

3.4 Tilsætningsstoffer

Af cand. scient. Elo Yde

Tilsætningsstoffer er et delmateriale til beton, der tilsættes som væske eller tørstof i betonblandingen for at modificere betonens egenskaber. Tilsætningsstoffer kan fx ændre konsistens, afbindingstid, retardere eller accelerere hærdningen, give bedre frostbestandighed og kompensere for svind.

Tilsætningsstoffer kan således anvendes til at påvirke egenskaberne i den friske beton, i betonen under hærdning og i den hærdnede beton.



Figur 1. Der er et utal af forskellige tilsætningsstoffer på markedet til mange forskellige formål. Normalt leveres de som vandige opløsninger.

Tilsætningsstoffer er anvendt i Danmark fra omkring 1970 til stort set al beton, men anvendes typisk kun i små mængder, og sjældent i mængder over 5 % af cementmængden.

Tilsætningsstofferne medfører i sig selv ikke en beton med ideelle egenskaber og betonrecepten skal altid proportioneres korrekt – også ved brug af tilsætningsstoffer.

3.4.1 Hvad er tilsætningsstoffer

Tilsætningsstoffer er typisk uorganiske salte eller komplekse organiske stoffer som reagerer med cement eller påvirker cementens hydratisering (reaktion med vand).

Stort set ethvert kemisk stof vil indblandet påvirke betonens egenskaber. Fx er almindeligt husholdningssukker retarderende, og almindeligt køkkensalt virker accelererende og giver desuden stor risiko for korrosion af armeringen.

Derfor findes der standarder for tilsætningsstoffer, der dels sikrer, at kun stoffer med ønskede (positive) effekter anvendes i beton, og dels styrer denne anvendelse.

3.4.2 Generelle krav til tilsætningsstoffer

Tilsætningsstoffer er omfattet af den europæiske EN 934-serie af standarder.

De generelle krav til tilsætningsstoffer er beskrevet i DS/EN 934-1. I denne standard "Table 1 – general requirements" anføres de overordnede krav, herunder krav om homogenitet, effektiv komponent, chloridindhold og alkaliindhold.

Det er et hovedkrav til tilsætningsstoffer, at de ikke må virke korrosionsfremmende på armeringsjern eller andet metal indstøbt i betonen.

3.4.2.1 Korrosions opførsel

EN 934-1 sikrer mod armeringskorrosion på nedenstående måde.

Standarden indeholder i Annex A, A.1 en godkendelsesliste over kemikalier, som ikke behøves dokumenteret for korrosionsegenskaber, fordi de erfaringsmæssigt ikke giver korrosion. Fra denne liste over godkendte stoffer - som altså ikke fremmer korrosion af armeringen - kan nævnes carbonat, hydroxid, lignosulfonat, polycarboxylat-polymer og sukker.

Standarden indeholder i Annex A, A.2 en deklarationsliste over kemikalier, som heller ikke normalt giver korrosion, men indholdet heraf skal deklareres. Det drejer sig fx om nitrat og nitrit. Stofferne på deklarationslisten kan ifølge DS/EN 934-1 i større mængder give korrosionsproblemer på forspændingsstål – og derfor skal indholdet deklareres.

For chlorid – som er velkendt at kunne skabe store korrosionsproblemer – gælder den særlige regel, at der i Table 1E kræves enten et chloridindhold mindre end 0,10% eller en deklARATION af indholdet. Er indholdet mindre end 0,10%, tillader standarden, at tilsætningsstoffet betegnes "chlorid frit". De fleste kravdokumenter for beton kræver generelt chloridfrie tilsætningsstoffer.

3.4.2.2 *Typer af tilsætningsstoffer*

I DS/EN 934-2 defineres 12 grupper af tilsætningsstoffer. Det er derfor også disse navne, man skal anvende i fx kravdokumenter og beskrivelser vedrørende beton.

Engelske betegnelser i DS/EN 934-2	Oftest anvendte danske betegnelser
water reducing plasticizing admixtures	plast plastificerende tilsætningsstof
high range water reducing superplasticizing admixtures	superplast superplastificerende tilsætningsstof
water retaining admixtures	bleedingreducerende tilsætningsstof
air entraining admixture	luftindblandingsmiddel luftindblandende tilsætningsstof
set accelerating admixtures	afbindingsaccelererende tilsætningsstoffer accelerator
hardening accelerating admixtures	styrkeaccelererende tilsætningsstoffer accelerator
set retarding admixtures	afbindingsretarderende tilsætningsstoffer retarder
water resisting admixtures	vandafvisende stoffer anti-washout
set retarding water reducing plasticizing admixtures	kombineret retarder og plastificering
set retarding high range water reducing superplasticizing admixtures	kombineret retarder og superplastificering
set accelerating water reducing plasticizing admixtures	kombineret accelerator og plastificering
viscosity modifying admixture	viskositetsmodificerende tilsætningsstof stabilisator

Tabel 1. I DS/EN 934-2, Tabel 1 defineres og navngives 12 grupper af tilsætningsstoffer med tilhørende krav til stoffernes effekt. DS/EN 934-2 findes ikke i en dansk oversættelse. I højre kolonne er angivet de oftest anvendte danske betegnelser.

Opdelingen er foretaget efter tilsætningsstoffets hovedvirkning, idet et tilsætningsstof typisk også har en bivirkning – fx vil et superplastificerende stof ofte også virke retarderende og mange tilsætningsstoffer virker luftindblandende. Det er derfor altid en god ide at foretage prøveblandinger, hvor man kontrollerer både den friske betons egenskaber som fx sætmål, sætmålstab, luftindhold og afbindingstid, og den hærdnede betons egenskaber som fx styrkeudvikling, svind og E-modul.

Den endelige beslutning om at benytte et bestemt tilsætningsstof er naturligvis afhængig af, om tilsætningsstoffet sammen med de øvrige delmaterialer i den aktuelle betonsammensætning opfylder de specifikationer, som den aktuelle opgave kræver. Tilsætningsstoffer kan ofte forbedre en fornuftigt sammensat betons egenskaber, men kan sjældent kompensere for brug af delmaterialer med ringe kvalitet og en uhensigtsmæssig proportioneret betonsammensætning.


DS/EN 934-2 angiver typisk kravene til de enkelte grupper af tilsætningsstoffer ved sammenligning med en referencebeton (uden tilsætningsstof). Opfyldelse af kravene dokumenteres ved EN-prøvningsmetoder. Som et eksempel skal trykstyrken for en beton med superplastificerende tilsætningsstof (DS/EN 934-2, tabel 3.1) afprøves iht. DS/EN 12390-3 og sammenlignes med referencebeton (med samme konsistens) type I (DS/EN 480-1) og opnå en trykstyrke på mindst 140 % af referencebetonens styrke. Herudover er der yderligere krav til konsistens og luftindhold. Der henvises til de relevante standarder for en nærmere beskrivelse.

En række specielle tilsætningsstoffer er ikke beskrevet i DS/EN 934-2. Det gælder fx ekspanderende tilsætningsstoffer, svindkompenserende tilsætningsstoffer, korrosionsinhibitorer m.m. Disse tilsætningsstoffer må derfor ikke uden videre anvendes i beton i Danmark.

Da DS/EN 934-2 er en harmoniseret standard, er producenter af tilsætningsstoffer forpligtet til at klassificere de enkelte tilsætningsstoffer ved en CE-mærkning af produkterne og skal i den forbindelse gennemføre de krævede prøvninger. Producentens produktionskontrol skal overvåges af et certificeringsorgan.

