

HVAD HAR INDFLYDELSE PÅ LUFTINDBLANDING I BETON?

Luftindblanding er af stor betydning for betonens egenskaber. For at kunne rådgive vores kunder bedre omkring beton og luftindblanding, er det på Aalborg Portlands laboratorie undersøgt hvorledes forskellige parametre indvirker på mængde og type af iblandet luft.

I Danmark bruges luftindblanding i beton af flere årsager, herunder:

- Krav til frostbestandighed
- Forbedret bearbejdelighed
- Forbedret indre stabilitet og dermed robusthed mod separation af SCC beton
- For at gøre betonen billigere.

Luft i beton består af hhv. naturlig og iblandet luft:

- Naturlig luft: Den mængde luft der er indkapslet i betonen, når denne er færdigblandet uden kemisk tilsætning. Naturlig luft udgør typisk 1-1½ % af betonvolumet
- Iblandet luft: Luft der er iblandet og stabiliseret i betonen ved hjælp af luftindblandingsmidler ud over den naturlige luft. Ofte sigtes der mod et samlet luftindhold i betonen på 6-7 volumen-%.

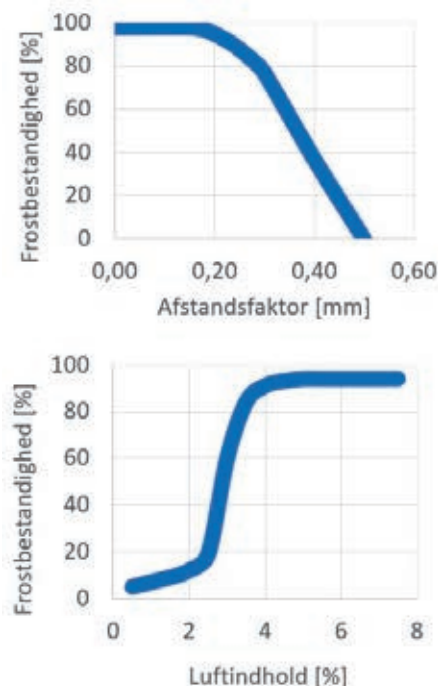
Med andre ord udvikler luftindblandingsmidlerne ikke luft i betonen, men stabiliserer og fastholder den luft der indkapsles under fremstilling af betonen på blandeværk, og som ellers ville være forsvundet ud af denne igen.

Betonens modstandsevne mod frost-tø nedbrydning er reguleret via krav i det danske addendum til betonstandard "DS/EN 206 DK NA:2018" (tidligere DS 2426), som vist i Tabel 1, udtrykt ved betonens luftindhold og den såkaldte afstandsfaktor; afstandsfaktoren er en slags mål for den gennemsnitlige afstand mellem to luftbobler i betonen.

Eksponeringsklasse	Påvirkning fra frost/tø			
	XF1	XF2	XF3	XF4
Min. Luft i frisk beton	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%
Maks. afstandsfaktor	-	0,20 mm	0,20 mm	0,20 mm

Tabel 1 – Krav til luftindhold og afstandsfaktor i forskellige eksponeringsklasser jf. "DS/EN 206 KD NA: 2018".

Figur 1 – Skematisk fremstilling af betydningen af hhv. luftindhold og afstandsfaktor i en beton på dennes frostbestandighed, [2] og [3].

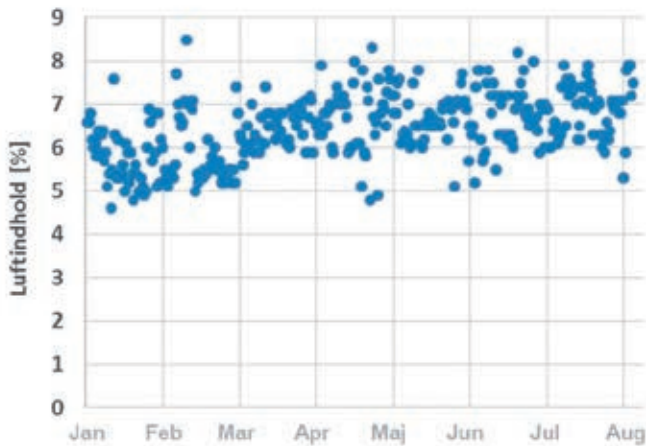


Effekten af luftindhold og afstandsfaktor på frostbestandighed af en beton er skematisk vist i figur 1, baseret på forsøgsresultater, der oprindeligt stammer fra 1960'erne, [2] og [3]. Som det fremgår, er de danske krav baseret på et ganske fornuftigt grundlag, hvilket også er erfaringen fra praksis, hvor man sjældent ser nedbrydning som følge af frost-tø påvirkninger, hvis kravene er overholdt.

