

12.1 Fabriksbeton

Af Jørgen Schou

Fabriksbeton er beton produceret på en stationær betonfabrik og transporteret som frisk beton (ikke hærdnet) til det sted, hvor betonen skal udstøbes.



Figur 1. En typisk betonfabrik. Den på billedet viste er opført i 2013 i Sønderborg.

Ordene betonfabrik og fabriksbeton er entydigt knyttet til produktion af frisk beton, mens betonelementer produceres på en betonelementfabrik, og betonvarer (fliser, belægningssten, rør mv) produceres på en betonvarefabrik eller på et cementstøberi. Nogle betonelementfabrikker og betonvarefabrikker sælger også fabriksbeton – ligesom nogle betonfabrikker leverer beton til betonelementfabrikker.

I Danmark er der i 2018 ca. 90 stationære betonfabrikker. Det betyder, at der er en betonfabrik pr. knap 500 km², så der vil i gennemsnit ikke være længere end højst ca. 25 km til den nærmeste betonfabrik. I praksis er fabrikkerne dog samlet omkring byerne med kort køreafstand, mens der i yderområderne kan være længere køreafstand.

Betonfabrikkerne ligger spredt rundt i Danmark, hvorfor det er muligt at få leveret fabriksbeton i hele landet, også til ikke bro-faste øer. Skal der fx leveres fabriksbeton til Fanø sejles betonen i róterbiler fra havnen i Esbjerg.

Der findes også mobile betonblandeanlæg, som er flytbare, men ellers ligner de stationære anlæg. Mobile anlæg anvendes typisk i forbindelse med byggeprojekter, hvor der er behov for et større volumen beton med en simpel sammensætning, fx Cementstabiliseret Grus (CG-beton) eller ved de allerstørste anlægsprojekter – fx den nye Storstrømsbro. Der er få, mobile betonblandeanlæg i Danmark, i modsætning til de øvrige nordiske lande, hvor afstanden til nærmeste betonfabrik kan være så stor, at et mobilt anlæg er en fornuftig – og måske den eneste – løsning.

Betonfabrikker i Danmark er ordreproducerende og producerer og leverer et stort udvalg af forskellige betoner. Det store antal produkter skyldes, at forskellige kunder og forskellige byggeprojekter stiller varierende krav til betonen, dens delmaterialer og dens egenskaber. I udlandet findes betonfabrikker, der producerer ganske få standardiserede betontyper, som kunderne så kan vælge imellem, men denne produktionstrend er ikke slået igennem i Danmark.

En typisk betonfabrik har ca. 80 forskellige produkter i en række varianter, så det samlede produktprogram er meget omfattende. Der er yderligere det forhold, at en række produkter kan tilpasses specielle egenskaber/udseende ved tilsætning af farver, fibre, specielle tilsætningsstoffer etc., så paletten bliver endnu større.

Betonfabrikkerne er individuelt opbygget med hensyn til produktionskapacitet og udstyr, så lokal efterspørgsel kan efterkommes. Der henvises i øvrigt til kapitel 7. Produktion af frisk beton og kapitel 8. Transport af beton.



Figur 2. Stibro over Motorring 3 ved Hvidsværmervej i Rødovre. Opført i fabriksbeton med bræddeforskalling i 2009/2010. Foto af Michael Støvelbæk.

12.1.1 Fabrikbetons historie

Den første betonfabrik i Danmark blev bygget i København af civilingeniør Kristian Hindhede i 1926. Før den tid var blanding af beton et hårdt manuelt arbejde, der fandt sted på byggepladsen ved hjælp af skovle og en betydelig arbejdsstyrke.

Hindhede startede sin egen entreprenørvirksomhed i 1926 og i forbindelse med en større opgave, hvor virksomheden skulle anlægge veje, fortove og kloakker, etablerede han et mindre cementstøberi på Vanløse Allé for at sikre forsyningen af kloakrør og fliser. Med det udgangspunkt fik han den idé, at det måtte være langt mere hensigtsmæssigt at fremstille betonen centralt på et stationært blandeanlæg og køre den som frisk beton til byggepladsen i stedet for at stå og håndblande betonen på byggepladsen.

Således startede han Danmarks og Europas første fabrik til fremstilling af færdigblandet beton på et anlæg i Kalkbrænderihavnen. Første leverance af fabriksbeton var den 26. april 1926 og den første prisliste med færdigblandet beton er dateret maj 1926.

Siden ekspanderede virksomheden kraftigt, og Kristian Hindhede byggede blandestationer flere steder i København og omegn under navnet KH-Beton, der senere blev til Unicon.



Figur 3. Danmarks betonfabrik nr. 2 beliggende i Sydhavnen. Opstart af produktion primo 1928. Udkørsel af beton på fladvogne.

I første omgang blev betonen transporteret til byggepladserne på fladvogne, så betonen blevet leveret tør. I 1927 opfandt Hindhede "rotérbilen", da det voldte mange problemer med udkørslen af beton på fladvogne. Rotérbilen gjorde det muligt at levere mere flydende beton til byggepladserne. Tromlen på rotérbilen drejede rundt under kørslen og var forsynet med en slags skruelåg på toppen, således at tromlen kunne stå vandret under kørslen.

