

7 Produktion af frisk beton

Af Freddie Larsen



Figur 1. Frisk beton produceres på en betonfabrik. Ved tuden til højre i billedet påfyldes roterbilerne. Umiddelbart ovenover er selve blanderen placeret. Den firkantede bygning indeholder tilslagssiloer, mens pulvere som cement og flyveaske er i de runde siloer

Produktion af frisk beton omfatter afmåling af delmaterialer og blanding af disse til en homogen masse. Den friske beton skal have egenskaber, der gør egnet til den efterfølgende udstøbning, og samtidigt opfylde de ønskede krav til fx styrke og holdbarhed – når betonen senere er hærdnet.

Frisk beton produceres $\frac{1}{2}$ til 2 timer før, at den skal anvendes. Frisk beton kan ikke ligesom mursten, stål og træ lægges på lager.

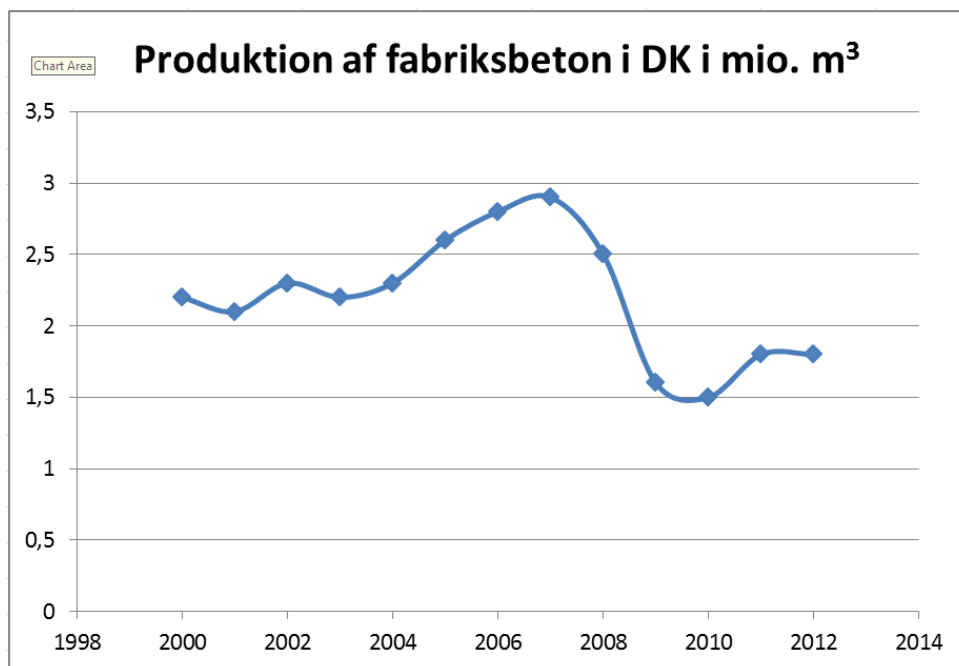
Da frisk betons kvalitet ikke kan kontrolleres fuldstændigt ved en efterfølgende kontrol, skal kvaliteten styres og kontrolleres samtidigt med at delmaterialerne afmåles og betonen blandes.

Den friske beton er et selvstændigt produkt – en byggevare – normalt kaldet fabriksbeton, der sælges til entreprenørerne.

Betonelementfabrikker blander ofte selv deres friske beton, og produktionen heraf foregår under samme forhold som beskrevet for fabriksbeton.

Historie

Industriel produktion af frisk beton i Danmark tog for alvor fart i 1960-erne med opførelse af et betydeligt antal store, industrielle anlæg til blanding af beton.



Figur 2. Forbruget af fabriksbeton varierer med konjunkturerne. I 2012 var forbruget 1,8 mio. m³ – svarende til over 700 kg pr. dansker pr. år

Indtil da var den overvejende del af betonen til såvel bygge- som anlægsopgaver blevet blandet på byggepladserne ofte i små og ineffektive blandemaskiner – eller endda ofte på en træplade med en skovl.

Parallelt med den industrielle udvikling blev der tilsvarende opført betonelement-fabrikker, hvor blandedeanlæggene var mindre, men opbygget efter samme principper som på betonfabrikkerne. De fleste betonvareanlæg til belægningssten, betonfliser, rør mv. har også tilsvarende opbygning.



Figur 3. Den første betonfabrik i Danmark blev opstillet i 1926 på Kalkbrænderihavnen i København

Under det store byggeboom i 1960-erne blev fabriksbeton en nødvendighed for at klare efterspørgslen, og den blev og derfor en efterspurgt vare.

Efterhånden blev man hos både betonproducenter, entreprenører og bygherrer opmærksomme på, at det var nødvendigt med tiltag, som skulle sikre, at fabriksbeton opfyldte de basale krav. Entreprenører og bygherrer har nemlig i praksis ikke mulighed for selv at kontrollere kvaliteten. Mange betonfabrikker tilsluttede sig derfor den frivillige kontrolordning "Fabriksbetonkontrollen" som var underlagt Dansk Ingeniørforenings regler for frivillige kontrolordninger.

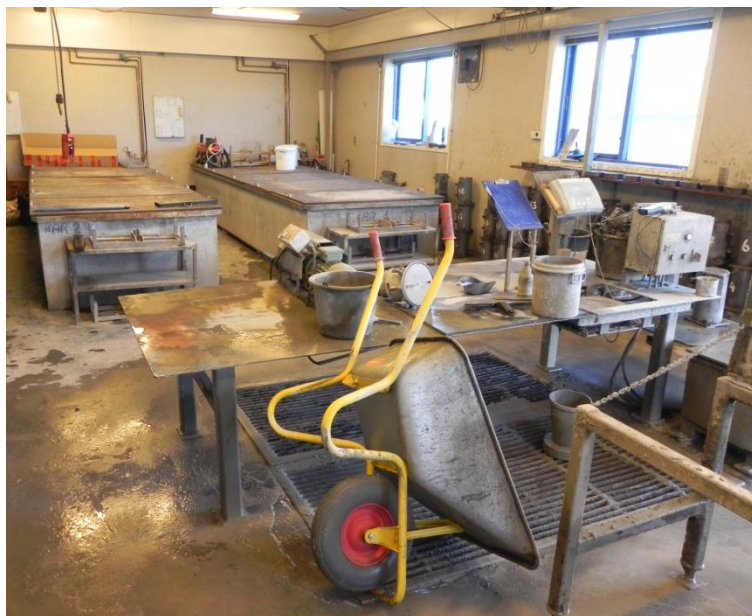
Kvaliteten blev hermed forbedret, men det viste sig, at der stadig var et par skridt at tage, inden fabriksbeton havde en stor ensartethed og en veldefineret holdbarhed.

