13
Udvendig puds, sokkelpuds, fugning, tagstrygning.		KC 35 / 65 / 650	5,1 %	1 : 12	13,9	1 : 9
Svært belastet murværk. Udvendig puds, sokkelpuds, fugning, tagstrygning.	Aggressiv	KC 20 / 80 / 550	3,5 %	1 : 8	20,5	1 : 6

Ovenstående tabel er gældende for blanding af kalkmørtel med en vådrumvægt på 1700 kg/m³ og et vandindhold på 16 %.

Beregning af cementtilsætningen til kalktilpassede mørtler kræver kendskab til kalkmørtelens våd densitet og vandindhold. Mørtelværkerne råder over tabeller, hvoraf cementtilsætningen kan bestemmes – enten i liter pr. 100 liter mørtel eller i kg pr. 100 liter mørtel.

Murearbejde

Opmuring

Under opmuring er det vigtigt, at stenenes sugsevne og mørtlens konsistens og evne til at holde på vandet spiller rigtig sammen. Når skifte på skifte kan opmures og murværket fortsat kan være stabilt, skyldes det ikke mørtlens hærdning. Det skyldes stenenes sugning af vandet fra mørtlen, som derved suges "død".

I varme og tørre perioder kan der være risiko for, at dette sker inden stenene er rettet helt til. Hvis man efterfølgende retter på stenene, vil det gå ud over vedhæftningen mellem sten og mørtel. Derfor kan der være behov for at forvande stenene i varme og tørre perioder, for derved at mindske sugningen.

I regnfulde perioder kan problematikken være den modsatte, og det er derfor vigtigt at holde stenene så tørre som muligt for at opretholde en passende høj sugsevne.

I månederne op til vinteren er det særligt vigtigt, at få sænket restfugten i mørtlen ved hjælp af stenenes sugning. Der sker i denne periode kun lidt eller ingen udtørring til omgivelserne, og hvis restfugten i mørtlen er for høj, når frosten sætter ind, vil det kunne medføre frostskaader på mørtlen. Hvis stenene er meget våde, kan de også frostskaades.

Murværket skal efter opmuring altid afdækkes, således det er beskyttet for regn, frost og sol. Det bør ske indtil bygningens udhæng kan beskytte murværket.

Afsyring

Det bedste er at mure så rent, at afsyring helt kan undgås. Hvis der skal afsyres, er det vigtigt, at alle større mørtelrester fjernes med en stiv børste eller lignende. Jo mere mørtel, der sidder tilbage, jo mere skal opløses af syren med risiko for at blive kostet ud over stenoverfladen.



Tidspunktet for afsyring skal tilpasses vejrforholdene, men det skal sædvanligvis foretages i intervallet 5 - 24 timer efter opmuring – hurtigst i varme perioder.

Tidligere anbefalede man en grundig forvanding inden afsyring for at undgå, at de opløste mørtelrester blev suget ind i sten overfladernes porer. Der er imidlertid en

del eksempler på skader som følge af for meget fugt i murværket, og i dag anbefaler man derfor ikke forvanding.

Der anvendes sædvanligvis saltsyre i blandingsforholdet 1 del 30 % saltsyre : 20 dele vand. Det anbefales at købe syren færdigblandet i det nævnte blandingsforhold. Undgå at anvende saltsyre indendørs, og visse stentyper tåler heller ikke afsyring med saltsyre.

Den afsluttende skylning af murværket undlades sædvanligvis også af samme årsag som førnævnt.

Fugning

Traditionel fugning består af en udkradsning af opmuringsmørtlen i en dybde på 15 - 20 mm med efterfølgende fugning – ofte med en lidt stærkere mørtel end opmuringsmørtlen.

Forud for fugningen forvandes muren til en passende sugsevne er opnået.

Meget murværk opmures i dag med fyldt og trykket fuge. Forudsætningen for at opnå samme gode kvalitet, som med den traditionelle fugning, er at fugen trykkes og glattes med en fugeske under opmuringen, og ikke blot skrabes ren med kanten af murskeen.

Den trykkede fuge vil være både tættere og glattere i overfladen, og holdbarheden tilsvarende bedre.

Pudsning og filtsning

Forud for pudsning eller filtsning skal murværket fejles rent for mørtelrester og forvandes til passende sugsevne. Sugsevnen skal være så god, at pudset eller udkastet bliver suget fast på muren og opnår en god vedhæftning. Hvis sugningen er for kraftig kan det være et problem at nå at pudse eller filtse inden mørtlen sætter sig. Herudover vil det især for de cementrige mørtler være et problem, hvis mørtlen tørrer så kraftigt, at cementens hærdning går i stå.

Meget pudsning foretages i dag som tyndpudsning eller filtsning med synlige stenkoturer.



Til filtsning, sækkeskuring o.l. vil en KC 50/50/700 eller en KC 35/65/650 (til mere udsatte overflader) sædvanligvis være velegnet.

Mørtlen trækkes på i en lidt blød konsistens og suges fast til murværket. Herefter skrubes det overskydende mørtellag af og overfladen filtses med et filtsebræt.

Metoderne vand- og sækkeskuring følger stort set samme fremgangsmåde, blot benyttes der ved vandskuring en blød mursten og ved sækkeskuring en jutesæk el. lignende.

I praksis bruges begreberne ofte lidt i flæng, men filtsning er nok det mest anvendte. Her er filtet på brættet efterhånden udskiftet med skumgummi, uden at metoden af den grund har ændret navn.

Tyndpuds er ofte fabriksfremstillede produkter, som kun skal tilsættes vand på byggepladsen. De påføres og behandles næsten som ved en filtsning, dog tilstræber man sædvanligvis et tyndt mørtellag over hele overfladen. Tyndpuds kan f.eks. være farvede.

Ved egentlig pudsning påføres pudslaget ofte i 2 eller 3 lag.

Ved udvendige pudseopgaver foretages der først udkastning med en forholdsvis blød og stærk mørtel. Det skal sikre bedst mulig vedhæftning til murværket. Herpå trækkes grovpudsen på, afrettes og pudsas. Der kan evt. afsluttes med en finpuds.

Ved indvendige pudsopgaver springer man udkastningen over og starter direkte med grovpudsen, som trækkes på med et trækbræt, afrettes og pudsas. Her kan også afsluttes med en finpuds.

Nypudsede overflader bør beskyttes mod solindfald og udtørring i de første døgn.

Nyttige murer tips

Det er sommerperioderne med sol, vind og varme samt vinterperioderne med frost og sne, som forårsager de største problemer og skader på murværk.

