

Alkaligrusreaksjoner påvist i Norge:

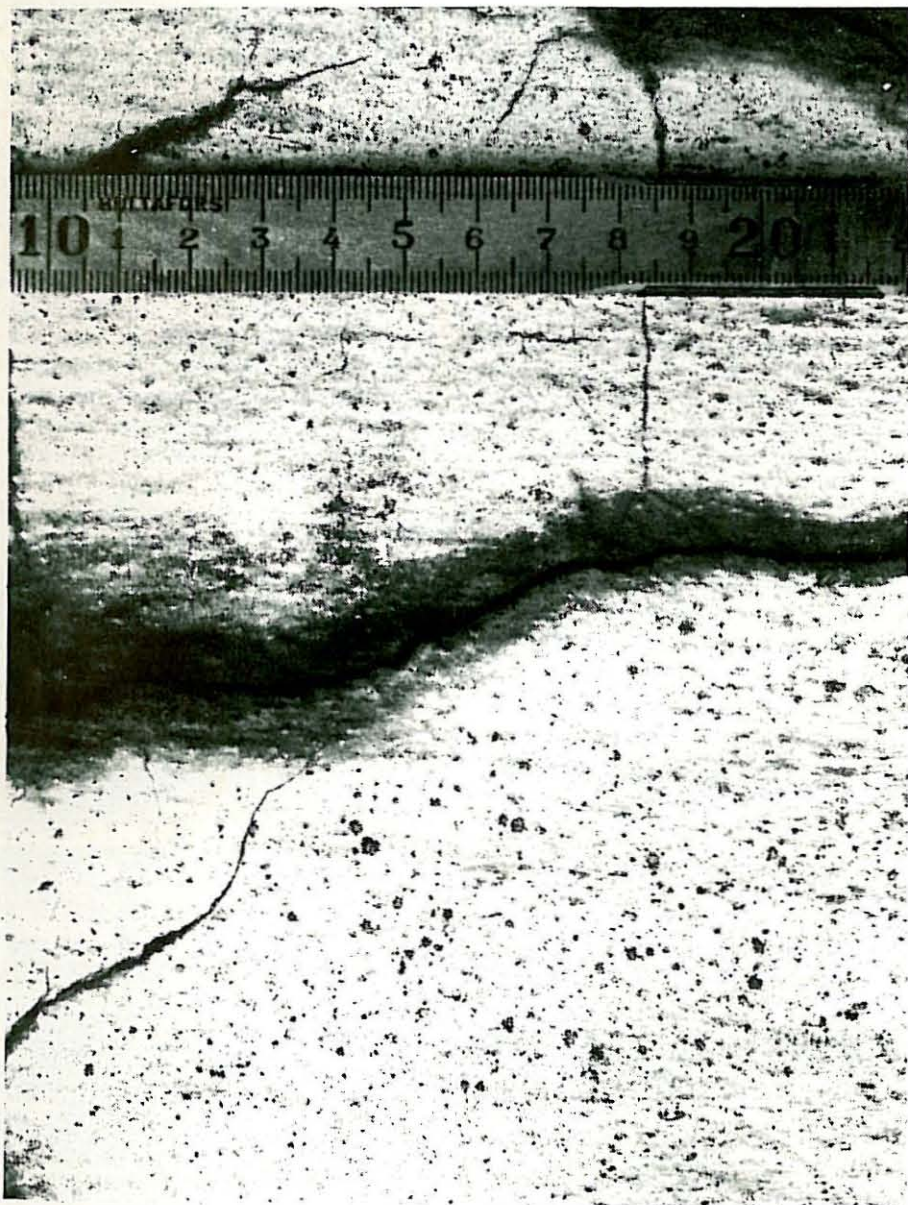
# SKADENE MER VANLIG ENN ANTATT?