BasisBetonBeskrivelsen (BBB) fra 1986 var et væsentligt skridt i denne retning med indførelse af holdbarhedskrav og krav til betonfremstillingen. Disse krav er i moderniseret form opretholdt i det nuværende kravsystem (primært i DS 2426).

7.1 Opbygning af produktionsanlæg

Et moderne produktionsanlæg til fremstilling af beton består primært af faciliteter til modtagelse og opbevaring af delmaterialer, et doseringsanlæg til delmaterialer, og selve beton-blandemaskinen.

Desuden indgår udstyr til udlevering af den friske beton samt udstyr til kontrol af betonen – et laboratorium.



Figur 4. I et almindeligt betonlaboratorium kan måles konsistens, luftindhold og styrker (på en trykpresse – se billedet til højre). Se også kapitel 15.1

I moderne anlæg indgår et processtyringsanlæg, som udover selve blandeprocessen ofte indeholder de moduler, som altid hører til produktion af en fabriksfremstillet vare herunder prøvning og dokumentation samt administrative systemer.

Efterfølgende er beskrevet produktionsanlæggets primære komponenter, som de typisk kan være opbygget; samt de krav som de skal opfylde for at leve op til gældende standarder.

7.1.1 Opbevaring af delmaterialer

Der stilles i EN 206-1 fire overordnede krav til opbevaring af delmaterialer:

- Delmaterialer skal opbevares på en sådan måde, at deres egenskaber ikke ændres
- Lagerafsnit skal være tydeligt mærkede
- Leverandørens instruktioner skal følges
- Faciliteter til prøveudtagning skal være tilstede

Disse krav kan opfyldes på mange måder og nedenfor er angivet de almindeligste danske løsninger

7.1.2 Tilslagssiloer

Tilslagene udgør den største del af betonen, hvorfor der kræves store siloanlæg hertil, eller alternativt en løbende leverance under produktion.

Tilslagene opbevares i plansiloer, i jordsiloer under terræn eller i højsiloer.

Plansiloer (stjernegårde)

Plansiloer er i sin simpleste form materialebunker aflæsset på et fast underlag (typisk af beton) for at undgå forurening af tilslagene. For at spare areal kan opstilles vægge mellem bunkerne. Overdækning af bunkerne med et tag er en fordel, da styring af fugtindholdet i tilslaget herved bliver lettere.

På ældre anlæg udgøres plansiloen af et cirkulært område opdelt af vægge i "pizza-slices" – en såkaldt stjernegård. I stjernens midte er anbragt en maskine med slæbeskovl.

Jordsiloanlæg

Produktionsanlæg med jordsiloer er opbygget således, at tilslagene opbevares i underjordiske siloer. Under siloerne er anbragt et transportbånd, der fører materialerne til doseringsanlægget og blanderen. I mange anlæg er transportanlægget ophængt i vejeceller og fungerer således også som doseringsanlæg.

Et jordsiloanlæg har den fordel, at delmaterialerne kan leveres med lastbil og hældes direkte ned i lagersiloen, således at man undgår en intern transport ved omlæsning til lagersiloen. Til gengæld vil et jordsiloanlæg kræve mere plads og større anlægsudgifter end et højsiloanlæg.

Jordsiloer vil typisk være overdækkede af enten et fast tag, som kan åbnes, eller et fleksibelt dække, fx af stærkt presenningstof som kan trækkes til side, mens materialer tømmes i siloen direkte fra lastbil.

Det er en klar fordel ved jordsiloanlægget, at der kan opbevares relativt store mængder tilslag beskyttet mod regn og sne og udtørring.

Højsiloanlæg

I et højsiloanlæg opbevares tilslagene i firkantede eller cylindriske siloer anbragt over terræn. Under siloerne er anbragt et transportbånd, der fører materialerne til doseringsanlægget og blanderen. I mange anlæg er transportanlægget ophængt i vejeceller og fungerer således også som doseringsanlæg.

I nogle mindre højsiloanlæg udnyttes tyngdekraften til at dosere materialer ned i en vejebeholder, som efterfølgende tømmes ned i blanderen, ved at åbne et spjæld i bunden. Et sådant anlæg er højt og meget kompakt (hele anlægget kan være i et "blandetårn"), og man kan fx ved produktion af varm beton indbygge såvel fyringsanlæg som faciliteter til opvarmning af materialer i blandetårnet.

Højsiloanlæg kan opbygges på et mindre areal end jordsiloanlæg.

Ved højsiloanlægget vil der være modtage-siloer, hvor indkommende delmaterialer aflæsses og køres op i højsiloerne med transportbånd.



Figur 5. Højsiloanlæg er meget anvendt til danske produktionsanlæg

Højsiloer kræver på grund af deres begrænsede størrelse løbende materialetilførsel, hvorfor der som regel også vil være behov for et antal plansiloer som bufferlager til nogle timers produktion. Herved kan sikres en kontinuert produktion, også selv om fx trafikforhold forstyrrer tilkørsel af materialer.

I praksis vil mange siloanlæg for tilslag ofte være hybrider af de forskellige typer siloanlæg, alt efter hvorledes forholdene på stedet har muliggjort fx udvidelser og ombygninger.

7.1.3 Cementsiloer

Cement, flyveaske og mikrosilica (som pulver) opbevares i tætte siloer (pulversiloer) eller beholdere.

