

# Luftinnføring i betong

eller

## Det er ikke alltid sementens feil

*Av Knut O. Kjellsen og Finn Coch, Norcem AS FoU*

**For å sikre frostbestandighet i betong utsatt for fryse/tining over sin levetid kreves at betongen er luftinnført. Det er ingen enkel sak.**

Kravet er at frostbestandig betong skal ha et luftinnhold på minimum 4% (NS-EN 206). Statens Vegvesen har tilsvarende regler;  $5,0 \pm 1,5\%$  evt.  $3,5 \pm 1,5\%$ , avhengig av fasthetsklasse. Et tilsiktet luftinnhold oppnås ved å bruke L-stoffer (luftinnførende tilsetningsstoffer) når betongen blandes. L-stoffet virker ved at det dannes ørsmå luftbobler ved betongblanding som fordeler seg jevnt i den nyblandede betongen. Er det tilstrekkelig mange av disse luftporene i den herdnete betongen, og de har en riktig størrelse og fordeling, vil de forhindre at betongen senere fryser i stykker. Å oppnå et riktig og stabilt luftinnhold er imidlertid ikke alltid enkelt, det er en praktisk utfordring som betongprodusentene bruker en del tid og ressurser på. Norcem FoU har vært involvert i flere kundesaker oppgjennom årene hvor luftinnføring har vært utfordringen. Basert på vår kunnskap og erfaringer diskuterer vi i denne artikkelen vanlige problemstillinger knyttet til luftinnføring.

### Kort historikk om frostbestandighet og luft

L-stoffene virker litt som såpe. De danner skum/luftbobler når betongen blandes. For at luftporene skal være effektive i å forhindre fryse/tineskader bør de ha en diameter på i størrelsesorden 0,05 mm. Er luftboblene som dannes for store, har de ingen virkning i å forhindre skader. For store luftbobler vil også lett kunne forsvinne ut av den nyblandede betongen under transport. For grove luftporer kan være en årsak til at luftinnholdet faller fra betongstasjonen og ut til byggeplassen. Det må presiseres at luftinnføring generelt fungerer greit, blanderiet kjører seg inn med en L-stoff dosering på en resept og oppnår tilsiktet luft uten store variasjoner fra gang til gang. Men av og til, ofte i perioder, kan det oppstå vansker. Noen ganger faller luftinnholdet fra blanderiet og ut til byggeplass, andre ganger kan det øke. Luftinnholdet er ikke stabilt nok. Det kan være vanskelig å oppnå riktig luftinnhold på blanderiet. Uansett hvor mye L-stoff som tilsettes betongblanderen så oppnås ikke det ønskede luftinnholdet.

Vi må huske på at dette er et komplisert kjemisk system, og vi har med naturmaterialer å gjøre. Det er derfor ikke så underlig at responsen til L-stoffet, og dermed luftinnføringen kan variere. De superplastiserende tilsetningsstoffene (SP-stoffer) som brukes i nesten all betong i dag har i seg selv den

egenskap at de er luftinnførende, disse luftboblene er imidlertid så grove at de ikke gir beskyttelse mot fryse/tine skader. Disse luftboblene fjernes, helt eller delvis, ved å tilsette en kjemisk 'luftdemper' til SP stoffet. Vi har altså stoffer som skal føre inn luft med en riktig størrelse på boblene, og så har vi andre stoffer som skal ta ut de grove luftboblene innført av SP-stoffet. Samtidig som små og store luftbobler dannes i vannfasen når betongen blandes, skjer det en oppløsning av de mest løselige sementfasene (alkalisulfater, gips og aluminatfasene) som fører til raskt økende konsentrasjon av ulike ioner. Sett i lys av dette komplekse kjemiske systemet og det store antall variable må vi forvente problemer av og til. Pga. kompleksiteten kan det være vanskelig å finne årsaken til problemet, og en må ofte prøve seg fram ved systematisk å variere ulike variable og observere om dette hjelper. Dette har vi i Norcem FoU fått en del erfaring i opp gjennom årene som vi ønsker å dele med leserne:

*Figur 1: Snitt av luftinnført betongprøve.*

### **Tiltak ved problemer med luftinnføring**

#### Tilsetningsstoffer:

Det er viktig at tilsetningsstoffene (SP-stoffet og L-stoffet) er kompatible med sementproduktet som brukes. Ved bytte av sement kan det være nødvendig å bytte SP og/eller L-stoff for å oppnå tilfredsstillende luftinnføring. Vi har eksempler på kunder som har byttet fra Standardsement til Standard FA sement og ikke klart å oppnå luftinnføring med de gamle tilsetningsstoffene.

Ved bytte av L-stoff, av og til SP-stoff og L-stoff, har dette problemet løst seg.