Som bruger vil man på CE-mærkningen kunne se producent, fabrik, aktuel standard, typen af tilsætningsstoffet samt det certificerende organ. Herudover vil der ofte være informationer omkring blandingsnummer, kort brugsvejledning, doseringsmængde, lagerhåndtering, sikkerhedsforanstaltninger m.m. på etiketten.

Som dokumentation for certificeringen af tilsætningsstoffet skal producenten udarbejde en "Overensstemmelseserklæring" (Declaration of Conformity), som kan rekvireres efter ønske.

Explanation	
	CE conformity marking, consisting of the "CE"-symbol given in Directive 93/68/EEC.
01234	Identification number of the certification body
AnyCo Ltd, PO Box 21, B-1050	Name or identifying mark and registered address of the producer
09	The last two digits of the year in which the marking was affixed
01234-CPD-00234	Certificate number
EN 934-2:2009+A1:2012	No. and date of this European Standard and version date
High range water reducing super plasticizing admixture for concrete EN 934-2:T3.1/3.2	Designation of the admixture. In accordance with Clause 8
maximum chloride ion content:.....by mass maximum alkali content:.....by mass Corrosion behaviour: ^a Dangerous substances: NL decree ZZ/pp (yy-mm-dd)	and information on regulated characteristics

Figur 2. DS/EN 934-2 indeholder i Figure ZA.1 en beskrivelse af informationen i et CE-mærke for et tilsætningsstof. Note a (til "Corrosion behaviour") fremgår af DS/EN 934-2.

3.4.3 Historie

Den videnskabelige forskning i - og udvikling af - tilsætningsstoffer, er sket inden for de seneste 60 – 70 år, men tilsætningsstoffer har været brugt siden oldtiden. Romerne anvendte fx okseblod som luftindblandingsmiddel, og mayaerne benyttede bark-ekstrakt som retarder til at forlænge bearbejdigheden af deres mørtler. Der er en lang række eksempler på anvendelse af planteekstrakter og olier som tilsætningsstoffer med det formål at forbedre beton- og mørtelmaterialers egenskaber.

I midten af forrige århundrede startede den egentlige industrialisering af betonarbejdet, hvilket skabte behov for let bearbejdelige betoner, uden at man gik på kompromis med betonkvaliteten. Det gav anledning til brug af de første vandreducerende tilsætningsstoffer. Uden vandreducerende tilsætningsstoffer er det nemlig ikke muligt at lave betoner med en god bearbejdighed, lavt vand/cement forhold og rimelig pris. Helt op i 1970erne krævedes det fx ofte til anlægskonstruktioner, at "betonen skal leveres stivest mulig" og "aldrig med sætmål over 6 cm". Og så var det endda svært samtidigt at holde vand/cement-forholdet under 0,45.

Den moderne udvikling af tilsætningsstoffer er primært baseret på at forbedre betons bæredygtighed. Det er parametre som forlænget levetid, forbedret arbejdsmiljø, reduktion af energiforbrug og ikke mindst anvendelse af restprodukter som tilsætninger - fx flyveaske, mikrosilica og slagge. Dette muliggøres af tilsætningsstofferne samtidigt med at betonen ofte billiggøres.

Årstal	Begivenhed
1900 - 1935	Kalciumchlorids anvendelse som accelerator patenteres.
	Hydratkalk anvendes til vandreduktion.
	Vandtætnende tilsætningsstoffer.
	Aluminiumspulver anvendes som ekspansionsmiddel.
	Sulfoneret naftalen-formaldehyd-kondensat anvendes som plastificerende tilsætningsstof.
	Første patenter på silaner til vandafvisning.
1935 - 1955	Luftindblandende tilsætningsstoffer udvikles.
	Lignosulfonater anvendes som plastificerende tilsætningsstoffer.
	Hydro-carboxylater anvendes som plastificerende tilsætningsstoffer.
	Skumdæmpere anvendes til reduktion af indblandet luft.
1955 - 1970	Frysepunktsænkende tilsætningsstoffer anvendes.
	Sulfoneret melamin-formaldehyd-kondensat som superplastificerende stoffer udvikles.
1990 - 2000	Introduktion af ny generation af hydro-carboxylater som superplastificerende stoffer.
2000 -	Videre udvikling af hydro-carboxylater.
	Introduktion af nye styrkeaccelererende tilsætningsstoffer.

Tabel 2. Oversigt over tilsætningsstoffers historie. Modifieret efter [4].

3.4.4 Luftindblandingsmidler

Luftindblandingsmidler anvendes til at forbedre betonens frostbestandighed.

Ved betonens hærkning dannes cementpasta, der indeholder luftfyldte kapillarporer. Såfremt cementpastaen er vandmættet, er kapillarporerne fyldt med vand, og der vil ske en ekspansion, hvis vandet bliver til is. Herved opstår der et indre tryk, som er større end cementpastaens trækstyrke, og cementpastaen ødelægges.

Det skal derfor søges undgået, at beton vandmættes og derefter udsættes for frysning. Små luftporer i cementpastaen har vist sig i praksis at forhindre denne vandmætning, og samtidig under frysning reduceres trykket fra ekspansionen af vandet (populær forklaring: "luftporerne virker som ekspansionsbeholdere"). Samlet betyder det, at luftporer kan gøre betonen frostbestandig.

De positive effekter kræver naturligvis, at luftporerne er fordelt jævnt i cementpastaen, og at de er små, hvilket svarer til en diameter på mellem 10μ til 300μ (0,01-0,3 mm). Naturlig indblandet luft, dvs. den luft som indblandes, når man blander beton uden tilsætningsstoffer, er generelt deforme luftansamlinger større end 1 mm, som ikke bidrager til en forøget frostbestandighed.

Ofte sker udvikling ved tilfældigheder, og det gælder også for brugen af luftindblandingsmidler. I 1930'erne havde man i USA en del problemer med frostskaadede betonbelægnings. Ved nærmere undersøgelser bemærkede man, at de bedste betonbelægnings havde en lidt lavere densitet (på grund af et højere luftindhold), og at de generelt var leveret med en cement, hvor man benyttede oksetalg som formalingshjælpemiddel. Oksetalg virker nemlig også som et luftindblandingsmiddel. Dette gav anledning til videre undersøgelser og udvikling af luftindblandet beton med det resultat, at luftindblandet beton blev forskrevet i frostpåvirkede miljøer.

Gennem tiden er luftindblandingsmidlerne blevet videre udviklet, og råstofferne til luftindblandingsmidlerne spænder fra de først benyttede fedtsyrer (f.eks. talg, olivenolie, stearinsyre) til vinsolresin, salte af organiske syre og sulfonerede hydrocarboner.