Av

cand.real. Arne Kjennerud, Norges byggforskningsinstitutt

For første gang i Norge er det nå påvist skader på betongkonstruksjoner som klart har sammenheng med såkalte alkaliske reaksjoner. En forutsetning for slike reaksjoner er at tilslaget inneholder reaktive bestanddeler, f.eks. sillumdioksyd.

I forbindelse med større betongarbeider bør det derfor foretas en ny vurdering av tilslagsmaterialene. Mye tyder på at betongskader som følge av alkali-aggregatreaksjoner er mer utbredt i Norge enn man hittil har trodd. Siden skademønsteret lett kan forveksles med frost- og svinnskader, kan det tenkes at vi rett og slett har oversett denne spesielle skadetype.



Typisk sprekkemønster i betong (three legs crack) som følge av alkali-aggregatreaksjoner. (Foto G.M.Idorn).

1.3. 1978



Norges  
byggforsknings-  
institutt 1978

særtrykk 259

## Betongfagfolk bør være oppmerksomme

De fleste av norske betongfolk har vel hørt om alkaligrus-, alkaliaggregat-, alkaliskisel-reaksjoner, men det har vært alminnelig antatt av vi i Norge ikke hadde bergarter som kunne føre til alkaliskisel-reaksjoner. Nå er imidlertid slike reaksjoner påvist, så norske betongfagfolk bør derfor være oppmerksomme på den risiko man løper ved slike skadelige tilslagsmaterialer.

I forbindelse med NBI's oppdragsvirksomhet innenfor betongområdet er det i den senere tid påvist skader på betongkonstruksjoner som klart har sammenheng med såkalte alkaliskisel-reaksjoner hvor betongen brytes ned i løpet av korte eller lengre tid, avhengig av fukt- og temperaturforholdene på stedet.

Skader av denne art er kjent fra 1940-årene, først i USA og Canada, og senere her i Europa hvor Danmark kanskje har de største problemer takket være utbredelsen av flint i danske grusforekomster. Her i Norge derimot er slike skader lite påaktet, og så vidt vites har denne skadetypen aldri med sikkerhet vært påvist hos oss. Grunnen til dette kan skyldes vårt spesielle klima, idet den relativt lave temperatur vi har i årsmiddel vil forsinke reaksjonene slik at skadene vises først etter meget lang tid; 15-20 år. Siden skademønsteret lett kan forveksles med andre typer av skader som frost, svinn e.l., eller hvor disse har vært en medvirkende årsak, kan det tenkes at vi rett og slett har oversett denne spesielle skadetypen.

## Den kvalitative betingelse

Den kvalitative betingelsen for at alkaliskisel-reaksjoner skal kunne foregå er at aggregatene inneholder reaktive bestanddeler. Slike kan være flint, kalsedon tridymit, kristobalitt, enkelte kryptokrystalline vulkanske bergarter av sur -intermediær sur karakter og enkelte typer metamorfe skifere som phyllitter. Alle disse har vist reaksjoner som angitt i Faktaruten dersom det er benyttet cement med et relativt høyt alkaliinnhold. Reaksjonene kommer ikke istand hvis de nevnte mineraler eller bergarter benyttes sammen med alkalifattig sement og heller ikke hvis alkalirik cement brukes med andre typer tilslag. Alkaliinnholdet i ce-

ment kan variere fra noe under 0,4% til over 1% regnet som sum  $\text{Na}_2\text{O}$  og  $\text{K}_2\text{O}$ . Cementtyper som inneholder under 0,6% regnes som alkalifattige og ekspansjonene med en slik cement blir derfor minimale. Alkaliinnholdet i norsk cement er oppimot 1%, altså en alkalirik cement.