I sommerperioden er det tørre og varme sten, varm mørtel samt udtørring af det færdige murværk, som giver problemer. Forvandt derfor stenene inden opmuring og sørg for, at stenene



står i skygge eller afdækkes med en lys presenning eller lignende, så solopvarmning minimeres.

Opbevar mørtel og cement i skyggen og undgå at benytte vand, der er opvarmet i slangerne, som ligger i solen. Isolér evt. slangerne eller dæk dem til.

Beskyt den færdige mørtel og baljer på samme måde. Mørtelblandingerne kan evt. gøres lidt mindre, så de kan nå at blive brugt, inden de stivner i baljen. Tilsæt aldrig ekstra vand til en mørtel der er blevet for stiv. Hvis der mures med fyldt trykket fuge, skal fugen trykkes og færdiggøres hurtigst muligt. Beskyt det færdige murværk mod solopvarmning og udtørring.

I vinterperioden er det våde og kolde sten, frosne materialer m.v., som giver problemer. Stenene opbevares under presenning og evt. isolering for at holde dem så tørre og varme som muligt. Det bør ske umiddelbart efter modtagelsen. Forbered evt. opvarmning af stenene, hvis det skulle blive frostvejr.

Den fremstillede mørtel holdes tempereret ved anvendelse af varmt blandevand. Med vådmørtel skal mørtlen afdækkes med isolerende måtter eller lignende, så den holdes tempereret.

I tilfælde af nattefrost kan blandemaskinen opvarmes med varmt vand inden den første blanding. Murebaljerne kan evt. isoleres, så der holdes på varmen.

Benyt ikke sprit som frysepunktssænkende middel i cementholdige muremørtler, da det retarderer cementens hydratisering.

Der kan godt mures i let frost, blot stenene og mørtlen er tempereret (5-10 °C). Der må aldrig mures med frosne sten, og de bør også være tørre.

Visse hårdtbrændte stentyper samt letklinkerblokke har i forvejen en meget lav sugning. Det kræver særlig påpasselighed i vinterperioden, da murværkets stabilitet og frostbestandighed er helt afhængig af stenenes sugning.

Ved større mureopgaver kan et tildækket stillads være en mulighed.

Beskyt det færdige murværk mod nedbør og frost.

Generelt gælder det naturligvis, at cement og cementholdige tørmørtler skal opbevares tørt.

OPSLAG

• Cement oversigter	140
Cementtyper	140
Cementegenskaber	141
Cementbetegnelser	142
Styrkeudviklingsforløb	143
Levering af cement	143
• Beton oversigter	144
Receptforslag til beton	144
Blandingsforhold	145
• Mørtel oversigter	146
Materialeforbrug	146
Blandingsforhold	147
• Sikkerhedsdatablade	148
• Litteraturliste	157

CEMENT OVERSIGTER

Aalborg Portland fremstiller følgende 6 cementtyper:

Aalborg Portland cement	Anvendelse	Levering			
		25 kg sække	1000 kg bigbags	1500 kg bigbags	Løs vægt
FUTURECEM CEMENT	Alm. forekommende betonopgaver, herunder vægge, fundamenter og gulve samt diverse mørtler til opmuring og pudsning.	•	•	•	•
BASIS AALBORG CEMENT	Alm. forekommende betonopgaver, herunder vægge, fundamenter og gulve samt diverse mørtler til opmuring og pudsning.	•	•	•	
RAPID CEMENT	Alm. forekommende betonopgaver, herunder vægge, fundamenter og gulve samt diverse mørtler til opmuring og pudsning.	•	•	•	•
BASIS CEMENT	Betonelementer, betonvarer, herunder belægninger, rør og blokke, samt diverse tørmørtel produkter.		•		•
AALBORG SOLID CEMENT	Anlægskonstruktioner, som broer, tunneller, vandbygningskonstruktioner, svømmebade m.v.		•	•	•
AALBORG WHITE CEMENT	Til hvide eller farvede betonkonstruktioner, f.eks. facader, brystninger, gesimser, belægninger samt lyse eller indfarvede mørtler til pudsning eller filtning.	•	•	•	•

Cementegenskaber

Cementtype	Cementbetegnelse	Densitet		Afbinding*	Cementstyrker**			
		Bulk kg/m ³	Absolut kg/m ³		1 døgn	2 døgn	7 døgn	28 døgn
FUTURECEM CEMENT	CEM II/B-M (Q-LL) 52,5N (LA)	1050	3020	2:40	16	29	45	63
BASIS AALBORG CEMENT	CEM II/A-LL 52,5 N (LA)	1070	3115	2:80	19	32	49	58
RAPID CEMENT	CEM I 52,5 N (MS) (LA)	1160	3140	2:20	23	36	55	67
BASIS CEMENT	CEM II/A-LL 52,5 R (LA)	1070	3115	2:10	28	42	56	67
AALBORG SOLID CEMENT	CEM II/A-V 42,5 N (EA)	1100	3050	2:50	8	17	30	56
AALBORG WHITE CEMENT	CEM I 52,5 N SR (EA)	1070	3100	2:25	22	44	60	72

*) iht. DS/EN 196-3, **) iht. DS/EN 196-1

Cementens styrkeegenskaber er bestemt under idealiserede forhold i laboratorier, og værdierne kan ikke umiddelbart overføres til beton med helt andre sammensætninger.

Jo lavere cementstyrke, jo mere cement vil der dog skulle anvendes for at opnå samme betonstyrke.

Tallene 52,5 og 42,5 indgår i cementtypen som udtryk for cementstyrken, (nedre værdi for cementens 28 døgns styrke).

Cementbetegnelser samt klassifikation af sulfatbestandighed, alkaliindhold og kromatindhold

Cementerne fra Aalborg Portland er alle CE-mærkede. Mærkningen indeholder en typebetegnelse, en styrkeklasse og en sulfatbestandighedsmærkning iht. DS/EN 197-1, samt mærkning for alkaliindhold og sulfatbestandighed iht. DS/INF 135.

Denne mærkning kræves for alle cementer, som anvendes i Danmark.