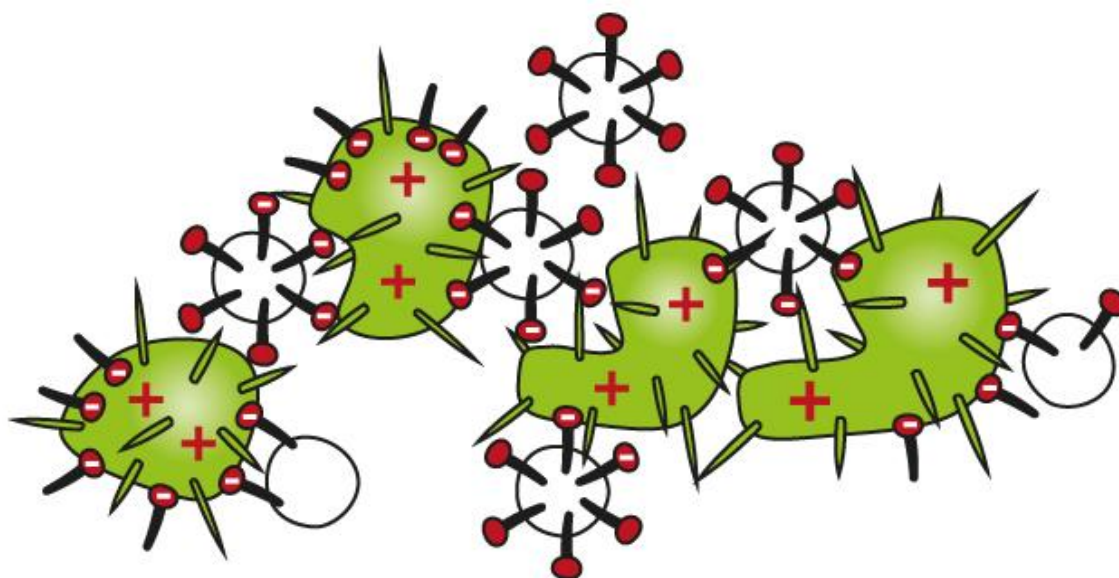
3.4.4.1 Virkemåde

Luftindblandende tilsætningsstoffer er overfladeaktive molekyler, hvor molekylet har en hydrofil gruppe og en hydrofob gruppe. (Af græsk: hydro=vand, philos=kærlighed og phobos=had). Den hydrofile gruppe kan let blandes med vand, mens den hydrofobe gruppe skyer vand. De to grupper skal have en vis afstand mellem sig, således at molekylet kan virke tosidet (amfipatisk) – både vandopløselig og vand-uopløselig. Den hydrofile ende er ofte ioner (anioner eller kationer, henholdsvis negativ ladet eller positiv ladet) eller polære grupper med en elektrisk ladningsfordeling. Den hydrofobe gruppe er gerne kulbrintekæder.

De to modsat virkende egenskaber resulterer i, at luftindblandingsstoffet vil placere sig i grænsefladen mellem vand og luft. Molekylerne i luftindblandingsstoffet vil orientere sig således, at den hydrofile gruppe vil opløses i porevandet, mens den hydrofobe gruppe vil "opløse sig" i luft. Luftindblandingsstoffets molekyler har herved

skabt en bro mellem de to faser vand og luft, hvorved overgangen er blevet mindre brat, idet vandets overfladespænding er reduceret.

For at skabe stabile luftporer må tilsætningsstoffets molekyler kunne pakkes tæt i grænsefladen mellem luft og vand for derved at danne en kompakt luftporehinde. Det kræver, at molekyler med en tilstrækkelig afstand mellem den hydrofile og hydrofobe gruppe, samt at den hydrofobe kulstofkæde er enkel og ikke forgrenet. Endelig kræves der en tilstrækkelig mængde opløste salte i vandet. For at være effektive mod frost må de indblandede luftporer ikke være vandfyldte. Det opnås ved, at de hydrofobe "haler" alle vender ind mod luftporen, således at en befugtning af den indre overflade forhindres. Luftindblandingsmidler med molekyler uden den hydrofobe del vil ikke være helt så effektive mod frostdelægelse.



Figur 3. Tegning af luftindblandingsmiddel-molekyler (de røde "knappenåle") med en hydrofil og hydrofob ende. Halen symboliserer den hydrofobe ende og ladningsangivelsen den hydrofile. Den hydrofobe ende går ind i luftporerne (de hvide cirkler). Cementpartikler er tegnet grønne.

Ud over de to faser i cementpastaen; vand og luft, har den tredje fase – det faste stof – det vil sige cement, puzzolan og tilslag - også betydning for luftindblandings stoffets virkning. Luftindblandende stoffer kan adsorberes på cementpartiklerne og kan også danne calciumsalte på cementoverfladen. Tilslag som kalksten, kridt, dolomit og slagge samt restkulstof fra fx flyveaske kan adsorbere eller absorbere luftindblandingsstoffer og dermed reducere effekten. Ioner i porevæsken kan neutralisere de hydrofile grupper og dermed nedsætte den elektriske frastødning.

Alt dette betyder, at det er vigtigt at udføre prøveblandinger med den aktuelle recept for at optimere doseringsmængden. Ved fx brug af flyveaske med et højt restkulstofindhold må man indstille sig på at have en højere dosering luftindblandingsmiddel end med en flyveakse med et lavere restkulstofindhold.

3.4.4.2 *Anvendelse af luftindblandingsmidler i beton*

Luftindblandingsmidler er overfladeaktive tilsætningsstoffer, som ved blandeprocessen udvikler et velfordelt system af mikroskopiske luftporer i pastadelen af beton eller mørtel. Det tilfører generelt den friske beton og mørtel en forbedret bearbejdelighed og en mere sammenhængende ("klistret") cementpasta. Den mere sammenhængende cementpasta er med til at gøre cementpastaen stabil og reducerer risiko for bleeding og separation.

Til frostbestandig beton tilstræbes normalt et luftindhold på 4-6 % i den friske beton. Luftindblanding anvendes dog også ofte i beton, der ikke skal være frostbestandig, for dels at opnå forbedret bearbejdelighed dels i nogle tilfælde at billiggøre betonen – luft er jo billigere end tilslag.

Luftindblandingsstoffer har imidlertid den bivirkning, at et forøget luftindhold alt andet lige reducerer trykstyrken. En tommelfingerregel siger, at for hver 1 % indblandet luft vil trykstyrken blive reduceret med 3-4 % og endda mere for højstyrkebeton. Den forbedrede bearbejdelighed som følge af luftindblandingen kan dog anvendes til at reducere v/c-forholdet, hvorved der i nogen grad kan kompenseres for styrkereduktionen.

En anden bivirkning er, at et højt luftindhold kan medføre et forøget svind. Der er set forøgelse af svindet på over 10 % [4]. Da luftindblandingsmidler er overfladeaktive stoffer, kan en række forhold i relation hertil influere på luftindblandingsmidlets effekt.

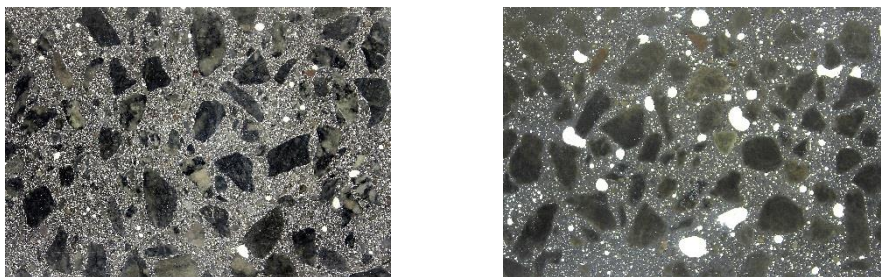
Forhold	Effekt
Cement og puzzolaner	Højere pulverfinhed (større specifik overflade) kræver højere doseringer af luftindblandingsmiddel. Alkaliindholdet vil påvirke luftindblandingsmidlets effekt. Højt restkulstofindhold vil reducere effekten.
Tilslag	Højere indhold af finstof (mindre end 150 µm) vil reducere mængden af indblandet luft. Ler og fine kalkpartikler kan have en negativ virkning på luftporestrukturen.
Vand	Vand med høj hårdhedsgrad kan reducere effekten af luftindblandingsmidlet. Forurening med rengøringsmidler, humus m.m. kan reducere effekten af luftindblandingsmidlet.
Andre tilsætningsstoffer	Særligt plastificerings- og superplastificeringsstoffer vil påvirke effekten af luftindblandingsstoffet.
Konsistens (sætmål)	Et forøget sætmål vil give stigende luftindhold. Ved høje sætmål kan luften blive ustabil.
Temperatur	Høj betontemperatur vil reducere luftindholdet. Lav betontemperatur vil øge luftindholdet.
Blandemaskine	En slidt blandemaskine med reduceret blande effekt kan nødvendiggøre en forøgelse af blandetiden. Jo mere blandemaskinens kapacitet udnyttes, jo mindre luft indblandes.