Denne opfindelse (kaldet: rotérstellet) fik Kristian Hindhede patenteret i 1929, og i folkemunde snart kaldet en betonkanon. I dag anvendes ordet betonkanon stadig som kælenavn, mens der i normer og tekniske forskrifter anvendes ordet rotérbil eller roterbil.



Figur 4. Første rotérbil fra 1927. Rotérstellet monteret på et lastbilchassis. Max. volumen 1,25 m³ beton.

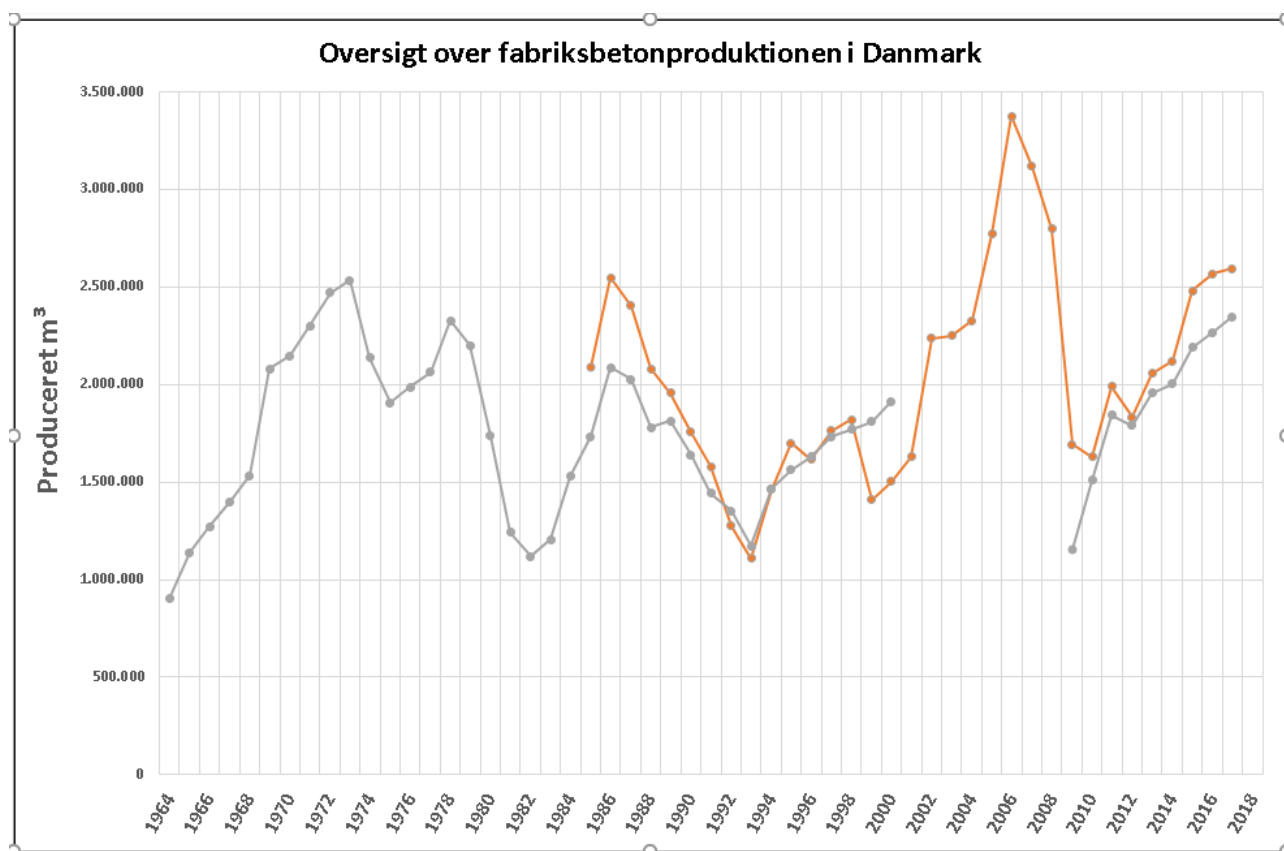
Opfindelsen gjorde det lettere at bygge større betonkonstruktioner og var på den måde med til at automatisere og effektivisere byggeriet, da betonen nu kunne blandes på centrale stationære betonfabrikker og transporteres til byggepladserne med betonkanonerne. Rotérstellet er nu vist på et frimærke 15. marts 2015.



Figur 5. Frimærke udgivet af Post Danmark i 2015 med opfindelsen rotérstellet.

I 1927 blev "De Danske Betonfabrikker" etableret med Kristian Hindhede som direktør og ejet af F.L. Smidth. I det regi spredte "opfindelsen" sig hurtigt rundt i Danmark, i første omgang til de større byer. Her blev virksomhederne ofte etableret af større, lokale entreprenører, der i begyndelsen kun leverede til egne projekter, men siden også til andre, konkurrerende betonprojekter.

Produktion af fabriksbeton har siden udviklet sig, både hvad angår kapacitet, men også inden for transport og levering af beton.



Figur 6. På figuren er vist en oversigt over den samlede fabriksbeton produktion i Danmark i perioden 1964 – 2017. Den grå kurve er data fra Dansk Byggeri's medlemmer, mens den orange kurve er data fra Danmarks Statistik. De cirka 2,5 mio. m³ i 2017 svarer til ca. 430 liter pr. de 5,8 mio. danskere i 2018 – svarende til godt 1 tons pr. indbygger.