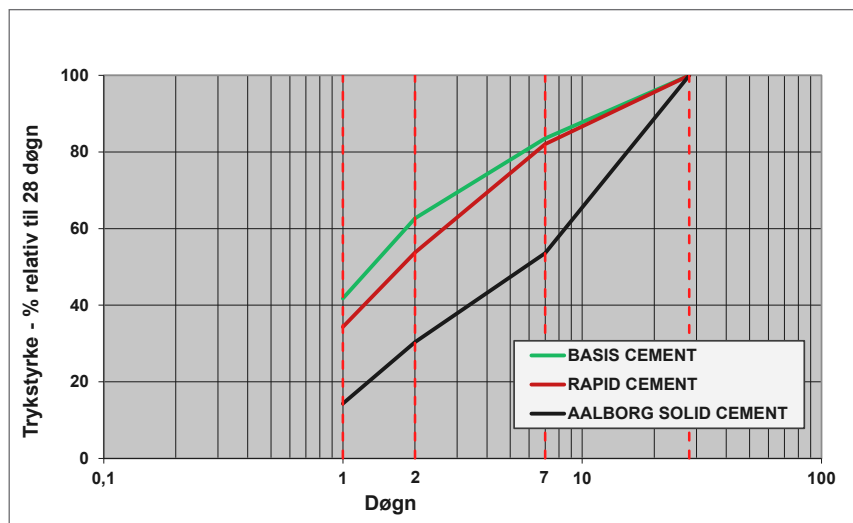
Alle cementtyper fra Aalborg Portland er CE-certificeret og mærket med nummer: **0615-CPR-9806**.

Cementbetegnelsen indeholder en typebetegnelse, en styrkeklasse samt en mærkning iht. DS/INF 135.

Typebetegnelse CEM I CEM II/A-LL CEM II/B-M (Q-LL) CEM II/A-V	Portlandcement Portlandkalkstenscement Portlandkompositcement Portlandflyveaskecement	
Styrkeklasse 42,5 N 52,5 N 52,5 R	Minimum styrke: 10 MPa v. 2 døgn / 42,5 MPa v. 28 døgn 20 MPa v. 2 døgn / 52,5 MPa v. 28 døgn 30 MPa v. 2 døgn / 52,5 MPa v. 28 døgn	Maksimum styrke: 62,5 MPa (v. 28 døgn)
Alkaliindhold EA LA MA HA	Ekstra lavt alkaliindh. Na_2O -ækv. $\leq 0,4 \%$ Lavt alkaliindhold Na_2O -ækv. $\leq 0,6 \%$ Moderat alkaliindhold Na_2O -ækv. $\leq 0,8 \%$ Højt alkaliindhold Na_2O -ækv. $> 0,8 \%$	
Sulfatbestandighed SR (X) MS	Sulfatbestandig - C_3A indhold $\leq X \%$ (CEM I) Moderat sulfatbestandig - CEM I med C_3A indhold $\leq 8 \%$ Moderat sulfatbestandig - CEM II/V med et flyveaskeindhold på mindst 15 %	

Eksempel: RAPID CEMENT med et C_3A indhold under 8 %, et alkaliindhold under 0,6%, og styrkeklasse 52,5 med 2 døgn's styrker, som kan ligge under 30 MPa har derfor betegnelsen CEM I 52,5 N (MS) (LA).

Styrkeudviklingsforløb



Ovenstående diagram viser styrkeudviklingsforløbet for 3 cementtyper, hvor 28 døgnns styrkerne for hver af cementerne er sat til 100 %.

Bemærk, at diagrammet viser relative styrker. 28 døgnns styrken for de 3 cementer er således ikke ens.

De absolutte styrker ved 1, 2, 7 og 28 døgn findes i tabellen på side 141.

Levering af cement

Alle produkter bortset fra BASIS AALBORG CEMENT kan leveres som løs cement. Leveringen foregår direkte til forbrugernes siloer med tankbil. Løs cement leveres fra siloanlæg placeret decentralt i landet.

Pakket cement leveres af tømmerhandlere og byggemarkeder over hele landet. Se nærmere på www.aalborgportland.dk.

BETON OVERSIGTER

Receptforslag til beton

Anvendelse		Miljø- klasse	Styrke- klasse	V/C - max	Cement kg	Vand liter	Sand kg	Sten kg	Luft
Altanplader, P-dæk, svømme- bade, søjler og kantbjælker på broer, marine konstruktioner i splashzone		E	40	0,40	446	165	634	1000	6 - 7 %
Udvendige dæk, og bjælker, parkeringsdæk, støttemure, lyskasser, udvendige trapper, kælderydervægge delvis over terræn		A	35	0,45	393	165	653	1025	6 - 7 %
Fundamenter delvis over terræn, udvendige vægge, facader og søjler, udvendige bjælker med konstruktiv beskyttet overside, ingeniørgange		M	30	0,55	320	155	732	1035	6 - 7 %
Konstruktioner i indendørs tørt miljø f.eks. gulve, jorddækkede fundamenter i lav eller normal sikkerheds- klasse	Gulve udsat for kraftigt slid	P	35	0,48	353	160	699	1025	3 - 4 %
		P	30	0,53	317	160	703	1050	3 - 4 %
	Gulve udsat for moderat slid	P	25	0,60	282	160	732	1050	3 - 4 %
	Gulve udsat for let slid, undergulve for slidlag	P	20	0,68	248	160	710	1100	3 - 4 %
	Undergulv for afretningslag	P	16	0,76	221	160	733	1100	3 - 4 %
	Fundamenter til parcelhuse og lignende	P	12	0,86	193	160	755	1100	3 - 4 %
	Klappag, renselag	P	8	0,99	167	160	777	1100	3 - 4 %

Forudsætninger

Der anvendes FUTURECEM, RAPID eller BASIS cement. Der anvendes tilslagsmaterialer af god kvalitet med største stenstørrelse 16 mm og med en passende kornstørrelsesfordeling.

De anførte v/c-forhold er øvre grænser.

Betonen frestilles i sætmål ca. 100 mm.

Der benyttes egnede luftindblandings- og plastificeringsmidler.

Der udøves god håndværksmæssig praksis.