LUFTINDBLANDINGSMIDLER

Luftindblandingsmidler består af organiske forbindelser, der i den ene ende er hydrofobe (vandskyende) og i den anden ende er hydrofile ("vandelskende"). Virkemåden af luftindblandingsmidlerne er i hovedtræk:

- Reducerer vands overfladespænding og stabiliserer luftbobler i betonen
- Resulterer i, at der indblandes og fastholdes luft under blandeprocessen
- Placerer sig i grænsefladen mellem luft og vand, og laver forbindelser mellem cementpartikler, luftbobler og tilslag, der samlet set stabiliserer betonblandingen.



Figur 2 – Målte luftindhold i en A35 beton blandet på en færdigbetonfabrik i Danmark over en 7 måneders periode.

Virkemåden af luftindblandingsmidler er beskrevet indgående i [1].

VARIATIONER I LUFTINDHOLD

Luftindholdet i beton blandet under styrede forhold på fabrik varierer indenfor visse grænser, ligesom betonens øvrige parametre. I figur 2 er vist målte luftindhold over en 7 måneders periode i en A35 beton blandet på en færdigbetonfabrik i Danmark. Flere faktorer spiller ind på disse variationer, og skal findes i produktion og sammensætning af betonen, herunder:

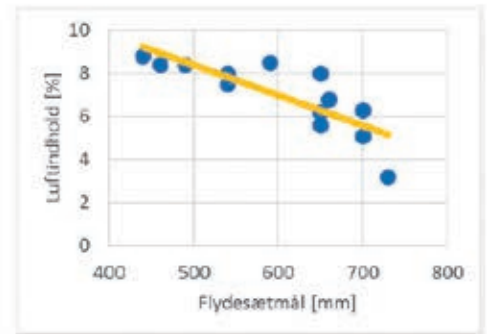
- **Blanding af betonen:**
 - Blandertype: Frit fald, tvangs, twin shaft
 - Batchstørrelse: Stor batch -> mindre luft
 - Blander vedligehold: Slidte blade -> mindre luft
 - Blandehastighed: Højere -> mere luft
 - Blandetid: Længere -> mere luft
- **Betonsammensætning:**
 - vand/cement-forhold
 - Bearbejdelighed
 - Temperatur
 - Kornkurve
- **Delmaterialer:**
 - Sand, sten, vand, cement, tilsætninger, tilsætningsstoffer.

I det følgende er vist forsøgsresultater fra undersøgelse af følgende parametres indvirkning på luftindholdet i forskellige betoner: Bearbejdelighed, cement- og betontemperatur, restkul i flyveaske, filler i sand, og blandeprocedure.

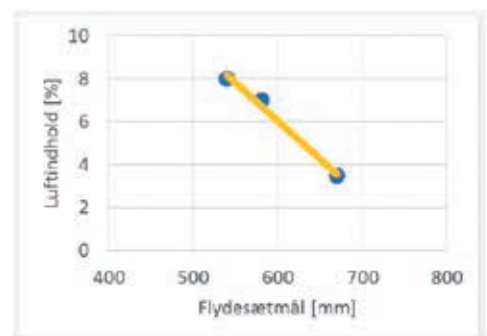
BETONENS BEARBEJDELIGHED

Indholdet af luft ændrer sig fra udgangspunktet ved en ændring af betonens bearbejdelighed uden tilsætning af mere

Justering af flyd med SP



Justering af flyd med vand



Figur 3. Indflydelse af lerindhold på flydesætmålet for en P25 SCC beton.

luftindblandingsmiddel: Større bearbejdelighed, fx højere flydesætmål, giver alt andet lige mindre luft, og omvendt. I figur 3 er vist sammenhæng mellem flydesætmål og luftindhold i SCC betoner:

- Justering med superplast: 100 mm højere flydesætmål giver 1,4%-point mindre luft
- Justering med vand: 100 mm højere flydesætmål giver 3,3%-point mindre luft

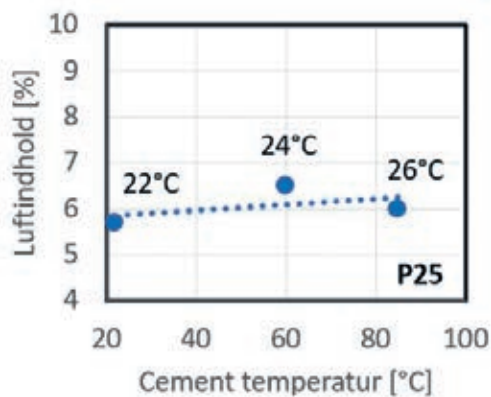
I praksis er erfaringen også, at meget blød beton, fx ved en tilstand hvor betonen separerer, indeholder lidt luft i forhold til en stivere konsistens for samme beton; betonen har så at sige "smidt" luften, idet opdriften af luftboblerne bliver for stor i forhold til de bindinger luftindblandingsmidlet danner til cement og tilslag.