Tabel 3. Eksempler på forhold, som kan influere på luftindblandingsmidlets effekt

3.4.4.3 Kontrol af luftindblandingen

Det totale luftindhold i beton bestemmes ved prøvning af den friske beton. Hertil anvendes normalt et pressurmeter, og prøvningen udføres i henhold til DS/EN 12350-7.

Luftporestrukturen i den hærdnede beton er selvfølgelig det afgørende for frostbestandigheden, og den bestemmes i henhold til DS/EN 480-11. Et prøvelegeme skæres ud af et støbt betonemne og poleres og præpareres, hvorefter der foretages en størrelsesopmåling af luftporene.



Figur 4. Sort/hvidt imprægneret planslib anvendes til at evaluere luftporestrukturen. En god luftporestruktur vil fremtræde som mange små hvide pletter fordelt jævnt i pastaen.

Der findes også udstyr, der måler luftporestrukturen i den friske beton [5].



Figur 5. Luftporenes størrelsesfordeling i frisk beton kan måles med en Air Void Analyser (AVA). En frisk betonprøve blandes ud i den blå væske, hvorefter boblerne stiger langsomt op gennem den lyse væske (med høj viskositet) i cylinderen og

samles under låget. Da låget af cylinderen er ophængt i en vægt, vil vægtens aflæsning som funktion af tiden kunne omsættes til en luftporefordeling, da store luftbobler (luftporer) stiger hurtigere end små. Måleprincippet er oprindeligt udviklet til at måle luftboblerne i champagne, der også helst skal være mange og små.

3.4.5 Plastificeringsstoffer/Superplastificerende stoffer

Plastificerende tilsætningsstoffer benyttes i beton for at øge konsistensen eller reducere vandindholdet. Herved kan opnås en mere bearbejdelig beton med uændret styrke eller en stærkere beton (med lavere vand/cement-forhold) med uændret bearbejdelighed – eller en kombination heraf.

Samtidig vil man som regel også opnå en mere homogen cementpasta. En reduktion af v/c-forholdet og en homogen cementpasta er forhold, som bibringer beton en forbedret holdbarhed.

Materialetype	Vandreducerende effekt
Lignosulfonater	5 – 15 %
Melaminsulfonater	5 – 25 %
Naftalensulfonater	15 – 25 %
Polyacryler	20 – 30 %
Polycarboxylater	25 – 40 %

Tabel 4. Mulige reduktioner af vandindholdet i beton afhængigt af de anvendte plastificeringsstoffer.

Plastificeringsstoffer – eller tidligere ofte kaldet vandreducerende tilsætningsstoffer – blev introduceret til markedet i begyndelsen af 1930'erne. Det var ligno- eller naftalensulfonater, som er biprodukter fra træ- og papirindustrien. I 1960'erne blev superplastificeringsstofferne introduceret, og de har, som navnet antyder, en større effekt end plastificeringsstofferne.

Der er to hovedtyper af superplastificeringsmidler, nemlig 1) melaminsulfonater, som primært blev udviklet i Tyskland og 2) naftalensulfonater, som primært blev udviklet i Japan. Melaminsulfonaterne har deres fordel ved de mere flydende betoner, hvorimod naftalensulfonaterne har deres fordel, når der er brug for lave v/c-forhold. Begge har de dog den ulempe, at den plastificerende effekt over tid reduceres, og man får derfor et tab i bearbejdeligheden efter blanding.

I slutningen af 1990'erne blev der introduceret en ny generation superplastificeringsstoffer baseret på polycarboxylat-teknologi. De nye generationer superplastificeringsstoffer er ikke længere biprodukter fra andre industrier, men tilsætningsstoffer designede til betonindustrien, og uden de samme bivirkninger som de ældre superplastificerende tilsætningsstoffer. Der findes efterhånden en række forskellige typer med hver deres specielle effekt.

Superplastificerende tilsætningsstoffer har gjort det muligt at udnytte tilsætninger som fx mikrosilica mere effektivt. Mikrosilica-partiklerne er meget små (ca. 100 gange

mindre end cementpartikler) og de enkelte partikler vil klumpe sig sammen uden brug af superplastificerende tilsætningsstoffer, hvorved den fulde effekt af mikrosilicaen ikke opnås. Tilsvarende har de nye superplastificerende tilsætningsstoffer gjort det muligt at producere meget flydende betonmaterialer, som mere eller mindre er selvkompakterende (Self Compacting Concrete, SCC). SCC skal ikke vibreres og bidrager derfor til et bedre arbejdsmiljø. SCC kan også anvendes til en optimering af udstøbningsprocessen, og SCC kan anvendes ved udstøbning af meget komplicerede formgeometrier.

3.4.5.1 Virkemåde

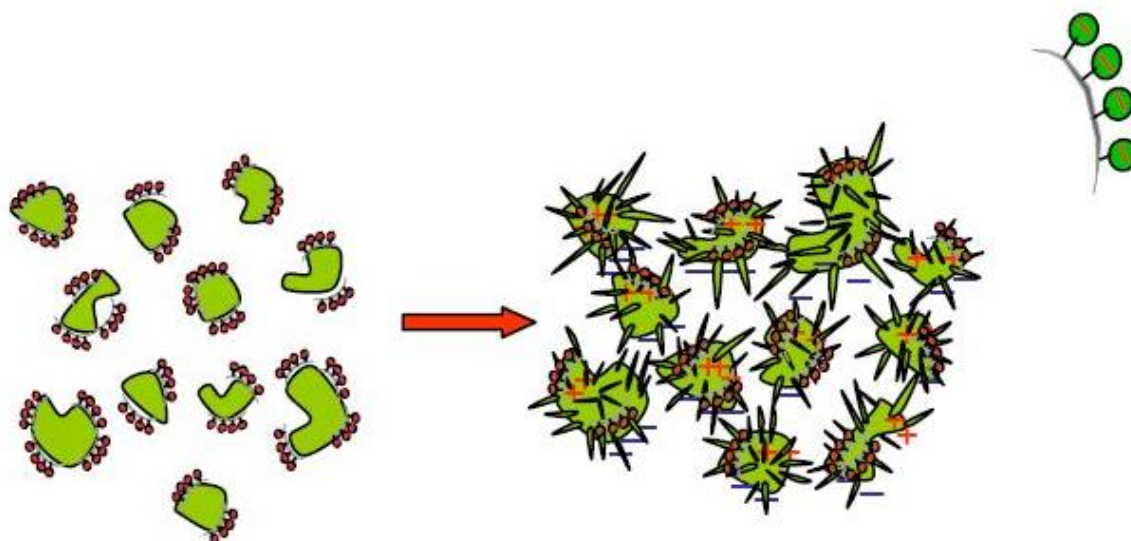
Generelt virker plastificerende og superplastificerende tilsætningsstoffer dispergerende på cementpartiklerne, hvilket betyder, at de enkelte cementpartikler ikke klumper sammen, men spredes ud og derved bedre enkeltvis kan reagere med vand og danne hydratiseringsprodukter. Ved brug af superplastificerende tilsætningsstoffer får man en styrke tilvækst, som ofte er større, end den man ville opnå ved blot at reducere v/c-forholdet.