Pulver blæses fra tankbiler direkte op i lukkede lagersiloer, da cement ikke tåler fugt under opbevaring.

Pulversiloerne er typisk runde stålsiloer, som kan være opdelt i flere kamre.

Et fabriksanlæg råder typisk over opbevaringsmuligheder for to eller tre typer pulver.

7.1.4 Siloer til tilsætninger

Tilsætninger som flyveaske, slagge og kalkfiller opbevares som cement – ofte i siloer oprindeligt konstrueret til cement. Særlige påfyldningsstudse hindrer forveksling af fx cement og flyveaske.

Mikrosilica kan også opbevares som pulver i siloer, men også som bulk i big-bags. Det er vigtigt, at mikrosilica holdes fri for fugt.

Mikrosilica kan også leveres og opbevares som en slurry (en opslæmning af pulveret i vand) og pumpes og transporteres som en væske og opbevares i en tank. Det er vigtigt, at slurry opbevares frostfrit og holdes omrørt for at sikre mod bundfældning.

Farvepigmenter kan leveres som pulvere, men ofte levers de som en slurry (en vandig opslæmning), der skal opbevares efter leverandørens anvisninger – typisk på samme måde som mikrosilica slurry.

7.1.5 Opbevaring af fibre

Fibre til brug i beton, leveres ofte i almindelige sække eller big-bags. Der findes dog andre former for levering af stålfibre, fx i et "bælte" som indeholder fibrene.

Stålfibre skal opbevares tørt, hvilket i praksis vil sige indendørs i et opvarmet lokale, for at undgå at fibrene rustner sammen.

Plastfibre leveres enten i afvejede poser til direkte dosering eller i big-bags. Plastfibre i større mængder kan også leveres i længder ("tove"), der klippes på stedet med en cutter.

7.1.6 Opbevaring af tilsætningsstoffer

Da de fleste tilsætningsstoffer leveres i flydende form som en vandig opløsning, skal de opbevares i opvarmede rum for at undgå frysning.

Tilsætningsstofferne bringes frem til vejebeholderne med pumpe via slanger.

Nogle tilsætningsstoffer kan have tendens til at få bundfald eller til gelering, hvis de er i ro i længere tid. Der bør derfor etableres omrøring eller anden mekanisk bevægelse af indholdet i tankene med tilsætningsstoffer

7.1.7 Fremføring af blandevand

En dansk betonfabrik vil normalt anvende drikkevand fra vandværk som blandevand. Det giver en så stor forsyningssikkerhed, at der ikke behøver lagres vand i tanke på fabrikken.

På store byggepladsanlæg til de store infrastrukturprojekter er vandtanke dog en nødvendighed, for at tilfældige vandafbrud ikke kan standse produktionen.

På produktionsanlæg under mere primitive – eller varme og tørre - forhold ude i verden, er fremføring af vand et meget vanskeligt spørgsmål. I Mellemøsten er det fx almindeligt, at de ansatte har forbud mod at drikke af blandevandet. Blandevandet er nemlig både bedre som drikkevand og dyrere at fremstille, da det skal have et lavere saltindhold end det almindeligt tilgængelige vandværksvand.

Det er blevet økonomisk attraktivt at genanvende en del af det vand, som anvendes til vask af roterbiler og blandere på fabrikken. Ligeledes vil der være fornuft i at opsamle fx regnvand for brug i fabrikkens processer. Disse tiltag er medvirkende til, at man kan spare på drikkevandet. Der vil derfor på en moderne betonfabrik være specielle kar eller beholdere til opbevaring og håndtering af genbrugsvand.



Figur 6. Vaskevand fra biler, blandemaskiner og udvasket overskudsbeton kan genanvendes. Overskudsbeton deles i tromlen øverst til venstre i tilslag og vand med finmateriale. Enten skal finmaterialet holdes opslemmet eller bundfældes. Til højre ses et opslemningsklar. Det genvundne tilslag (nederst til venstre) kan genanvendes til beton, men bruges ofte til sekundære formål

7.2 Doseringsanlæg til delmaterialer

Dosering er den del af fremstillingen af den friske beton, hvor delmaterialerne afvejes (eller afmåles) i forhold til betonrecepten.

Der stilles i EN 206-1 krav om, at følgende delmaterialer doseres ved afvejning:

- Cement
- Tilslag (normaldensitet og tunge)
- Tilsætninger (som pulvere)
- Fibre

Følgende delmaterialer tillades doseret efter både masse og volumen:

- Blandevand
- Lette tilslag
- Tilsætningsstoffer
- Tilsætninger i form af slurry

Der er åbnet for andre muligheder, hvis en tilstrækkelig nøjagtighed kan dokumenteres.



Figur 7. De to omvendte pyramide-formede beholdere er vandvægte ophængt i vejeceller. Vandvægten til højre er til drikkevand – vandvægten til venstre er til genbrugsvand

For væskeformige stoffer (fx vand og tilsætningsstoffer) findes doseringsanlæg udformet som en cylindrisk beholder forsynet med en tryktransducer i bunden. Afmåling sker ved, at beholderen fyldes indtil tryktransduceren melder en værdi, der via væskens densitet og cylinderens geometri kan omregnes til en mængde. Om dette måleprincip er en afvejning eller en volumenmåling er en definitionssag.

7.2.1 Doseringsnøjagtighed

Doseringsanlægget skal kunne dosere mængderne af de enkelte delmaterialer således, at hver blandingssammensætning bliver tæt på den foreskrevne sammensætning og at de doserede mængder er kendt.

Den tilstræbte værdi kaldes "bør"-værdien og den opnåede kaldes "er"-værdien

Skal der fx doseres 100 kg flyveaske i en betonblanding, er det ikke afgørende om der doseres 97, 98, 99, 100, 101, 102 eller 103 kg flyveaske, men det er

afgørende, at der er et vejesystem, der kan bestemme den præcise mængde - fx at den doserede mængde er 101 kg.

Vejeudstyret skal derfor være betydeligt mere nøjagtigt end kravene til doseringsnøjagtigheden.