CEMENT- OG BETONTEMPERATUR

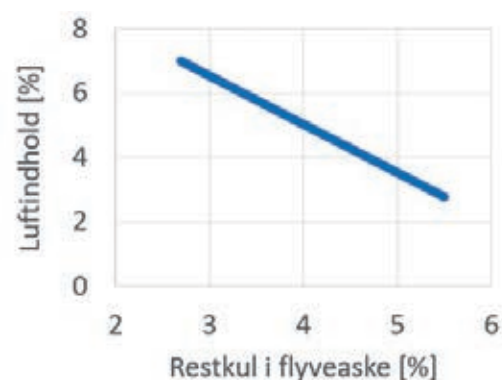
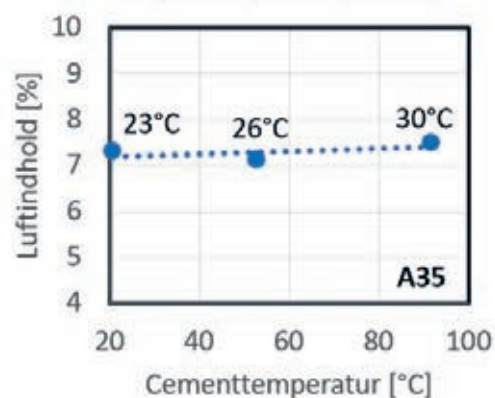
Betonens temperatur er bestemt af delmaterialernes temperaturer, herunder cementtemperaturen; se nærmere i [4].

I figur 4 er vist laboratoriemålinger af luftindholdet i hhv. en P25 og en A35 beton, hvor betontemperaturen er ændret ved at anvende cement med forskellige temperaturer. Som det fremgår, ændrer betonernes luftindhold sig ikke nævneværdigt indenfor normalt forekommende cement- og betontemperaturer i praksis.

NYT FRA AALBORG PORTLAND



Figur 4 – Indflydelse af cement- og beton-temperatur på luftindholdet efter blanding i to betoner, hhv. en beton P25 og en beton A35.



Figur 5 – Indvirkning fra indhold af restkul på luftindhold og afstandsfaktor i beton.

RESTKUL I FLYVEASKE

Flyveaske indeholder oftest en lille mængde uforbrændt kul, også kaldet restkul. Som vist i figur 5 indvirker restkul kraftigt på virkningen af luftindblandingsmidler alt andet lige:

- 1% ekstra restkul giver 1,5%-point mindre luft
- 1% ekstra restkul giver 0,24 mm højere afstandsfaktor

Eventuelle variationer i mængden af restkul i flyveaske, fx fra læs til læs, vil derfor have en vis indvirkning på betonens luftindhold. Det kan derfor være nødvendigt at justere betonens luftindhold ved modtagelse af et nyt læs flyveaske, hvis andelen af restkul er forskelligt fra foregående leverance.

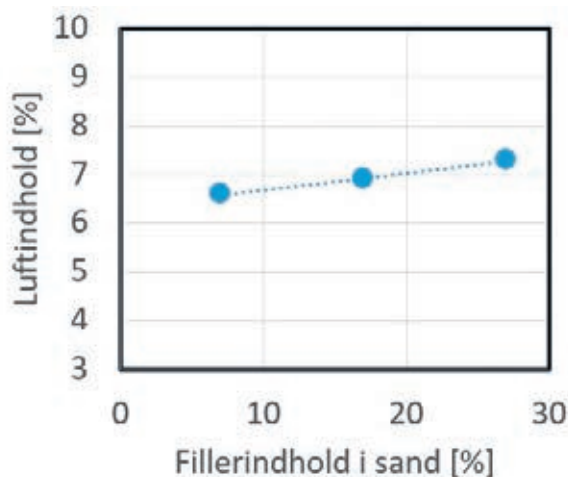
FILLER I SAND

For at undersøge fillerindholdets indflydelse på flydeegenskaber og luftindhold, er der i laboratoriet "produceret" sand, hvor dette er neddelt i flere fraktioner, og efterfølgende sammensat igen med kendt fillerindhold (partikler mindre end 0,25 mm):

- 7% filler (lavt fillerindhold)
- 17% filler (normalt fillerindhold)
- 27% filler (højt fillerindhold)

Det anvendte sand indeholdte ikke lerpartikler i nævneværdig grad.

Sandet blev undersøgt i P25 SCC betoner, hvor der er bestemt flydesætmål og luftindhold, som vist i figur 6:



Figur 6 – Indvirkning af fillerindhold på luftindholdet i beton, [5].