Plastificerende tilsætningsstoffer er ligesom luftindblandingsstoffer overfladeaktive, men modsat luftindblandingsstofferne er plastificeringsstofferne ikke-amfipatiske (tosidige), idet den hydrofobe og hydrofile gruppe er tætsiddende, eller den hydrofobe gruppe mangler. Adskillelsen mellem de amfipatiske og ikke-amfipatiske tilsætningsstoffer er i nogle tilfælde uskarpt, idet adskillelsen mellem de hydrofobe og hydrofile grupper kan være mere eller mindre fremtrædende.

Herudover kan plastificeringsstofferne være urene og fx indeholde en sukkerrest. Som et eksempel herpå er lignosulfonater både plastificerende og luftindblandende samt retarderende. For at kompensere for fx den luftindblandende effekt kan tilsætningsstofproducenten modificere produkterne ved benyttelse af skumdæmpere. Tilsvarende kan producenten som kompensation for retardering iblande et accelererende stof.

Naftalen- og melaminbaserede superplastificerende stoffer er opbygget som en "kam" med gerne negativ ladede funktionsgrupper, der hæfter sig på de fine partikler som fx cementpartikler. Dette skaber tilsvarende almindelige plastificeringsstoffer en elektrostatisk effekt, hvorved partiklerne frastøder hinanden og dermed dispergeres. Som følge af molekyleopbygningen er effekten større end ved de almindelige plastificeringsstoffer.

Ved hydratiseringsprocessen vil superplastikmolekylerne, der dækker cementpartiklerne, efterfølgende blive dækket af hydratiseringsprodukter og den elektrostatiske effekt reduceres. Derved reduceres effekten og dermed betonmaterialets bearbejdelse – hvilket brugeren observerer som et sætmålstab.



Figur 6. Superplast "kam"-molekyler (øverst til højre) sætter sig på cementkornene (grønne) som på figuren til venstre og holder cementpartiklerne dispergeret. Hydratiseringsprodukterne dækker efterhånden over de elektrostatiske superplastmolekyler (figuren nederst til højre).

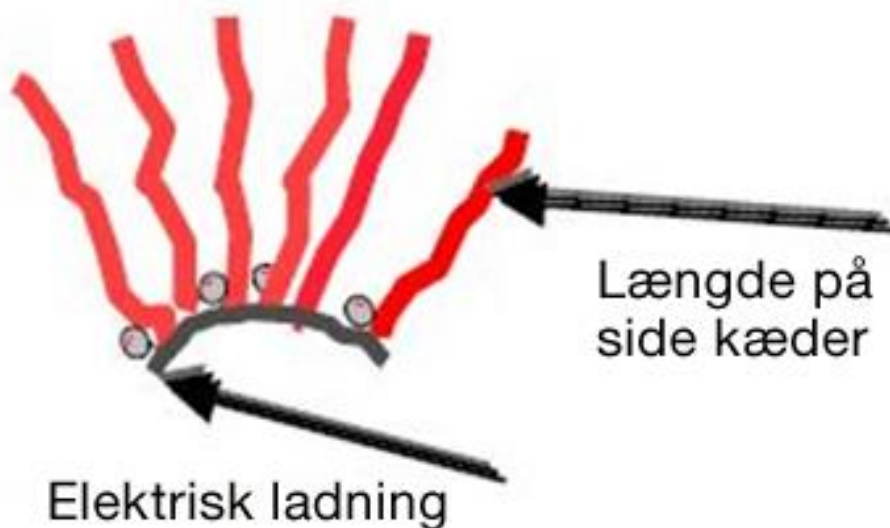
For at kompensere for sætømålstabet er der flere betonproducenter, som kombinerer almindelige plastificeringsstoffer (lignosulfonater - i branchen ofte kaldet "sort plast") med superplastificeringsstoffer.

Superplastificeringsstoffer er imidlertid også følsomme over for cementtypen, da den tidlige fase af hydratiseringsprocessen kan være forskellig for forskellige cementtyper.

Når cement blandes med vand, vil der i de første få minutter ske reaktion af aluminatfasen, og der dannes ettringit. Denne proces reguleres af cementproducenten ved bl.a. tilsætning af gips. Alt efter processens forløb kan udfældning af ettringit på cementpartiklerne ske før superplastmolekylerne har sat sig på cementpartiklerne eller efter.

Såfremt ettringitudfældningen kommer efter, at superplasten har sat sig på cementpartiklerne, vil ettringitkrystallerne dække for superplasten og den dispergerende effekt mistes. Derfor skal superplastmolekylerne være så tilpas langsomt reagerende, at de først absorberes på cementpartiklerne efter den første ettringitdannelse.

Den nye generation superplastificeringsstoffer, polycarboxylaterne, har en mere avanceret molekyleopbygning med en hovedstreng med elektrostatiske ladede partikler og samtidig en række lange sidekæder.



Figur 7. Molekyle opbygning af ny generation superplast.

Sidekæderne forbedrer ikke kun vandreduktionseffekten, men reducerer samtidig tendensen til tab af bearbejdelighed over tid – sætmålstabet. Man har således både en elektrostatisk og sterisk virkemåde. Sterisk virkemåde er en fysisk effekt, hvor de lange molekyler skubber partiklerne i porevæsken fra hinanden.

For at forhindre en for hurtig absorption på cementpartiklerne indeholder polycarboxylat-superplast-produkterne endvidere monomere (enkeltmolekyler), som forhaler "oplukningen" af molekylet således, at man får adsorption på cementkornene efter udfældning af ettringitkrystaller [6].

Det er muligt at ændre forholdet mellem sidekæder og den negative ladnings intensitet. Derved kan man "skræddersy" tilsætningsstofferne til en bestemt cementtype ved at tilpasse tilsætningsstoffet til cementens indhold af klinkerminerale, sulfatindhold, alkaliindhold m.m.

3.4.6 Acceleratorer og retardere - kemisk virkende tilsætningsstoffer

Det kan være en fordelagtigt at justere afbinding og den tidlige styrkeudvikling i beton. En hurtigere styrkeudvikling vil muliggøre en tidligere afformning og dermed en bedre udnyttelse af formene i en elementproduktion. I forbindelse med betonarbejde i koldt vejr kan en hurtigere afbinding sikre, at pudsning/glitning af en betonoverflade kan udføres inden for normal arbejdstid. En hurtigere styrkeudvikling vil – alt andet lige - nedsætte risikoen for frysning af betonen.

Modsat kan en længere afbindingstid muliggøre transport over lange afstande, optimere store støbninger samt forhindre kolde støbeskel. I forbindelse med fx sprøjtebeton kan betonen retarderes for at forhindre afbinding inden opsprøjtning. Når betonmaterialet senere sprøjtes, tilsættes en accelerator i sprøjtedysen, og der kan herved opnås en lynafbinding, der sker i det øjeblik, betonmaterialet rammer sprøjteemnet.