12.1.2 Produktprogram og anvendelse

En typisk betonfabrik har sit produktprogram inddelt i tre overordnede grupper:

- Standardvarer iht. DS/EN 206 DK NA:2018 og DS/EN 206
- Funktionsbetoner iht. DS/EN 206 DK NA:2018 og DS/EN 206
- Specielle produkter iht. egen deklaration.

Disse tre produktgrupper er nærmere beskrevet i det følgende.

12.1.2.1 Standardvarer

Standardvareprogrammet dækker de almindeligt forekommende og efterspurgte sæt-målsbetoner og selvkompakterende betoner (Self Compacting Concrete, SCC-beton) – sidstnævnte omtales i daglig tale som flydebeton. SCC-beton blev først kommercialiseret i Danmark i slutningen af 1990-erne, og har siden vokset sig til nu at udgøre ca. 35 % af den samlede produktion af fabriksbeton (2018).

Sætmålsbeton har konsistens fra stiv plastisk (sætmål 30-60 mm) til flydende (sætmål 200-220 mm). SCC-beton til vandrette støbninger produceres typisk med et tilstræbt flydesætmål på $570 \text{ mm} \pm 50 \text{ mm}$, hvorimod SCC-beton til lodrette støbninger tilstræbes et flydesætmål på $620 \pm 50 \text{ mm}$. Der henvises i øvrigt til kapitel 5.1 Konsistens.



Figur 7. Sætmålsbeton. Betonen på figuren har et sætmål på omkring 160 mm (keglehøjden er 300 mm).

Produktprogrammet for sætmålsbetoner strækker sig fra trykstyrkeklasse C8/10 til C40/50. Beton til passiv miljøpåvirkning produceres i alle trykstyrkeklasser, og der er eksempler på produkter leveret i en så høj trykstyrkeklasse som C100/115. Den typisk øvre grænse for den daglige produktion er C70/85.

Beton til moderat miljøpåvirkning er typisk produceret i trykstyrkeklasse C30/37, beton til aggressiv miljøpåvirkning er trykstyrkeklasse C35/45, og beton til ekstra aggressiv miljøpåvirkning er trykstyrkeklasse C40/50. Årsagen til disse sammenhænge skyldes standardens krav til maksimalt v/c-forhold for beton til moderat, aggressiv og ekstra aggressiv miljøpåvirkning (jf. DS/EN 206 DK NA:2018). Der er ingen krav til v/c-tal for beton til passiv miljøpåvirkning, hvorfor produktprogram er bredere.

Der er selvfølgelig eksempler på kombinationer, hvor trykstyrkeklasse og miljøpåvirkning ikke følger disse modeller, fx hvor der er krav om en højere trykstyrke end miljøpåvirkningen umiddelbart kan levere. Dette kunne fx være en beton til moderat miljøpåvirkning, trykstyrkeklasse C35/45, ligesom beton til indendørs, trykpåvirkede konstruktioner som søjler og vægge nogle gange skal leveres med meget høje styrker – også selv om miljøpåvirkningen er passiv.



Figur 8. Ved brug af SCC-beton kan sætmålet ikke anvendes. Her anvendes – som på billedet – ofte flydesætmålet. Flydesætmålet på billedet er omkring 570 mm, da pladen på fotoet er et kvadrat med en sidelængde på 700 mm. Tilstræbt flydemål til fx gulve er ofte 570 ± 50 mm, mens der til fx vægge ofte tilstræbes en blødere beton på 620 ± 50 mm.

Produktprogrammet for SCC-betoner er typisk mere snævert sammenlignet med sætmålsbetoner. Her er den "laveste" trykstyrkeklasse C20/25 til passiv miljøpåvirkning og den "højeste" C40/50 til ekstra aggressiv miljøpåvirkning. Normalt produceres der ikke SCC-beton med trykstyrke < 20 MPa (C20/25), da finstofindholdet (cement + puzzolan + filler) er for lavt til at sikre en robust SCC-beton, dvs. en beton uden risiko for bleeding eller separation.

I det danske Anneks til Eurocode 2, DS/EN 1992-1-1 DK NA, er der vist eksempler på, hvilke miljøpåvirkninger de enkelte bygningsdele på den sikre side normalt bør henregnes til.

12.1.2.2 Funktionsbetoner

Produktprogrammet inden for funktionsbetoner er meget bredt med mange varianter. En funktionsbeton er karakteriseret ved, at produktnavnet (brandet) for de fleste typer indikerer, hvilken anvendelse den pågældende funktionsbeton er velegnet til. Fugebeton anvendes således til fugning, Gulvbeton anvendes til gulve, Selvudtørrende beton anvendes, hvor der er udfordringer med at sikre en hurtig udtørring, Anlægsbeton anvendes til anlægskonstruktioner, Vinterbeton til støbning i frostvejrs osv.

I det følgende er angivet en kort gennemgang af de nævnte funktionsbetoner.