Blandingsforhold for beton

Anvendelse	Blandingsforhold efter rumfang		Forbrug pr. m ³ beton				Forventet trykstyrke MPa
	Cement : sand : sten	Cement : støbemix	Cement kg	Sand m ³	Sten m ³	Støbemix m ³	
Betongulve udsat for kraftigt slid. Gulve i stier og båse. Vægge og gulve udsat for vandtryk. Udendørs belægninger	1 : 1,5 : 2,5	1 : 3,5	360	0,5	0,8	1,1	40
Betongulve med almindeligt slid. Udendørs konstruktioner	1 : 2 : 3	1 : 4	300	0,5	0,8	1,1	30
Gulve til lettere færdsel. Underbeton til slidlag, klinker o.l. Indendørs konstruktioner	1 : 2,5 : 3,5	1 : 5	260	0,6	0,8	1,2	25
Fundamenter i større bygninger. Udstøbning i fundamentblokke	1 : 3 : 4	1 : 6	220	0,6	0,8	1,2	20
Fundamenter til parcelhuse	1 : 3,5 : 5	1 : 7	190	0,6	0,8	1,2	12
Klappag, renselag	1 : 4 : 6	1 : 8	160	0,6	0,8	1,2	8

Vejledende blandingsforhold for slidlags- og afretningsmørtel

Anvendelse	Blandingsforhold		Materialeforbrug pr. m ³		Forventet trykstyrke MPa
	Efter vægt	Efter rumfang	Cement kg	Sand m ³	
Kælder, garage	Cement : sand 1 : 4	Cement : sand 1 : 3,25	370	1,30	20
Afretningslag til anden belægning. Slidlag i fodergange	1 : 3,5	1 : 3	410	1,20	25
Industrihaller Lagerhaller	1 : 3	1 : 2,5	460	1,20	30
Slidlag i stier og båse	1 : 2,5	1 : 2	540	1,20	35

Note:

Ved levering af sand (især) og sten er materialerne løsere pakket end i den komprimerede beton. Tilsvarende vil sandet lejres mellem stenene, og cementen mellem sandet. Dette er årsagen til at de samlede volumener i skemaerne overstiger 1 m³.

MØRTELOVERSIGTER

Materialeforbrug for muremørtler

Mursten	Murtykkelse i sten 5,5×23×11 cm	½	1	1½	2
	Mørtel til 1000 sten (hl)	7	7	7	7
	Mørtel pr. m ² mur (hl)	0,4	0,8	1,2	1,6

Bloksten	Murbredde cm	10	20	25	30
	Mørtel til 100 blokke m. fyldt fuge (hl)	0,9	1,6	2,0	2,5
	Mørtel pr. m ² mur m. fyldt fuge (hl)	0,1	0,16	0,2	0,25

Blandingsforhold for forskellige KC-mørtler

Anvendelse	Miljø- klasse	Mørteltype	Anvendt kalkmørtel	Blandingsforhold efter vægt cement : kalk- mørtel	Blandingsforhold efter vægt kg cement pr. 100 l mørtel	Blandingsforhold efter rumfang cement : kalkmørtel
Ikke bærende murværk. Indvendig puds.	Passiv	KC 60 / 40 / 850	6,6 %	1 : 26	6,4	1 : 19
Bærende murværk.	Moderat	KC 50 / 50 / 700	6,6 %	1 : 17	9,8	1 : 13
Udvendig puds, sokkelpuds, fugning, tagstrygning.		KC 35 / 65 / 650	5,1 %	1 : 12	13,9	1 : 9
Svært belastet murværk. Udvendig puds, sokkelpuds, fugning, tagstrygning.	Aggressiv	KC 20 / 80 / 550	3,5 %	1 : 8	20,5	1 : 6

Ovenstående tabel er gældende for blanding af kalkmørtel med en vådrumvægt på 1700 kg/m³ og et vandindhold på 16 %.

Beregning af cementtilsætningen til kalktilpassede mørtler kræver kendskab til kalkmørtelens våddensitet og vandindhold. Mørtelværkerne råder over tabeller, hvoraf cementtilsætningen kan bestemmes – enten i liter pr. 100 liter mørtel eller i kg pr. 100 liter mørtel.

Sikkerhedsdatablad

Udarbejdet 18-05-2021
Revision: (dato) 05-04-2022
SDS-version 1.1

PUNKT 1: Identifikation af stoffet/blandingen og af selskabet/virksomheden

1.1. Produktidentifikator

Handelsnavn: Portland cementer
Produkt-nr.: -
3A8E-UVJ3-D202-KDSK (BASIS® cement)
PGGA-QVA4-3206-3122 (BASIS® AALBORG CEMENT®)
1XYN-0RD3-N50C-D9D6 (Element Cement)
4DG0-9NF3-680H-NJQA (RAPID® cement, RAPID® AALBORG CEMENT®)
Sigtet RAPID® AALBORG CEMENT®
UF1: FUYA-KHH2-RC0P-WU1F (LAVALKALI
SULFATBESTANDIG cement®)
5SY0-59N1-VJ01-FCPQ (HVID cement til specielle anvendelser)
U5G1-1XU0-HT0J-85P3 (GRÅ CEMENT 42,5)

1.2. Relevante identificerede anvendelser for stoffet eller blandingen samt anvendelser, der frarådes

Anbefalede anvendelser:

Bindemiddel for naturlige og kunstigt fremstillede tilslagsmaterialer i form af sand, grus og sten ved fremstilling af mørtel, puds og beton. Produkterne har gennemgået en anti-chromeksem-proces. Den sikrer, at EU's krævede maksimale værdi for opløselig chrom (VI) i cement på 2 mg/kg i min. 2 mdr. under normale og tørre lagringsforhold overholdes. Holdbarheden regnes fra leveringsdato for løs cement og fra pakkedato for pakket cement. For pakket cement er holdbarheden forlænget med 10 mdr. til i alt 12 mdr., hvis folien omkring pallen er ubrudt.

De hvide cementer indeholder ikke vandopløseligt krom 6+ og er derfor chromneutral, da der ikke anvendes chromholdige råmaterialer til produktionen. Herved overholdes EU's krav for en maksimal værdi på 2 mg/kg opløselig chrom (VI) i cement under normale og tørre opbevaringsforhold uden tidsbegrænsning.

Anvendelser der frarådes:

Må kun anvendes som beskrevet ovenfor, andre anvendelser skal ske i samråd med leverandøren.

1.3. Nærmere oplysninger om leverandøren af sikkerhedsdatabladet

Firmanavn og adresse:

Aalborg Portland
Rørdalsvej 44
DK-9100 Aalborg
Danmark
+45 9816 7777
www.aalborgportland.dk

Kontaktperson og mail:

cement@aalborgportland.com

Sikkerhedsdatabladet er udarbejdet og valideret af:

Mediator A/S, Centervej 2, 6000 Kolding. Konsulent: KN

1.4. Nødtelefon

Giflinien: +45 82 12 12 12

PUNKT 2: Fareidentifikation

2.1. Klassificering af stoffet eller blandingen

CLP (1272/2008):
Skin Irrit. 2;H315
Eye Dam. 1;H318
STOT SE 3;H335

Ordlyd af H-sætninger – se nedenfor i punkt 16.