Selv om flint normalt regnes som et reaktivt materiale, betyr ikke dette nødvendigvis at vedkommende betongkonstruksjon vil sprenges dersom betongen inneholder flint i tilslaget. Dette er et forhold som går dels på mengden av det reaktive materiale og dels på den krystallinitet materialet har. Uten å kunne sette opp noen faste normer for tilslaget kan man generelt si at mellom 0,5 og 40% reaktivt materiale i tilslaget vil kunne bevirke sprengning. Over denne grensen øker ikke skadefrekvensen, sannsynligvis p.g.a. at alkaliene nå er forbrukt. På den annen side vil graden av reaktivitet være avhengig av størrelsen på krystallindividene og av eventuelle feilbygninger i krystallgitteret som måtte være til stede. Jo mere finkornet, jo større spesifikk overflate og dermed en større reaktivitet. Feilbygninger i krystallgitteret kan slå begge veier og både retardere og akselerere reaksjonene. Begge disse forhold går på de rene fysiske/kjemiske egenskaper ved krystallgitteret. Den mengde vann som forutsettes ved reaksjonene, kan oppfattes som adsorptivt bundet vann siden dette er direkte proporsjonalt med overflatearealet av kornene.

Teoriene for sprengvirkningen ved reaksjonene er ennå ikke helt klarlagt. En teori går ut på en direkte volumøkning av de aktuelle områdene omtrent på samme måte som ved hydratisering av hardbrent kalk og etterfølgende kalksprett. Andre teorier går mer på egenskapene av reaksjonsproduktene, bl.a. med etablering av hydraulisk trykk over semipermeable membraner, altså osmotiske effekter. Man har ved forsøk demonstrert hydrauliske trykk på denne måten som langt overstiger betongens trykkstyrke. Dette forklarer at betongen sprekker opp.

### To veier å gå

Når det gjelder botemidler, er det to veier man kan gå. Den ene er å undersøke om det aktuelle tilslaget er reaktivt. Dette kan gjøres ved å støpe ut prismar og måle ekspansjonen over noen måneder. Prøvene skal lagres fuktig og varmt og man måler forlengelsen mellom målepunktene. Hvis denne er større enn 0,05% etter tre måneders lagring, er det stor sannsynlighet for at aggregatene er reaktive (ASTM C 227).

En kjemisk metode kan også benyttes. Denne er vesentlig raskere og går i kort-

het ut på å bestemme forholdet mellom løst silika og reduksjonen i alkalitet når prøven lagres i 1N NaOH. På grunnlag av de funne verdier kan man ut fra et diagram antyde sjansene for alkalikiselreaksjoner. (ASTM C 289).

Hvis man nå ved en av disse metodene har gjort det klart at tilslaget er reaktivt, kan og bør man bruke alkalifattig cement, dvs. cement som inneholder mindre enn 0,6% i sum  $\text{Na}_2\text{O}$  og  $\text{K}_2\text{O}$ . Dette er en spesialcement som normalt ikke markedsføres i Norge, og derfor blir denne metoden neppe den billigste. I mange tilfeller kan det lønne seg å ta tilslaget langveis fra.

### Svømmebasseng i Skien

NBI har i den senere tid fått kjennskap til en rekke skadetilfeller som etter all sannsynlighet skyldes alkaligrusreaksjoner. Særlig synes dette å være tilfelle i forbindelse med svømmebasseng hvor de miljømessige betingelsene er oppfylte; fuktighet og varme. Her skal bare omtales to skadetilfeller som er nøye undersøkt og hvor skadeårsaken er åpenbar.