Fugebeton

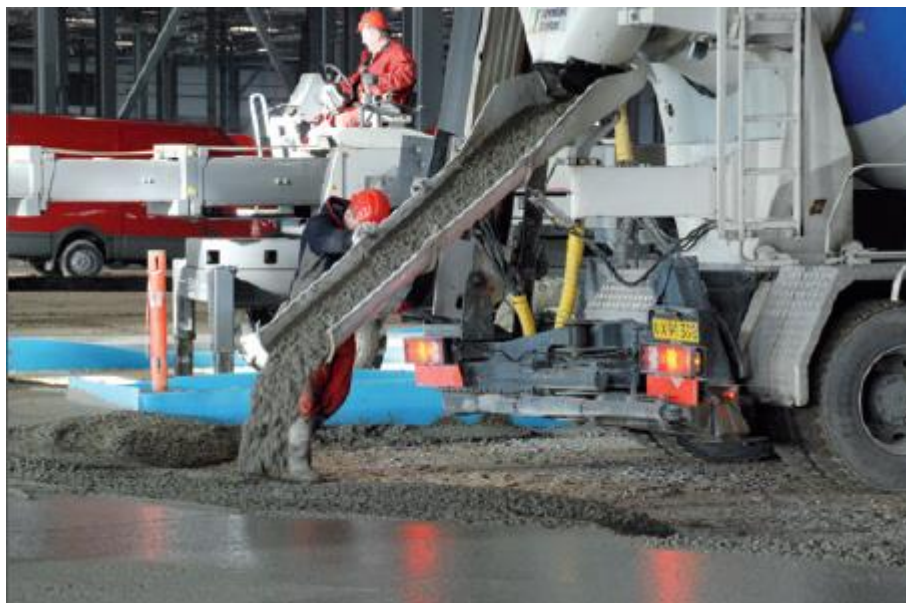
Fugebeton anvendes primært til sammenstøbning af betonelementer (fx huldæk), men også til fugning mellem gyllebeholderelementer (lodrette fuger) og chaussésten. Fugebeton er let bearbejdelig med et højt sætmål (200 – 240 mm) og særdeles gode flydeegenskaber. Leveres som standard til alle miljøpåvirkninger og med maksimal stenstørrelse 8 mm.



Figur 9. Sammenstøbning af fuger mellem huldækelementer.

Gulvbeton

Gulvbeton findes i en række kvaliteter og leveres både i en sætmålsversion og i en SCC-version. Hvor betonoverfladen efterfølgende skal glittes, anvendes et-pulver betoner (kun cement som bindemiddel, ingen puzzolaner) i en sætmålsversion, da denne type er særlig velegnet til pudsning og glitning. Disse er typisk ikke tilsat et luftindblandingsmiddel til frostsikring (dvs. **er** beton til passiv miljøpåvirkning), da der er risiko for glitteskader (afskalninger) i overfladen ved overdreven vingeglitning på luftindblandet beton. Gulvbeton leveres ofte i en stålfiberarmeret løsning og anvendes til lager- og industrigulve, og som sætmålsbeton til gulve i højlagre, hvor der er skrappe krav til planhed etc.



Figur 10. Aflæsning af Gulvbeton og det færdige resultat.

Hvor gulvbetonen/terrændækket skal overholde kravene til aggressiv eller ekstra aggressiv miljøpåvirkning, som fx i en udendørs belægning, tilsættes betonen luftindblandingsmiddel for at opnå, at betonen bliver frostbestandig. Luftindblandede betoner kan glittes, men der skal udvises omhyggelighed for at udgå glitteskader.

Beton til gulve, hvor der ikke er stillet særlige krav til overfladen, er normalt SCC-betoner, da udførelsen er noget nemmere sammenlignet med sætmålsbetoner, der skal vibreres. Gulvbetoner leveres ofte med plast- eller stålfibre som hel eller delvis erstatning for et traditionelt svindarmeringsnet. Gulve udstøbt med SCC-beton er ikke velegnet til glitning, men kan i visse tilfælde godt pudses, hvis det sker med forsigtighed. Normalt slibes betonoverfladen på gulve med SCC-beton let inden en efterfølgende gulvbelægning (fliser, klinker etc.) udføres.



Figur 11. Udstøbning af SCC-beton til gulv i et parcelhus.

30-35 % af den samlede fabriksbetonproduktion i 2018 i Danmark er SCC-beton til gulve, hvilket skyldtes ønsket om et forbedret arbejdsmiljø. De andre lande i Europa har en væsentlig lavere procent andel SCC-beton, hvilket formentlig skyldes, at SCC-betoner kræver nøjagtige og effektive blandeanlæg for at kunne produceres ensartet.

Selvudtørrende beton

Selvudtørrende beton fremstilles med CEM I cement, ingen flyveaske og med et v/c-forhold $< 0,40$. Ofte har betonproducenten 2 kvaliteter af selvudtørrende beton: en normal (v/c-forhold $< 0,40$) og en særlig hurtig udtørrende beton (v/c-forhold $< 0,35$).

De lave v/c-forhold sikrer, at betonen indeholder mindre vand end den tilsatte cement kan forbruge ved sin fuldstændige hydratisering. Der er derfor ingen overskydende vand tilbage efter nogen tids hærdning, hvorfor betonen betegnes som selvudtørrende. Selvudtørrende beton kan leveres både som sætmålsbeton og som SCC-beton, men begge typer kun til passiv miljøpåvirkning.

Selvudtørrende beton anvendes til gulve, der efterfølgende skal forsynes med en fugtfølsom belægning, såsom vinyl, linoleum, træ, kork, gummi etc. De er ligeledes velegnede i forbindelse med renoveringsopgaver i boliger, sportshaller eller institutioner, hvor en kort byggetid er vigtig.