Alle doseringsdata opsamles i et processtyringsanlæg, som indeholder fabrikkens blandetabeller, og hvor doseringen kan dokumenteres og dens korrekthed kan evalueres elektronisk.

Den ansvarlige person, som styrer blandingen af beton kaldes blandemesteren. Blandemesteren kan på sit skærm billede se, om hele processen er forløbet tilfredsstillende, og om alle krav opfyldes. Typisk vil alle krav og tilladelige afvigelser være indlagt i processtyringen, således af afvigelser vil udløse en alarm, som blandemesteren skal forholde sig til.



Figur 8. Blandemesteren finder den korrekte recept frem og styrer doseringen på skærmene nederst til højre. På de to øverste skærme til venstre kan han følge doserings- og blandeprocessen, og på skærmene øverst til højre kan han følge læsningen af bilerne

Fabrikken skal kunne dokumentere, at man overholder kravene til doseringsudstyrets målenøjagtighed ved enten en akkrediteret prøvning af veje- og doseringsudstyret, eller ved en egen dokumentation på basis af kalibrerede lodder.

Doseringsprocessen dokumenteres ved procesudstyrets opsamlede blanderapporter, som skal være tilgængelige for kunder og for certificeringsorganet.

Der er krav til nøjagtigheden af selve doseringsprocessen. Doseringsprocessen omfatter hele anlæggets funktion. Her vil reaktionstiden for spjæld og snegle spille en væsentlig rolle, ligesom fysiske forhold som fastholdelse af delmaterialer i vejebeholdere.

Delmateriale	Tolerance
Cement Vand Total tilslag Tilsætninger ved anvendelse <5 % i forhold til cementvægten	+/- 3 % af krævet mængde
Tilsætningsstoffer og tilsætninger ved anvendelse $\leq$ 5 % i forhold til cementvægten	+/- 5 % af krævet mængde
NOTE – Tolerancen er forskellen mellem tilstræbt værdi og den målte værdi	

Tabel 1. Doseringskrav ifølge EN 206-1

Når der doseres til mindre end 1 m³ beton, tillades ifølge DS 2426 den dobbelte tolerance.

7.2.2 Registreringsudstyrets målenøjagtighed

Vægte og volumenmålebeholdere skal have en tilstrækkelig målenøjagtighed. Ud fra en måleteknisk betragtning bør målenøjagtigheden være 5 til 10 gange bedre end den krævede doseringsnøjagtighed.

Imidlertid vil de fleste produktionsanlæg ikke kunne opfylde dette. I EN 206-1 kræves følgende målenøjagtighed:

- Vægte: 1 % (dog 2 % op til 20 % af fuld skala)
- Volumenmålere: 2 % (dog 3 % ved måling mindre end 30 liter)

Disse målenøjagtigheder er imidlertid ikke identiske med de reelle nøjagtigheder, man opnår på hver afmålt mængde.

Det skyldes at måleudstyr er en dyr og kompliceret komponent i et blandeanlæg, og det samme måleudstyr anvendes derfor normalt til flere delmaterialer.

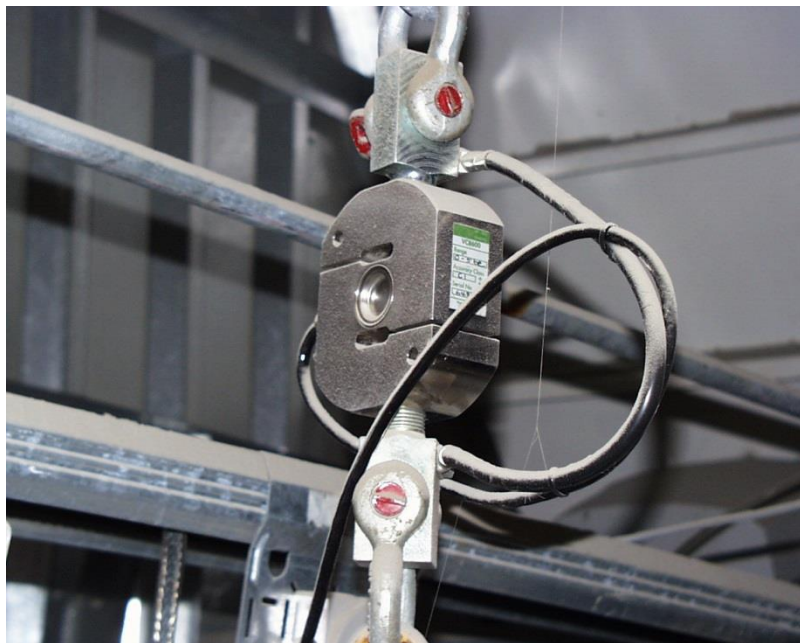
Fx ser man ofte, at cement og flyveaske bliver afvejet i den samme vejebeholder. Normalt doseres og afvejes cementen først, og derefter flyveaske (oven-)i den samme vægt. Det betyder, at bestemmelsen af flyveaskemængden kræver to registreringer, hvilket øger unøjagtigheden på bestemmelse af flyveaskemængden. Desuden vil unøjagtigheden målt i % altid blive større, hvis man afmåler en lille mængde (flyveaske) på en vægt beregnet til en stor mængde (cement).

I praksis skal vægtens størrelse (kapacitet) være sat i relation til den mængde, der afvejes. Hvis fx en betonfabrik med en 3 m³ blander har en cementvægt, der kan afveje op til 2.000 kg cement (op til 666 kg cement pr m³), vil det ikke være hensigtsmæssigt at skulle afveje fx 15 kg mikrosilica til 1 m³ beton på samme vægt. Det ville svare til at skulle anvende en badevægt som køkkenvægt.

7.2.3 Vægte og vejeceller

Vægte i betonblandeanlæg består som regel af en beholder eller et transportbånd ophængt i en eller flere vejeceller.

Vægten af beholderen eller transportbåndet tareres væk, og vægten af det doserede delmateriale kan derefter aflæses direkte.