Vi har også sett indikasjoner på at tilsetningsstoffer har separert seg, og dette har ført til ustabil luftinnføring. Det er viktig å sørge for omrøring/opplufting i tilsetningsstofftankene for å forhindre dette. Vi kjenner også til tilfeller hvor det er lagt inn feil tørrstoffinnhold på L-stoffet i blanderiets styringssystem. Det fører til feil mengde L-stoff i betongen, og feil luftinnhold.

#### Tilslag:

Mange problemer med luftinnføring skyldes nok variasjoner i filler- og fuktinnhold i tilslaget. Vi har sett at de betongprodusenter som har ekstra god kontroll på materialene sine sjeldnere har problemer. Mange problemtilfeller med luftinnføring kan unngås med bruk av overbygde binger for tilslag siden dette gir jevnere fuktinnhold og forhindrer utvasking og separasjon i tilslaget fra nedbør. Videre er en forsiktig tilslagshåndtering som forhindrer blanding av fraksjoner, separasjon og forurensning viktig. Sjøføren av hullasteren som håndterer tilslaget på betongstasjonen spiller her en viktig rolle, å sette skuffa på rett sted i sandhaugen kan være avgjørende. Dette har sammenheng med at det er de fine partiklene som bidrar mest til overflaten av fast stoff i betongen. En del av L-stoffet vil feste seg på de faste overflatene, og derfor ikke danne luftbobler. Generelt kan derfor sies at jo høyere mengde av de fineste tilslagspartiklene, jo høyere L-stoff dosering kreves for å oppnå det tilsiktede luftinnholdet. Ved tilstrekkelig store variasjoner i finstoffinnhold er nesten umulig å oppnå riktig luftinnhold fordi det ikke er mulig å kompensere L-stoff doseringen til variasjonene i finstoffinnhold. Dersom en

betongprodusenten får problemer med luftinnføring bør han undersøke mulige variasjoner i tilslaget sitt nærmere.

#### Sement og bindemidler:

Kvalitetsvariasjoner i sement og bindemidler kan av og til også være årsak til utfordringer med luftinnføring. Ferskblandet luftinnført betong er som tidligere diskutert et komplisert kjemisk system, og variasjoner i alle delmaterialer kan påvirke egenskapene til dette systemet. Variasjoner i sementens finhet og løselighetsegenskaper kan spille inn. Flygeaske som vi har i våre Portland-flygeaske sementer (STD FA og ANL FA), og som i noen tilfeller tilsettes direkte i betongen kan ha betydning. På grunn av restkullinnholdet i flygeasken vil betong med flygeaske normalt kreve en høyere dosering av L-stoff (se faktaboks om flygeaske). Variasjoner i flygeasken, og da spesielt variasjoner i karboninnholdet i flygeasken, kan påvirke luftinnføringen. Det samme gjelder silika støv, som også inneholder restkarbon. Vi har gjort en hel del systematiske forsøk som viser at normale variasjoner i karboninnholdet i våre sementer påvirker luftinnføring lite. Ved riktig høye karboninnhold har vi erfaring at det kan bli problemer med luftinnføring, dette er imidlertid svært sjelden inntreffer og dersom vi får slik flygeaske er vi oppmerksomme og vil etterstrebe å gi kunden beskjed. Hvorvidt sementen er årsak til problem med luftinnføring er som oftest ganske enkelt å fastslå:

- Dersom det bare er en kunde som har problemer, mens andre kunder i området som bruker av den samme sementleveransen ikke har problemer, er det lite sannsynlig at problemet skyldes sementen.  
-En representativ sementprøve på minimum 30 kg kan tas ut på betongstasjon og sendes Norcem FoU, denne prøven analyseres og testes i en referanse betongresept hos Norcem FoU med referanse tilslag, fast SP/L-stoff og dosering. Ved sterkt avvikende luftmengde i forhold til en referanse er det sannsynligvis på sementen det ligger. Dette er en tjeneste Norcem gjør for sine kunder, vi vil forøvrig være behjelpelige med å finne løsninger sammen med kunden ved et hvert problem knyttet til luftinnføring. Kunden kontakter Norcems salgsrepresentant.

#### Betongproduksjon:

Både type blandemaskin, blandeprosedyre og metode for prøvetaking kan påvirke luftinnholdet. Vi har nok sett at frifallsblandere av og til kan gi problemer, sannsynligvis fordi disse gjerne blander noe mindre effektivt enn tvangsblendere. Dette kan normalt kompenseres ved økt blandetid eller endret blandeprosedyre. I et tilfelle nylig var løsningen å endre blandeprosedyren. I utgangspunktet var problemet at luften forsvant ut av betongen ved kjøring fra blanderiet og ut til byggeplass. Tilslag, tilsetningsstoffer og sement ble undersøkt uten at det ble funnet noen årsak til problemet her. En endring i blandeprosedyre løste problemet. I stedet for å tilsette L-stoffet sammen blandevannet eller sammen med de øvrige tilsetningsstoffene, som er vanlig prosedyre, ble L-stoffet tilsatt noen sekunder etter blanding av de øvrige materialene. Dette krevde en noe lengre blandetid, men etter dette tiltaket har produksjonen fungert bra med riktig og stabil luft.