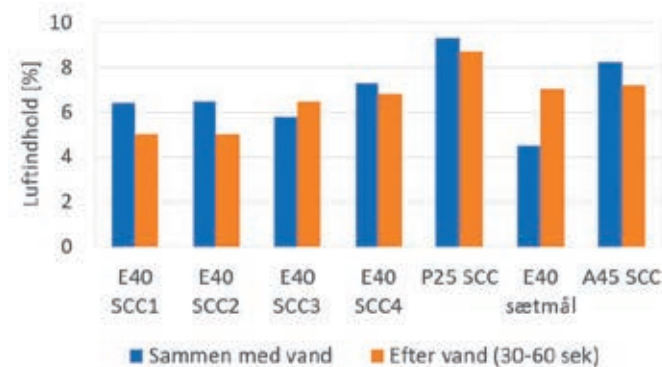
- 10% ekstra filler i sandet øger luftindholdet med ca. 0,4%

Det vil sige, at der skal en relativt stor ændring af fillerindholdet i sandfraktionen til, før det mærkes på luftindholdet i betonen, hvilket sjældent ses i praksis i leverance af sand fra læs til læs. Dog kan fillerindholdet justeres af sandleverandøren, hvis nødvendigt.

BLANDEPROCEDURE

For at undersøge hvilken indflydelse blandeproceduren har på betonens luftindhold, er der justeret på tidspunktet for dosering af tilsætningsstofferne, herunder luftindblandingsmiddel, se figur 7. Ved tilsætning af tilsætningsstoffer med en forsinkelse på 30-60 sekunder efter vandtilsætning er der ikke et helt klart billede af effekten, men der kan dog konkluderes, at:

- Blandeproceduren har en vis indflydelse på luftindholdet
- Indflydelsen er forskellig for forskellige betoner.



Figur 7 – Indvirkning af doseringstidspunkt for luftindblandingsmiddel på luftindholdet i beton.

Samlet set er der flere faktorer, som indvirker på luftindblanding af beton; også flere end nævnt her. Ved at være sig bevidst om de enkelte parametres betydning for eventuelle variationer, kan man tage hensyn til dette i daglig betonproduktion.

REFERENCER:

- [1] Hewlett, Peter C. et. Al., "Lea's Chemistry of Cement and Concrete", Fourth Edition, 2004. ISBN: 0750662565
- [2] Neville, A. M., "Properties of Concrete", 1995. ISBN 0-582-23070-5
- [3] Cordon, W.A. and Merrill, D., "Requirements for Freezing and Thawing Durability for Concrete", Proceedings, ASTM vol. 63, 1963.
- [4] Jacob Thrysoe, "Betons temperatur efter blanding", Dansk Beton, nr. 2. 2017
- [5] Jacob Thrysoe og Lasse Frølich, "Indflydelse af filler i beton", Dansk Beton, nr. 4. 2017.

DET ER EN KOLD TID..



Sommeren er forbi og vi bevæger os nu ind i en periode, hvor lave temperaturer kan få en vis indvirkning på betonens egenskaber.

FRISK BETON OG LAV TEMPERATURER

Betontemperaturen har afgørende indflydelse på hvor hurtigt cementen reagerer. Generelt vil følgende observeres i praksis ved relativt lave temperaturer:

1. Længere åbningstid/afbindingstid: Der er længere tid til at bearbejde betonen end ellers, og der går længere tid, før man fx kan gå på og pudse et gulv.
2. Langsommere styrkeudvikling: Der går længere tid, før man kan fjerne en form.

FROSTSKADER I BYGGEPERIODEN

Beton kan ikke tåle frost i de første døgn efter udstøbning, hvorfor man altid bør etablere afdækning med vintermåtter, skummåtter el.lign., hvis der er risiko for frostgrader. Om en beton kan klare sig selv mod frostpåvirkning, kan vurderes ud fra hærdningsgraden og dermed også ud fra styrkeudviklingen. I praksis er der kun to måder at fremme styrkeudviklingen på under vinterforhold:

1. Varm beton og isolering af konstruktionen
2. Stærkere beton: En stærk beton vil alt andet lige blive frostbestandig hurtigere end en svag beton.

For uddybende beskrivelse af vinterstøbning med beton henvises til [1]. Temperaturudviklingen i betonkonstruktioner kan desuden beregnes og vurderes med programmet "AP TempSim" fra Aalborg Portland A/S; se nærmere på www.aalborgportland.dk.

REFERENCER:

- [1] P. Freiesleben Hansen, E. J. Pedersen. "Vinterstøbning af beton", SBI-anvisning 125, 1982. Kan downloades fra <http://www.teknologisk.dk/239>.