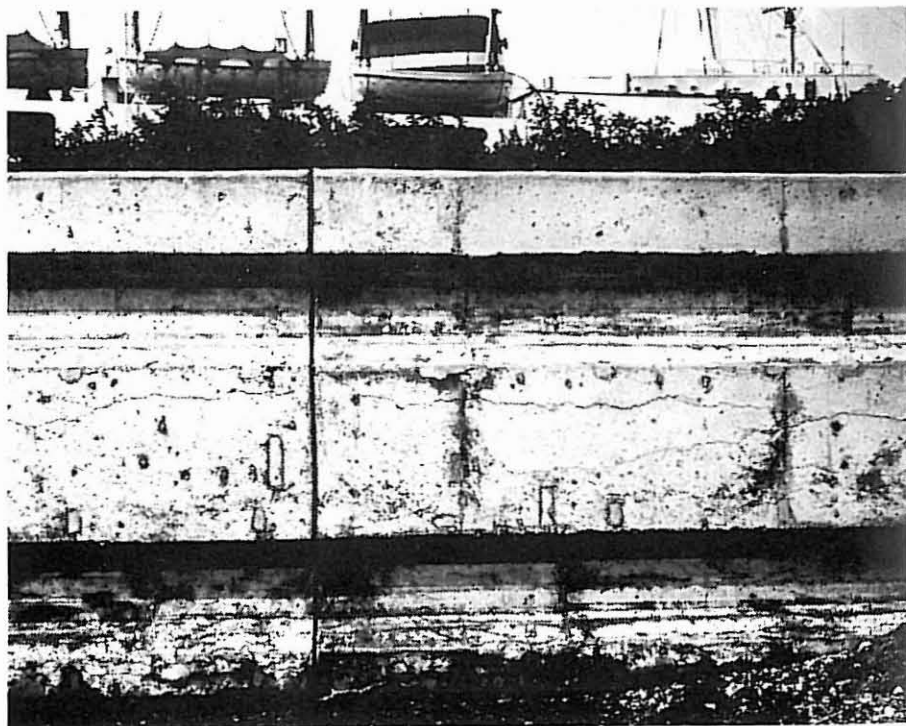
- Svømmebasseng i Skien
- Store massive betongfundamenter på Rjukan, hvor både skadeomfanget og reparasjonsomkostningene var meget omfattende.

For svømmebassengets vedkommende oppdaget man skadene første gang ved at flisene i bunnen av bassenget delvis sprakk – bulet opp – og løst fra underlaget, med den følge at de som benyttet

bassenget skar seg på bena. Bassenget hadde bare vært i bruk noen få år. Etter at bassenget hadde stått tomt for vann i et par døgn, piplet det flere steder en mer eller mindre seig, klar væske ut på overflaten av flisene. Dette viser at fuktighet fortsatt er til stede i betongunderlaget og at denne drives ut til overflaten på grunn av en gradient. Det var bom over store deler av karbunnen, og ved å løsne neon av flisene fant man på undersiden av disse en hard, hvit avleiret masse. Det var tydelig at denne massen var sekundært dannet og var den direkte årsak til at flisene hadde løst seg. Den seige væsken ble undersøkt kjemisk ved hjelp av atomabsorpsjons-spektrografi, og man fant følgende sammensetning:

38,5%  $\text{SiO}_2$   
8,9%  $\text{Na}_2\text{O}$   
11,6%  $\text{K}_2\text{O}$  og  
ca 40% vann

Det ble konstatert at kalsium og magnesium var tilstede i bare ubetydelige mengder. Ut fra dette er derfor selve skadeårsaken klar. Leggemørtelen, betongen, (eller begge deler) inneholder aggressive aggregater i tilslaget som reagerer med alkaliene i cementen og danner denne nå omtalte gelen. Denne kan sirkulere rundt i konstruksjonen og kan reagere videre med kalk enten i løsning eller i fast form og danne et kalsiumalkalisilikat. Siden kalsiumaktiviteten er størst like ved flisene, har reaksjonene skjedd nettopp her og det etablerte kalsiumalkalisilikat har derved brukt den opprinnelige forbindelsen ved sprengning.



Typiske sprekker i betong-konstruksjon som følge av alkali-kiselreaksjoner. (Foto G.M. Idorn.)

Hvorfor disse skadene har skjedd så raskt – i løpet av ca 4 år – skyldes at man hele tiden har hatt rikelig tilførsel av vann kombinert med relativt høy temperatur. Hvilket tilslag og kornstørrelse det her er tale om, har vi ennå ikke fått konstatert. Reparasjonsarbeidet gikk vesentlig ut på å forsegle betongen med en vannfast epoxyfilm og legge flisene på nytt i epoxy-mørtel e.l.