Figur 9. Vejecelle i betonproduktionsanlæg. Vejebeholderen hænger i en kæde under vejecellen. Ledningen sender signal til processtyringen.

Vejeceller er komponenter, der afgiver signaler som funktion af en trykpåvirkning. Vejecellen afgiver signaler i trin, og det er vigtigt at der er tilstrækkeligt med trin, svarende til den ønskede opløsning. Hvis fx en vejecelle

skal kunne veje fra 0 til 500 kg med 1 kg opløsning, skal der mindst være 500 trin i vejecellen.

Vejecellen skal imidlertid også bære vejebeholderen (eller transportbåndet) ligesom den skal sikres mod overbelastning.

Vejeceller er designet til at virke i temperaturintervaller – dog med en mindre afvigelse. Uden for disse intervaller er de endog meget temperaturfølsomme.

Valget af vejeceller og den reelt opnåelige nøjagtighed kræver derfor en detaljeret analyse.

7.2.4 Dosering af tilslag

I jordsiloer doserer man materialet ned på et transportbånd ophængt i et antal vejeceller. Alternativt på et transportbånd, der fører til en vejebeholder.

I højsiloanlæg på mindre betonfabrikker doseres direkte ned i en vejebeholder. Der vil typisk være en vejebeholder for alle tilslagsmaterialer, således at doseringsprocessen foregår fortløbende for alle tilslag. På store højsiloanlæg, kan der være vejebånd eller transportbånd ligesom på jordsiloer.

For at sikre overholdelse af doseringstolerancen for tilslaget, vil doseringen starte med en stor mængde pr. tidsenhed, og sidst i processen overgå til en dosering i små mængder pr. tidsenhed ("sjatdosering") – fx ved at et spjæld er næsten lukket, samtidig med at der sker en let vibrering af spjældet.



Figur 10. Spjæld til dosering af tilslag

7.2.5 Dosering af pulvere

I bunden af en pulversilo vil der normalt være et udtag med en transportsnegl. Sneglen er styret af fabrikkens processtyringsanlæg, således at den i starten af doseringsprocessen kører hurtigt og doserer store mængder pr. tidsenhed, for til sidst i processen at køre meget langsomt eller i stød (pulsdosering). Herved undgås at der er en stor mængde "pulver i luften" (mellem snegl og vægt) når sneglen stoppes af processtyringen. Dermed minimeres variationer i doseringen.

Mikrosilica som pulver vil som regel blive bragt til vejebeholderen af en "redler" (et transportbånd med tværstillede plader) eller kop-elevator, da mikrosilica som pulver er svært at transportere med en snegl.

Anvendes mikrosilica-slurry, doseres denne slurry som andre flydende delmaterialer (fx tilsætningsstoffer).

7.2.6 Dosering af blandevand

Vand doseres normalt efter vægt i en beholder ophængt i vejeceller.

Tidligere anvendtes også tidsstyring, hvor en hane holdtes åben i et antal sekunder, men dette er ikke tilladt, da unøjagtigheden er for stor.

Vand kan også doseres efter rumfang, fx ved at tilsætte et afmålt volumen fra en spand. Denne fremgangsmåde anvendes ofte ved små blandinger ude på pladsen, men er vanskelig at styre og dokumentere.

7.2.7 Dosering af fibre

Efterhånden som tilsætning af fibre har vundet mere udbredelse, er der udviklet en række forskellige typer af doseringsudstyr, som kan indbygges i betonfabrikkens produktionsudstyr, således at såvel dosering som dokumentation for den tilsatte mængde fibre foregår automatisk.

Eksempler er fibre i et bælte, en vibrator der får fibrene til at vandre frem til blanderen eller et doseringsbånd som leverer fibrene i blanderen.

Der findes også indblæsningsudstyr, som kan bringe fx stålfibre op i højde med indløbet på en roterbil ved hjælp af en blæser. Derved sikres en fornuftig fordeling af fibrene i læsset.

7.2.8 Dosering af tilsætningsstoffer

Der findes forskellige systemer til dosering af de typisk vandige tilsætningsstoffer.

Ofte er vejebeholderen til tilsætningsstoffer opdelt i kamre, således at hele vejebeholderen er ophængt i en vejecelle, og afvejningen foregår ved additions-vejning ved at dosere de enkelte tilsætningsstoffer i rækkefølge til beholderen.

Det er vigtigt at sikre, at tilsætningsstofferne kommer med i blandingen i de afvejede mængder. De relativt små mængder kan sætte sig i lange slanger og rør. Løsningen på dette kan være at dosere tilsætningsstoffer direkte i vandvægten, eller at lade blandevandet (eller en del heraf) skylle igennem tilsætningsstoffernes vejebeholder og slanger.

7.3 Blanding af delmaterialer

Efter dosering tømmes materialerne fra vægte og målesystemer direkte i blanderen gennem fleksible rør for ikke at påvirke eller skade vægtene.

Ved pulverindføringen er der som regel monteret en sugeslange, som med et svagt vakuum hindrer luftbårne partikler i at komme ud fra systemet og ud i de tilstødende rum. Dette dels for at holde omgivelserne så rene som muligt, dels for at sikre et ordentligt arbejdsmiljø for de medarbejdere, som færdes i blandetårnet.

Det således opsugede materiale kan derefter opsamles og fx tømmes i flyveaskesiloen, hvor det senere indgår i processen. Lidt cement i flyveasken giver ikke anledning til problemer, mens det omvendte kan være tilfældet fordi cementindholdet i betonen herved kan reduceres.

7.3.1 Styring af vandindholdet

Da mængden af vand i blandingen er afgørende for både betonens konsistens, styrke og holdbarhed, er vandindholdet en af de afgørende parametre, som fabrikken skal styre.

Den store ubekendte i bestemmelse af vandindholdet er fugtindholdet i tilslaget.

Der findes forskellige metoder til at måle fugt i tilslag, således at man allerede på tidspunktet for dosering af tilslaget kan tage hensyn til vandindholdet. Det kaldes online fugtmåling, og foregår ved at sonder placeret ved udløbet fra tilslagssiloen løbende måler den aktuelle fugtprocent – desværre ofte med en betydelig unøjagtighed.