Til tider bliver begrebet frysepunktsænkende tilsætningsstoffer nævnt, hvilket sandsynligvis er en udløber af brugen af sprit i de tidlige murmørtler. Da sprit er retarderende, er det en dårlig ide at benytte sprit i beton – især i koldt vejr, hvor hærdevarmen gerne skulle holde betonen varm. Der skal i stedet anvendes almindelige vinter foranstaltninger (fx vintermåtter, varm beton mv.) eventuelt i kombination med brug af en accelerator.

3.4.6.1 Hvordan fungerer accelerators og retardere

De kemisk virkende tilsætningsstoffer påvirker cementens reaktion med vand således, at afbindingstiden og styrkeudviklingen påvirkes. Det er imidlertid ikke altid, at begge egenskaber påvirkes samtidigt, og nogle tilsætningsstoffer påvirker fx kun afbindingstiden og ikke styrkeudviklingen.

De kemiske processer i forbindelse med cements hydratisering er komplicerede og endnu ikke helt forstået fuldstændigt. Der foregår flere kemiske processer på samme tid, da cementpartiklerne består af flere mineraler - bl.a. både aluminater, silikater, carbonater og sulfater.

Ved cements blanding med vand starter hydratiseringsprocessen, der kan inddeles i flere stadier. Det første stadium er en opløsning af ioner i porevæsken, og dette fortsætter, indtil der er en så tilpas stor koncentration af ioner i porevæsken, at der kan udfældes materiale. Alt afhængig af ionkoncentrationen, og hvilke ioner der opløses, vil der i det næste stadium dannes hydratiseringsprodukter, som udfældes i porevæsken eller på cementpartiklerne. Såfremt den tidlige udfældning sker på cementpartiklerne, vil det nedsætte opløsningen af nye ioner fra cementpartiklerne med det resultat, at reaktionens hastighed nedsættes.

De fire hoved cementmineraler C_3S , C_2S , C_3A og C_4AF ($C=CaO$, $S=SiO_2$, $A=Al_2O_3$ og $F=Fe_2O_3$) reagerer forskelligt, idet de har forskellig opløselighed og reaktivitet. De mest reaktive mineraler er C_3A og C_3S , og det er de mineraler, der har størst indflydelse på afbinding og den tidlige styrkeudvikling. C_3A mineralet reagerer meget hurtigt, og det er nødvendig at tilsætte gips (calcium sulfat) ved formalingsprocessen af cement for at forhindre en lynafbinding. C_3A reagerer med gips og danner ettringit. Det retarderer C_3A 's hydratisering til efter C_3S hydratisering. Gips medregnes normalt ikke som et tilsætningsstof, men som en del af cementen.

Det er i dette komplekse kemiske system, at de kemiske tilsætningsstoffer kommer ind og påvirker reaktionsforløbet. Nogle tilsætningsstoffer giver et ekstra tilskud til fx calciumion-koncentrationen, således at man hurtigt får en overmætning i porevæsken. Andre forbedrer opløseligheden af cementmineralerne ved fx at reducere porevæskens pH-værdi. Nogle forhindrer udfældning, således at hydratiseringsprocessen stopper i en periode.

Som ved alle andre kemiske processer har temperaturen stor betydning. Kemiske processer forløber hurtigere ved højere temperaturer og langsommere ved lave temperaturer.

En kombination af accelererende tilsætningsstoffer og superplastificerende stoffer er ofte en fornuftig løsning ved ønsket om en hurtig styrkeudvikling. En receptoptimering og anvendelse af varmt vand ved blandingen kan optimere effekten af de kemiske tilsætningsstoffer.

3.4.6.2 Øvrige forhold

De kemisk virkende tilsætningsstoffer påvirker normalt varmeudviklingen. Ved de accelererende tilsætningsstoffer får man således en forøget varmeudvikling i det tidlige hærdeforløb, mens man ved retarderende tilsætningsstoffer får udsat varmeudviklingen, og nogle retardere kan endda fordele varmeudviklingen over længere tid.

Både accelerators og retardere øger det tidlige svind, men har ingen indflydelse på det endelige svind. Dog med undtagelse af calciumchlorid, der giver et markant højere slutsvind (10-30 % højere slutsvind afhængigt af dosering).

Slutstyrken kan blive påvirket af de kemisk virkende tilsætningsstoffer, men det behøver ikke altid at være tilfældet. For de retarderende tilsætningsstoffer vil C_3S og C_2S få en større mulighed for at reagere, hvilket alt andet lige vil give en højere slutstyrke. Overdosering kan dog give anledning til kraftig reduktion af slutstyrken, specielt ved overdosering af accelererende tilsætningsstoffer.

Såfremt man overdoserer/underdoserer et af de kemisk virkende tilsætningsstoffer, kan en accelerator ændres til at virke retarderende og omvendt.

Det anbefales derfor altid at foretage prøveblandinger, inden man starter op med en egentlig produktion.

Som for de øvrige tilsætningsstoffer beskriver DS/EN 934 systemet også accelerators og retardere. Her er kravene stillet med udgangspunkt i betoner med samme konsistens.

DS/EN 934-2: Afbindings accelererende tilsætningsstoffer: Testbetonen med tilsætningsstoffet skal have en afbindingstid på mere end eller lig med 30 minutter ved 20 °C, og skal have en afbindingstid på 60 % eller mindre end referencebetonen ved 5 °C. Herudover er der også krav til styrke og luftindhold.

DS/EN 932-4: Styrke accelererende tilsætningsstoffer: Testbetonen med tilsætningsstoffet skal have en trykstyrke på mere end eller lig med 120 % af referencebetonen efter 24 timer ved 20 °C. Desuden en trykstyrke på mere end eller lig med 90 % af referencebetonen efter 28 døgn ved 20 °C, og en trykstyrke på mere end eller lig med 130 % af referencebetonen ved 5 °C efter 48 timer. Herudover er der et krav til luftindhold.

DS/EN 934-2: Afbindings retarderende tilsætningsstoffer: Testbetonen med tilsætningsstoffet skal have en initial afbindingstid på mere end eller lig med referencebetonens initial afbindingstid plus 90 min. Samtidig skal slutaftbindingen være mindre end eller lig med referencebetonens slutaftbindingstid plus 360 min. Herudover er der krav til styrke og luftindhold.

Acceleratorer

De accelererende tilsætningsstoffer er ofte letopløselige uorganiske salte og specielt salte fra stærke syrer som chlorider, nitrater og sulfater. De letopløselige calciumsalte påvirker især (primært C_3S) hydratfasen, og er de mest effektive, da porevæsken får en forøget koncentration af calciumionen. Herudover sænkes porevæskens pH, hvorved cementmineralernes opløselighed forøges, og reaktionerne accelererer.

Calciumchlorid er den mest effektive accelerator og virker både afbindings- og styrkeaccelererende. Acceleratoren blev patenteret i 1885 og brugt gennem mange år. Desværre nedbryder chlorider det korrosionsbeskyttende lag på armeringsjernet, og der må i dag ikke tilsættes calciumchlorid til armeret beton.

Som alternativ kan calciumnitrat, calciumformiat og calciumthiosulfat benyttes som acceleratorer, men det er kun (det forbudte) calciumchlorid, som virker styrkeaccelererende og kun ved de tidlige styrker.