## Betongfundamenter på Rjukan

Når det gjelder skadetilfellet på Rjukan, var forholdene her vesentlig forskjellige. For det første dreier det seg om meget store betongkonstruksjoner – fundamenter for kompressorer på mye over en meters vegtgykkelse. Dermed hadde man tildels kraftige vibrasjoner i konstruksjonene. Betongen var sprukket på kryss og tvers, men ikke i noe spesielt mønster som umiddelbart kunne tilskrives de nevnte reaksjoner. Sprekkene var meget store – opptil 1 cm i bredde – p.g.a. at det samtidig var foregått en oppkusing som følge av vibrasjonene. Det var først da det ble foretatt kjerneboring i yttersonen av sprekkene at man kom på sporet av alkali-kisel-reaksjoner som skadeårsak. Ved inspeksjonen av borkjernene ( $D = 150$  mm og ca 600 mm lengde) i snitt, ble det konstatert en mengde hvite inneslutninger i hulrom og ellers langs hele sprekkesonen. I tillegg var det også en mengde av tilslagskornene i betongen som hadde en mer eller mindre bred hvit reaksjonsone rundt seg. Begge disse inneslutningene og reaksjonssonene ble undersøkt kjemisk ved hjelp av atomabsorpsjonsspektrografi. Man konstaterer en prosentvis sammensetning omtrent tilsvarende det avleirede stoffet på undersiden av flisene i bassenget, altså et kalsium-alkalisilikat. Ut fra dette mener vi at årsakssammenhengen er klar og at sprekkene primært skyldes alkali-kisel-reaksjoner. Dette må ha skjedd på et relativt tidlig stadium, mens konstruksjonene hadde overskuddsvann. Det er jo her tale om meget grove betongkonstruksjoner som tørker ut først etter mange år. At sprekkene nå, etter snart 25 år, er blitt så store skyldes dels oppkusing p.g.a. vibrasjoner og dels fornyet sprengvirkning ved reaksjonene. Selve reparasjonsarbeidet gikk her i det vesentlige ut på å injisere med epoxy, dels for å binde de enkelte delene sammen og dels for å hindre fuktighet i å trenge inn slik at reaksjonene kunne starte opp på nytt.

## Mer utbredt enn antatt

På bakgrunn av de skadeundersøkelser som NBI har vært involvert i, kombinert

med forskjellige uttalelser fra byggekyn-dig hold, våger vi den påstand at betongskader som følge av alkali-aggregat-reaksjoner er mere utbredt i Norge enn det vi til nå har trodd. At skadefrekvensen på betongkonstruksjoner er særlig stor i Skien-Rjukan området kan bety at hele dette området har tilslagsmaterialer som er spesielt reaktive.

Bergarten som vi har mistanke til i det aktuelle området – det er ikke ført noe fullgodt bevis ennå – er en lavabergart, rhyolitt, som har ganske stor utbredelse både i den faste fjellgrunn og i løsavleiringene. Rhyolitt er en sur lavabergart som inneholder meget kisel-syre, ofte så finkornet at det er vanskelig å identifisere de enkelte mineraler (kryptokrystallin). Fra Canada og USA er det rapportert om alkali-aggregat-reaksjoner i betong som følge av rhyolitt i tilslaget. Flere av de tilslagskornene i borkjernene som hadde reaksjonsone rundt seg var nettopp fragmenter av rhyolitt.

Foruten rhyolitt foreligger det også mistanke til enkelte typer av kvartsitt som er tilstede i nevnte områder. Også denne inneholder fri kvarts ofte i meget finkornige krystall-individer og skulle derfor teoretisk kunne bevirke alkali-kiselreaksjoner med sement. Både den finkornige kvartsitten og rhyolitt står meget nær flint kjemisk og mineralogisk sett, og man skulle kunne forvente de samme reaksjoner med disse som tilslag som med flint.