Sikkerhedsdatablad

2.2. Mærkningselementer



Signalord:

Fare

Forårsager hudirritation. (H315)
Forårsager alvorlig øjenskade. (H318)
Kan forårsage irritation af luftvejene. (H335)

Undgå indånding af pulver. (P261)
Bær beskyttelseshandsker/beskyttelsestøj/øjebeskyttelse/ansigtsbeskyttelse. (P280)
VED KONTAKT MED HUDEN: Vask med rigeligt vand. (P302 + P352)
VED INDÅNDING: Flyt personen til et sted med frisk luft og sørg for, at vejtrækningen lettes. Ring til GIFTLINJEN/læge i tilfælde af ubehag. (P304 + P340 + P312)
VED KONTAKT MED ØJENENE: Skyl forsigtigt med vand i flere minutter. Fjern eventuelle kontaktlinser, hvis dette kan gøres let. Fortsæt skylning. Ring omgående til en GIFTINFORMATION/læge. (P305 + P351 + P338 + P310)

2.3. Andre farer

Hyppig indånding af støv over længere tid øger risikoen for at udvikle lungesygdomme.
Indeholder: Calciumoxid. Ved blanding med vand dannes calciumhydroxid, som kan virke ætsende på hud og øjne.

Produktet indeholder kromatreduktionsmiddel. Som et resultat er indholdet af opløseligt krom (VI) mindre end 2 ppm. Hvis opbevaringsbetingelserne ikke er passende, eller opbevaringsperioden overskrides, kan reduceringsmiddelets effektivitet mindskes, og cementen kan blive hudfølsom. H317 eller EUH203)

Anden mærkning:

-

Andet

-

PUNKT 3: Sammensætning af/oplysning om indholdsstoffer

3.1./3.2. Stoffer / Blandinger

Indholdsstof	Index-nr. / REACH-Reg. nr.	CAS-nr.	EF-nr.	CLP-klassificering	Vgt/Vgt %	Note
Portlandcement	- / -	65997-15-1	266-043-4	Skin Irrit. 2;H315, Eye Dam. 1;H318, STOT SE 3;H335	60-100	-
Flyveaske, portland cement	- / 01-2119486767- 17-0071	68475-76-3	270-659-9	Skin Irrit. 2;H315, Eye Dam. 1;H318, STOT SE 3;H335	0-20	-

Ordløyd af H-sætninger – se nedenfor i punkt 16.

PUNKT 4: Førstehjælpsforanstaltninger

4.1. Beskrivelse af førstehjælpsforanstaltninger

Indånding:

Søg frisk luft.
Hold den tilskadekomne under opsyn.
Søg læge ved åndedrætsbesvær.

Indtagelse:

Skyl munden grundigt og drik 1-2 glas vand i små slurke.
Fremkald ikke opkastning.
Søg læge ved ubehag.

Hudkontakt:

Fjern forurenet tøj.
Vask huden længe og grundigt med vand.
Søg læge ved ubehag.

Øjenkontakt:

Spil øjet godt op, fjern eventuelle kontaktlinser og skyl straks med vand (helst fra øjenskyller) og søg omgående læge. Fortsæt skylningen til lægen overtager behandlingen.

Sikkerhedsdatablad

Øvrige oplysninger:

Ved henvendelse til læge medbringes sikkerhedsdatablad eller etiket.

2. Vigtigste symptomer og virkninger, både akutte og forsinkede

irritative virkninger: Produktet indeholder stoffer som er lokalirriterende ved hud/øjenkontakt eller ved indånding. Kontakt med lokalirriterende stoffer kan resultere i, at kontaktområdet bliver mere udsat for optag af skadelige stoffer som fx allergener.

forårsager alvorlig øjenskade.

3. Angivelse af om øjeblikkelig lægehjælp og særlig behandling er nødvendig

Vis dette sikkerhedsdatablad til læge eller skadestue.

UNKT 5: Brandbekæmpelse

1. Slukningsmidler

Omgivende ild:

Sluk med pulver, skum, kulsyre eller vandtåge.

Brug ikke vandstråle, da det kan sprede branden.

2. Særlige farer i forbindelse med stoffet eller blandingen

Indgå indånding af dampe og røggasser - søg frisk luft.

kan udvikle sundhedsfarlige røggasser med kullite ved brand.

3. Anvisninger for brandmandskab

Slukningsvand, som har været i kontakt med produktet, kan være ætsende.

UNKT 6: Forholdsregler over for udslip ved uheld

1. Personlige sikkerhedsforanstaltninger, personlige værnemidler og nødprocedurer

Brug personlige værnemidler – se pkt. 8.

Indgå indånding og kontakt med hud og øjne.

2. Miljøbeskyttelsesforanstaltninger

Indgå unødigt udslip til omgivelserne.

3. Metoder og udstyr til inddæmning og oprensning

Spild opfjedes/opsamles til evt. genbrug eller overføres til egnede affaldsbeholdere.

Indgå fejning - brug støvsuger til opsamling af spild.

4. Henvisning til andre punkter

Se punkt 8 for værnemiddeltype.

Se punkt 13 for bortskaffelse.

UNKT 7: Håndtering og opbevaring

1. Forholdsregler for sikker håndtering

Se under punkt 8 for oplysninger om forholdsregler ved brug og personlige værnemidler.

Produktet bør anvendes under velventilerede forhold.

Dør skal være adgang til rindende vand og øjenskyller.

2. Betingelser for sikker opbevaring, herunder eventuel uforenelighed

Produktet bør opbevares forsvarligt, utilgængeligt for børn og ikke sammen med levnedsmidler, foderstoffer, lægemidler o.lign.

Bør opbevares i tæt tillukket originalemballage.

Ikke opbevares på et ventileret sted.

Ikke opbevares tørt.

3. Særlige anvendelser

Se anvendelse pkt. 1.

UNKT 8: Eksponeringskontrol/personlige værnemidler

1. Kontrolparametre

Grænseværdier ifølge bekendtgørelse nr. 2203 af 29/11/2021 om grænseværdier for stoffer og materialer:

Stof

Grænseværdi

Anmærkning

ppm / mg/m³

Mineralisk støv, inert - / 10

-

Sikkerhedsdatablad

DNEL/PNEC-værdier:

DNEL Flyveaske, portland cement

	Arbejdstagere	Forbrugere
Inhalation - Kroniske Lokale	0,84 mg/m ³	0,84 mg/m ³
Inhalation - Akutte Lokale	4 mg/m ³	4 mg/m ³

PNEC Flyveaske, portland cement

Ferskvand	282 µg/L
Intermittent releases (Ferskvand)	282 µg/L
Havvand	28 µg/L
Jord	5 mg/kg soil dw

8.2. Eksponeringskontrol

Der findes ikke et eksponeringsscenarie til dette produkt.