Leverandører af fugtfølsomme belægninger kræver normalt en gennemsnitlig relativ fugtighed i betontværsnittet på højst 85 % (kritisk fugtniveau), inden betonoverfladen forsynes med den pågældende belægning. Dette for at sikre, at nylagte trægulve ikke deformeres skadeligt og/eller udvikler skimmelsvamp, og at der ikke opstår "dampbuler" under fx nylagt linoleum.

Den mest almindeligt anvendte selvudtørrende beton med et v/c-forhold på omkring 0,39 (anvendt til et standard betongulv under normale udtørningsforhold) opnår en relativ fugtighed på 85 % (gennemsnitligt) efter ca. 6-8 uger ved 20°C. Den hurtige selvudtørrende beton med et v/c-forhold på omkring 0,34, når ned på det kritiske fugtniveau på 85 % relativ fugtighed allerede efter 10-15 dage ved 20°C.

Selvudtørrende beton er et forholdsvis nyt betonprodukt, hvor de første typer blev markedsført i 2010-2011. Der henvises til [2] for yderligere uddybning.

Anlægsbeton

Anlægsbeton anvendes til konstruktioner, der har stor betydning for samfundet, og projekteres derfor med længere levetid og med en mere omfattende kontrol end for normale bygningskonstruktioner.



Figur 12. Faunapassage over motortrafikvejen mellem Bredsten og Vandel opført i 2010-11.

Beton til anlægskonstruktioner sammensættes i henhold til krav specificeret i vejregler udgivet af Vejregeludvalget og gælder umiddelbart for Vejdirektoratet og Banedanmark. Disse vejregler benævnes ofte almindelig arbejdsbeskrivelse (AAB) for Betonbroer med tilhørende Generalnote. Til det aktuelle projekt er der desuden en særlig arbejdsbeskrivelse, SAB, som også kan have betydning for den aktuelle anlægsbeton. Vejreglerne kan frit downloades fra Vejdirektoratets hjemmeside.

Vejreglerne kræver en levetid af betonen på 120 år for vej- og banebroer og 100 år for stibroer. I DS/EN 206 og DS/EN 206 DK NA forudsættes kun en levetid på 50 år. Typisk vil betoner, der opfylder disse standarder, holde længere, og specielt beton med passiv miljøpåvirkning – indendørs beton – vil have en langt længere levetid. Vejreglerne indeholder derfor skærpede krav i forhold til DS/EN 206 og DS/EN 206 DK NA, men anvender disse dokumenter som reference.

Kravene til betonens delmaterialer og sammensætning er summarisk angivet i generalnoten, hvor et af de væsentlige skærpede krav, er kravet om anvendelse af sulfatbestandig cement (SR5 cement iht. DS/EN 197-1) og lavalkal cement (EA- eller LA-cement iht. DS/INF 135). Dette krav kan opfyldes fx ved brug af Lavalkali

sulfatbestandig cement fra Aalborg Portland (CEM I 42,5 N SR5 (EA)). Desuden kræves, at det grove tilslag er granit. Der er krav til to miljøpåvirkninger: Aggressiv og Ekstra aggressiv med henholdsvis maksimalt v/c-forhold på 0,45 og 0,40.

Anlægsbeton anvendes til vej- og banebroer, havne- og kajkonstruktioner, rensningsanlæg, parkeringsanlæg etc. Anvendes ofte til massive konstruktioner for begrænsning af temperaturforskelle og dermed reducere risikoen for temperaturbetingede revnedannelser.

De store infrastrukturprojekter, fx Fjordforbindelsen ved Frederikssund, den nye Storstrømsbro og Femern projektet, har normalt deres egne betonkrav, som dog bygger på principperne i Vejreglerne.

Der er anlægskonstruktioner, fx mindre betydende broer i kommunal regi, hvor AAB for Betonbroer ikke kræves opfyldt. Dette kan dog absolut ikke anbefales, da AAB er udtryk for den bedste praksis på området.

Vinterbeton

Vinterbetoner er specielt designede betoner, der kan udstøbes og hærde ved meget lave temperaturer. Specielle tilsætningsstoffer i betonen sikrer en fortsat styrkeudvikling, selv ved temperaturer under frysepunktet.

Vinterbetoner er specielt egnet til udstøbning af fuger om vinteren i frostvej, fx mellem huldækelementer, til kantstøbninger og andre tynde konstruktioner.

Kraftigere konstruktioner beskyttes mod frostpåvirkning i den tidlige fase ved tildækning med vintermåtter, skummåtter etc., der holdes på formen og de frie overflader, indtil tilstrækkelig modenhed er opnået. Da beton udvikler varme under hærningen vil en kombination af varm beton og isolering af form og frie overflader kunne sikre en effektiv hærkning selv i kraftig frost – og uden de specielle – og dyre – vintertilsetningsstoffer.

I [3] anføres, at beton kan forventes at være frostsikker, når den har opnået en alder på 15-20 modenhedstimer.