Et annet moment her er de tilfeller hvor L-stoffet tilsettes med blandevannet. En del av blandevannet vil holdes tilbake som 'spedevann' som tilsettes i varierende mengde til slutt i blandeprosessen for å justere konsistensen. I og med at det ikke nødvendigvis tilsettes like mye 'spedevann' hver gang, vil også L-stoff doseringen inn i betongen bli forskjellig. Dette kan være en årsak til 'ustabil' luftinnføring.

Vi har også erfart at ved produksjon av luftinnført SV40 betong er ikke alltid betongen ferdigblandet etter de vanlige 90 sekunder. Dette kan avhenge både av effektiviteten til blandemaskinen, resepten og egenskapene til de ulike del-materialene. Ved problemer med luftinnføring bør en alltid forsøke å produsere med lengre blandetid over en periode. Dette er et enkelt og billig tiltak.

Riktig prøvetaking og bruk av kalibrerte og velfungerende luftmålere er avgjørende. Dette er en selvfølge, men etterleves ikke alltid i praksis. Det MÅ måles på representativ betongprøve. Når prøve tas fra bil bør det alltid blandes minimum 3 minutter før prøvetaking, og første trillebårløss må kastes, dette er ofte ikke representativ og homogen betong.

### **Konklusjon**

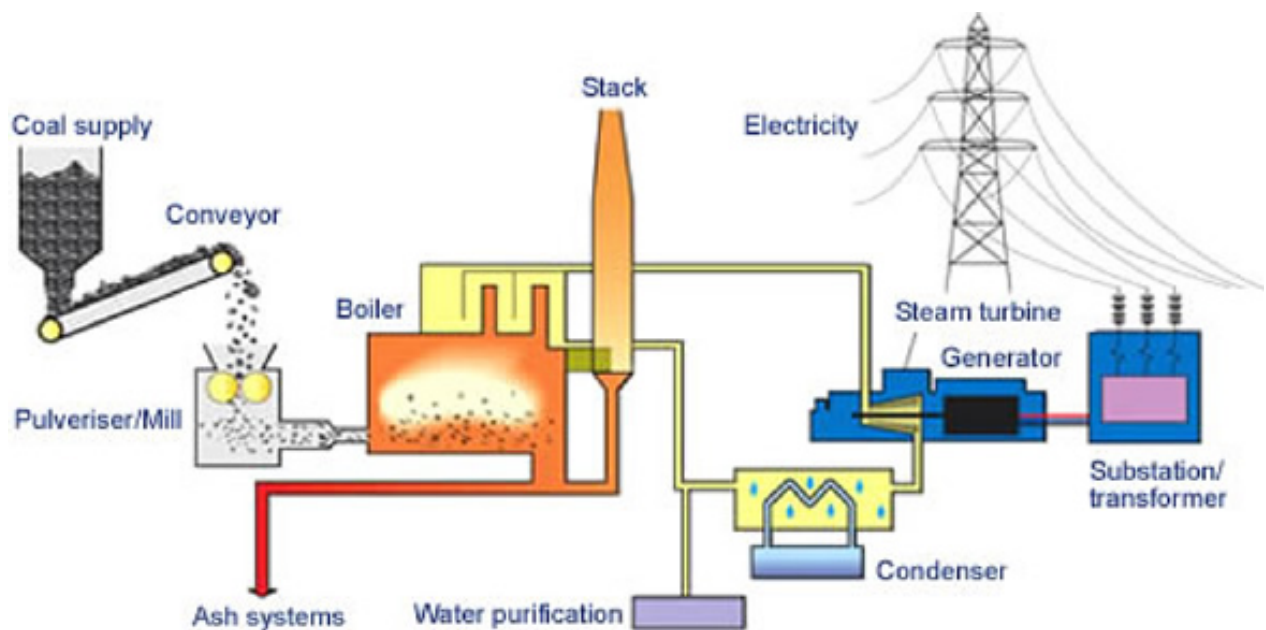
Nesten all anleggsbetong, samt noe byggbetong, skal være frostbestandig og luftinnført. Luftinnført betong utgjør en betydelig del av det totale betongvolumet. Det tilsettes egne L-stoffer ved betongblanding for å oppnå luftinnføringen. Den innførte luften skal bestå av mikroskopiske luftbobler som er jevnt fordelt i betongen. En betong som er riktig luftinnført skal være bestandig overfor fryse/tine sykler i fersk og saltvann i hele sin levetid.