Ut fra disse betraktninger bør det være riktig å foreta en nøye vurdering av tilslagsmaterialene m.h.p. de nevnte reaksjoner. Dette gjelder i særlig grad ved større betongarbeider eller for konstruksjoner hvor stabilitet/sikkerhet er av største betydning. Hvis det foreligger indikasjon på reaktive bestanddeler i tilslaget, må det brukes alkalifattig cement. Det er mulig at den nye cementtype med 5% innblanding av silisiumdioksydstøv kan råde noe bot på dette, idet dette støvet vil reagere øyeblikkelig med alkaliene før betongen er herdnet.

De eksempler som er trukket frem i denne artikkelen er dessverre ikke de eneste. Det eksisterer flere skadetilfeller, foreløpig riktignok spredt (Bergen, Moss, Trondheim), og alle disse er svømmebasseng. Det synes derfor som om forholdene nettopp ved svømmebasseng gir de gunstigste betingelser for reaksjonene.

## Reaksjon og skademønster1

Forutsetningen for at reaksjonene skal kunne foregå er at:

- tilslaget inneholder reaktive bestanddeler, f.eks. silisiumdioksyd i en spesiell reaktiv form
- cementen inneholder tilstrekkelige mengder med alkalier  $K_2O$  og  $Na_2O$ .
- konstruksjonen inneholder – eller tilføres – tilstrekkelige mengder fuktighet i form av fritt vann
- temperaturen ligger godt over  $0^\circ C$  dersom man skal få en rimelig hastighet på reaksjonene

Som navnet tilsier dreier det seg om reaksjoner mellom natrium- og kallumhydroksyd som frigjøres ved hydratiseringsprosesser av cementen og reaktive aggregater i tilslaget. Hvis tilslaget inneholder reaktiv kisel-syre vil det kunne dannes en alkalisk gel som i seg selv kan bevirke ekspansjon slik at konstruksjonen før eller senere vil sprekke opp. Gelen er fargeløs til svakt gulaktig, seig og klebrig, og er blandbar med vann i alle forhold. Ved vannopptak blir den lettflytende og holder seg slik så lenge pH-forholdene ligger på den basiske siden. Ved fordampning av vannet blir gelen mere viskos og kan ende som en sprø, hard masse. Hvis løselighetsproduktet overstiges vil kisel-syren kunne felles ut og løsningen blir opalsierende. Det samme vil også være tilfelle ved tilførsel av sure bestanddeler til løsningen. Den mer eller mindre viskøse løsningen vil kunne sirkulere i konstruksjonen og kan, foruten å avsettes i sprekker og hulrom i betongen, reagere videre med kalk i grunnmassen.

Reaksjonene kan altså foregå enten direkte på grenseflaten av de reaktive tilslagsmaterialer eller i selve grunnmassen, og i begge tilfeller vil man få en betydelig ekspansiv virkning. Selve skademønsteret vil ofte ha et meget karakteristisk utseende. Det dannes sprekker på betongoverflatene som stråler ut i tre retninger fra ett og samme punkt, omtrent som emblemet til «Isle of Man». Se fig. 1 og 2. Av denne grunn har sprekkene også fått navnet «three-legs crack». Sprekkene blir ofte mørkere av farge enn grunnmassen forøvrig p.g.a. at gelen er hygroskopisk, og ofte ser man gelen ligge igjen som en dråpe i senter av sprekkene.

Dette er hva som kan observeres på overflaten, men sprekkene vil kunne forplante seg innover i konstruksjonen slik at betongen vil være oppsprukket i hele dybden. For en damkonstruksjon kan man lett tenke seg hva dette kan ha av konsekvenser for sikkerheten og stabiliteten, særlig fordi de ytre kjennetegn, sprekkene på luftsiden, kan være gjenfylt med kalk og dermed ikke er synlige.