12.1.2.3 Specielle produkter

Specielle produkter dækker i princippet alle øvrige betonprodukter, som deklarerer i henhold til betonproducentens egen deklaration, og som i mange tilfælde ikke lever op til de sædvanlige standarder, DS/EN 206 DK NA og DS/EN 206. Opfyldes disse standarder ikke, kan betonen ikke anvendes til fx bærende konstruktioner.

Kontrolomfanget for disse specielle produkter er lempet i forhold til den produktionskontrol, som standardvarer og funktionsbetoner skal leve op til.

Eksempler på specielle produkter og deres anvendelse er kort beskrevet i det følgende.

Cementmørtel

Cementmørtel er en "beton" uden sten, som leveres i sætmål 40-200 mm og produceres med middeltrykstyrker fra 16 MPa til 40 MPa (målt efter 28 døgn ved 20°C). Cementmørtel leveres også i en jordfugtig version.

Cementmørtel anvendes bl.a. til understøbning af elementer, udstøbning af fuger, banketter, pumpeopstart, tynde slidlag (maks. 30 mm) og mindre opretninger etc. Ved anvendelse som slidlag bør ikke anvendes lavere styrke end 25 MPa for at sikre en tilstrækkelig slidstyrke af overfladen.

Slidlagsbeton

Slidlagsbeton er beton med maksimal stenstørrelse på 8 mm. Slidlagsbeton har en speciel tilpasset kornkurve og derfor en god udstøbelighed, hvilket gør den mere mørtelrig end "almindelig" beton. Slidlagsbeton leveres i sætmål 40-200 mm og produceres med middeltrykstyrker fra 16 MPa til 35 MPa (målt efter 28 døgn ved 20°C). Leveres også i en jordfugtig version.

Slidlagsbeton anvendes primært til slidlag i tykkelsen 40 mm til 80 mm, men kan også med fordel anvendes til udstøbning af fuger. Ved anvendelse som slidlag bør der ikke anvendes lavere styrke end 25 MPa for at sikre en tilstrækkelig slidstyrke af overfladen.



Figur 13. Udlægning og komprimering af slidlagsbeton.

Kantstensbeton

Kantstensbeton er tør, ikke plastisk beton (jordfugtig beton), med maksimal stenstørrelse på 8 mm, 16 mm eller 32 mm. Kantstensbeton produceres typisk med

trykstyrker 8 MPa til 25 MPa. Trykstyrken er en potentiel styrke, som kun kan opnås ved en optimal komprimering på byggepladsen. Trykstyrken måles normalt på vibro-indstampede cylindre.

Kantstensbeton anvendes bl.a. til opsætning af hegnsstolper og kantsten samt til bærelag under chaussé belægninger og granitbrobelægninger.

Drænbeton

Drænbeton er en jordfugtig beton med en speciel tilslagskornkurve, som er afgørende for produktets drænende effekt. Drænbeton indeholder (for) lidt sand; kun op til 10 %. Drænbeton indeholder så meget cementpasta, at stenenes overflade dækkes, hvilket sikrer stærke samlinger i stenenes kontaktpunkter.

Resultatet er samlet en beton, der ligner en "stenrede" med en hulrumsprocent på typisk 15-25 %. Det betyder, at et lag drænbeton fx i en tykkelse på 100 mm kan indeholde en regnmængde på 15-25 mm, hvilket svarer til, at et skybrud (15 mm på 30 min) kan optages i belægningen. Hvis yderligere drænbetonen kobles til et afvandingssystem, kan en drænende effekt på 100-300 liter vand/m²/minut opnås.

Drænbeton anvendes normalt til in-situ støbte belægninger, hvor der er et ønske om at bortlede overfladevand ned til et permeabelt bære- eller bundlag. Derefter ledes vandet væk, enten ved nedsivning, ved opmagasinering og bortdræning, eller ved en kombination heraf.



Figur 14. Drænbeton udstøbt i cylindre til måling af trykstyrke.



Figur 15. Udlægning af drænbeton.

Øvrige specialbetoner/-produkter

Fra et stort antal muligheder kan nævnes letklinkerbeton, højstyrkebeton, polystyrénbeton (også omtalt som termo-beton: cementpasta iblandet polystyrénkugler), CG-beton (cementstabiliseret grus), skumbeton (beton med ekstremt stort luftindhold og meget lav rumvægt og styrke), sprøjtebeton, beton til sekantpæle, tung beton (til strålingsbeskyttelse) og indfarvet beton.

12.1.3 Produktudvikling

Produktudvikling inden for fabriksbeton-industrien er styret af samfundets og dermed kundernes behov. Produktudvikling er også udvikling/tilpasning af eksisterende produkter til nye applikationer. Når delmateriale-leverandørerne udvikler nye produkter, fx nye tilsætningsstoffer eller fibre, smitter det af på betonproducenterne og dermed også muligheden for udvikling af nye betoner til in-situ støbte konstruktioner eller tilpasning af eksisterende betoner.

I det følgende gennemgås kort de seneste, større udviklingsområder inden for fabriksbetonindustrien.

SCC-betoner

De første SCC-betoner i Danmark blev udviklet i slutningen af 1990-erne, da en ny generation af superplastificeringsstoffer blev kommercielt tilgængelige. Tidligere var der produceret SCC-lignende betontyper, hvor flydeegenskaberne var etableret ved høje vandindhold (såkaldt rendebeton) eller høje doseringer af traditionelle superplastificeringsmidler, baseret på melamin eller naphthalen. Der var stor risiko for separation på

grund af den høje dosering og specielt de naphthalen-baserede superplastificeringsmidler retarderede betonens afbinding. Ulempen ved de melamin-baserede superplastificeringsmidler var indholdet af fri formaldehyd, som er mistænkt for at have en kræftfremkaldende effekt.