Der findes også en række natriumsalte, som kan anvendes som acceleratorer, men de er ikke så effektive som calciumsaltene og kan øge risikoen for alkaliselreaktioner. Stoffer som natriumhydroxid, kaliumhydroxid, natriumcarbonat og natriumsulfat virker accelererende, men carbonater og sulfater danner tungtopløselige salte med calcium og kan ved større doseringer give lynafbinding.

Herudover findes der en række organiske stoffer som TEA (triethanolamin), der virker som acceleratorer.

Som et alternativ til de letopløselige salte kan man også benytte kimdannende tilsætningsstoffer som acceleratorer. Som beskrevet tidligere kan hydratiseringsprodukterne udfældes i porevæsken. Det kræver dog, at der er et kim, hvorfra krystallisationen kan starte. Ved at tilsætte fx ekstra fine syntetiske partikler som kimdannere i porevæsken, kan man få en betragtelig forøgelse af den tidlige styrke [7].

Acceleratorernes effekt er størst ved lave temperaturer og er afhængig af cementens klinkermineralsammensætning.

Anvendelse af aluminatcement (nogen gange kaldet "Fransk cement") i portlandcement vil have en effekt på både styrkeudvikling og afbindingstid. Aluminatcement regnes dog normalt ikke som et tilsætningsstof, og aluminatcement er ikke tilladt anvendt til beton.

Retardere

De fleste retardere er organiske stoffer baseret på lignosulfonater. Lignosulfonaterne adsorberes på cementpartiklerne og deres hydratiseringsprodukter og hæmmer opløsningen og væksten af hydratiseringsprodukterne. Lignosulfonater er en fælles betegnelse for restproduktet ved celluloseudvinding fra træ, og er ikke defineret ved en entydig formel. Lignosulfonater indeholder også ofte sukkerrester, som i sig selv er retarderende. Lignosulfonater retarderer typisk fra ca. 1-4 timer.

Som bekræftet i DS/EN 934-2 findes der afbindingsretardere, der også er superplastificerende. Den retarderende effekt ved superplasten skyldes ikke som ved lignosulfonaterne en manglende renhed, men at de store superplastmolekyler adsorberes på cementpartiklerne og i en periode blokerer for cementens reaktion med vand.

Gruppen hydroxy-carboxylater, som bl.a. indeholder syrer som gluconsyre, citronsyre, muconsyre, salicylsyre, virker også retarderende. Retarderingen er kraftigst ved stoffer med et stort antal hydroxygrupper.

Sukkerstoffer har længe været anvendt som retardere og har en stor effekt. Selv meget små mængder sukker (få promille af cementvægten) kan have en meget kraftig virkning. Der går historier om, at sukker blev brugt ved sabotage af betonmaterialerne ved bygningen af bunkerne under 2. Verdenskrig. Såfremt sukkerstof benyttes som retarder, er det vigtigt at have en tilpas fortynding, så der sikres en fornuftig doseringssikkerhed. Ved høj dosering af sukkerstof vil effekten ændres og få den modsatte effekt, dvs. afbindingen accelereres.

Fosfater/fosfonater er ofte betegnet som superretardere, idet de "forgifter" C-S-H faserne og stabiliserer C₃S mineralet og reducerer dermed mineralets evne til at danne komplekse forbindelser. Nogle fosfonat-typer kan retardere betonmaterialet op til flere døgn.

Der findes også eksempler på kombination af retardere og acceleratore, hvor formålet er at nedsætte betones totale varmeudvikling specielt i forbindelse med store udstøbninger. Her kan nævnes brugen af acceleratoren calciumnitrat sammen med retardere som urea eller citronsyre.

3.4.7 Øvrige tilsætningsstoffer

3.4.7.1 Viskositetsmodificerende tilsætningsstoffer

I forbindelse med SCC, eller beton som skal benyttes til at støbe under vand, kan det være nødvendigt at øge betonens viskositet og sammenhængskraft for derved at forhindre separation eller udvaskning.

En fornuftig udstøbningsteknik bidrager til et godt resultat, men nogle gange kan det også være en god ide at benytte et viskositetsmodificerende tilsætningsstof.

Det er tilsætningsstoffer som fortykner cementpastaen, og de er ofte formuleret ud fra celluloseæter (kan være stoffer, der ligner tapetklister) eller stoffer som welan gum. Stofferne danner meget lange molekyle-kæder som stabiliserer og forøger cementpastaens viskositet. Herudover binder stofferne overskydende vand.

Den forøgede stabilitet og viskositet vil ofte give betonmaterialet en forringet udstøbelighed. Såfremt det ønskes, kan man kompensere herfor ved at øge mængden af superplastificerende tilsætningsstof for derved at opnå de ønskede egenskaber.

DS/EN 934-2 beskriver de viskositetsmodificerende tilsætningsstoffer og angiver kravene i standardens tabel 13.

3.4.7.2 Vandafvisende/Vandtætnende tilsætningsstoffer

De vandafvisende tilsætningsstoffer er defineret i DS/EN 932-2 som tilsætningsstoffer, der reducerer den hærdnende betons kapillarabsorption. Kravene er angivet i standardens tabel 9. Da DS/EN 206 kun anfører generel egnethed for tilsætningsstoffer i henhold til DS/EN 934-2, er disse tilsætningsstoffer ikke uden videre tilladt i beton.

En vandtæt beton kan opnås ved en god proportionering med gode delmaterialer.

Vandtætnende tilsætningsstoffer er ofte uorganiske stoffer, som reagerer med cement og vand, hvorved reaktionsproduktet fælder som poreblokker i cementpastaens kapillarporer. Det er her vigtigt at sikre sig, at de benyttede tilsætningsstoffer er stabile over tid.

For beton udsat for ikke-hydrostatisk tryk benyttes gerne organiske produkter som vandbaserede emulsioner af fx fedtsyrer, olier, stearat, silaner eller sæber. Herudover kan der anvendes forskellige mineralske fillere, som fx bentonit, og der kan anvendes produkter som vandopløst silikat (vandglas).

Herudover findes en række hydrofoberende produkter, som påføres den hærdnede betons overflade. Det er produkter, der gør betonoverfladen vandafvisende, og dermed forhindrer vandet i at blive absorberet ind i betonoverfladen. Her kan nævnes produkter som silikoner, siloxaner eller silaner.

3.4.7.3 Svindkompenserende tilsætningsstoffer

Når cement hydratiserer, vil der opstå et kemisk svind i cementpastaen, da reaktionsprodukterne har mindre volumen end udgangsprodukterne.

For at reducere effekten af det kemiske svind kan man benytte svindkompenserende tilsætningsstoffer. Det er ofte stoffer som propylenglycol, polyoxyalkylener m.m. som benyttes. Stofferne nedsætter vandets overfladespænding i cementpastaens kapillarporer, hvorved de interne trækspændinger reduceres ved udtørring.

Yderligere findes der ekspanderende tilsætningsstoffer, som ved korrekt anvendelse kan kompensere for svind.

De svindkompenserende tilsætningsstoffer er ikke omfattet af DS/EN 932 og kan ikke uden videre anvendes i beton, da de ikke er omtalt i DS/EN 206.

3.4.7.4 Ekspansionsdannende tilsætningsstoffer

Generelt findes der to typer tilsætningsstoffer, som kan give ekspansion i en cementpasta. Det er 1) skum- eller gasdannende tilsætningsstoffer og 2) stoffer som giver anledning til ettringitdannelse med efterfølgende ekspansion til følge.