Måleprincipperne for disse fugtmålere er ofte neutronmålere eller mikrobølgemålere.



Figur 11. Neutronmåler til måling af fugt direkte i tilslagssiloen umiddelbart over doserings-spjældet

Online fugtmåling på sandmaterialerne er vigtigst, da disse typisk vil kunne indeholde den største mængde fugt.

Hvis alle andre parametre er konstante, vil konsistensen afhænge direkte af vandindholdet i betonen, og hvis man kender den doserede vandmængde, vil der være en direkte sammenhæng mellem fugtindholdet i tilslaget og betonens konsistens

Procescomputeren, som styrer blandeprocessen, arbejder med sammenhørende værdier for konsistens af betonen og den elektriske effekt (målt i Watt) som motoren i blanderen forbruger under blandingen. En måling af effekten på et såkaldt "Watt-meter" kan derfor bruges til at vurdere om betonen har den rigtige konsistens – og dermed det rigtige vandindhold.

Da tilslagsmaterialerne afhængigt af opbevaringsforholdene indeholder en varierende mængde fugt, kan det derfor være relevant at tilbageholde en del af blandevandet i første del af blandeprocessen, for derefter at tilsætte det resterende vand - kaldet spædevand eller sjatvand - senere i processen på baggrund af Watt-meter målinger.

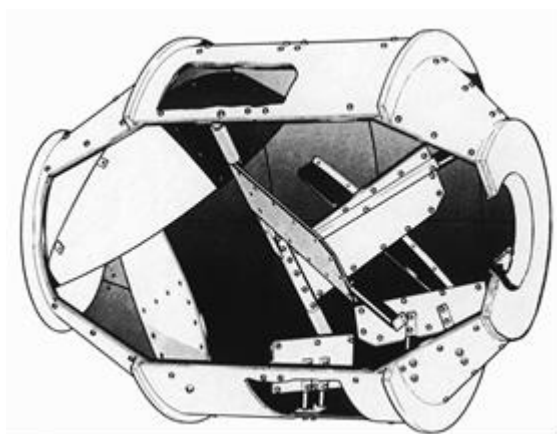
En nyere og mere direkte metode til konsistensstyring er at indbygge en såkaldt "probe" i blanderen. Denne måler den fysiske modstand i betonstrømmen i blanderen, der kan opfattes som en måling af viskositeten af betonen, hvilket er afgørende for konsistensen.

Forudsætningen for disse metoder – at der er direkte sammenhæng mellem betonens vandindhold og betonens konsistens – er sjældent fuldt opfyldt. Fx påvirker variationer i tilslagetets kornkurve også konsistensen.

7.3.2 Blandertyper

Fritfaldsblander eller tromleblander var tidligere den mest almindelige blandertype. Den består i sin enkle form af en liggende cylinder som hviler på to eller flere store lejer, som tillader at den roterer om sin egen længdeakse. Et eller flere af lejerne vil være forsynet med en motor som roterer cylinderen.

I den åbne ende er cylinderen konisk med en cirkelrund åbning i midten. I den anden ende er der en åbning, som via en slidske ind i blanderens bagende modtager de delmaterialer, som skal blandes.



Figur 12. Snit i fritfaldsblander

Inde i blanderen er der fastgjort et antal blandeskovle, som under cylinderens rotation trækker materialet ind mod bunden af blanderen, løfter det med op og lader det falde ned i bunden af blanderen. Deraf navnet fritfaldsblander, idet en stor del af energien i blandeprocessen bruges til at løfte betonen op og lade den falde ned.

Vedligeholdsmæssigt er det en økonomisk blander, idet der ikke er nogen bevægelige dele inde i blanderen. Større fritfaldsblandere er ofte beklædt indvendigt med slidbelægning enten af specielle stållegeringer eller af kunststof.

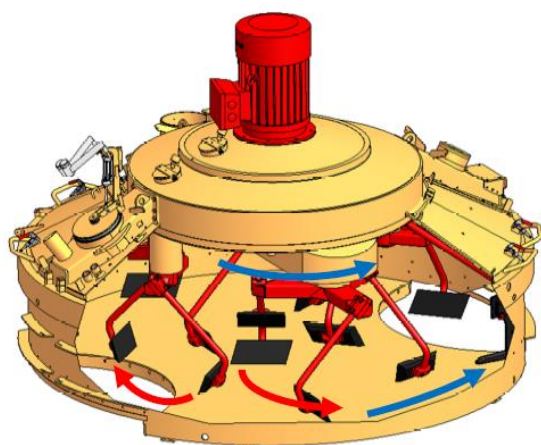
Fritfaldsblandere tømmer betonen ud ved at skifte omløbsretning. Blandesneglen som under blanding trak betonen ned mod cylinderens bund, skubber nu betonen op mod den koniske ende og ud af blanderen.

Fritfaldsblandere til fabriksbetonproduktion findes i størrelse fra ca. 2 m³ og op til 8-9 m³. Der bygges formentlig ikke nye anlæg med fritfaldsblandere i Danmark, da de ikke anses for at være så effektive som blandere af tvangsblandertypen.

Fritfaldsblanderen er også den type blander (en tromleblender) som gør-det-selv manden anvender.

Tvangsblandere findes i flere udgaver og anses for at være fremtidens blandertype.