Den nye generation af superplastificeringsmidler er baseret på polycarboxylater, der gør det muligt at producere og levere en "rigtig" SCC-beton uden risiko for separation og med en afbindingstid som normal beton. Desuden blev arbejdsmiljøet forbedret. Yderligere information om den nye generation af superplastificeringsmidler kan findes i afsnit 3.4 Tilsætningsstoffer.

Indfarvede betoner

Indfarvet beton leveret af en fabriksbetonproducent er i 2018 et produktområde i stor vækst. Indfarvet beton er normal grå beton iblandet farvepigment. Yderligere information om farvepigmenter kan findes i afsnit 3.5.5. Pigmenter. Lys/hvid beton, hvor bindemidlet kun er hvid cement, opfattes også som "indfarvet beton".

Tidligere blev indfarvet beton kun anvendt i betonelementindustrien, men indenfor de sidste 15-20 år er markedet for farvede betoner til in-situ støbte konstruktioner vokset. Den primære anvendelse er til spektakulære projekter, som for eksempel en tilbygning til Ordrupgaard Museum.



Figur 16. Tilbygning til Ordrupgaard museet støbt i koksgrå beton. Tegnet af den irakiskfødte arkitekt Zaha Hadid og indviet den 30. august 2005.

Indfarvede betoner anvendes også til en lang række øvrige konstruktioner, fx større anlægskonstruktioner (brosøjler, vederlag), udendørs terrændæk til busholdepladser, pladser og torve, private boliger, slebne og polerede gulve m.m.



Figur 17. Hvid jernbanebro ved Aarhus båret af "sorte" søjler opført i 2007-08.

Fiberbeton

Fiberbeton i fabriksbeton regi er beton tilsat stålfibre eller polypropylenfibre (PP-fibre). Fibre til kraftoptagelse er i den forbindelse makrofibre, som har en typisk længde på 40-60 mm og en diameter på ca. 1 mm. Modsætningen hertil er mikroplastfibre, som er specielt udviklet til at forhindre revnedannelser forårsaget af plastisk svind. Mikroplastfibre anvendes også i brandeksponerede betonkonstruktioner for at modvirke en eksplosiv afskalning af tætte betonkonstruktioner udsat for brand. Yderligere information om fibre til beton kan findes i afsnit 3.6. fibre.

Stålfiberarmeret beton har eksisteret siden 1970-erne og udgør i 2018 omkring 3-5 % af den samlede fabriksbetonproduktion. Den primære anvendelse af stålfiberarmeret beton er til let belastede gulve, hvor stålfibrene erstatter det traditionelle svindarmeringsnet, fx gulve i parcelhuse, institutioner, mindre værksteder, butikker og varehuse etc. Der tilsættes også stålfibre i beton til industrigulve, hvor der er ønske om større arealer uden fuger og i visse tilfælde helt fugefrie gulve. Udendørs terrændæk, der udsættes for ekstreme mekaniske belastninger, fx skrotpladser, genbrugspladser etc., er også områder, hvor stålfiberarmeret beton har fundet sin anvendelse.



Figur 18. Stålfiberarmeret beton til gulv i et parcelhus.

Siden omkring 2010 er der udviklet kombinerede løsninger, hvor dele af konstruktionens armering erstattes med stålfibre. Dette er bl.a. demonstreret ved et større innovationsprojekt i Danmark, "Bæredygtige betonkonstruktioner med stålfibre", gennemført i perioden 2010-2013. Der henvises til [4].

Markedet for plastfiberarmerede løsninger er siden 2010 vokset eksplosivt og har – ligesom stålfiberbeton – et bredt anvendelsesområde, men dog ikke til svært belastede industrigulve eller udendørs terrændæk udsat for større mekaniske belastninger. Plastfiberarmerede betonløsninger er specielt velegnede inden for landbrugsbyggeriet, fx til bunde i gødningsbeholdere, foderpladser, ensilagesiloer og arealer, hvor der opbevares foder, eller hvor dyr færdes.

Designet, dvs. fastlæggelse/beregning af fibertype og dosering, udføres normalt af fiberleverandørerne. Det normale doseringsområde for stålfibre er 10-40 kg/m³ beton, for makroplastfibre 2-6 kg/m³ beton.



Figur 19. Støbning af et sribefundament med en færdigarmert fiberbetonløsning.

Genbrugsbeton

Genbrugsbeton er beton, hvor dele af tilslaget (sand og/eller sten) erstattes af udvasket procestilslag, nedknust procestilslag eller nedknust beton fra betonkonstruktioner. Kravene vedrørende brug af de "nye" tilslag fremgår af Anneks E til DS/EN 206 DK NA, jf. [5].

Udvasket procestilslag og nedknust procestilslag stammer fra produktionen af fabriksbetonen. Det kan være returbeton fra byggepladser, hvor der er bestilt for meget, eller hvor betonen på byggepladsen har overskredet seneste tidspunkt for indbygning. Det kan også være beton, hvor kvaliteten ikke har levet op til forventningerne.