Egnede foranstaltninger til eksponeringskontrol:

Brug værnemidler som angivet nedenfor.

Vask hænder efter brug.

Personlige værnemidler:



Åndedrætsværn:

Ved utilstrækkelig ventilation skal der anvendes åndedrætsværn med filter P2.

Beskyttelse af hænder:

Brug beskyttelseshandsker af nitrilgummi.

Materialetype og -tykkelse: ≥ 0,06 mm

Gennemtrængningstid: > 480 min.

Beskyttelse af øjne/ansigt:

Brug beskyttelsesbriller eller ansigtsskærm.

Beskyttelse af hud:

Anbefalet:

Særligt arbejdstøj bør anvendes.

Foranstaltninger til begrænsning af eksponering af miljøet:

Det skal sikres at lokale regler for udledning overholdes.

PUNKT 9: Fysiske og kemiske egenskaber

9.1. Oplysninger om grundlæggende fysiske og kemiske egenskaber

Fysisk form	Pulver
Farve:	Grå
Lugt:	Lugtfri
Smeltepunkt/Frysepunkt (°C):	>1250
Kogepunkt eller begyndelseskogepunkt og kogepunktsinterval (°C):	-
Antændelighed:	-
Nedre og øvre eksplosionsgrænse (vol-%):	-
Flammepunkt (°C):	-
Selvantændelsestemperatur (°C):	-
Nedbrydningstemperatur (°C):	-
pH:	11-13,5, 20 °C (water-solid ratio: 1:2)
Kinematisk viskositet (mm ² /s):	-
Opløselighed:	Blandbart med vand
Fordeleskoefficient n-oktanol/vand (logværdi):	-
Damptryk:	-
Massefylde og/eller relativ massefylde:	2,75-3,2 g/cm ³
Relativ dampmassefylde:	-
Partikelegenskaber:	-

9.2. Andre oplysninger

Partikel størrelse	5-30 µm
--------------------	---------

Sikkerhedsdatablad

UNKT 10: Stabilitet og reaktivitet

0.1. Reaktivitet

Indholdet af chromreducerende middel mindskes med tiden.

0.2. Kemisk stabilitet

Produktet er stabilt ved anvendelse efter leverandørens anvisninger.

0.3. Risiko for farlige reaktioner

Ingen kendte.

0.4. Forhold, der skal undgås

Indgå kontakt med fugt og vand.

0.5. Materialer, der skal undgås

Ingen kendte.

0.6. Farlige nedbrydningsprodukter

Ingen ved de anbefalede opbevaringsforhold.

UNKT 11: Toksikologiske oplysninger

1.1. Oplysninger om fareklasser som defineret i forordning (EF) nr. 1272/2008

Ikke toksicitet:

Udtaggrundlaget giver ikke anledning til klassificering.

Stofstans	Eksponeringsvej	Art	Test	Resultat
lyveaske, portland ement	Oral	Rotte	LD50	> 1848 mg/kg bw
lyveaske, portland ement	Inhalation	Rotte	LC50/ 4 Timer	> 6,04 mg/L air (nominal)
lyveaske, portland ement	Dermalt	Rotte	LD50	>= 2000 mg/kg bw

Udætsning/-irritation:

Irker irriterende på huden - kan medføre rødme.

Alvorlig øjenskade/øjenirritation:

Orårsager alvorlig øjenskade.

Respiratorisk sensibilisering eller hudsensibilisering:

Udtaggrundlaget giver ikke anledning til klassificering.

Imcellemutagenicitet:

Udtaggrundlaget giver ikke anledning til klassificering.

Arctinogenicitet:

Udtaggrundlaget giver ikke anledning til klassificering.

Reproduktionstoksicitet:

Udtaggrundlaget giver ikke anledning til klassificering.

Enkel STOT-eksposering:

Indånding kan virke irriterende på de øvre luftveje.

Entagne STOT-eksposeringer:

Udtaggrundlaget giver ikke anledning til klassificering.

Aspirationsfare:

Udtaggrundlaget giver ikke anledning til klassificering.

1.2. Oplysninger om andre farer

Estdata foreligger ikke.

Sikkerhedsdatablad

PUNKT 12: Miljøoplysninger

12.1. Toksicitet

Substans	Testens varighed	Art	Test	Resultat
Flyveaske, portland	72 Timer	Alger	EC50	22,4 mg/L

12.2. Persistens og nedbrydelighed

Substans	Nedbrydelighed i vandmiljøet	Test	Resultat
Ingen data.	-	-	-

12.3. Bioakkumuleringspotentiale

Substans	Potentiel bioakkumulerbar	LogPow
Ingen data.	-	-

12.4. Mobilitet i jord

Testdata foreligger ikke.

12.5. Resultater af PBT- og vPvB-vurdering

Produktet opfylder ikke kriterierne for PBT eller vPvB.

12.6. Hormonforstyrrende egenskaber

Testdata foreligger ikke.

12.7. Andre negative virkninger

Ingen.

PUNKT 13: Bortskaffelse

13.1. Metoder til affaldsbehandling

Produktet er omfattet af reglerne om farligt affald.

Spild og affald samles i lukkede og tætte beholdere, der bortskaffes via den kommunale affaldsordning for farligt affald med nedenstående specifikationer.

EAK-kode	Beskrivelse	Kemikalieaffaldsgruppe
10 13 06	Partikelformet materiale og støv (undtagen 10 13 12 og 10 13 13)	X
15 01 01	Papir- og papemballage	X

Særlig mærkning:

-

Forurenede emballage:

Tom emballage og rester skal afleveres til den kommunale affaldsordning for farligt affald.

PUNKT 14: Transportoplysninger

Produktet er ikke omfattet af reglerne om transport af farligt gods på vej og sø i henhold til ADR og IMDG.

14.1 -14.4.

ADR

-

IMDG

-

14.5. Miljøfarer

-

14.6. Særlige forsigtighedsregler for brugeren

-

14.7. Bulktransport til søs i henhold til IMO-instrumenter

Ikke relevant.