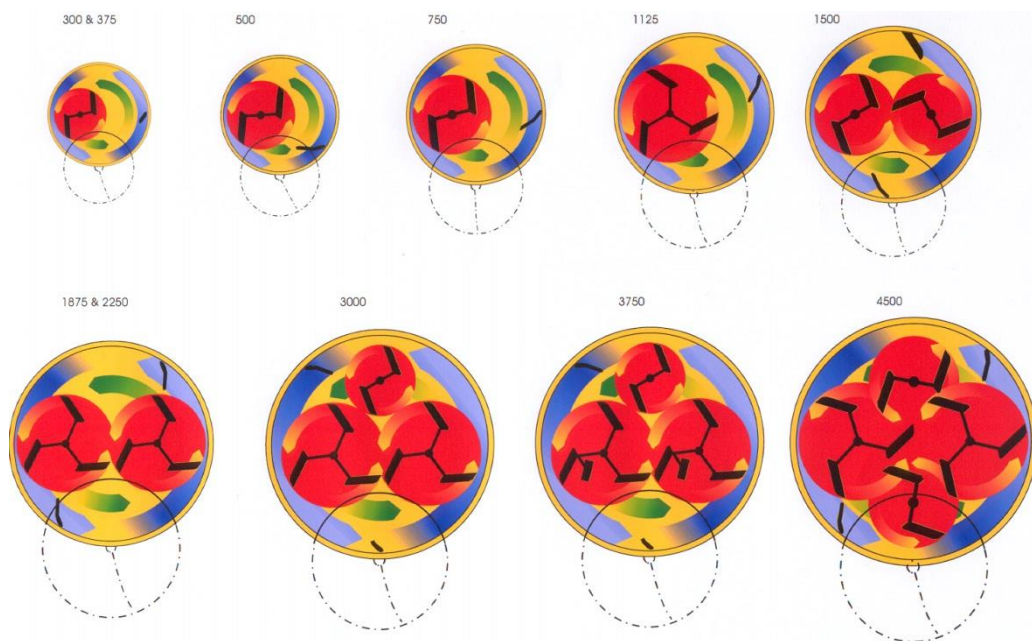
Den oprindelige tvangsblender er den såkaldte tallerkenblender. I sin enkleste form består tallerkenblanderen af et cylindrisk kar med et antal blandearme fast monteret på en lodret aksel. Akslen drives rundt af en elmotor, som oftest sidder på toppen af blanderen på større blandere og under blanderen på mindre tvangsblendere til håndværksbrug.



Figur 13. Princip i tvangsblender og blanderen på fabrikken (med tre motorer)

På hver af blandearmene sidder en blandeskovl, som under akslens rotation drives igennem betonen i blandekarret, og dermed tvinger sig gennem delmaterialerne og derved blander dem. Deraf navnet tvangsblender. Princippet anvendes også i en almindelig køkkenmaskine.

En mere avanceret type tvangsblender har bevægelige blandeskovle. Blandeskovlene, eller en del af dem sidder på bevægelige aksler, som under hovedakslens rotation foretager en egen rotation; en såkaldt epicyklisk bevægelse (planetbevægelse). De sekundære aksler kan enten drives af egne motorer eller via gear af hovedakslens rotation.



Figur 14. Rotationsprincipper i tvangsblenderes blandeskovle afhængigt af blanderens størrelse

Den type blander benævnes modstrømsblander, idet de sekundære akslers omdrejningsretning er modsat hovedakslens, hvilket giver modstrømme eller hvirvelbevægelser i betonblandingen. Udover de roterende blandearme, er der også en eller flere indstillet til at passere tæt på blandekarrets bund og sider, således at det sikres, at der ikke forekommer lommer af materialer, som ikke indblandes i betonen.

Tvangsblendere af denne type kan blande beton meget effektivt. Typisk vil blandetiden kunne nedsættes til ca. 2/3 af blandetiden for fritfaldsblendere.

Tvangsblendere leveres normalt med en kapacitet op til 6 m³

Tvangsblendere har et betydeligt slid på såvel blandeskovle som på blandekarrets sider og bund. Der kræves derfor en jævnlig justering af blandeskovle og skraberens afstand til bund og vægge i blandekarret

Tvangsblenderen tømmes ved at en del af blanderens bund svinger ud, og giver en åbning i bunden af blanderen.

En anden udformning af tvangsblenderen er en twin shaft blander (som følge af konstruktionsprincippet) – også kaldet en BHS blander eller **Sonthofenblander** efter den tyske fabrik som opfandt princippet.

Blanderen er opbygget som et vandretliggende trug, hvori to vandrette aksler er placeret parallelt. På akslerne sidder et antal blandeskovle som under akslens rotation rører rundt i blandingen. Bunden i blanderen består af to halve

cylindere, hvor blandeskovlene når ned ganske tæt på bunden. Blanderens tømmer ved at de to halvcylindriske bundstykker åbner sig.

BHS blandere anses for at være lige så effektive som andre tvangsblandere. Kapaciteten er op til 9 m³.

En blander af samme type er den enakslede trugformede blander, ofte kaldet **Elba** blanderen (eller Single Shaft), som mest er kendt fra mindre transportable fabriksbetonanlæg.

7.4 Blandetid

Ifølge den europæiske materiale standard, EN 206-1, skal blandingen pågå "until the concrete is homogeneous."

Udover dette lidt vanskeligt kvantificerbare krav, er der i DS 2426 (den danske tillægsstandard til EN 206-1) fastlagt vejledende blandetider, idet man normalt kan påregne at tilstrækkelig blandetid er opnået efter en blandetid på 60 sekunder i en tvangsblander og 90 sekunder i en fritfaldsblander.

Blandetiden under produktion skal altid udgøre mindst 90 % af den blandetid, som er medgået ved forprøvningen af den aktuelle betonrecept.

7.5 Fra sats til læs

Ofte vil læsstørrelsen for roterbilerne være større end blanderens kapacitet. Det vil så være nødvendigt at blande flere satse (blandinger) til en leverance (et læs i en roterbil).

Der skal derfor ske en homogenisering i roterbilen, således at satsene i det samlede læs sammenblandes i roterbilen i mindst 1 minut pr m³ beton.

Eventuelle doseringsoverskridelser for de enkelte satse kan i nogen grad udlignes af de øvrige satse i læsset, således at læsset som helhed opfylder kravene til doseringsnøjagtighed.

7.5.1 Andre blandemetoder

Truck mixing/Dry batch anlæg

I Danmark er der ikke tradition for at foretage den fulde blandeproces i roterbiler.