Genbrugsbeton må kun anvendes til konstruktioner udsat for passiv miljøpåvirkning.

12.1.4 Kvalitetssikring

Næsten alle fabriksbetonproducenter i Danmark er produktcertificeret i henhold til [5] og [6], dokumenteret i form af et produktcertifikat, der er udstedt af et akkrediteret certificeringsorgan. Dette betyder, at der ikke er behov for at køberne eller slutbrugerne af fabriksbetonen iværksætter kontrol af den leverede beton.

På særlige konstruktioner – som broer – udtages dog nogle gange byggepladsprøver for at sikre og kende kvaliteten af netop den leverede beton.

Kontrol af en given betons overensstemmelse (egenskaber) er en integreret del af produktionskontrollen. Vurdering af overensstemmelse udføres i henhold til gældende normer og standarder og alle relevante data registreres og opbevares i mindst 6 år, medmindre lovkrav eller kundekrav anfører en længere periode.

Typisk kontrolleres følgende egenskaber af betonen på betonfabrikken:

- a) Betonens sammensætning (blandingsforhold) – fx opnået V/C-forhold
- b) Densitet og luftindhold
- c) Konsistens
- d) Temperatur
- e) Støbning af betonemner (cylindre eller terninger) til kontrol af 28 døgns trykstyrke.

Hyppigheden for kontrol af overensstemmelse er minimum 1 prøvning for hver 100 m³ produceret beton i en given betonfamilie, alt i henhold til Anneks X i [5]. Individuelle betonsammensætninger kan have en anden hyppighed. Hvor overensstemmelse vurderes i henhold til [6], er mindste hyppighed for prøveudtagning mindre.

Kontrollen af betonens sammensætning foretages beregningsmæssigt af blandedecomputeren.

Der er også fabriksbetonproducenter, der er systemcertificeret i henhold til DS/EN ISO 9001:2015, som er et kvalitetsledelsessystem.

12.1.5 Miljøvaredeklarationer

Til dokumentation af bæredygtighed for fabriksbeton kan miljøvaredeklarationer anvendes. Denne dokumentation efterspørges typisk til byggerier, hvor der er et ønske om en bæredygtighedscertificering, fx en DGNB-certificering (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen). Green Building Council (DG-GBC) står for DGNB-certificeringen i Danmark.

Fabriksbetonproducenterne har et beregningsværktøj, der gør det muligt at udarbejde miljøvaredeklarationer for alle producerede betontyper. Disse dækker fra "vugge til port" med tilvalg, så også transporten ud til kunden er regnet med.

En miljøvaredeklaration for fabriksbeton indeholder de samlede miljøpåvirkninger for produktion og levering af 1 kubikmeter beton til en given byggeplads, inklusivt ressourceforbrug, affald og supplerende miljømæssige oplysninger. Der henvises i øvrigt til afsnit 21.1 Grøn Beton, hvis der er behov for en mere detaljeret beskrivelse af disse miljøpåvirkninger.

Typiske værdier for miljøpåvirkninger i form af nogle standard-miljødeklarationer for nogle udvalgte betontyper kan hentes på www.danskbeton.dk. Disse kan frit anvendes som vejledende værdier. Specifikke værdier udarbejdes af betonproducenten, da de bl.a. kræver detaljeret kendskab til betonfabrikkens energiforbrug, betonsammensætning, afstand til byggeplads m.m.

12.1.6 Internationalt samarbejde

Fabriksbetonproducenterne har et formaliseret samarbejde med den europæiske organisation, ERMCO (European Ready Mix Concrete Organization), etableret i 1967. Denne organisation har til formål at præge det europæiske normarbejde, udveksle erfaringer inden for betonproduktion medlemslandene mellem, udføre lobbyarbejde i Europa parlamentet, udarbejde vejledninger m.m. Der henvises i øvrigt til [8].

Danmark er repræsenteret i to komitéer, ETC (European Technical Committee) og ESC (European Sustainability Committee). Førstnævnte har fokus på normarbejde og erfaringsudveksling, og sidstnævnte har fokus på bæredygtighed, ressourceforbrug m.m.

Hvert 3. år afholdes der ERMCO kongres af to dages varighed i et af medlemslandene med faglige indlæg på dagsordenen.

12.1.7 Litteratur

- [1] Unicons historie (<http://www.unicon.dk>)
- [2] Selvudtørrende beton – til gavn for byggeriet. Publikation udgivet af Dansk Beton, Fabriksbetongruppen, december 2013.
- [3] DS 2427. Udførelse af betonkonstruktioner – Regler for anvendelse af EN 13670 i Danmark.
- [4] Lars Nyholm Thrane, Oldric Svec, Michael Strøm, Thomas Kasper, Guideline for execution of steel fibre reinforced SCC, udgivet af Teknologisk Institut, Betoncentret, September 2013.
- [5] DS/EN 206 DK NA:2018. Beton – Specifikation, egenskaber, produktion og overensstemmelse – Regler for anvendelse af EN 206 i Danmark.
- [6] DS/EN 206:2013. Beton – Specifikation, egenskaber, produktion og overensstemmelse.
- [7] Dansk Betons hjemmeside, www.danskbeton.dk.
- [8] ERMCO's hjemmeside, www.ermco.eu.