Sikkerhedsdatablad

UNKT 15: Oplysninger om regulering

5.1. Særlige bestemmelser/særlig lovgivning for stoffet eller blandingen med hensyn til sikkerhed, sundhed og miljø

ilder:

- Arbejdstilsynets bekendtgørelse nr. 301 af 13. maj 1993 om fastsættelse af kodenumre, med senere ændringer.
- bekendtgørelse om arbejde med stoffer og materialer (kemiske agenser) - BEK nr. 1793 af 18/12/2015.
- Arbejdstilsynets bekendtgørelse nr. 1049 af 30. maj 2021 om unges arbejde, med senere ændringer.
- bekendtgørelse nr. 1369 af 25. november 2015 om markedsføring og mærkning af flygtige organiske forbindelser i visse maling og lakker samt produkter til autoreparationslakering.
- bekendtgørelse nr. 1075 af 24. november 2011 om klassificering, emballering, mærkning, salg og opbevaring af stoffer og blandinger, med senere ændringer.
- bekendtgørelse nr. 115 af 26. januar 2017 af lov om kemikalier.
- bekendtgørelse nr. 1794 af 18/12/2015 om særlige pligter for fremstillere, leverandører og importører m.v. af stoffer og materialer efter lov om arbejdsmiljø, med senere ændringer.
- bekendtgørelse nr. 2203 af 29/11/2021 om grænseværdier for stoffer og materialer.
- bekendtgørelse nr. 2512 af 10/12/2021 om affald, med senere ændringer.

nden mærkning:

R-nummer: 1735368
 IAL-kode (1993): 00-4

invendelsesbegrænsninger:

Inge under 18 år må ikke erhvervsmæssigt anvende eller udsættes for produktet. Unge over 15 år er dog undtaget denne regel, hvis produktet indgår som et nødvendigt led i en uddannelse. (jf. dog Arbejdstilsynets Bekendtgørelse om unges arbejde).

rav om særlig uddannelse:

5.2. Kemikaliesikkerhedsvurdering

gen.

UNKT 16: Andre oplysninger

Idarbejdet på baggrund af EU forordning 1907/2006 (REACH)

ndre oplysninger:

ilder:

- U forordning nr. 1907/2006 (REACH), med senere tilpasninger.
- U forordning nr. 1272/2008 (CLP), med senere tilpasninger.
- U forordning nr. 276/2010
- Direktiv 2000/53/EF
- CHA – Det europæiske kemikalieagentur.

ten fulde ordlyd af H sætninger omtalt i punkt 2+3:

- I315 Forårsager hudirritation.
- I318 Forårsager alvorlig øjenskade.
- I335 Kan forårsage irritation af luftvejene.

lassificering i henhold til forordning (EF) nr. 1272/2008:

- Skin Irrit. 2; H315 Beregningsmetode
- Eye Dam. 1; H318 Beregningsmetode
- TOT SE 3; H335 Beregningsmetode

Sikkerhedsdatablad

Forkortelser og akronymer anvendt i sikkerhedsdatabladet:

REACH: Registrering, vurdering og godkendelse af samt begrænsninger for kemikalier. Forordning (EF) nr. 1907/2006.

CLP: Forordning (EF) nr. 1272/2008 om klassificering, mærkning og emballering.

CAS-nr.: Chemical Abstracts Service-nummer.

EF-nr.: EINECS- og ELINCS-nummer (se også EINECS og ELINCS).

DNEL: Afledt nuleffektniveau (Derived No-Effect Level).

PNEC: Beregnet nuleffektkoncentration (Predicted No Effect Concentration).

STOT: Specifik målorgantoksicitet (Specific Target Organ Toxicity).

LD50: Dødelig dosis (Lethal Dose) for 50 % af en forsøgspopulation.

LC50: Dødelig koncentration (Lethal Concentration) for 50 % af en forsøgspopulation.

EC50: Den effektive stofkoncentration, der medfører 50 % af maksimal respons.

PBT: Persistent, bioakkumulerende og toksisk stof (Persistent, Bioaccumulative and Toxic).

vPvB: Meget persistent og meget bioakkumulerende (Very Persistent and Very Bioaccumulative).

NOEC: Den højeste afprøvede koncentration, hvor der i en undersøgelse ikke er observeret en statistisk signifikant virkning i den eksponerede population sammenholdt med en passende kontrolgruppe (No Observed Effect Concentration).

NOAEL: Den højeste afprøvede dosis eller det højeste afprøvede eksponeringsniveau, hvor der ikke optræder statistisk signifikante stigninger i hyppigheden eller alvorligheden af de skadelige virkninger mellem den eksponerede population og en passende kontrolgruppe. Der kan opstå visse effekter ved dette niveau, men de opfattes ikke som skadelige eller prækursorer for skadelige virkninger.

Andet:

Oplysningerne i dette sikkerhedsblad gælder kun produktet nævnt i punkt 1 og er ikke nødvendigvis gældende ved brug sammen med andre produkter.

Der er foretaget ændringer i følgende punkter:

-

Dette sikkerhedsdatablad erstatter version:

1.0

Sikkerhedsdatablade

Sikkerhedsdatablade for FUTURECEM cement, AALBORG SOLID cement og AALBORG WHITE cement findes på **www.aalborgportland.dk**, under "Downloads" siden.

[Sikkerhedsdatablad for FUTURECEM cement](#)

[Sikkerhedsdatablad for AALBORG SOLID cement](#)

[Sikkerhedsdatablad for AALBORG WHITE cement](#)

Litteraturliste

DS/EN 197-1. Cement - Del 1: Sammensætning, krav til egenskaber og godkendelseskriterier for almindelige cementer.

DS/EN 197-2. Vurdering af overensstemmelse.

DS/INF 135. Klassifikation af cement- Klassifikation vedrørende sulfatbestandighed og alkaliindhold samt regler for certificering af supplerende krav og overensstemmelsesvurdering.

DS/EN ISO 9001. Kvalitetsstyringssystemer - Systemkrav.

DS/EN ISO 14001. Miljøledelsessystemer - Kravbeskrivelse med råd om anvendelse.

DS 411. Norm for betonkonstruktioner.

DS/EN 206-1. Beton - Del 1: Specifikation, egenskaber, produktion og overensstemmelse.

DS/EN 12620, 2. udgave 2004. Tilslag til beton.

DS/EN 1008, 1. udgave 2002. Blandevand til beton - Specifikationer for prøveudtagning, prøvning og vurdering af egnethed af vand, inklusive vand genbrugt fra processer i betonindustrien, som blandevand til beton.