Betongprodusentene har av og til utfordringer med å oppnå det luftinnholdet som kreves. Det kan være mange årsaker til dette, som er nærmere diskutert i artikkelen. Vanlige årsaker er variasjoner i tilslagets finstoffinnhold, ikke optimalisert blandeprosedyre, for kort blandetid og feil prøvetaking. Ved utfordringer med luftinnføring er dette forhold som bør undersøkes nærmere.

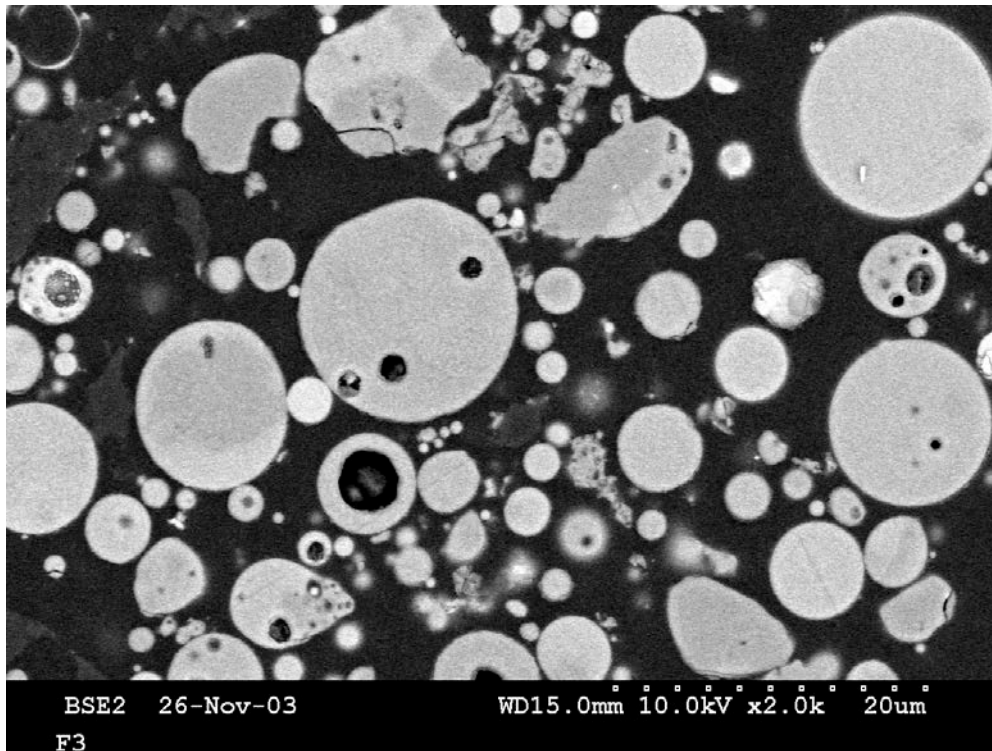
### **Faktaboks:**

Norcem maler inn flygeaske i produktene STD FA og ANL FA. Flygeaske er et restmateriale fra kullfyrte varmekraftverk. Finmalt kull forbrennes i et forbrenningskammer, og flygeaske partiklene dannes ved kondensasjon av avgassene fra forbrenningen når avgassene kjøles ned. De består hovedsakelig av amorfe oksider av silisium og aluminium. De har en sfærisk partikkelform siden de er dannet ved kondensasjon. Flygeaskepartiklene filtreres ut fra røykgassene. Flygeaske er et reaktivt materiale (pozzolanisk materiale) og forbedrer mange av egenskapene til sement og betong. Flygeaske er et kommersielt produkt med en egen Standard (NS-EN 450) hvor det er angitt kvalitetskrav som flygeasken må tilfredsstillere. Flygeaske må ikke forveksles med bunnaske, som er forbrenningsresten. Dette er et avfall som ikke er egnet for bruk i sement og betong.

Ved forbrenning av det finmalte kullet vil det alltid være en liten del kull som ikke forbrennes. Dette følger avgassene og blir samlet opp sammen med flygeasken. Flygeaske vil derfor alltid inneholde en liten del uforbrent eller delvis forbrent kull. Flygeaske klassifiseres i ulike kvaliteter iht. NS-EN 450 avhengig av mengden av dette restkarbonet. Norcem bruker kun flygeaske av kategori A, som er den høyeste kvaliteten med det laveste restkarboninnholdet. Restkullet trekker til seg L-stoff i luftinnført betong. For å kompensere for dette må det vanligvis tilsettes en høyere dosering L-stoff når det brukes flygeaske i sement eller betong.



Figur: Prosesskart, kullfyrt varmekraftverk



Figur: Flygaskepartikler, jmfir den sfæriske formen som er svært gunstig med tanke på betongens støpelighet