Blanding i roterbiler er dog nævnt som mulighed i EN 206-1, ligesom den mest anvendte engelske betegnelse for en roterbil er "truck mixer". En truck mixer er en slags fritfaldsblander monteret på en bil.

I et anlæg til fremstilling af beton, som blandes i roterbiler, indgår et anlæg til afvejning og dosering af alle de indgående materialer, et såkaldt "Dry batch anlæg"

Delmaterialerne afvejes på samme måde som på stationære anlæg, men doseres direkte i ublandet tilstand ned i roterbilen. Roterbilen blander herefter delmaterialerne til den rette konsistens er opnået.

I de lande, hvor denne metode praktiseres, vil det som regel være sådan, at roterbilen forbliver på betonværket indtil blandingen er homogen - typisk defineret som et antal rotationer af tromlen - fx 70 omdrejninger. Derefter udtages eventuelt en prøve.

Da blandetiden i bilerne ikke indgår i procestiden for betonværket, vil et dry batch anlæg have en noget større kapacitet end et traditionelt anlæg. Til gengæld må det antages, at der vil være større variation i betonkvaliteten, da der principielt indgår et antal forskellige "blandere" i processen.

Roterbiler til truck mixing vil typisk have vandtank monteret, da chaufføren/blandemesteren ikke kan holde sjatvand tilbage under doseringsprocessen. Det er chaufførens opgave at tilsætte den nødvendige mængde vand lige inden aflæsning for opnåelse af det ønskede sætmål. Det giver et ekstra bidrag til variation i betonkvaliteten.

Fra den store verden:

Under dosering af materialer i roterbilen (truck mixing) vil der naturligt forekomme en del støv, da materialerne på dette stade er ublandede. I lande hvor truck mixing foregår, indgår derfor en skylning af roterbilen udvendigt, mens den foretager de obligatoriske omdrejninger. Så er det selvfølgelig meget menneskeligt, hvis man kommer til at spule lidt vand ind i kanonen! Det er sjældent, at man får skældud på byggepladsen, hvis sætmålet er en eller to streger over det bestilte. På den måde har de ansvarlige på betonværket pludselig mistet indflydelse på den kvalitet/styrke som betonen opnår i konstruktionen!

De foran nævnte blandere er alle af typen satsblandere. Det betyder, at den mængde beton som blandes på en gang er en veldefineret mængde, hvor man har dokumentation for den nøjagtige mængde materialer som indgår i

blandingen, samt den nøjagtige blandetid, som er medgået til at blande satsen.

EN 206-1 har åbnet for andre muligheder for blanding af beton. I Danmark gælder DS 2426 forud for EN 206-1, og DS 2426 begrænser mulighederne til den type blandeprocesser, som vi har dansk erfaring for. Den gennemstrømningsblander, der for fuldstændighedens skyld beskrives nedenfor, er ikke tilladt i Danmark

Gennemstrømningsblander (kontinuerlig blander)

En gennemstrømningsblander er en blandertype, hvor dosering og blanding er en kontinuerlig proces, hvor delmaterialerne føres til en blandesnegl, som er indrettet til at foretage en egentlig blandeproces, samtidig med at delmaterialerne føres frem igennem et rør.

Der findes også store flytbare, semimobile anlæg som bruges til produktion af cementstabiliseret grus til store anlægsopgaver. Her bliver der fra en særskilt silo på anlægget tilsat cement til en grusblanding med en veldefineret kornkurve. Også her bliver vand tilsat i blandesneglen under en kontinuert blandeproces i en blandesnegl.

7.5.2 Processtyring

Procescomputeren er omdrejningspunktet for alle de processer, som indgår i fremstillingen af fabriksbeton. Alle betonrecepter forefindes typisk i en grundrecept, som under produktion af betonen tilrettes de aktuelle omstændigheder, fx korrektion for fugtindhold i tilslag eller korrektion på grund af ønsket om et bestemt sætmål.

På tilsvarende måde er det muligt at ændre en række recepter samlet som følge af fx variation af styrkeresultater eller ved oplysning fra fx cementleverandøren om ændringer i styrken af den anvendte cement.

Processtyringen kan typisk opdeles i følgende faser:

- Beregning af recept ud fra opstillede krav, fx betonstyrke, konsistens, luftindhold største stenstørrelse mv.
- Afvejning og styring af doseringsprocessen
- Stillingtagen til eventuelle overskridelser af doseringstolerancer
- Blanding og udtømning af betonen ud fra opstillede kriterier
- Dokumentation af blandingen.
- Styring af prøvningshyppighed.

- Vurdering af overensstemmelse på baggrund af prøvningsresultater – fx styrker malt på støbte cylindre

Et moderne processtyringssystem vil desuden indeholde moduler til behandling af ordreindgang, disponering af vognpark, styring af siloernes indhold, kontrol af vejesystem samt oftest en kobling til virksomhedens øvrige systemer som fakturering og bogholderi.

7.5.3 Produktion af beton ikke omfattet af EN 206-1 og DS 2426

Ikke al beton er omfattet af EN 206-1 og DS 2426. Fx er beton til betonvarer ikke omfattet af disse standarder.

En række andre produkter er også uden for standardernes område:

- Porebeton
- Skumbeton
- Beton med åben struktur (no fines beton)
- Beton med densitet mindre end 800 kg/m³
- Varmebestandig beton

Ovenstående og andre produkter kan uden vanskeligheder produceres på anlæg som opfylder foranstående krav. Men de vil også kunne produceres på anlæg, som ikke lever op til kravene EN 206-1 og DS 2426 - fx de nævnte kontinuerte blandedanlæg.



Figur 15. Det er vigtigt, at betonkanonen rengøres efter brug. Det tager typisk ½ time at rengøre bilen ordentligt. Glemmes det, er det i gang med lufthammer inde til tromlen, hvilket ikke er et rart stykke arbejde. Vaskevandet kan genbruges – se figur 6

7.6 Links

EN 206-1

DS 2426

www.haarup.dk

www.skako.com

www.convi.dk

www.cpt-as.dk

www.branel.dk

www.liebherr.de/

www.bhs-sonthofen.de