DS/EN 450-1. Flyveaske til beton - Del 1: Definition, specifikationer og overensstemmelsesvurdering.

DS/EN 450-2. Flyveaske til beton - Del 1: Overensstemmelsesvurdering.

DS/EN 13263-1, 1. udgave 2005. Mikrosilica i beton - Definitioner, krav og overensstemmelseskontrol.

DS/EN 13263-2. Mikrosilica i beton - Del 2: Overensstemmelsesvurdering.

DS/EN 934-2. Tilsætningsstoffer til beton - Del 2: Betontilsætningsstoffer, overensstemmelse - Definitioner, krav, overensstemmelse, mærkning og påskrift.

Beton-Teknik 2/11/1999, Pakningsberegninger som hjælpemiddel ved betonproportionering. Aalborg Portland 1999.

Vibrering med stavvibrator. Dansk Betoninstitut A/S 1995.

SBI Anvisning 125, Vinterstøbning af beton. Statens Byggeforsknings Institut 1982, Teknologisk Institut, Beton 1999.

Beton-Teknik 6/14/1988, Efterbehandling af beton. Aalborg Portland 1988.

Beton-Teknik 6/15/1989, Hærdeteknologi. Aalborg Portland 1989.

Beton-Teknik 6/17/1994, Gulvkonstruktioner af beton. Aalborg Portland 1994.

- med tillæg: Gulvkonstruktioner af selvkompakterende beton. Aalborg Portland 2006.

Beton-Teknik 2/13/2004, Selvkompakterende beton - SCC. Aalborg Portland 2004.

DS_EN 1996-1-1, Ercode 6, Murværkskonstruktioner.

DS_EN 1996-1-1 DK NA, nationalt Anneks til DS_EN 1996-1-1.

DS 998-2. Specifikation af mørtel til murværk - Del 2: Muremørtel.

A

AALBORG WHITE® CEMENT	28
acceleratorer	53
adresse, Aalborg Portland	5
afformning	86
afmåling efter rumfang	69
afretning	71, 112
afsyring	134
alkaliskisreaktioner	92
armering, korrosion	94
armering, placering	43, 79

B

bakkesand	50
bakkesten	50
BASIS® AALBORG CEMENT	20
BASIS® CEMENT	18
bearbejdelse	89
betegnelser, cement	14, 16
beton	37
betonfremstilling	68
betontilslag, sand og sten	50
betonsammensætning	56
betontype, valg af	144
betonvarebeton	126
betonrecept, beregning af	63
bjælkevibrator	80
blanding, beton	74
blandingsforhold, beton	70
blandingsforhold, muremørtel	133
Bolomeys formel	89
bulkdensitet, cement	18 - 28
bulkdensitet, tilslag	72
byggepladstransport	74

C

cement	9
cementbetegnelser	16
cementegenskaber	30, 141
cementfremstilling	11
cementklinker	11
cementpasta	36, 87, 89
cementstyrker	30, 141
cementtyper	14 - 30
certificeret cement	17
curing, forseglingsmiddel	81

D

damp, varm beton	76
deformationer	96
densitet af tilslag	51

E

efterbehandling	81
eksponeringsklasser	42
E-modul	98

F

fabriksfremstillet beton	46
filler	51, 91
flint, porøs	51, 92
flydebeton, selv	120
komprimerende beton	120
flydende konsistens	88, 120
flyveaske	52
flyveaskedosering	52
form	77
form, klargøring	78
formolie	78
frost	84
frost, beskyttelse	84, 137
frostbestandig beton	42, 43
frostvæske	137
fuger i gulve, skæring	111
fuger i murværk, udførelse	135
fugt, grus	68

G

glittermaskine	110
glitning	110
gulvslidlag	71, 112

H

holdbarhed	91
hudkontakt med beton	148
hurtig hærdning	83
hvid beton	117
hærdningsgrad	82

I

indfarvet beton	118
isolering af nyudstøbt beton	84

J

jordfugtig beton	114, 126
jutning	109, 121

K

kalkudblomstringer	101
karakteristisk styrke	44
KC-mørtler	130
kisel, reaktivt	50, 92
klargøring af form	78
klinker	11
klinkerminerale	32
komprimering	79, 108
konsistens,	
bearbejdelse	87
kontrol af trykstyrke	45
kornkurver	66
kromateksem	33
krybning	99

L

SOLID CEMENT	24
letbeton	127
letklinker	127
lette korn	51
levering, cement	34
luftindblanding	53, 58
luftindblandingsstof	53
løs cement	34

M

materialer til beton	49
MESTER® AALBORG CEMENT	26
mikrosilica	52
milklasser	41
mineralske tilsætninger	52
muremørtel	130
murtips	136
mørtelsand	131

N

nedbøjning	86, 98
nøddesten	50

O

omregning, vægt til rumfang	72
opbevaring, cement	35
optøning, frysning	91
opvarmning af beton	75
overflade, slidlag	112
ovnslam	11

P	
pakket cement	14, 35
perlesten	50
plastificeringsstof	53
porebeton	127
porøse korn	51
proportioneringseksempel	63
proportioneringsformel	63, 89
pudsning, filtsning	135
puzzolaner	52

R	
RAPID® CEMENT	22
reparationer	125
restfugt	122
retarder	53
revnedannelse	81, 85
rotérovn	11
rørmølle, kuglemølle	11

S	
sammensætning, beton	56, 144
sand	50
sandprocent	66
selvkomprimerende beton	120
selvudtørrende beton	122
sikkerhedsdatablad	148
skærver	50
slibning af betongulve	111
slidlag	112
stavvibrator	80
sten	50
styrke	44, 89
sulfatangreb	33
sulfatbestandig beton	73, 90
superplastificerings- stoffer	53, 121
svind	96
sætmål	87
sømaterialer	50

T	
tankbiler	34
temperaturforskelle, forebyggelse	85
termorevner	85
tildækning	81
tilslag	50
tilsætningsstoffer	53
transport, byggeplads	74
tung beton	127
type II tilsætninger	52

U	
udstøbning	79
udtørring	81
udtørringssvind	96

V	
valg af betontype	144
valg af cement til muremørtel	132
vand	51
vandbehov	59, 62
vandcementforhold	43, 52, 89
vanding	81
vandtæt beton	92
varm beton	75
varmehærdning	75, 83
vibratorbjælke	80
vibrator	80
vinterforanstaltninger, beton	75, 84
vinterstøbning	84

Æ	
ærtesten	50
ætsning	33