De gasdannende tilsætningsstoffer er typisk produkter som aluminiums- og zinkpulver, som ved reaktion med cementpastaens porevæske danner brint. Brintgassen danner små luftbobler i cementpastaen, hvilket giver en ekspansion. Der skal normalt kun benyttes en meget lille mængde, og man skal være opmærksom på, at stoffer som fx aluminiumspulver kan være brandfarlige/eksplosive. Brint kan desuden skade armering og især forspænding (brintskørhed).

Den anden type er stoffer som calciumsulfoaluminat, der ved reaktion med vand danner ettringit. Ved dannelse af ettringit sker der en volumenforøgelse og dermed en ekspansion. Det er meget vigtigt, at den efterfølgende ettringitdannelse sker kontrolleret således, at der ikke opstår en for sen og for kraftigt ekspansion. En for sen ettringitdannelse vil kunne ødelægge betonmaterialet. Det er derfor vigtigt, at man har udført en tilstrækkelig forprøvning over en tilpas tidshorisont.

Ekspanderende tilsætningsstoffer er ikke omfattet af DS/EN 932 og kan ikke uden videre anvendes i beton, da de ikke er omtalt i DS/EN 206. Aluminiumspulver er dog normalt tilladt i begrænset mængde til injektionsmørtel omkring efterspændt armering (forspænding).

3.4.7.5 Korrosionsbeskyttende tilsætningsstoffer

Korrosion af armeringsjern med efterfølgende afskalninger og ødelæggelse af betonkonstruktioner er en af de væsentligste nedbrydningsmekanismer. Nogle gange skyldes nedbrydningen dårligt betonarbejde eller dårlig design, andre gange et for højt chloridindhold i betonmaterialet, for stor indtrængning af chlorid i betonen eller en for stor karbonatisering af cementpastaen over lang tid, hvorved cementpastaens pH sænkes, og cementpastaens korrosionsbeskyttende egenskaber forsvinder.

For at nedsætte risikoen for korrosion af armeringsjernet kan man tilsætte korrosionsbeskyttende tilsætningsstoffer ved blanding af betonmaterialet. Tilsætningsstofferne benævnes ofte korrosionsinhibitorer, og består af uorganiske stoffer som calciumnitrit og organiske stoffer som aminer og ester-forbindelser. Calciumnitrit forstærker armeringsjernet passive lag, hvorimod de organiske stoffer gerne danner et beskyttende lag på armeringsjernet. Det er imidlertid ikke altid enkelt at benytte tilsætningsstofferne, idet nogle af dem - fx calciumnitrit - samtidig har en accelererende effekt. Det kan man evt. kompensere for ved brug af en egnet retarder.

Når betonmaterialet er støbt og man efterfølgende observerer et korrosionsproblem, findes der produkter til overfladebehandling af betonmaterialet. Det er korrosions-

inhibitorer, som diffunderer ned i betonmaterialet som følge af koncentrations differencen mellem beton overflade og indre.

Korrosionsbeskyttende tilsætningsstoffer er ikke omfattet af DS/EN 932 og kan ikke uden videre anvendes i beton, da de ikke er omtalt i DS/EN 206.

3.4.7.6 Alkalikiselhæmmende tilsætningsstoffer

Alkalikiselreaktioner i betonmaterialer er en destruktiv reaktion mellem reaktive tilslagsmaterialer og opløste alkalier i cementpastaens porevæske. De reaktive tilslagsmaterialer opløses i den højalkaliske porevæske og reagerer med porevæskens alkalier (primært K, Na), hvorved der dannes en vandsugende ekspansiv gel, som ødelægger betonmaterialet.

For at forhindre alkalikiselreaktioner i betonmaterialer er der stillet krav til indholdet af reaktive tilslagsmaterialer og betonmaterialets indhold af vandopløselige alkalier, og der er på den måde sikret mod de skadelige reaktioner.

Der findes imidlertid også tilsætningsstoffer, som effektivt kan reducere risikoen for alkalikiselreaktioner. Det er primært tilsætningsstoffer baseret på lithiumforbindelser. Lithium vil i det rette forhold til kalium og natrium reagere med det reaktive tilslag og danne en ikke ekspansiv gel. Lithiumbaserede tilsætningsstoffer er ofte også accelererende.

De alkalikiselhæmmende tilsætningsstoffer er ikke omfattet af DS/EN 932 og kan ikke uden videre anvendes i beton, da de ikke er omtalt i DS/EN 206.

3.4.8 Dosering af tilsætningsstoffer til beton

For at få den optimale udnyttelse af tilsætningsstofferne er det vigtigt at have et effektivt doseringsudstyr, som er i stand til at transportere tilsætningsstofferne fra opbevaringsbeholderen til blanderen, dosere med den ønskede nøjagtighed og på det rigtige tidspunkt. Herudover skal doseringsudstyret være i stand til at kunne dokumentere, at den korrekte mængde materiale er tilsat. Dette foregår ofte automatisk, idet doseringsudstyret er koblet til den generelle styring af blanderudstyret. Det sikrer ofte samtidig mod fejdosering, idet doseringsmængden er forprogrammeret. Som med andet produktionsudstyr skal doseringsudstyret vedligeholdes og bruges af uddannet personale.

Doseringsmængderne angives af tilsætningsstofproducenten som masseprocent af cementindholdet eller det ækvivalente cementindhold, såfremt der benyttes tilsætninger. Man bør altid foretage en prøveblanding med efterfølgende test af betonmaterialet, før man endelig fastlægger doseringsmængderne til den aktuelle betonrecept.

Som tommelfingerregel skal alle tilsætningsstoffer doseres separat til betonblandingen, og der må ikke foretages en forudgående blanding af forskellige tilsætningsstoffer. Ved anvendelse af flere typer tilsætningsstoffer til samme betonblanding er det vigtigt

at sikre sig, at de enkelte tilsætningsstoffer er kompatible og dermed ikke modarbejder hinanden.

Tilsætningsstof	Doserings tidspunkt
Luftindblandingsstoffer	Ved det tidlige blandevand eller på sandet.
Plastificeringsstoffer	Efter dosering af luftindblandingsstoffer.
Superplastificeringsstoffer	Ved den sidste del af blandevandet.
Acceleratorer/retardere	Med blandevandet.
Andre	Rådfør med producenten.

Tabel 5. Generelle forslag for doserings tidspunkt ved forskellige tilsætningsstoffer. Lokale forhold som specielt blandeudstyr m.m. kan ændre det optimale doseringstidspunkt.

3.4.9 Referencer

- [1] DS/EN 934-1 (2008)
- [2] DS/EN 934-2 (2012)
- [3] ACI Education Bulletin E4-12 (2013)
- [4] Ulla Kjær: Tilsætningsstoffer til beton, en håndbog. (1982)
- [5] Germann Petersen, Claus ; Air Void Analyzer (AVA) For Fresh Concrete, Ninth ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete – Sevilla, Spain, 2009.
- [6] Corradi, M., Khurana, R. And Magarotto, R. New Superplasticizers For the Total control of Performance of Fresh and Hardened Concrete. 6th International Congress: Global Construction: Ultimate Concrete Opportunities Dundee, 5-7 July 2005.
- [7] Magarotto, R., Zeminian, N., Roncero, J.: An inovative accelerator for Precast. BFT Magazine, January 2010.